

# LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN): GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

Amel-Zoulikha BENHALLOU\*<sup>et\*\*\*\*</sup>, Abba AZZOUNI-SEKKAL\*\*, Bernard BONIN\*\*\*,  
Faiza IKHLEF-DEBABHA \*<sup>et\*\*\*\*</sup>, Riad BEN EL KHAZNAJJI\*\*\*\*  
et Jean-Paul LIÉGEOIS\*<sup>et\*\*\*\*</sup>.

## RÉSUMÉ

Le massif du Manzaz (1500 km<sup>2</sup>) fait partie de la province volcanique cénozoïque du Hoggar, limité par les méridiens 5°33' et 6°00'E et les parallèles 23°45' et 24°00'N. Il se situe dans le métacraton LATEA à la limite des terranes d'Azrou N'Fad et de la Tefedest. Ses laves se sont épanchées à partir du Miocène sur un socle relativement plat, constitué de gneiss essentiellement éburnéens et d'intrusions granitiques panafricaines. De très nombreux cônes de scories monogéniques récents et bien conservés accompagnent de rares cônes polygéniques, le double maar d'Oukcem et le spatter cone (cône de projections) d'Iteghrene. Ils ont émis des coulées basiques riches en enclaves de périodotites qui recouvrent les coulées plus anciennes (Miocène?). Des bombes de tailles et de formes différentes, d'importants niveaux de tufs ainsi que des niveaux de pouzzolane forment et recouvrent les flancs des cratères.

Les basanites prédominent, avec de rares basaltes alcalins et un trachybasalte. Une coulée ancienne est constituée de trachyandésite. L'ensemble des roches du Manzaz se caractérise par la présence d'olivine (Fo<sub>88</sub> à Fo<sub>56</sub>); l'olivine d'origine mantellique Fo<sub>88</sub> – Fo<sub>87</sub> caractérise certaines basanites et le basalte alcalin. Le clinopyroxène est un diopside. L'orthopyroxène magmatique (enstatite) n'apparaît que dans le trachyandésite ancien. La composition du plagioclase varie de An<sub>68</sub> à An<sub>30</sub>, en association avec un rare feldspath ternaire. L'un des caractères spécifiques du district du Manzaz est la présence de l'amphibole, rarement en phénocristaux dans les laves, mais abondante sous forme de microcristaux dans l'ensemble de la suite volcanique, y compris dans les roches les plus primitives. Les oxydes de Fe-Ti appartiennent à la solution solide ulvöspinelle–magnétite. L'altération hydrothermale se marque par la leucite et l'analcime et se traduit par la paragenèse typique du faciès des schistes verts [chlorite + épidote + carbonates]. Enfin, l'association [calcite ferreuse + fluorite + zéolites] a été détectée également dans la pâte du trachybasalte. Les températures calculées par le géothermomètre des couples de pyroxène varient entre 1100°C et 900°C pour les phénocristaux et entre 1000°C et 500°C pour les microlites. La température et la pression de cristallisation de l'amphibole est estimée en moyenne à 1200°C / 0.92 ± 0.06 GPa dans le basalte alcalin, à 860-700°C / 0.72 - 0.37 ± 0.06

\* CRAAG, route de l'Observatoire, BP. 63 Bouzaréah, Alger, Algérie. E-mail: zoulema@yahoo.com

\*\* Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaïd, BP. 119, 13000, Tlemcen, Algérie. E-mail: asazzouni@hotmail.com

\*\*\* "GEOPS" UMR8148, Université de Paris-Sud, CNRS, Université Paris-Saclay, rue du Belvédère, Bâ-timents 504-509, F-91405 Orsay Cedex, France. E-mail: bernard.bonin@u-psud.fr

\*\*\*\* Laboratoire de Métallogénie et Magmatisme de l'Algérie, Faculté des Sciences de la Terre, Géographie et de l'Aménagement du Territoire (FSTGAT), USTHB, BP. 32, El Alia, Bab Ezzouar 16111, Alger, Algérie.

