



HAL
open science

Typologie du zircon des granitoïdes de Bouskour et d'Ougnat (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : Comparaison et signification géodynamique
Zircon typology of Bouskour and Ougnat granitoids (Saghro, Anti-Atlas, Morocco) : comparison and geodynamic implication

Mohamed El Baghdadi, Abdelmajid El Boukhari, Amal Jouider, Abdelhalim Benyoucef, Samir Nadem

► **To cite this version:**

Mohamed El Baghdadi, Abdelmajid El Boukhari, Amal Jouider, Abdelhalim Benyoucef, Samir Nadem. Typologie du zircon des granitoïdes de Bouskour et d'Ougnat (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : Comparaison et signification géodynamique Zircon typology of Bouskour and Ougnat granitoids (Saghro, Anti-Atlas, Morocco) : comparison and geodynamic implication. Pangea infos, 2001, 35/36, pp.5-26. insu-00947874

HAL Id: insu-00947874

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00947874>

Submitted on 17 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Typologie du zircon des granitoïdes de Bouskour et d'Ougnat (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : Comparaison et signification géodynamique

Zircon typology of Bouskour and Ougnat granitoids (Saghro, Anti-Atlas, Morocco) : comparison and geodynamic implication

Mohamed EL BAGHDADI ¹, Abdelmajid EL BOUKHARI ², Amal JOUIDER ³, Abdelhalim BENYOUCEF ¹, Samir NADEM ¹

¹ Dépt de Géologie, Faculté des Sciences & Techniques, B.P. 523, Béni Mellal (23000), Maroc.

mbagdadi@fstbm.ac.ma

² Dépt de Géologie, Faculté des Sciences Semlalia, B.P. S15, Marrakech, Maroc.

³ Division Technique, Préfecture de Béni Mellal, Maroc.

Article reçu le 01 février 2001.

Résumé

Les granitoïdes de Bouskour et de l'Ougnat (Saghro, Anti-Atlas) représentent respectivement les intrusions les plus proches et les plus éloignées par rapport à l'accident majeur de l'Anti-Atlas. Ils sont composés à Bouskour de diorite quartzique, de granodiorite à amphibole et de granite à biotite et à Ougnat de diorite quartzique, de granodiorite à amphibole/biotite et de granite à grenat. La typologie du zircon appliquée à ces granitoïdes montre l'existence de trois tendances magmatiques dans les deux boutonnières. Une tendance granodioritique ou moyennement potassique représentée par les diorites quartziques et les granodiorites dans ces deux ensembles et une tendance calco-alkaline plus potassique représentée par le granite à biotite à Bouskour. Ces deux suites possèdent une origine hybride croûte-manteau. Le granite à grenat de l'Ougnat représente la troisième tendance avec une origine plutôt crustale. Cette répartition montre que le composant crustal augmente depuis Bouskour jusqu'à l'Ougnat impliquant un épaississement crustal au niveau de Saghro au cours du Néoprotérozoïque.

Mots-clés : Saghro, zircon, granitoïdes, calco-alkalin, crustal.

Abstract

Both the Bouskour and the Ougnat granitoids belong to Saghro intrusions, which are near and far from the major Anti-Atlas accident respectively. These complexes are composed of quartz diorite, amphibole granodiorite and garnet granite in Bouskour, and quartz diorite, amphibole/biotite granodiorite and garnet granite in Ougnat hills. Zircon typology in these granitoids shows three magmatic trends. First, a medium-K calc-alkaline granodiorite trend formed by quartz diorites and amphibole granodiorites in both complexes. Second, the biotite granites of Bouskour record a high-K calc-alkaline trend. Both trends have a hybrid mantle-crust origin. Garnet granite represents the third trend with a crustal origin. These signatures recorded by the Saghro granitoids suggest crustal thickening during the Neoproterozoic.

Key words: Saghro, zircon, granitoids, calc-alkaline, crustal.

INTRODUCTION

Le massif de Saghro est considéré comme un arc volcanique mis en place au cours du Néoprotérozoïque (Saouque, 1992; Benziane et Yazidi, 1992). Il est situé au nord de l'accident majeur de l'Anti-Atlas (AMA) ou paléo-zone de subduction, et au sud de l'accident sud atlasique (ASA) (fig. 1) dans le domaine mobile de l'orogène pan-africain qui constitue une ceinture autour du craton ouest africain (Hefferan *et al.*, 2000). Le massif est affecté par une phase majeure de déformation panafricaine (B1) datée à 685 ± 15 Ma (Clauer, 1976). Cette phase est caractérisée par la mise en place de massifs de diorites, de diorites quartziques et de granodiorites suivant des couloirs orientés N130 à Bouskour (Nerci, 1988; Ezzouhairi, 1989) et à Boumalne-Dadès (Rjimati *et al.*, 1992). Cette phase est suivie par une phase tardive (B2) d'intensité

INTRODUCTION

The Saghro massif is considered to be a volcanic arc formed during the Neoproterozoic (Saouque, 1992; Benziane and Yazidi, 1992). It is located north of the major Anti-Atlas accident (MAA) or subduction paleo-zone, and south of the South Atlas accident (SAA) (Fig. 1) in the Pan-African belt around the west African craton (Hefferan *et al.*, 2000). The massif is affected by a major stage of Pan-African deformation (B1) dated at 685 ± 15 Myr (Clauer, 1976). This stage is characterised by the formation of diorite, quartz diorite and granodiorite massifs. These massifs are orientated NW-SE in Bouskour (Nerci, 1988; Ezzouhairi, 1989) and in Boulmane-Dades (Rjimati *et al.*, 1992).

This stage is followed by late stage (B2) low intensity grade metamorphism that is responsible for the

faible et sans transformation métamorphique significative qui est responsable de la mise en place de massifs granitiques dans les boutonnières de Bouskour et de l'Ougnat. La boutonnière de Bouskour est plus proche de la zone de subduction que la boutonnière de l'Ougnat. Cette différence de proximité a conduit à la mise en place de deux types de granites d'origines différentes dans les deux sites.

L'objectif de cette note est l'étude comparative des granitoïdes dans les boutonnières de Bouskour et de l'Ougnat par la méthode de la typologie du zircon pour déterminer l'effet de la proximité d'une zone de subduction dans la mise en place des granitoïdes du massif de Saghro.

1. CADRE GEOLOGIQUE

La boutonnière de Bouskour, orientée NW-SE, appartient au système panafricain du Saghro occidental (fig. 2). Elle est formée par une série volcanique et volcano-sédimentaire déposée au Néoprotérozoïque inférieur. Cette série est affectée par une déformation majeure syn-schisteuse orientée NE-SW (Saquaque, 1992; Rjimati *et al.*, 1992), suivie de la mise en place de roches basiques à intermédiaires (gabbro, diorite quartzique et granodiorite à amphibole), alignées suivant une bande NW-SE dont la mise en place est interprétée comme s'étant produite dans des méga-fentes de tension (Ezzouhairi, 1989). Cette activité magmatique est rapportée à un épisode calco-alkalin (Tixeront, 1971; Ezzouhairi, 1989; Nerci, 1988; Nadem, 1995) d'âge Panafricain de 680 Ma (âge Rb/Sr ; Ezzouhairi, 1989). Ces intrusions sont recoupées par un massif de granite à biotite daté à 580 ± 5 Ma (Rb/Sr ; Mrini, 1993).

La boutonnière de l'Ougnat fait partie de l'Anti-Atlas oriental et représente la continuité vers le nord-est de la chaîne de Saghro dont les terrains sont d'âge Néoprotérozoïque (fig. 3). Elle est caractérisée par la présence d'un socle Néoprotérozoïque inférieur formé essentiellement d'une série volcano-sédimentaire en bandes orientées NNE-SSW (Abia, 1991). Cette dernière est intrudée par de petits massifs de diorite quartzique et de granodiorite qui sont à leur tour intrudés par un granite à grenat qui n'affleure qu'à cet endroit dans tout le Saghro.

Selon Abia (1991), Abia *et al.* (1995) et Chouhaidi *et al.* (1995), les granitoïdes de l'Ougnat s'organisent en deux unités géochimiquement différentes et d'origines différentes.

Les données isotopiques (ϵ Ndi) fournies par Mrini (1993) lui permettent d'avancer une même origine essentiellement crustale des deux unités évoluant par différenciation magmatique (voir discussion).

formation of granitic massifs in the exhumed and eroded anticlinal folds of Bouskour and Ougnat. The Bouskour fold is closer to the subduction zone than the Ougnat one. This difference in proximity has led to the formation of two types of granites with different origins at the two sites.

The aim of this study is to compare the exhumed granitoids of Bouskour and Ougnat using the zircon typology method to determine what effect the proximity to the subduction zone had on the formation of the Saghro massif granitoids.

1. GEOLOGICAL SETTING

*The exhumed anticlinal fold in Bouskour, orientated NW-SE, is part of the western Saghro Pan-African system (Fig. 2). It comprises a volcanic and volcano-sedimentary series deposited in the lower Neoproterozoic. This series is affected by a major syn-tectonic schistosity orientated NE-SW (Saquaque, 1992; Rjimati *et al.*, 1992), followed by the generation of basic to intermediate rocks (gabbro, quartz diorite and amphibole granodiorite), lined up along a NW-SE direction, the formation of which is interpreted as having happened in rifts (Ezzouhairi, 1989). This magmatic activity corresponds to a calc-alkaline episode (Tixeront, 1971; Ezzouhairi, 1989; Nerci, 1988; Nadem, 1995) that happened in the Pan-African and is dated at 680 Myr (Rb/Sr; Ezzouhairi, 1989). These intrusions are cut by a biotite granite massif dated at 580 ± 5 Myr (Rb/Sr; Mrini, 1989).*

The Ougnat fold is part of the eastern Anti-Atlas and represents the north-eastern continuation of the Neoproterozoic Saghro ridge (Fig. 3). It is characterised by the presence of a lower Neoproterozoic basement essentially formed of an elongate volcano-sedimentary series orientated NNE-SSW (Abia, 1991). The latter is intruded by some small quartz diorite and granodiorite massifs that are in turn intruded by a garnet granite which only outcrops in that spot of the whole Saghro.

*According to Abia (1991), Abia *et al.* (1995) and Chouhaidi *et al.* (1995), the Ougnat granodiorites are organised into two geochemically different units with different origins.*

The isotopic data (ϵ Ndi) provided by Mrini (1993) allows him to bring forward an essentially similar crustal origin for the two units evolving by magmatic differentiation (see discussion).

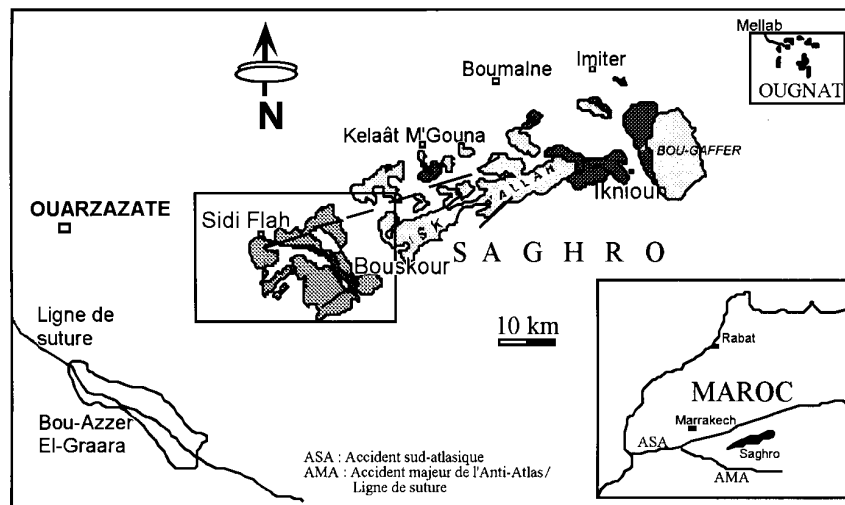


Fig. 1 – Carte de localisation des secteurs étudiés. Situation des différentes intrusions du massif de Saghro par rapport à la ligne de suture ou Accident Majeur de l'Anti-Atlas (AMA) de Bou-Azzer El Graara et de l'Accident Sud Atlasique (ASA).