\*\*\*\*\* Géodynamique et Ressources Minérales, Musée Royal de l'Afrique Centrale, B-3080 Tervuren, Belgique. E-mail: jean-paul.liegeois@africamuseum.be

- Manuscrit déposé le 14 Mai 2015, accepté après révision le 20 Janvier 2016.

A.-Z. BENHALLOU, A. AZZOUNI-SEKKAL, B. BONIN, F. IKHLEF DEBABHA,  
R. BEN EL KHAZNADJI ET J.-P. LIÉGEOIS

GPa pour les basanites et  $710^{\circ}\text{C} / 0.25 \pm 0.06$  GPa dans le trachyandésite. Le fonctionnement en profondeur des systèmes volcaniques du Hoggar, dont le district du Manzaz fait partie, et la mise en place en surface, ont été favorisés par la réactivation des méga-cisaillements panafricains disséquant le socle granito-gneissique, à l'intérieur ou aux frontières du métacraton LATEA.

**Mots-clés** - Hoggar central - Basanite - Basalte alcalin - Trachybasalte - Trachyandésite - Olivine - Pyroxène - Amphibole - Plagioclase - Oxydes de Fe-Ti - Manteau.

## **THE MANZAZ VOLCANIC DISTRICT (HOGGAR, ALGERIAN SAHARA): GEOLOGY, PETROGRAPHY AND MINERALOGY.**

### **ABSTRACT**

The Manzaz volcanic district (1500 km<sup>2</sup>), part of the Cenozoic volcanic Hoggar province, is bounded by  $5^{\circ}00'$ - $6^{\circ}00'$ E longitudes and by  $23^{\circ}00'$ - $24^{\circ}00'$ N latitudes. It is located in the LATEA metacraton, near the boundary between Azrou N'Fad and Tefedest terranes. Lava flows were emitted since the Miocene on a fairly flat basement made up of mostly Eburnean gneiss and Pan-African granitic intrusions. Numerous recent and well-preserved monogenetic scoria cones, are associated with rare polygenetic cones, Oukcem twin maars and Iteghrene spatter cone, decorate the landscape. They emitted peridotite enclave-rich basic flows, overlying older (Miocene?) lava flows. Volcanic bombs of various sizes and shapes, thick tuff deposits and pouzzolane layers constitute and cover crater flanks.

Basanite is the dominating rock-type, with scarce alkali basalt and trachybasalt. An older lava flow is made up of trachyandesite plotted at the intersection of four fields in the TAS diagram. The whole suite is characterized by occurrence of olivine ( $\text{Fo}_{88} - \text{Fo}_{56}$ ); mantle olivine  $\text{Fo}_{88} - \text{Fo}_{87}$  is evidenced in some basanites and the alkali basalt. Clinopyroxene is diopside, sometimes close to the diopside – hedenbergite boundary. The igneous orthopyroxene, only present within the older trachyandesite, is an enstatite. Plagioclase compositions within basanites vary from  $\text{An}_{68}$  to  $\text{An}_{30}$ , in association with rare ternary feldspar. Plagioclase within alkali basalt vary from  $\text{An}_{66}$  to  $\text{An}_{41}$ , associated with potassic oligoclase included within olivine. The trachybasalt contains plagioclase crystals varying from  $\text{An}_{61}$  to  $\text{An}_{31}$ . A specific feature of the Manzaz district is the occurrence of amphibole, rarely as phenocrysts, but widespread as microcrysts in the whole suite, including the most primitive rocks, with edenite and hastingsite in basanites, ferri-kaersutite in alkali basalt and magnesio-hornblende in trachyandesite. Opaque minerals include Fe-Ti oxides of the ulvöspinel– magnetite solid solution. Hydrothermal alteration is evidenced by leucite and analcime and by the local development of the typical greenschist-facies paragenesis [chlorite + epidote + carbonates] within basanites. Finally, the [ferroan calcite + fluorite + zeolites] association was detected within trachybasaltic groundmass. Minimal temperatures calculated using the two-pyroxene geothermometer vary between  $1100^{\circ}\text{C}$  and  $900^{\circ}\text{C}$  in phenocrysts and between  $1000^{\circ}\text{C}$  and  $500^{\circ}\text{C}$  in microlites. Amphibole crystallization temperatures and pressures are estimated at  $1200^{\circ}\text{C} / 0.92 \pm 0.06$  GPa for the alkali basalt,  $860-700^{\circ}\text{C} / 0.72-0.37 \pm 0.06$  GPa for the basanite and  $710^{\circ}\text{C} / 0.25 \pm 0.06$  GPa for the trachyandesite. Surficial emplacement and igneous activity in depth of the Hoggar, whose Manzaz district takes part of, were promoted by the reactivation of Pan-African mega-shear zones dissecting basement, within, or at the boundaries of the LATEA metacraton.