Fig. 1 – Location map of the studied areas. Location of the different intrusions of the Saghro massif in relation to the suture line or Bou-Azzer El Graara major Anti-Atlas Accident (MAA) and to the South Atlasic Accident (SAA).

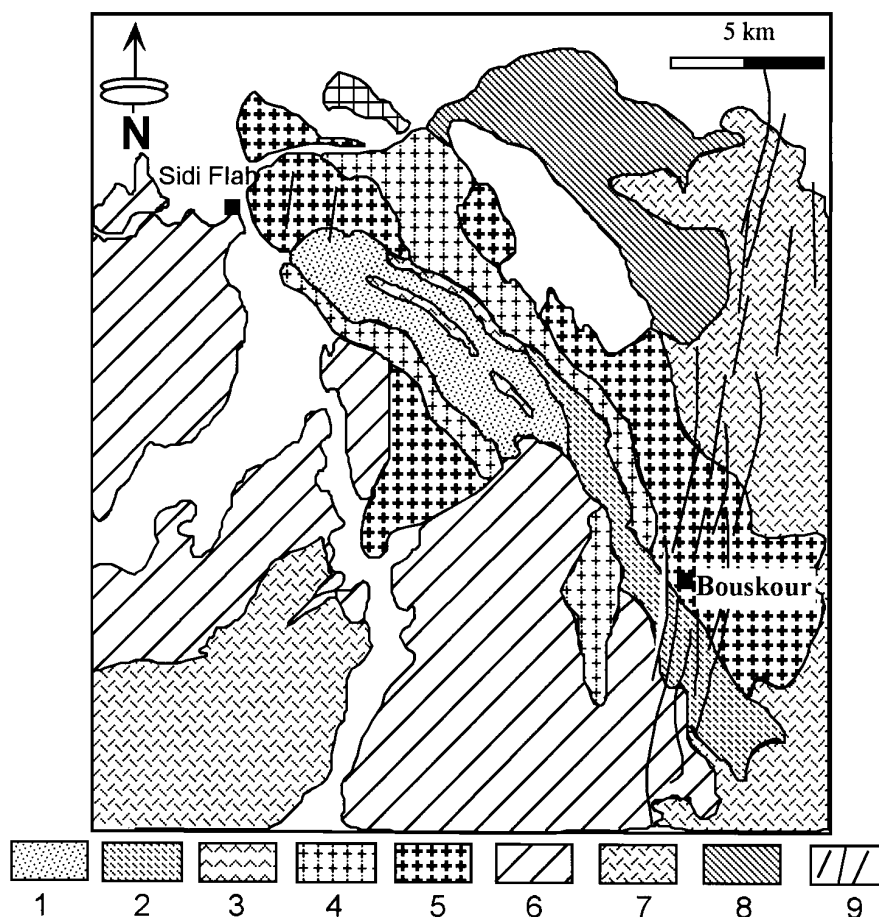


Fig. 2 – Carte géologique de la boutonnière de Bouskour – Bouskour.

1. la série volcanique et volcano-sédimentaire du Néoproterozoïque inférieur; 2. volcanisme basique (andésite); 3. diorite quartzique; 4. granodiorite à amphibole; 5. granite à biotite;
6. intrusion de Skoura-Tamouzirhft; 7. volcanites Néoproterozoïque terminal; 8. microgranite rose; 9. filons de rhyolite de Bouskour.

Fig. 2 – Bouskour geological map – Bouskour.

1. lower Neoproterozoic volcanic and volcano-sedimentary series; 2. basic (andesite) volcanism; 3. quartz diorite; 4. Amphibole granodiorite; 5. biotite granite;
6. Skoura-Tamouzirhft intrusion; 7. late Neoproterozoic pyroclastic rocks; 8. pink microgranite; 9. Bouskour rhyolite sills.

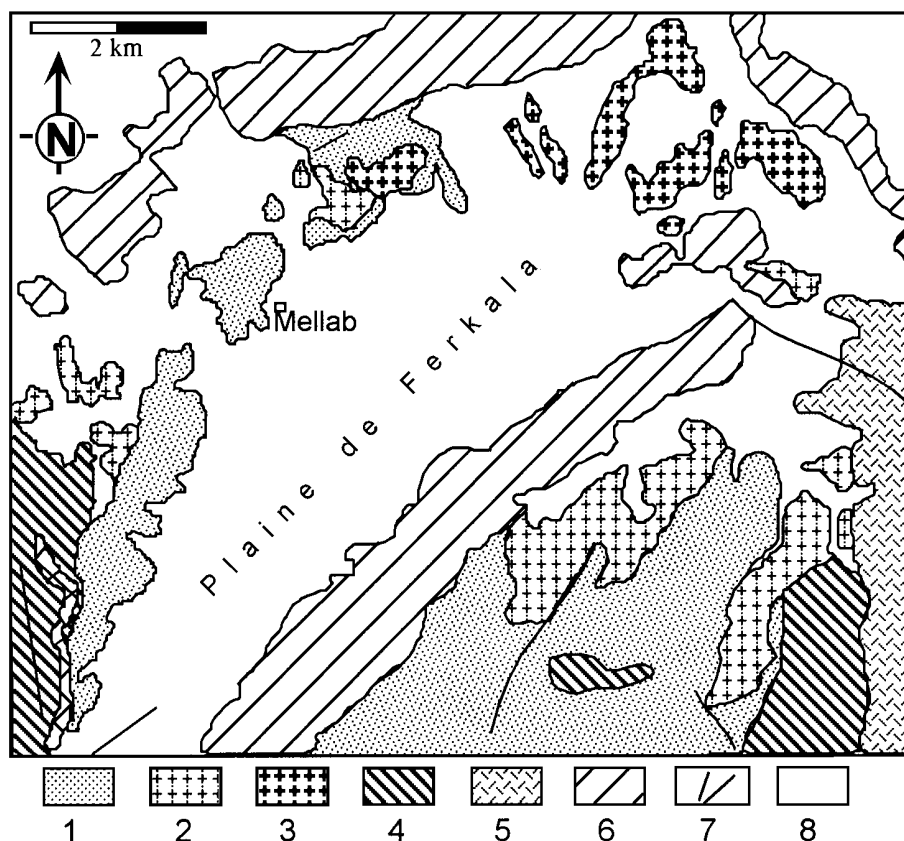


Fig. 3 – Carte géologique de la boutonnière de l'Ougnat.

1. la série volcano-sédimentaire du Néoprotérozoïque inférieur; 2. diorite quartzique et granodiorite; 3. granite à grenat; 4. les corps basiques de l'Ougnat (Gabbro, microdiorite); 5. la couverture volcanique du Néoprotérozoïque supérieur; 6. le Cambrien; 7. failles; 8. les alluvions quaternaires.

Fig. 3 – Ougnat geological map.

1. lower Neoproterozoic volcano-sedimentary series; 2. quartz diorite and granodiorite; 3. garnet granite; 4. Ougnat basic bodies (Gabbro, microdiorite); 5. upper Neoproterozoic volcanic covering; 6. the Cambrian; 7. faults; 8. quaternary alluvium.

2. PETROGRAPHIE

21. Les granitoïdes de Bouskour

La diorite quartzique affleure en bandes ($\cong 10$ m d'épaisseur) allongées suivant la direction N130. Elle est intrusive dans la série volcanique et volcano-sédimentaire du Néoprotérozoïque inférieur. La déformation pénétrative dans la diorite quartzique est orientée NW-SE. La roche possède une couleur vert sombre avec une texture grenue. En bordure, celle-ci devient microgrenue (Pl. 1, Phot. 1). Sa paragenèse primaire contient le plagioclase (50% en volume de la roche, An30-40), l'amphibole (26%) qui est une hornblende verte, le quartz (11%), la biotite (7%), le feldspath potassique (3%) et les minéraux accessoires représentés par des minéraux opaques, apatite, zircon et titanite (Pl. 1, Phot. 2). La paragenèse secondaire est formée de chlorite magnésienne, actinote et épidote. La composition modale reportée dans le diagramme triangulaire Q-A-P (Quartz - Feldspath Alcalin - Plagioclase) de Strekeisen (1976) montre que la roche se situe dans le champ des diorites quartziques (fig. 4a).

2. PETROLOGY

21. Bouskour granitoids

The quartz diorite outcrops in dykes (about 10m thick) elongated NW-SE. It intrudes in the lower Neoproterozoic volcanic and volcano-sedimentary series. The penetrative deformation in the quartz diorite is orientated NW-SE. The rock has a dark green colour with a granular texture. The chilled margin becomes microgranular (Pl. 1, Pict. 1).

Its primary paragenesis contains plagioclase (50% in volume of the rock, An30-40), hornblende (26%) that is a green amphibole, quartz (11%), biotite (7%), K-feldspar (3%) and the secondary minerals include opaque minerals, apatite, zircon, and titanite (Pl. 1, Pict. 2). The secondary paragenesis is formed of magnesian chlorite, actinolite and epidote. The modal composition reported in the Q-A-P (Quartz – Alkaline Feldspar – Plagioclase) triangular diagram by Strekeisen (1976) shows that the rock is situated in the quartz diorite field (Fig. 4a).