**Keywords** - Central Hoggar - Basanite - Alkali basalt - Trachybasalt - Trachyandesite - Olivine - Pyroxene - Amphibole - Plagioclase - Fe-Ti oxides - Mantle.

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

## 1. INTRODUCTION

De nombreuses provinces volcaniques se sont développées à l'intérieur de la plaque africaine au cours du Cénozoïque (fig. 1). La Province volcanique du Hoggar, située à environ 1500 km de la Mer Méditerranée, est formée de plusieurs districts volcaniques d'âges et de styles éruptifs différents.

Elle occupe une surface totale d'environ 11700 km<sup>2</sup> avec un volume total de produits solides estimé à 1650 km<sup>3</sup>, mais pouvant avoisiner 2500 km<sup>3</sup> si l'on tient compte du volume disparu par érosion. L'activité magmatique a commencé vers 34 Ma (Aït Hamou *et al.*, 2000; Aït Hamou, 2006), à la limite Éocène – Oligocène, et a perduré jusqu'à des périodes historiques (Girod, 1971). Les districts

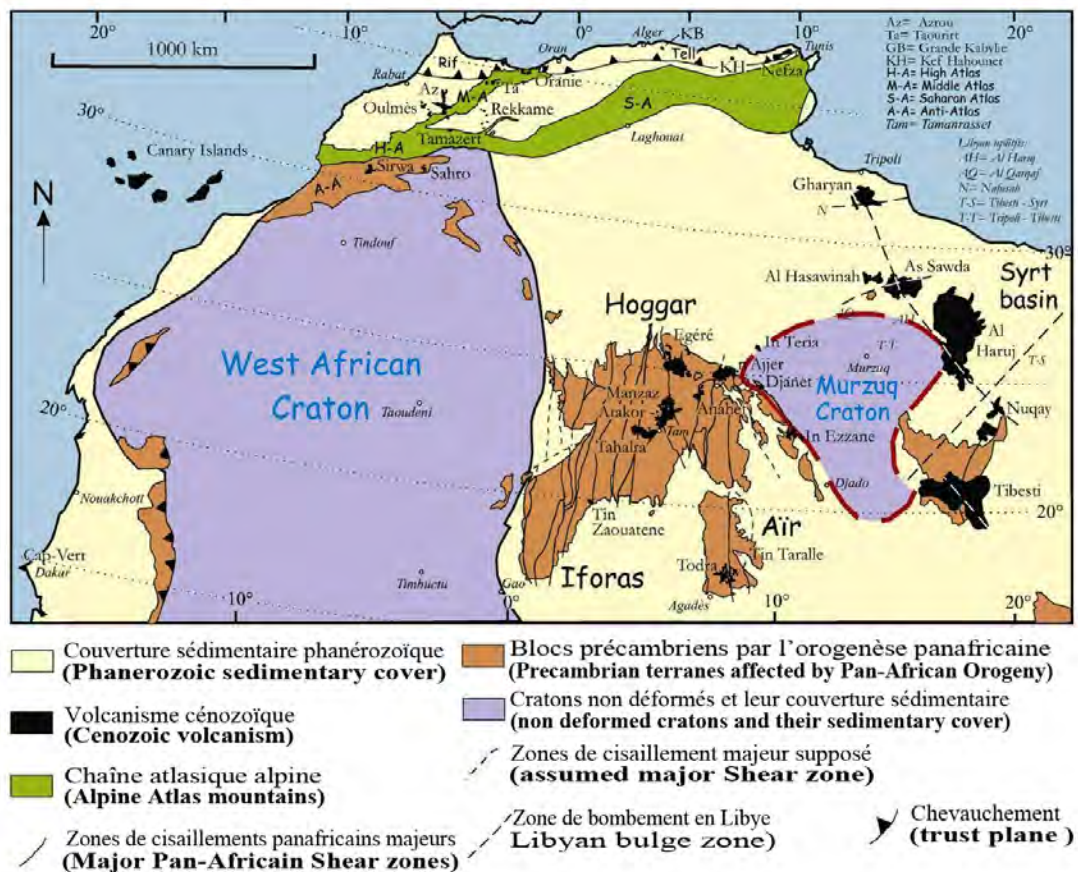


Fig. 1 - Bouclier Touareg et principales provinces volcaniques cénozoïques en Afrique du Nord (d'après Liégeois *et al.*, 2005).

*Tuareg Shield and main Cenozoic volcanic provinces in Northern Africa (from Liégeois and al., 2005).*

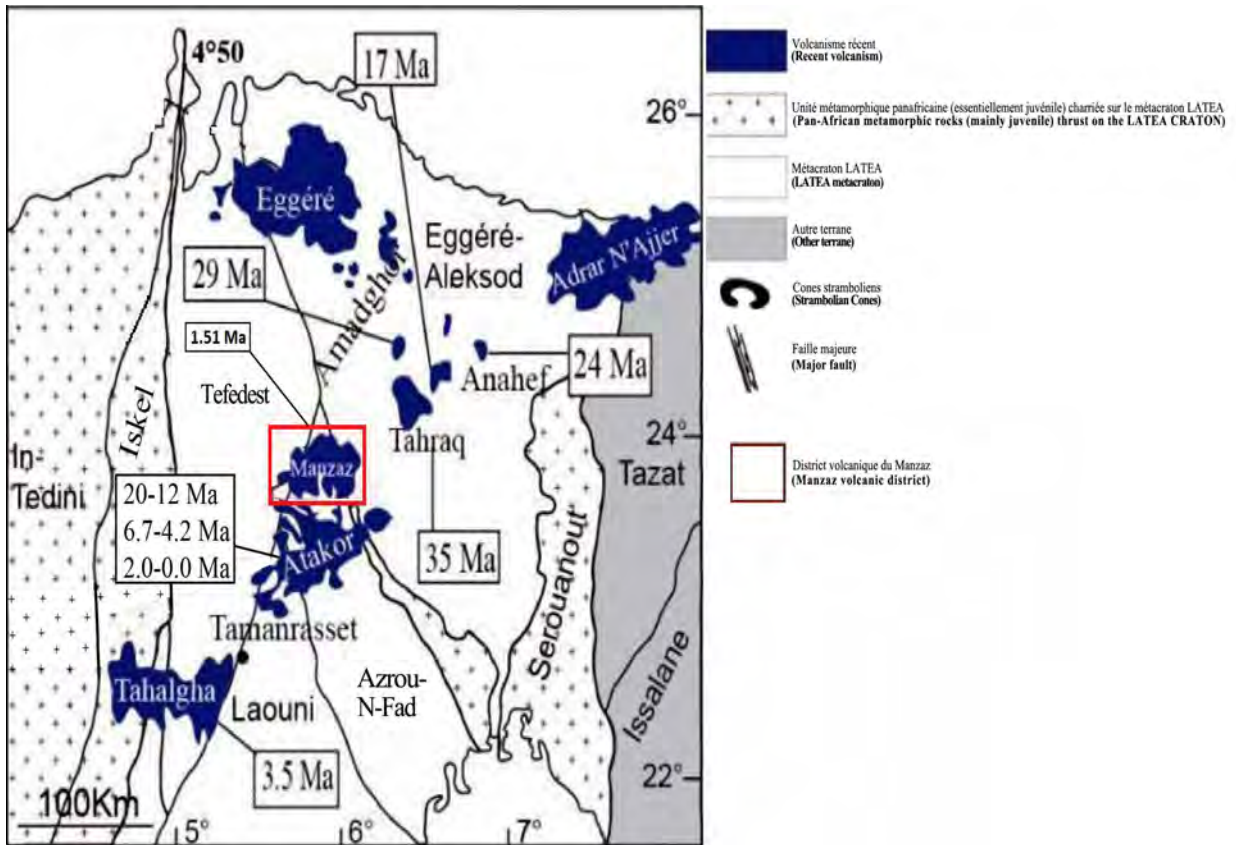
volcaniques de la Province du Hoggar se sont mis en place sur un socle précambrien ou sa couverture (Tassili), à l'aplomb d'un bombement de grand axe de 1000 km, dont la signification reste controversée (Liégeois et *al.*, 2005).