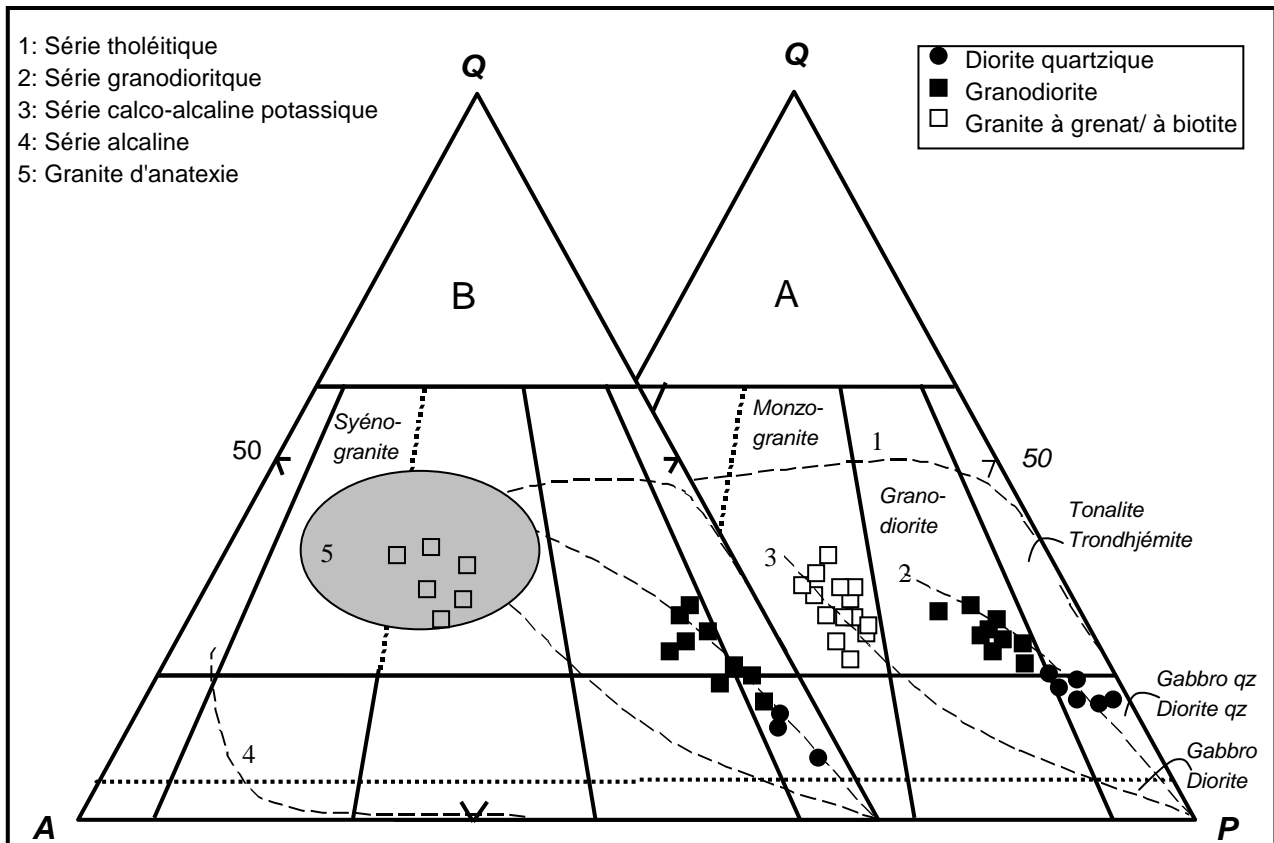


Fig. 4 – Diagramme Q-A-P (Strekeisen, 1976) dans lequel sont reportées les analyses modales des granitoïdes de la boutonnière de Bouskour (A) et ceux de la boutonnière de l'Ougnat (B). Les courbes numérotées représentent les suites magmatiques déterminées par Lameyre et Bowden (1982).

Fig. 4 – Q-A-P diagram (Strekeisen, 1976) in which Bouskour (A) and Ougnat (B) granitoid modal analyses are reported. Numbered curves represent the magmatic series determined by Lameyre and Bowden (1982).

L'affleurement de la granodiorite à amphibole dans le secteur de Bouskour est limité à un couloir NW-SE bordant la série volcanique et volcano-sédimentaire sur une largeur variant entre 1,5 et 3 km. Comme la diorite quartzique, la granodiorite à amphibole développe une auréole de métamorphisme de contact dans la série volcano-sédimentaire du Néoproterozoïque inférieur. Les structures de déformation ainsi que l'allongement des intrusions de la diorite et de la granodiorite, parallèlement aux structures de déformation de la série volcano-sédimentaire, montrent que ces deux unités ont enregistré les traits de la déformation majeure B1.

La granodiorite contient deux types d'enclaves : des xénolithes de pyroxénites interprétées par Ezzouhairi (1989) comme des fragments de la croûte inférieure et de rares enclaves microgrenues sombres. La roche est grenue, de couleur vert sombre. La composition minéralogique moyenne comprend le quartz (22% du volume total de la roche), le plagioclase (49%, An20-25), l'orthose (12%). L'amphibole (10%) est une hornblende verte ; sa transformation en chlorite est marquée par l'alignement des oxydes le long des plans de clivage. La biotite est moins abondante (5%). Ce faciès est très riche en zircon et apatite (Pl. 1, Phot. 3). L'analyse modale permet de la classer parmi les granodiorites (fig. 4a).

The amphibole granodiorite outcropping in the Bouskour area is limited to a 1.5-3km wide NW-SE corridor running alongside the volcanic and volcano-sedimentary series. Like the quartz diorite, the amphibole granodiorite has a contact metamorphic aureole in the lower Neoproterozoic volcano-sedimentary series. The deformation structures as well as the elongate diorite and granodiorite intrusions, parallel to the volcano-sedimentary deformation structures, show that these two units have recorded the major deformation B1 features.

The granodiorite contains two types of inclusions: some pyroxenite xenoliths interpreted by Ezzouhairi (1989) as fragments of the lower crust and some rare dark microgranular intrusions. The rock is granular, and has a dark green colour. The mean mineralogical composition comprises quartz (22% in total volume of the rock), plagioclase (49%, An20-25), orthoclase (12%). The hornblende (10%) is a green amphibole; its transformation into chlorite is marked by the accumulation of the oxides along some cleavage planes. Biotite is less abundant (5%). This facies is zircon and apatite rich (Pl. 1, Pict. 3). The modal analysis allows us to classify it as granodiorite (Fig. 4a).

Le granite à biotite affleure largement dans la bande N et NE de Bouskour ainsi que dans le flanc SW de la boutonnière et se distingue aisément des autres faciès par sa couleur claire. Il est moins déformé que les unités précédentes et montre une altération avancée. Nommé aussi granite de Bouskour, il recoupe la granodiorite à amphibole dont il contient des enclaves. La roche est de couleur gris clair à blanc et sa texture grenue montre parfois une tendance porphyrique. La composition minéralogique moyenne est formée de quartz (29%), d'oligoclase (36%), d'orthose perthitique (26%) et de biotite (7%) (Pl. 1, Phot. 4). Les minéraux accessoires (1,2%) regroupent le zircon, la magnétite, l'apatite, la titanite. Cette composition permet de situer ce granite dans le diagramme Q-A-P dans le champ des monzogranites (fig. 4a).

Les granitoïdes de Bouskour montrent l'existence de deux lignées magmatiques dans le diagramme Q-A-P de Lameyre et Bowden (1982). La diorite quartzique et la granodiorite s'alignent suivant une tendance calco-alkaline moyennement potassique (K-medium calc-alkaline serie) et le granite à biotite semble suivre une lignée calco-alkaline plus potassique (High-K calc-alkaline serie) (fig. 4a).

22. Les granitoïdes de l'Ougnat

Ces intrusions affleurent en petits massifs dispersés n'excédant pas 1 à 3 km² de superficie comparativement aux massifs plurikilométriques de Saghro. Elles forment un arc convexe vers le Nord autour de la plaine de Ferkala (fig. 3).

La diorite quartzique se trouve associée généralement à la granodiorite formant les mêmes pointements. La roche est de couleur vert sombre. Sa minéralogie montre l'abondance d'une hornblende verte (45%) et du labrador (39%) (Pl. 2, Phot. 1). Le quartz, le feldspath potassique et la biotite ne représentent que des quantités faibles. Accessoirement, on trouve l'apatite, le zircon et des oxydes de fer.

La granodiorite affleure en petits pointements au nord-est et au sud-est du village de Mellab. Elle intrude la série volcano-sédimentaire du Néoproterozoïque inférieur. La roche, de couleur gris sombre, contient comme minéraux : andésine-oligoclase (49%), hornblende verte (19%), biotite (8%) et quartz (16%). Le feldspath potassique est faiblement représenté. Le zircon, l'apatite, l'hématite et le sphène représentent les minéraux accessoires. A proximité du granite à grenat, la granodiorite devient très riche en biotite (17%) (Pl. 2, Phot. 2 & 3) ; par contre, l'amphibole devient de plus en plus rare, voire absente (0 à 4%). Elle montre des cristaux de grenat limpides (Pl. 2, Phot. 4) et semblables à ceux du granite à grenat (Pl. 2, Phot. 5 & 6). Ceci suggère une influence du magma acide sur la granodiorite permettant d'avoir par endroit des formes de mélange entre deux liquides contrastés.

Le granite à grenat affleure sous forme de petits massifs fortement arénisés au sud-ouest et au nord-est du village de Mellab. Il est intrusif dans la granodiorite et en contient des xénolithes. Il s'agit d'une roche grenue et

The biotite granite largely outcrops in the N and NE Bouskour strip as well as in the SW side of the exhumed anticlinal fold and is easily distinguished from the other facies thanks to its light colour. It is less deformed than the precedent units and shows an advanced alteration. Called Bouskour's granite too, it cuts the amphibole granodiorite, of which it contains some intrusions. The rock has a light grey to white colour and its granular texture sometimes shows a porphyritic nature. The average mineralogical composition comprises quartz (29%), oligoclase (36%), perthitic orthoclase (26%) and biotite (7%) (Pl. 1, Pict. 4). The secondary minerals (1.2%) are zircon, magnetite, apatite and the titanite. This composition is located in the monzogranite field of the Q-A-P diagram (Fig. 4a).

Bouskour's granitoids show that two rock suites exist in the Lameyre and Bowden (1982) Q-A-P diagram. Quartz diorite and granodiorite correlate with a moderately potassic calc-alkaline trend (K-medium calc-alkaline series) and biotite granite seems to follow a highly potassic calc-alkaline trend (High-K calc-alkaline series) (Fig. 4a).

22. Ougnat granitoids

These intrusions outcrop in small dispersed massifs with areas not exceeding 1 to 3Km², in comparison with other larger massifs of Saghro. They form a convex arc to the North around Ferkala's plain (Fig. 3).

The quartz diorite is generally associated with the granodiorite that forms part of the same outcrops. The rock is dark green. Its mineralogy includes both the green amphibole (45%) and labradorite (39%) (Pl. 2, Pict. 1). Quartz, K-feldspar and biotite only represent small quantities. Secondarily, apatite, zircon and some iron oxides can also be found.

The granodiorite is exposed in small outcrops north-east and south-east of Mellab village. It intrudes the lower Neoproterozoic volcano-sedimentary series. The rock is dark grey and contains minerals such as: andesine-oligoclase (49%), green amphibole (19%), biotite (8%) and quartz (16%). K-feldspar is weakly represented. Zircon, apatite, hematite and sphene are the secondary minerals. Close to garnet granite, granodiorite becomes enriched in biotite (17%) (Pl. 2, Picts. 2 & 3); however, the amphibole content decreases (0 to 4%). It shows clear garnet crystals (Pl. 2, Pict. 4) similar to the garnet granite ones (Pl. 2, Picts. 5 & 6). This suggests that the acid magma influences the granodiorite leading in places to the formation of mixtures between two liquids with some contrasts.

The garnet granite outcrops in the form of weathered massifs south-west and north-east of Mellab village. It intrudes the granodiorite and contains granodiorite xenoliths. It is a granular, leucocratic and pink spotted

leucocrate tachetée de rose. Sa minéralogie comprend le quartz (31%), l'orthose (36%), l'albite (28%) et le grenat (2%). La biotite, le zircon, l'apatite et les minéraux opaques sont rares (Pl. 2, Phot. 7).

Le diagramme Q-A-P permet de classer ces roches respectivement parmi les diorites quartziques, les granodiorites et les monzogranites (fig. 4b). En terme de lignée magmatique, le diagramme Q-A-P de Lameyre et Bowden (1982) met en jeu une discontinuité entre la diorite quartzique/granodiorite et le granite à grenat. Les premières s'alignent suivant une évolution calco-alkaline granodioritique (K-medium calc-alkaline serie) alors que le granite à grenat est situé dans le domaine des granites d'anatexie (fig. 4b).

3. TYPOLOGIE DU ZIRCON

La méthode de la typologie du zircon, décrite dans plusieurs travaux antérieurs (Pupin & Turco, 1972; Pupin, 1980; 1997), est basée sur le développement relatif des faces prismatiques (indice T) et pyramidales (indice A) des cristaux (fig. 5). L'application de la méthode aux roches plutoniques tend à fournir des informations sur la pétrogenèse, les relations génétiques et l'origine des termes considérés (Pupin et Turco, 1981; Schermaier *et al.*, 1992). Les leucogranites d'origine anatectique possèdent des indices A et T faibles ; par contre les granites d'origine mantellique ont des indices A et T élevés. Les granites orogéniques issus d'une hybridation croûte-manteau se placent en position intermédiaire. Des études plus récentes sur la géochimie et la structure interne du zircon (Vavra *et al.*, 1999; Pupin, 1997; Nasdala *et al.*, 1999; Hoskin, 2000; Hoskin *et al.*, 2000; Caironi *et al.*, 2000) mettent l'accent sur la nécessité de prendre en compte la croissance du cristal depuis la première germination pour la détermination des nuclei hérités des phases magmatiques antérieures (Pupin, 1997).

31. Les granitoïdes de Bouskour

311. La diorite quartzique

Elle contient des cristaux de zircon généralement sub-automorphes, légèrement jaunâtres et limpides sans surcroissance ni excroissance. Les inclusions présentes sont variées (tabl. 1). Les cristaux rencontrés ne présentent pas de groupements ni de noyaux reliques. Ils sont légèrement zonés et ne présentent pas de gradins de croissance. Les lacunes sont abondantes surtout les lacunes de surface. Les cristaux sont fortement fracturés. L'élongation moyenne des cristaux non fracturés est de 1,54. Les populations moyennes de zircon de quatre échantillons sont étalées avec un développement préférentiel du prisme {100} alors que les pyramides {211} et {101} sont presque à égalité. Elles sont concentrées autour d'un noyau (maximum statistique) de forte fréquence S17-18 (fig. 5) (Pl. 1,

rock. Its mineralogy comprises quartz (31%), orthoclase (36%), albite (28%) and garnet (2%). Biotite, zircon, apatite and opaque minerals are rare (Pl. 2, Pict. 7).

The Q-A-P diagram allows us to classify these rocks amongst the quartz diorites, granodiorites and monzogranites respectively (Fig. 4b). In terms of the rock suite, the Lameyre and Bowden Q-A-P diagram (1982) includes a discontinuity between the quartz diorite/granodiorite and the garnet granite. The first one lines up according to a granodioritic calc-alkaline evolution (K-medium calc-alkaline series) whereas the garnet granite is located in the ultrametamorphic granite domain (Fig. 4b).

3. ZIRCON TYPOLOGY

*The zircon typology method, described in several previous works (Pupin and Turco, 1972; Pupin, 1980; 1997), is based on the prismatic (T index) and pyramidal (A index) crystals faces relative development (Fig. 5). The method application to the plutonic rocks tends to provide some information on the petrogenesis, genetic relations and origin of the terms considered (Pupin and Turco, 1981; Schermaier *et al.*, 1992). The anatectic leucogranites have low A and T index; however, the mantle derived granites have high A and T index. The orogenic granites are intermediates resulting from crust-mantle hybridisation. Recent studies on the zircon geochemistry and internal structure (Vavra *et al.*, 1999; Pupin, 1997; Nasdala *et al.*, 1999; Hoskin, 2000; Hoskin *et al.*, 2000; Caironi *et al.*, 2000) insist on the necessity to account for the crystal growth from the first nucleation for the determination of the nuclei inherited from the initial magmatic stages (Pupin, 1997).*

31. Bouskour granitoids

311. Quartz diorite

It contains some zircon crystals generally subhedral, slightly yellow and clear without any overgrowth or outgrowth. The existing inclusions are various (table 1). The crystals found do not show any aggregates or relic nuclei. They are slightly zoned and do not present any growth rings. The gaps are abundant especially the surface ones. The crystals are highly fractured. The average elongation of the non-split crystals is 1.54. The mean zircon populations from four samples are spread out with a {100} crystal face prism preferential development whereas the {211} and {101} pyramids are almost equals. They are concentrated around a high frequency core (statistic maximum) S17-18 (Fig. 5) (Pl. 1, Pict. 5 & 7).

Phot. 5 & 7).

Tableau 1 – Abondance des inclusions (%), des différents types (%) et les valeurs de l'élongation (longueur/largeur) des cristaux de zircon des plutonites de Bouskour, ainsi que le nombre de zircons étudiés dans chaque faciès.

Table 1 – Inclusions (%) and different types (%) abundance and elongation (length, width) value of the Bouskour plutons zircon crystals, as well as the number of zircons studied in each facies.

| | Diorite quartzique | Granodiorite à amphibole | Granite à biotite |
|---------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| Inclusions solides | 64 | 13 | 17 |
| Inclusions cristallisées | 36 | 74 | 70 |
| Inclusions fluides | 0 | 13 | 13 |
| Type S | 96 | 88 | 76 |
| U | 2 | 7 | 10 |
| P | 2 | 3 | 10 |
| T | 0 | 0 | 2 |
| J | 0 | 1 | 1 |
| D | 0 | 1 | 1 |
| Elongation | 1,54 | 1,70 | 1,93 |
| Nombre de zircons étudiés | 297 | 772 | 740 |

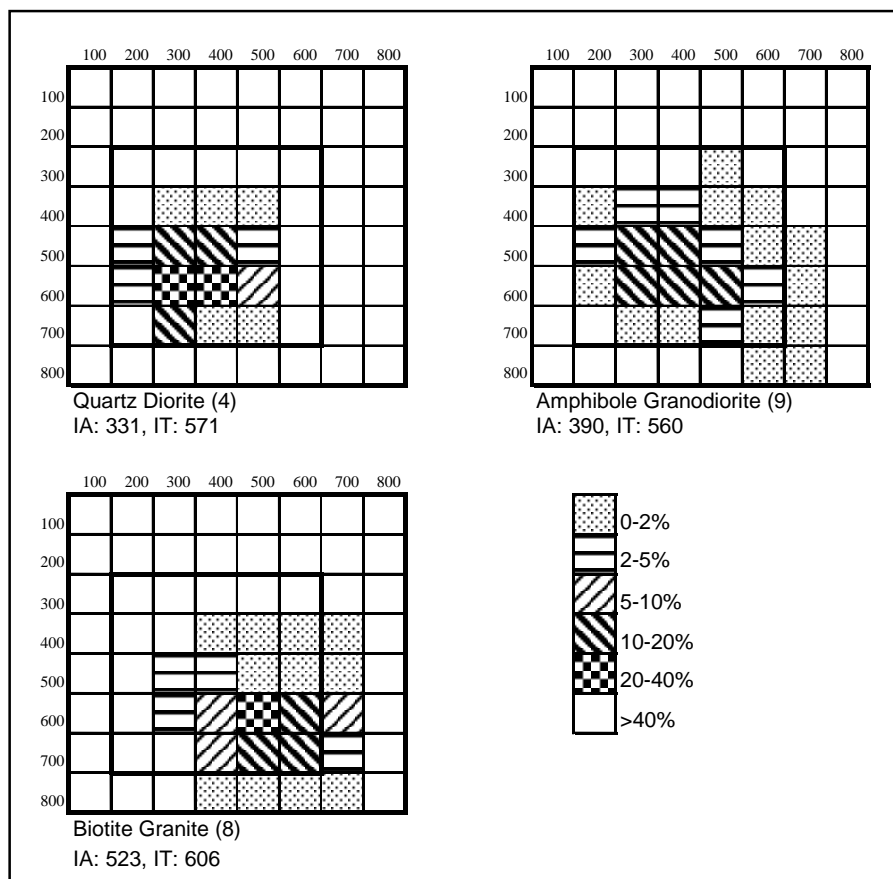


Fig. 5 – Distribution typologique moyenne des populations de zircon des granitoïdes de Bouskour.

Les valeurs moyennes des indices A et T sont reportées en marge de chaque grille. (n) représente le nombre d'échantillons avec en moyenne 80 à 100 zircons analysés par échantillon. Chaque grille correspond à la distribution moyenne du nombre (n) d'échantillons de chaque type de roche.

Fig. 5 – Average typological distribution of Bouskour granitoid zircon populations.

A and T index mean values are reported on the side of each grid. (n) represents the number of samples with a mean of 80 to 100 zircons analysed per samples. Each grid corresponds to the mean distribution of (n) number of samples in each type of rock.

312. La granodiorite à amphibole

312. Amphibole granodiorite

Elle est très riche en zircons de forme automorphe, généralement incolores avec parfois, des cristaux bruns. Les inclusions cristallisées sont abondantes (tabl. 1). Les groupements sont multiples, impliquant plusieurs individus en éventail. Les surcroissances sont rares (dépôt de surface, surcroissances sommitales). Les cristaux présentent parfois des noyaux bulleux ou opaques avec une abondance des lacunes et des gradins de croissance entraînant une zonation des cristaux. L'élongation moyenne des cristaux non fracturés est de 1,7. Les populations de zircon de neuf échantillons sont très étalées autour d'un noyau de forte fréquence élargi S12-13-18 (fig. 5) (Pl. 1, Phot. 6). Cette répartition est semblable à celle des populations de zircon de la diorite quartzique.

313. Le granite à biotite

Les cristaux de zircon sont automorphes à subautomorphes, zonés et à surcroissance très développée et épaisse. Cette surcroissance peut être sommitale, unilatérale ou totale. Les cristaux sont généralement bruns, parfois sombres, contenant des inclusions variées et des lacunes. Les cristaux de ce granite montrent des groupements variés, prismatiques, pyramidaux et obliques (Pl. 1, Phot. 9). Les excroissances sont abondantes et le cœur des cristaux peut être formé de bulles ou de fragments sombres.

It is very rich in euhedral zircons, generally colourless with some brown crystals. Crystallised inclusions are abundant (table 1). There are multiple groups, involving several fan-shaped individuals. The overgrowths are rare (surface deposit, outer overgrowth). The crystals sometimes show vuggy or opaque cores with abundant gaps and growth rings resulting in the crystals zonation. The average elongation of the non-fractured crystals is 1.7. The zircon populations from nine samples are highly variable with the majority having enlarged cores S12-13-18 (Fig. 5) (Pl. 1, Pict. 6). This distribution is similar to the quartz diorite zircon population one.

313. Biotite granite

The zircon crystals are euhedral to subhedral, zoned and with a highly developed and thick overgrowth. This overgrowth can be summital, unilateral or total. The crystals are generally brown, sometimes dark, containing various inclusions and vugs. The granite zircon crystals show various habits, prismatic, pyramidal and oblique (Pl. 1, Pict. 9). The outgrowths are abundant and the crystal nuclei can be formed of bubbles or dark fragments.

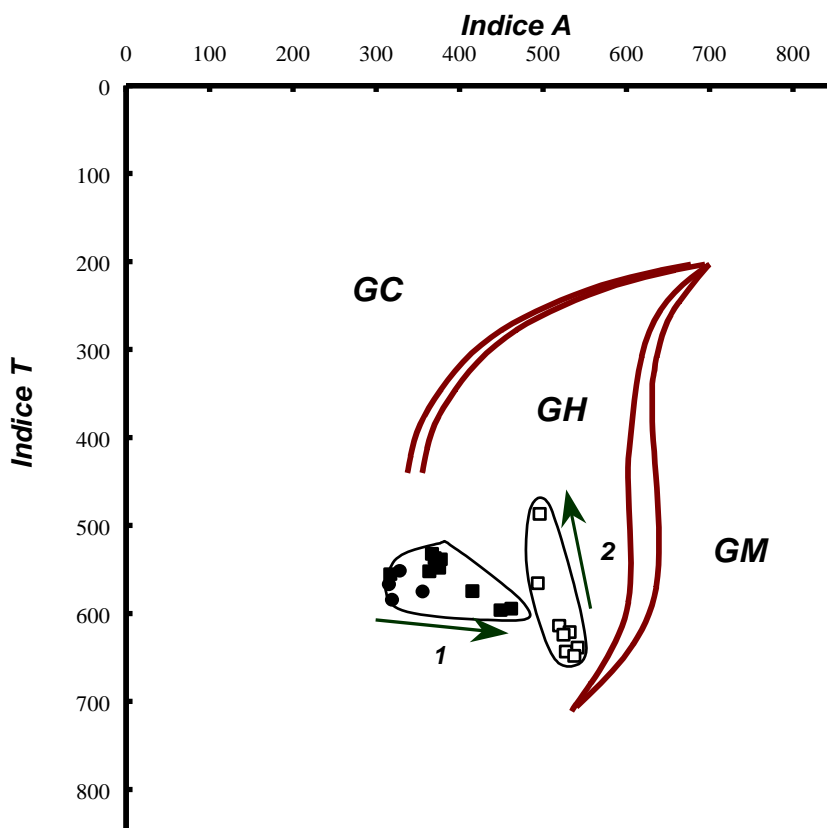


Fig. 6 – Position des points moyens (A, T) des populations de zircons des granitoïdes de Bouskour dans le diagramme (IA-IT).