Le massif du Manzaz est situé au nord du massif de l'Atakor (Girod, 1971; Azzouni-Sekkal et *al.*, 2007). S'il peut apparaître comme un massif satellite, il présente des caractéristiques particulières. À la différence de l'Atakor et malgré la qualité des affleurements, il demeure mal connu et

seule une unité effusive de basanite a été datée à  $1.51 \pm 0.58$  Ma (Benmessaoud, 2014). Cette note se propose de présenter les nouvelles observations sur le terrain, ainsi que la pétrographie et la minéralogie des laves.

## 2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Limité par les méridiens  $5^{\circ}33'E$  et  $6^{\circ}00'E$  et les parallèles  $23^{\circ}45'N$  et  $24^{\circ}00'N$  (fig. 2), le district volcanique du Manzaz recouvre une surface de 1500 km<sup>2</sup> environ avec un volume



**Fig. 2 - Terranes du Hoggar central, principaux districts volcaniques et âges des formations volcaniques (d'après Aït-Hamou et *al.*, 2000, Benmessaoud, 2014 modifié).**

**Central Hoggar terranes and main volcanic districts with ages (from Aït-Hamou and *al.*, 2000; Benmessaoud, 2014 modified).**

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

total de produits effusifs solides estimé à 175 km<sup>3</sup> (Liégeois et *al.*, 2005). Cette valeur reste minimale, car elle ne tient pas compte des produits meubles qui ont été entraînés plus loin sous l'action du vent et de l'eau, au moment des éruptions explosives puis suite aux phénomènes d'érosion tardifs.

Les coulées de laves se sont principalement épanchées sur les formations précambriennes du terrane d'Azrou N'Fad (Black et *al.*, 1994) qui constitue une pièce allongée NO-SE (fig. 2) au sein du métacraton LATEA (Liégeois et *al.*, 2003). Elles ont également débordé sur une partie des terrains adjacents de la Tefedest et de l'Egéré-Alek-Sod. Le socle d'Azrou N'Fad est constitué des gneiss de l'Arechchoum, datés dans d'autres terranes de l'Archéen et du Paléoproterozoïque, recoupés par un batholite granitique d'âge probablement édiacarien. Des complexes granitiques d'affinité alcaline recourent les formations précédentes (Boissonnas, 1973; Aïdrous-Belhocine, 2010). Ils font partie du groupe des Taourirts de Tamanrasset (Azzouni-Sekkal et *al.*, 2003) et, quoique non datés, ils se sont mis en place probablement à l'Édiacarien terminal (Cheilletz et *al.*, 1992) au Cambrien inférieur (Paquette et *al.*, 1998). Le socle a été arasé avant l'Ordovicien (Beuf et *al.*, 1971), donc bien avant l'activité volcanique, mais a subi, par la suite, des épisodes de mouvements verticaux dont le paroxysme s'est traduit par le bombement cénozoïque régional de l'Atakor et du Hoggar en général (Rougiar et *al.*, 2013).