(1) la suite granodioritique, (2) la suite granitique. **GC** : domaine des granites crustaux, **GH** : domaine des granites hybrides (croûte-manteau), **GM** : domaine des granites mantelliques. Nominations des champs (Pupin, 1988).

Fig. 6 – Bouskour granitoid zircon population mean (A, T) points position in the diagram (IA – IT).

(1) granodioritic series, (2) granitic series. **GC**: crustal granites domain, **GH**: hybrid (crust-mantle) granites domain, **GM**: mantle derived granites domain. Fields nomination (Pupin, 1988).

L'élongation moyenne des cristaux non fracturés est de 1,93. Les populations de zircon ont donné une distribution typologique moyenne peu étalée avec une concentration autour d'un noyau de forte fréquence S19 (fig. 5) (Pl. 1, Phot. 8).

Dans le diagramme typologique (A, T), les granitoïdes de Bouskour occupent le domaine des granites hybrides calco-alcalins (fig. 6).

32. Les granitoïdes de l'Ougnat

321. La diorite quartzique

Elle présente des zircons subautomorphes (fragmentés) à automorphes, légèrement colorés en brun jaune, zonés et renfermant des inclusions solides et cristallisées (tabl. 1). Les groupements de cristaux et les surcroissances zonaires sont rares. L'élongation moyenne des cristaux de zircon de la diorite quartzique est de 1,86 (tabl. 2). Les populations de zircon sont peu étalées et oscillent autour du noyau de forte fréquence S18, S18-19 (fig. 7) (Pl. 2, Phot. 8-11). Le tableau 2 donne l'abondance des types.

322. La granodiorite

La granodiorite à amphibole possède des cristaux de zircon automorphes, incolores et sans noyaux reliques. Les surcroissances sommitales sont rares. Les cristaux sont zonés, faiblement fracturés et riches en gradins concentriques. Les groupements sont de type prismatique. L'élongation moyenne des cristaux de zircon de la granodiorite à amphibole est de 1,90 (tabl. 2). La distribution des populations de zircon est identique à celle des populations de la diorite quartzique. Elle montre un noyau de forte fréquence S18-19 avec apparition des sous-types plus alcalins S20 et S25 (fig. 7) (Pl. 2, Phot. 13).

Les cristaux de zircon de la granodiorite à biotite (faciès côtoyant le granite à grenat) montrent des différences notables par rapport à ceux de la granodiorite à amphibole. Ils sont automorphes, légèrement colorés et fortement zonés. Les inclusions vitreuses sont plus abondantes que dans les roches précédentes (tabl. 2). Les surcroissances zonaires sont développées et peuvent englober totalement le minéral. Les cristaux montrent des associations en deux ou trois individus à axes *c* parallèles. Les nuclei reliques ont des formes allongées induisant ainsi des cristaux néoformés à élongation plus élevée $E = 2,3$ (Pupin, 1997). Les populations de zircon de ce faciès montrent des noyaux S7-12 (fig. 7) (Pl. 2, Phot. 14, 15, 19 & 20).

323. Le granite à grenat

Il montre des cristaux de zircon incolores à rosâtres, faiblement zonés et très riches en inclusions par rapport aux zircons des roches précédentes (Pl. 2, Phot. 16). Les groupements prismatiques, les surcroissances jaune brun et à structure zonaire, les noyaux de forme allongée et les gradins sont abondants. La moyenne de l'élongation de

The average elongation of these non-fractured crystals is 1.93. The zircon populations have given a mean typological distribution little spread out with a concentration around a high frequency nucleus S19 (Fig. 5) (Pl. 1, Pict. 8).

In the typological (A, T) diagram, Bouskour granitoids occupy the calc-alkaline hybrid granites domain (Fig. 6).

32. Ougnat granitoids

321. Quartz diorite

It shows subhedral (fragmented) to euhedral zircons, slightly yellow brown coloured, zoned and containing solid and crystallised inclusions (table 1). The zircon grouping and zonal overgrowths are rare. The quartz diorite zircon crystals mean elongation is 1.86 (table 2). The zircon populations cluster around the high frequency core S18, S18-19 (Fig. 7) (Pl. 2, Pict. 8-11). The types abundance is given in table 2.

322. Granodiorite

The amphibole granodiorite has euhedral zircon crystals, colourless and without any relic cores. The outer overgrowths are rare. The crystals are zoned, poorly fractured and concentric steps rich. The habits are prismatic ones. The amphibole granodiorite zircon crystals mean elongation is 1.90 (table 2). The zircon population distribution is identical to the quartz diorite. It shows a high frequency core S18-19 with the appearance of the alkaline sub-types S20 and S25 (Fig. 7) (Pl. 2, Pict. 13).

*The biotite granodiorite zircon crystals (facies close to the garnet granite) show noticeable differences compared to the amphibole granodiorite ones. They are euhedral, slightly coloured and highly zoned. The hyaline inclusions are more abundant than in the previous rocks (table 2). The zonal overgrowths are developed and can totally include the mineral. The crystals show some two or three individuals associations parallel to *c* axes. The relic nuclei take elongated forms thus implying neogenic crystals with higher elongation $E = 2.3$ (Pupin, 1997). The facies zircon populations show some nuclei S7-12 (Fig. 7) (Pl. 2, Pict. 14, 15, 19 & 20).*

323. Garnet granite

It shows some colourless to pinkish zircon crystals, weakly zoned and very rich in inclusions compared to the zircons of the previous rocks (Pl. 2, Pict. 16). The prismatic groups, the brown-yellow and with zonal structures overgrowths, the elongated cores and the steps are abundant. The mean elongation of seven zir-

sept populations de zircon donne une valeur de 2,85. La distribution typologique des types et sous-types montre l'apparition du sous-type L1 alors que le type S reste largement dominant (tabl. 2). Le noyau de forte fréquence des populations de zircon dans le granite à grenat est partagé entre les sous-types S1, S2 et S7 (fig. 7) (Pl. 2, Phot. 12, 17 & 18).

con populations gives a value of 2.85. The typological distribution of the types and sub-types show the appearance of the L1 sub-type whereas the S type is largely dominant (table 2). The high frequency core of the zircon populations in garnet granite is parted between the S1, S2 and S7 sub-types (Fig. 7) (Pl. 2, Pict. 12, 17 & 18).

Tableau 2 – Abondance des inclusions (%), des différents types (%) et les valeurs de l'élongation des cristaux de zircon des plutonites de l'Ougnat.
Table 2 – Inclusions (%) and different types (%) abundance and elongation value of the Ougnat plutons zircon crystals.

| | Diorite quartzique | Granodiorite à amphibole | Granodiorite à biotite (faciès de bordure) | Granite à grenat |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------|--|------------------|
| Inclusions cristallisées | 85 | 78 | 68 | 55 |
| Inclusions solides | 11 | 14 | 21 | 25 |
| Inclusions fluides | 4 | 7 | 11 | 20 |
| Type S | 92 | 85 | 99,5 | 97 |
| U | 3 | 11 | 0,5 | 1 |
| J | 5 | 3 | 0 | 0 |
| N | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Elongation | 1,86 | 1,90 | 2,30 | 2,85 |
| Nombre de zircons étudiés | 274 | 445 | 644 | 634 |

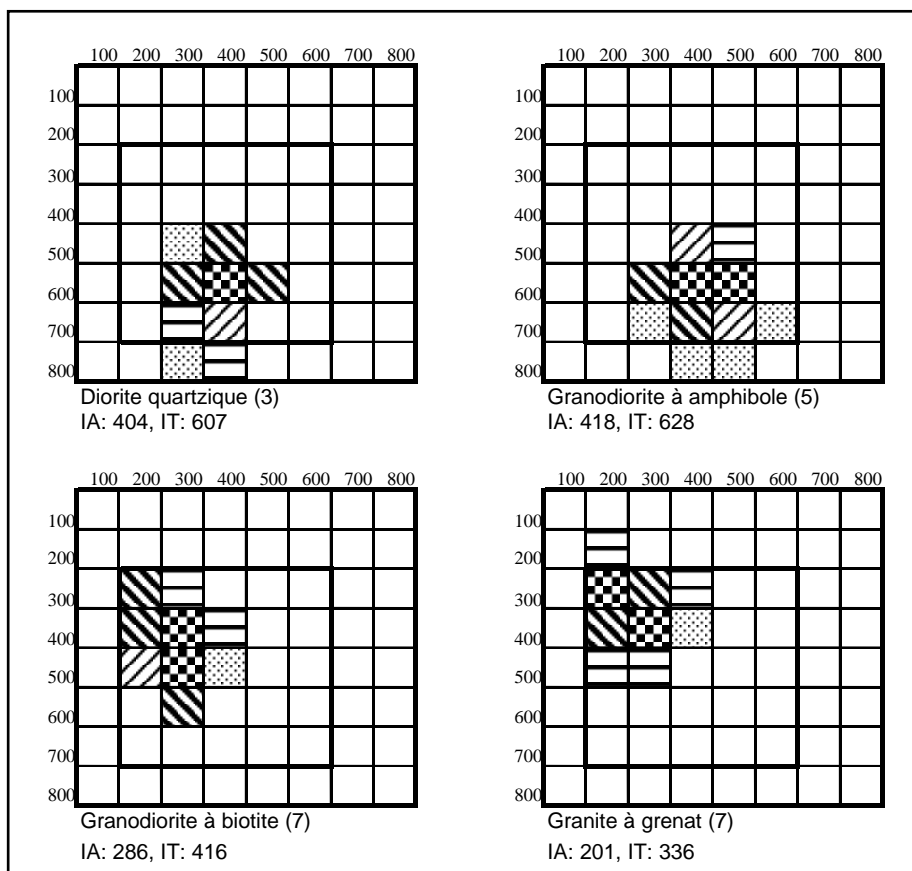


Fig. 7 – typologique

Distribution moyenne des

populations de zircon des granitoïdes de l'Ougnat. Les valeurs moyennes des indices A et T sont reportées en marge de chaque grille. (n) nombre d'échantillons. Même distribution que la figure 4.

Fig. 7 – Ougnat granitoid zircon population average typological distribution. A and T index mean values are reported on the side of each grid. (n) number of samples. Same distribution as figure 4.

La diorite quartzique et la granodiorite se placent dans le diagramme typologique (A, T), dans le domaine des granites hybrides calco-alkalins alors que le granite à grenat occupe le domaine des granites crustaux (fig. 8).

Quartz diorite and granodiorite are found in the calc-alkaline hybrid granites domain in the typological (A, T) diagram whereas garnet granite occupies the crustal granites domain (Fig. 8).

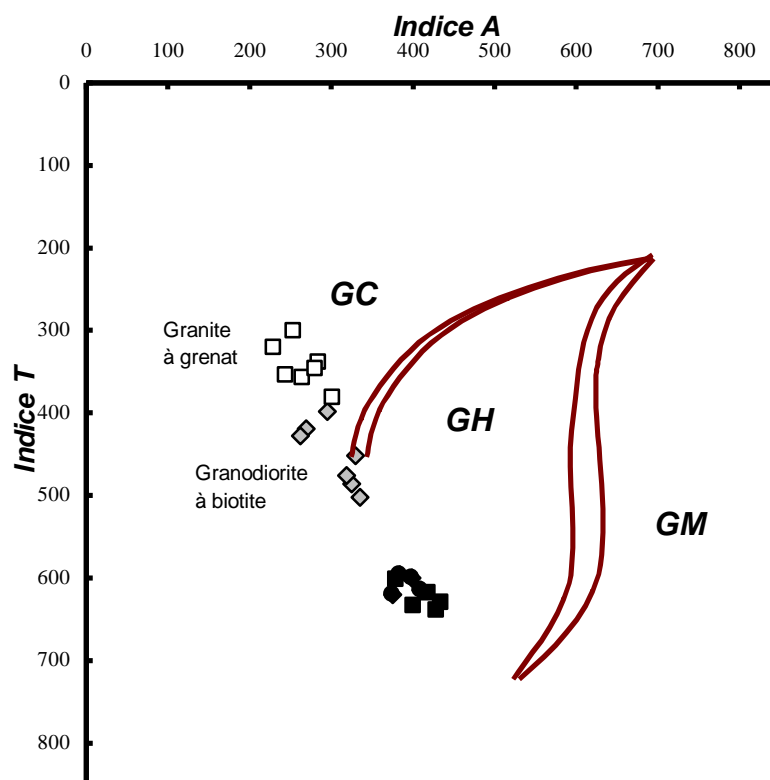


Fig. 8 – Position des points moyens (A, T) des populations de zircons des granitoïdes de l'Ougnat dans le diagramme (IA-IT). Même légende que la figure 4. Losange grisé : granodiorite à biotite qui résulte de l'influence du magma acide.

Fig. 8 – Ougnat granitoid zircon population mean (A, T) points position in the diagram (IA – IT). Same legend as figure 4. Grey diamond: biotite granodiorite resulting from the acid magma influence.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Le massif de Saghro est considéré comme un arc volcanique d'âge Néoprotérozoïque (Saquaque *et al.*, 1992; Benziane et Yazidi, 1992) sous lequel plonge une croûte océanique en subduction vers le Nord (Saquaque, 1992).

Les travaux récents sur les séries volcano-sédimentaires du Néoprotérozoïque inférieur de Kelaât Mgouna (Fekkak *et al.*, 1999; 2000), d'Imiter (Ouguir *et al.*, 1996) et dans l'intrusion de Tagmout au sud de Saghro (Mokhtari *et al.*, 1995) montrent l'existence d'un rift continental immature au sein de Saghro indiquant la présence d'une croûte continentale et par conséquent une marge active. L'accident majeur de l'Anti-Atlas représentant la ligne de suture a joué le rôle d'une zone de subduction. Perpendiculairement à cette zone, une importante activité magmatique s'est manifestée tout au long de Saghro et Ougnat avec mise en place de plusieurs intrusions : Skoura, Bouskour, Kelaât Mgouna, Imiter, Iknioun et Mellab. Les intrusions de Bouskour et de l'Ougnat représentent les plutonites proximale et distale des intrusions de Saghro par rapport à la zone de subduction de Bou-Azzer El Graara. A

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

*The Saghro massif is considered to be a Neoproterozoic volcanic arc (Saquaque *et al.*, 1992; Benziane and Yazidi, 1992) underneath which an oceanic crust in subduction towards the North dives (Saquaque, 1992).*

*The recent works on Kelaat Mgouna (Fekkak *et al.*, 1999, 2000) and the Imiter (Ouguir *et al.*, 1996) lower Neoproterozoic volcano-sedimentary series and in the Tagmout intrusion, South of Saghro, (Mokhtari *et al.*, 1995) show the existence of an immature continental rift within Saghro indicating the presence of a continental crust and therefore an active margin. The major Anti-Atlas accident representing the suture line played the role of a subduction zone.*

Perpendicular to this zone, an important magmatic episode took place alongside the Saghro and Ougnat with the formation of several intrusions: Skoura, Bouskour, Kelaat Mgouna, Imiter, Iknioun and Mellab. Bouskour and Ougnat represent Saghro plutonic intrusions proximal and distal in relation to Bou-Azzer El Graara subduction zone. Petrographic studies and

travers l'étude pétrographique et la typologie de zircon de ces intrusions, nous avons constaté que les granitoïdes suivent trois tendances évolutives :

- les diorites quartziques et les granodiorites s'alignent suivant une tendance calco-alkaline moyennement potassique. Les populations de zircon des diorites quartziques montrent une forte fréquence dans les sous-types S17-18 induisant un indice A faible (391) et un indice T élevé (585). Les granodiorites à amphibole montrent des populations de zircon à étalement identique à celui des populations des diorites quartziques avec apparition des sous-types D, J5, P4 et P5. Ceci favorise une augmentation de l'indice A tandis que l'indice T est peu variable. La migration vers des indices A plus élevés est marquée depuis les diorites quartziques jusqu'aux granodiorites à amphibole par un enrichissement du milieu en alcalins. Ces roches forment une série calco-alkaline moyennement potassique ou granodioritique (fig. 6 et 8).
- Le granite à biotite de Bouskour montre des populations de zircon à dominance du sous-type S19 impliquant un indice A et T élevés (respectivement 520 et 620) avec expression nette des types P, D et J. Les points moyens (A, T) et la T.E.T. permettent de classer le granite à biotite parmi les granites hybrides croûte-manteau impliquant une suite calco-alkaline plus riche en alcalins que la suite précédente. Ce granite cristallise dans un milieu plus riche en alcalins et son évolution se traduit par une diminution de l'indice T alors que l'indice A reste sensiblement constant. Il s'aligne dans le diagramme (A, T) suivant une tendance calco-alkaline potassique (fig. 9 T.E.T.) (Pupin, 1988) et montre un enrichissement en potassium.
- Le granite à grenat de l'Ougnat est engendré par une anatexie crustale provoquée par la montée et la mise en place des corps basiques associés. Il montre des cristaux de zircon à développement de la pyramide {211} et du prisme {110} qui conduit à l'apparition des sous-types S1, S2, S6 et S7 impliquant des indices A et T faibles. Le report de ces indices dans le diagramme (A, T) ainsi que les T.E.T. (fig. 9) permettent de classer le granite à grenat, en absence d'enclaves microgrenues et de structures migmatitiques, parmi les leucogranites alumineux d'origine crustale allochtones, et non pas autochtones.

Les intrusions du Néoproterozoïque des boutonnières de Bouskour et de l'Ougnat comportent principalement des diorites quartziques, des granodiorites à amphibole d'origine hybride et qui suivent des tendances calco-alkalines (El Baghdadi *et al.*, 1999, 2001; Saadan, 1993; Nadem, 1995; Benharref, 1991; Camara, 1993; Ait Isha, 1996; Abia, 1991; Ezzouhairi, 1989). Aucune boutonnière autre que celle de l'Ougnat ne montre l'affleurement d'un granite à *grenat* d'origine purement crustale.

zircon typology reveal that the granitoids follow three evolutionary trends:

- *quartz diorites and granodiorites line up following a medium potassic calc-alkaline trend. The quartz diorite zircon populations cluster in the sub-types S17-18 implying a low A index (391) and a high T index (585). Amphibole granodiorites show some zircon populations with spreading identical to the quartz diorites populations with the appearance of sub-types D, J5, P4 and P5. This favours an increase of the A index whereas the T index does not vary much. The migration towards a higher A index is marked from the quartz diorites to the amphibole granodiorites by alkaline enrichment of the environment. These rocks form a granodioritic or medium potassic calc-alkaline series (Fig. 6 and 8).*
- *Bouskour biotite granite shows zircon populations with dominant S19 sub-type implying high A and T indexes (520 and 620 respectively) with the type P, D and J clearly expressed. The mean points (A, T) and the T.E.T. allow us to classify the biotite granite among the crust-mantle hybrid granites implying a more alkaline rich calc-alkaline series than the previous one. This granite crystallised in an alkaline rich environment and its evolution is illustrated by a decrease of the T index whereas the A index stays about constant. It lines up according to a potassic calc-alkaline trend in the (A, T) diagram (Fig. 9 T.E.T.) (Pupin, 1988) and shows a potassium enrichment.*
- *Ougnat garnet granite results from crustal ultra-metamorphism caused by the rise and generation of associated basic bodies. It shows zircon crystals with pyramidal {211} and prismatic {110} faces that lead to the appearance of the S1, S2, S6 and S7 sub-types implying low A and T indexes. By reporting these indexes in the (A, T) diagram as well as the T.E.T. (Fig. 9) it is possible to classify the garnet granite, in the absence of microgranular inclusions and migmatitic structures, among the crustal originating aluminous allochthonous leucogranites, and not autochthonous ones.*

*The Neoproterozoic Bouskour and Ougnat intrusions essentially comprise quartz diorites and amphibole granodiorites of a hybrid origin that follow calc-alkaline trends (El Baghdadi *et al.*, 1999, 2001; Saadan, 1993; Nadem, 1995; Benharref, 1991; Camara, 1993; Ait Isha, 1996; Abia, 1991; Ezzouhairi, 1989). Only Ougnat shows outcrops of the garnet granite which has a purely crustal origin.*

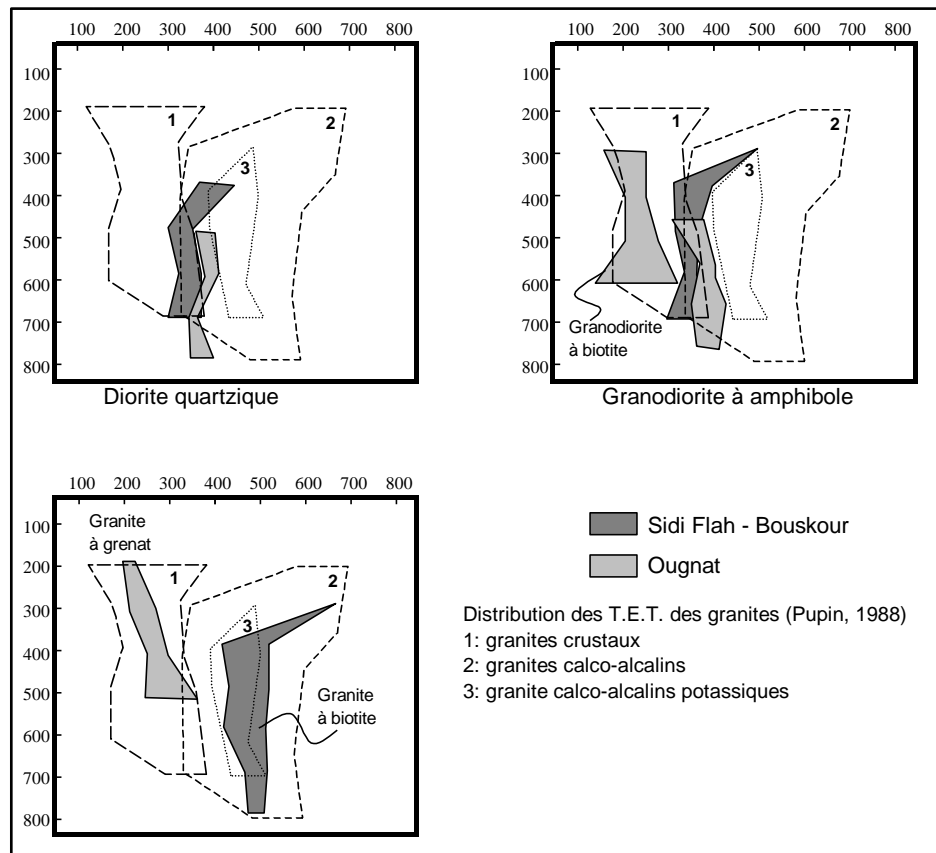


Fig. 9 – Position des tendances d'évolution typologique T.E.T. des populations de zircon des granitoïdes de la boutonnière de Bouskour et de l'Ougnat. Les domaines des T.E.T. des granites anatectiques, calco-alcalins et calco-alcalins potassiques (Pupin, 1988) sont reportés à titre de comparaison.

Fig. 9 – Bouskour and Ougnat granitoid zircon populations typological T.E.T. evolution trend positions. Potassic calc-alkaline, calc-alkaline and anatectic granite T.E.T.Y. domains (Pupin, 1988) are reported for comparison.

Dans la boutonnière de Bouskour (la plus proche de la zone de suture à Bou-Azzer El Graara), affleure un granite leucocrate à biotite dont la géochimie (Nadem, 1995; Ezzouhairi, 1989), la minéralogie, la typologie du zircon, la géochimie et les données isotopiques (Mrini, 1993) le définissent comme d'origine mantellique avec une forte participation crustale. Il appartient à une série calco-alcaline potassique (El Baghdadi *et al.*, 2002). Les données isotopiques du Néodyme du granite à biotite de Bouskour montrent que la valeur de ϵNdi est comprise entre -1,8 et -2,4 et celle du granite à grenat de l'Ougnat est égale à -4,5 (Mrini, 1993). Cette variation montre que le composant crustal augmente depuis Bouskour jusqu'à Ougnat, où se met en place un granite purement crustal par anatexie. Ainsi, les variations observées à travers ou à l'intérieur des arcs ou des marges actives depuis les roches faiblement potassiques jusqu'aux roches hautement potassiques (shoshonites) sont interprétées par plusieurs hypothèses ; (1) variation du degré de fusion en fonction de la profondeur (Stern *et al.*, 1993; Price *et al.*, 1999), (2) variation de la composition des fluides issus de la croûte subductée (Price *et al.*, 1999), (3) influence de l'épaisseur de la croûte (Meen, 1987).

*The Bouskour intrusion (the closest to Bou-Azzer El Graara suture zone) includes a biotite leucocrate granite from which the geochemistry (Nadem, 1995; Ezzouhairi, 1989), mineralogy, zircon typology and isotopic data (Mrini, 1993) define it as originating from the mantle with a strong input from the crust. It is part of a potassic calc-alkaline series (El Baghdadi *et al.*, 2002). The Bouskour biotite granite Neodymium isotopic data show that the ϵNdi value ranges from -1.8 and -2.4 and that of the Ougnat garnet granite equals -4.5 (Mrini, 1993). This variation shows that the crustal contamination increases from Bouskour to Ougnat, where a purely crustal granite forms by ultrametamorphism. The observed variations through or within the arcs or active margins from the poorly potassic rocks to the highly potassic ones (shoshonites) are interpreted by several hypotheses; (1) variation of the degree of partial melting according to the depth (Stern *et al.*, 1993; Price *et al.*, 1999), (2) variation in the composition of the fluids from the subducted crust (Price *et al.*, 1999), (3) influence of the crust thickness (Meen, 1987).*

Therefore, on the basis of the present available

Donc, sur la base des résultats disponibles actuellement, nous concluons que les variations observées dans les granitoïdes de Bouskour et de l'Ougnat au Néoproterozoïque supérieur impliquent l'existence d'une zonalité magmatique spatiale à travers cet arc. Le processus magmatique responsable de cette zonalité serait probablement lié à une interaction entre un magma 'hybride' à long séjour crustal (Koyaguchi & Kanako, 1999; Edwards *et al.*, 1991) avec une croûte continentale qui devient de plus en plus épaisse en s'éloignant de la zone de subduction (Meen, 1987). Cet épaissement crustal qui ne montre ni tectonique tangentielle ni métamorphisme de haut grade comme dans le cas de l'orogénèse hercynienne, peut être à l'origine de l'influence crustale qui se marque en s'éloignant de la zone de suture. □

*results, we conclude that the variations observed in the upper Neoproterozoic granitoids from Bouskour and Ougnat imply the existence of spatial magmatic zones through this arc. The magmatic process responsible for these zones would probably be linked to an interaction between a 'hybrid' magma with a long residence stay (Koyaguchi & Kanako, 1999; Edwards *et al.*, 1991) and a continental crust that thickens away from the subduction zone (Meen, 1987). This crustal thickening which does not show any tangential tectonic or high degree metamorphism like in the case of the Hercynian orogenesis, can be at the origin of the marked crustal influence with increased distance from the suture zone. □*

Références bibliographiques

- Abia El. H. (1991) – Cartographie, pétrologie, métallogénie du Protérozoïque du district Pb, Zn, Cu et Ba de Mellab, massif de l'Ougnat, (Anti-Atlas, Maroc). - Th. 3^e cycle, Marrakech, 184 p.
- Abia El. H., Nachit H. & Chouhaidi M. Y. (1995) – Plutonisme et relations structuro-métamorphiques pan-africains de la boutonnière de l'Ougnat (Anti-Atlas oriental, Maroc). - *Réunion Extraordinaire Soc. Géol. France. Accrétion continentale au Protérozoïque supérieur et au Paléozoïque du Nord-Ouest africain*. Marrakech-Agadir, Maroc, 3.
- Ait Isha M. (1996) – Pétrogenèse d'un magmatisme moyennement à fortement potassique. L'exemple du massif pan-africain d'Iknioun (Saghro oriental, Anti-Atlas, Maroc). - Th. 3^e cycle, Marrakech, 243 p.
- Benharref M. (1991) – Le Précambrien de la boutonnière d'El Kelaa des Mgouna (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : Pétrographie et structure de l'ensemble, implications lithostratigraphiques et géodynamiques. - Th. 3^e cycle, Marrakech, 261 p.
- Benziane F. & Yazidi A. (1992) – Corrélation des formations du Protérozoïque supérieur. - *Notes Mém. Serv. Géol., Maroc*, 366, 147-157.
- Caironi V., Colombo A., Tunesi A. & Gritti C. (2000) – Chemical variations of zircon compared with morphological evolution during magmatic crystallization : an example from the Valle del Cervo Pluton (Western Alps). - *European. J. Mineral.*, **12**, 779-794.
- Camara L.S. (1993) – Cartographie, pétrographie et géochimie des granitoïdes du district minier d'Imiter (Saghro oriental, Anti-Atlas, Maroc). - Th. 3^e cycle, Marrakech, 138 p.
- Chouhaidi M.Y., Abia El H., Camara L. S., Aarab El M. & Sagon J. P. (1995) – Les plutonites de l'Anti-Atlas oriental, Maroc. *Réunion Extraordinaire Soc. Géol. France. Accrétion continentale au Protérozoïque supérieur et au Paléozoïque du Nord-Ouest africain*. Marrakech-Agadir, Maroc, 29.
- Clauer N. (1976) – Géochimie isotopique du strontium des milieux sédimentaires. Application à la géochronologie de la couverture du Craton Ouest africain. - Th. 3^e cycle, Strasbourg, 227 p.
- Edwards C., Menzies M. & Thirlwall M. (1991) – Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. - *J. Petrol.*, **32**, 555-592.
- El Baghdadi M., El Boukhari A., Nadem S., Benyoucef A. & Jouider A. (in press) – Typologie du zircon dans les granitoïdes de la boutonnière précambrienne de Sidi Flah-Bouskour (Saghro, Anti-Atlas, Maroc). - *J. Afr. Earth Sci.*, 32/4.
- El Baghdadi M., El Boukhari A., Jouider A., Nadem S. & Benyoucef A. (2002) – Typologie du zircon dans le granite à amphibole de Skoura (Saghro occidental, Anti Atlas, Maroc) et ses enclaves microgrenues sombres. - *Notes Mém. Serv. Géol., Maroc*, 408, (sous presse).
- El Baghdadi M., El Boukhari A., Nadem S., Benyoucef A. & Jouider A. (1999) – Typologie du zircon dans les granitoïdes de la boutonnière précambrienne de Bouskour (Saghro, Anti-Atlas, Maroc). - *The First International Conference on the Geology of Africa, Assiut, Egypt, 23-25 Nov. 1999*.
- Ezzouhairi H. (1989) – Etude pétrographique, géochimique et structurale des formations plutoniques du précambrien II de la boutonnière de Bouskour (Saghro occidentale, Anti Atlas, Maroc) - Th. 3^e cycle, Marrakech, 210 p.

- Fekkak A., Boualoul M., Badra L., Amenzou M., Saquaque A. & El Amrani I. E. (2000) – Origine et contexte géotectonique des dépôts détritiques du groupe Néoprotérozoïque inférieur de Kelaat Mgouna (Anti-Atlas oriental, Maroc). - *J. Afr. Earth Sci.*, 30, 295-311.
- Fekkak A., Pouclet A., Ouguir H., Badra L. & Gasquet D. (1999) – Le groupe du Néoprotérozoïque inférieur de Kelaat Mgouna (Saghro, Anti-Atlas, Maroc). - *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 170, 789-797.
- Hefferan K. P., Admou H., Karson J. A. & Saquaque A. (2000) – Anti-Atlas (Morocco) role in Neoproterozoic western Gondwana reconstitution. – *Precambrian Res.*, 103, 89-96.
- Hoskin P. W. (2000) – Patterns of chaos: fractal statistics and the oscillatory chemistry of zircon. - *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 64, 1905-1923.
- Hoskin P. W., Kinny P. D., Wyborn D. & Chappell B. W. (2000) – Identifying accessory mineral saturation during differentiation in granitoid magmas: an Integrated approach. - *J. Petrol.*, 41, 1365-1396.
- Koyaguchi T. & Kanako K. (1999) – A two-stage thermal evolution model of magmas in continental crust. - *J. Petrol.*, 40, 20-34.
- Lameyre J. & Bowden P. (1982) – Plutonic rock types series/discrimination of various granitoid series and related rocks. - *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 14, 169-186.
- Meen J. K. (1987) – Formation of shoshonites from calcoalcine basalt magmas : geochemical and experimental constraints from the type locality. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 97, 333-351.
- Mokhtari A., Gasquet D. & Rocci G. (1995) – Les tholéïites de Tagmout (J. Saghro, Anti-Atlas, Maroc), Témoin d'un rift au Protérozoïque supérieur. - *C.R. Acad. Sci. Paris, II*, t. 320, 381-386.
- Mrini Z. (1993) – Chronologie (Rb-Sr, U-Pb), traçage isotopique (Sr-Nd-Pb) des sources de roches magmatiques éburnéenne, panafricaine et hercynienne du Maroc. - Th. es-sci., Marrakech, 200 p.
- Nadem S. (1995) – Le complexe granitique de Bouskour (Jbel Saghro, Anti Atlas, Maroc) : Etude pétrographique, géochimique, structurale et métallogénique. - Th. 3^e cycle, Rabat, 170 p.
- Nasdala L., Wenzel T., Pidgeon T.R. & Kronz A. (1999) – Internal structures and dating of complex zircons from Meissen massif monzonites, Saxony. - *Chem. Geol.*, 156, 331-341.
- Nerci K. (1988) – La boutonnière de Bouskour (Saghro, Anti Atlas, Maroc), contribution à l'étude de ses minéralisations à Pb, Zn, Cu, Ag et de leur cadre géologique. - Th. 3^e cycle, Univ. Rabat, Maroc, 222 p.
- Ouguir H., Macaudière J. & Dagallier G. (1996) – Le Protérozoïque supérieur d'Imiter, Saghro oriental, Maroc : un contexte géodynamique d'arrière arc. - *J. Afr. Earth Sci.*, 22, 173-189.
- Price R.C., Stewart R.B., Woodhead J. D. & Smith I. E. M. (1999) – Petrogenesis of high-K arc magmas: evidence from Egmont volcano, North Island, New Zealand. - *J. Petrol.*, 40, 167-197.
- Pupin J. P. (1997) – Caractérisation des protolithes des migmatites et granites anatectiques crustaux d'après l'étude des zircons. - *C.R. Acad. Sci. Paris, II*, t. 319, 1191-1197.
- Pupin J.P. (1988) – Granite as indicators in paleogeodynamics. - *Rendiconti della Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 43-2, 237-262.
- Pupin J.P. (1980) – Zircon and Granite petrology. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220.
- Pupin J.P. & Turco G. (1981) – Le zircon, minéral commun significatif des roches endogènes et exogènes. - *Bull. Mineral.*, 104, 724-731.
- Pupin J. P. & Turco G. (1972) – Une typologie originale du zircon accessoire. - *Bull. Soc. Fr. Minéralogie et Cristallographie*, 95, 348-359.
- Rjimat E., Derre C., Lecolle M., Lillie F. Nerci K., Azza A. et Bennani A. (1992) – Caractéristique de la tectonique panafricaine dans le Jbel Saghro (Anti Atlas, Maroc). - *Notes Mém. Serv. Géol., Maroc*, 366, 387-394.
- Saadani A. (1993) – Le complexe magmatique de Skoura - Bouskour (Saghro, Anti-Atlas, Maroc) : Etude pétro-géochimique, minéralogique, structurale et métallogénique. - Th. 3^e cycle, Rabat, 180 p.
- Saquaque A. (1992) – Un exemple de Suture-arc : Le Précambrien de l'Anti Atlas centre oriental, Maroc. - Th. es-sci., Marrakech, 348 p.
- Saquaque A., Benharref M., Abia H., Mrini Z., Reuber I. & Karson J. A. (1992) – Evidence for a pan-african volcanic arc and wrench fault tectonics in the Jbel Saghro (Anti-Atlas, Morocco). - *Geol. Rundsch.*, 81, 1-13.
- Schermaier A., Haunschmidt B., Schubert G., Frasl G. & Finger F. (1992) – Diskriminierung von S-typ und I-typ Graniten auf der Basis zirkontypologischer Untersuchungen. - *Frankfurter Geowiss. Arb., Geologie-Paläontologie*, 11, 149-153.
- Stern R.J., Jackson M.C., Fryer P. & Ito E. (1993) – O, Sr, Nd and Pb isotopic composition of the Kasuga cross-chain in the Marianas arc: a new perspective on the K-h relationship. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 119, 459-475.
- Strekeisen A. (1976) – To each plutonic rock its proper name. - *Earth-Sci. Rev.*, 12, 1-33.
- Tixeront M. (1971) – Les formations précambriennes de la région minéralisée en cuivre de Bouskour (Anti Atlas marocain). - *Notes Mém. Serv. Géol., Maroc*, 237, 181-202.
- Vavra G., Schmidt R. & Gebauer D. (1999) – Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite to granulite facies zircon : geochronology of the Ivrea zone (Southern Alps). - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134, 380-404.

PLANCHE I / PLATE I

Photo 1 – Texture microgrenue de la diorite quartzique au niveau des bordures de son affleurement (*40).

Picture 1 – *Quartz diorite microgranular texture on its outcrop (*40).*

Photo 2 – La texture grenue et les principaux minéraux de la diorite quartzique riche en feldspath potassique de Bouskour (*40).

Picture 2 – *Bouskour K-feldspar rich quartz diorite granular texture and primary minerals (*40).*

Photo 3 – Aspect microscopique de la granodiorite à amphibole de Bouskour (*40).

Picture 3 – *Bouskour amphibole granodiorite microscopic aspect (*40).*

Photo 4 – Aspect microscopique du granite à biotite de Bouskour (*40).

Picture 4 – *Bouskour biotite granite microscopic aspect (*40).*

Photo 5 – Zircon légèrement coloré (S23-J3) de la diorite quartzique de Bouskour (160/70).

Picture 5 – *Bouskour slightly coloured quartz diorite zircon (S23-J3) (160/70).*

Photo 6 – Abondance des inclusions dans les zircons de la granodiorite à amphibole S20-19 (190/90).

Picture 6 – *Inclusions abundance in the amphibole granodiorite zircons S20-19 (190/90).*

Photo 7 – Zircon S18-20 extrait de la diorite quartzique avec des cristaux automorphes en inclusions (130/70).

Picture 7 – *Extracted quartz diorite zircon S18-20 with inclusions of euhedral crystals (130/70).*

Photo 8 – Zircon S19 légèrement coloré avec des inclusions sombres du granite à biotite (130/60).

Picture 8 – *Slightly coloured zircon S19 with biotite granite dark inclusions (130/60).*

Photo 9 – Groupement parallèle avec interruption de nucléation dans le grand cristal.

Picture 9 – *Parallel grouping with nucleation interruption in the large crystal.*

PLANCHE II / PLATE II

Photo 1 – Abondance de l'amphibole dans la diorite quartzique avec parfois des agrégats de taille centimétrique (*40).

Picture 1 – *Amphibole abundance in the quartz diorite with sometimes some aggregates 1 centimetre in size (*40).*

Photo 2 – Abondance de la biotite dans la granodiorite à biotite seule (*40).

Picture 2 – *Biotite abundance in the biotite granodiorite (*40).*

Photo 3 – Les xénoctaux de grenat dans la granodiorite montrant une forme craquelée (*40).

Picture 3 – *Garnet xenocrysts in the granodiorite showing a cracked form (*40).*

Photo 4 – Les xénoctaux de grenat limpides de la granodiorite à biotite seule de forme hexagonale (*100).

Picture 4 – *Clear garnet xenocrysts in the hexagonal biotite granodiorite (*100).*

Photo 5 – Un cristal de grenat du leucogranite à grenat en lame mince (*400).

Picture 5 – *Thin plate of a leucogranite garnet crystal (*400).*

Photo 6 – Un cristal de grenat du leucogranite à grenat recueilli parmi les zircons séparés vu sa densité élevée (*250).

Picture 6 – *Garnet leucogranite garnet crystal among the separated zircons thanks to its high density (*250).*

Photo 7 – Aspect microscopique du leucogranite à grenat (*40).

Picture 7 – *Garnet leucogranite microscopic aspect (*40).*

Photo 8 – Zircon S17-18 (200/90).

Picture 8 – *Zircon S17-18 (200/90).*

Photo 9 – Zircon S19-20 (110/65).

Picture 9 – *Zircon S19-20 (110/65).*

Photo 10 – Zircon S19 (100/55).

Picture 10 – *Zircon S19 (100/55).*

Photo 11 – Zircon S21-24 (140/40).

Picture 11 – *Zircon S21-24 (140/40).*

Photo 12 – Groupement prismatique. Le zircon de droite montre un noyau relique.

Picture 12 – *Prismatic grouping. The right zircon shows a relic core.*

Photo 13 – Zircon S17 (170/85).

Picture 13 – *Zircon S17 (170/85).*

Photo 14 – Zircon S6-11 avec une lacune de croissance (240/50).

Picture 14 – *Zircon S6-11 with a chemical zoning (240/50).*

Photo 15 – Zircon S1-6 avec une lacune de croissance (180/50).

Picture 15 – *Zircon S1-6 with a chemical zoning (180/50).*

Photo 16 – Abondance des inclusions du type microlites et cristaux automorphes (150/40).

Picture 16 – *Microliths and euhedral crystals inclusions abundance (150/40).*

Photo 17 – Zircon S1-L1 (200/55).

Picture 17 – *Zircon S1-L1 (200/55).*

Photo 18 – Zircon S1-6 (200/90).

Picture 18 – *Zircon S1-6 (200/90).*

Photo 19 – Zircon S11 (125/62).

Picture 19 – *Zircon S11 (125/62).*

Photo 20 – Zircon S11 (100/70).

Picture 20 – *Zircon S11 (100/70).*

Liste des figures Liste des tableaux

Tableau 1 – Abondance des inclusions (%), des différents types (%) et les valeurs de l'élongation (longueur/largeur) des cristaux de zircon des plutonites de Bouskour, ainsi que le nombre de zircons étudiés dans chaque faciès.

Table 1 – Inclusions (%) and different types (%) abundance and elongation (length, width) value of the Bouskour plutons zircon crystals, as well as the number of zircons studied in each facies.

| | Diorite quartzique | Granodiorite à amphibole | Granite à biotite |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
| Inclusions solides | 64 | 13 | 17 |
| Inclusions cristallisées | 36 | 74 | 70 |
| Inclusions fluides | 0 | 13 | 13 |
| Type S | 96 | 88 | 76 |
| U | 2 | 7 | 10 |
| P | 2 | 3 | 10 |
| T | 0 | 0 | 2 |
| J | 0 | 1 | 1 |
| D | 0 | 1 | 1 |
| Elongation | 1,54 | 1,70 | 1,93 |
| Nombre de zircons étudiés | 297 | 772 | 740 |

| | Quartz Diorite | Amphibole Granodiorite | Biotite Granite |
|---------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Solid inclusions | 64 | 13 | 17 |
| Crystallised inclusions | 36 | 74 | 70 |
| Fluid inclusions | 0 | 13 | 13 |
| Type S | 96 | 88 | 76 |
| U | 2 | 7 | 10 |
| P | 2 | 3 | 10 |
| T | 0 | 0 | 2 |
| J | 0 | 1 | 1 |
| D | 0 | 1 | 1 |
| Elongation | 1,54 | 1,70 | 1,93 |
| Number of zircon studied | 297 | 772 | 740 |

Tableau 2 – Abondance des inclusions (%), des différents types (%) et les valeurs de l'élongation des cristaux de zircon des plutonites de l'Ougnat.

Table 2 – Inclusions (%) and different types (%) abundance and elongation value of the Ougnat plutons zircon crystals.

| | Diorite quartzique | Granodiorite à amphibole | Granodiorite à biotite (faciès de bordure) | Granite à grenat |
|----------------------------------|--------------------|--------------------------|---|------------------|
| Inclusions cristallisées | 85 | 78 | 68 | 55 |
| Inclusions solides | 11 | 14 | 21 | 25 |
| Inclusions fluides | 4 | 7 | 11 | 20 |
| Type S | 92 | 85 | 99,5 | 97 |
| U | 3 | 11 | 0,5 | 1 |
| J | 5 | 3 | 0 | 0 |
| N | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Elongation | 1,86 | 1,90 | 2,30 | 2,85 |
| Nombre de zircons étudiés | 274 | 445 | 644 | 634 |

tb 2 english

| | Quartz Diorite | Amphibole Granodiorite | Biotite Granodiorite (rim faciès) | Garnet Granite |
|--------------------------------|-------------------|---------------------------|---|-------------------|
| Crystallised inclusions | 85 | 78 | 68 | 55 |
| Solid inclusions | 11 | 14 | 21 | 25 |
| Fluid inclusions | 4 | 7 | 11 | 20 |
| Type S | 92 | 85 | 99,5 | 97 |
| U | 3 | 11 | 0,5 | 1 |
| J | 5 | 3 | 0 | 0 |
| N | 0 | 1 | 0 | 0 |
| L | 0 | 0 | 0 | 2 |

| | | | | |
|---|------|------|------|------|
| <u>Elongation</u> | 1,86 | 1,90 | 2,30 | 2,85 |
| <u>Number of zircons studied</u> | 274 | 445 | 644 | 634 |