Les gneiss et le batholite granitique formaient alors une vaste pénéplaine, accidentée par les reliefs rocheux de type inselberg des complexes granitiques Taourirts. La surface de la pénéplaine surélevée est inclinée vers le nord, son altitude varie de 1550 m au sud à 1250 m au nord sur une distance d'environ 50 km. L'altitude moyenne est d'environ 1400 m.

Les laves se sont épanchées en plateaux et en coulées sur la pénéplaine et ont contourné les re-

liefs granitiques Taourirt. À l'ouest, les coulées entourent complètement le relief granitique d'Oukcem (altitude d'environ 1560 m), situé à l'ouest du maar du même nom. Au centre du district, elles encerclent le relief granitique de Taderaze qui culmine à 1680 m et butent au sud, contre le relief granitique de Tifokraouine qui forme un chaos rocheux à 1480 m d'altitude (Aïdrous-Belhocine, 2010). Enfin, à l'est, le relief granitique de Tigattine (altitude d'environ 1600 m) émerge au-dessus des appareils volcaniques.

### 3. APPAREILS VOLCANIQUES

L'activité volcanique du district du Manzaz a été de type fissural. Il en résulte un paysage composé de vastes coulées de plateau, de reliefs raviniformes aux dépens des dépôts pyroclastiques et de cônes de scories.

Les coulées anciennes, constituées de roches vacuolaires souvent altérées, s'observent à la périphérie du district en buttes témoin résiduelles et à la base du volcan N55. Leurs bordures forment des cuestas au-dessus de la pénéplaine et leur toit est souvent recouvert d'un voile éolien important. Bien que l'âge des éruptions n'ait pas été déterminé, il est raisonnable de leur attribuer comme âge minimum le même âge miocène (20 – 12 Ma environ) que le plateau basaltique du premier épisode de l'Atakor (Girod, 1971).

Après un temps de repos de durée indéterminée, l'épisode volcanique majeur a été marqué par des éruptions de type strombolien et des coulées fluides de laves basiques épanchées sur des distances pouvant dépasser 10 km. Les projections et les retombées constituent des dépôts pyroclastiques interstratifiés entre les coulées successives. De très nombreux cônes de scories monogéniques de quelques dizaines de mètres de haut, s'alignent le long de linéaments d'âge panafricain et/ou mésozoïque. Leur nombre exact n'a pas été déterminé. Moins fréquents, des cônes polygéniques, présentant des cratères emboîtés ou en fer à cheval, do-

minent le plateau de laves. Coulées et cônes stromboliens donnent le paysage volcanique typique du Manzaz (pl. 1a). Les cônes ont conservé leur morphologie intacte, les coulées sont très peu érodées (pl. 1b) et les matériaux montrent une altération météorique faible à nulle, ce qui suggère que les éruptions sont plus récentes, voire historiques.

Le site acheuléen tardif de Téhéntawek (Benmessaoud, 2014) s'est mis en place à proximité du village d'Ideles sur une coulée à la base du flanc oriental du volcan appelé "Station Agricole". La coulée a été datée par la méthode K/Ar à  $1.51 \pm 0.58$  Ma (Calabrien, Pléistocène; Benmessaoud, 2014). Il n'existe pas d'autres contraintes d'âges radiométriques.

Les formations récentes du district volcanique peuvent se subdiviser en trois groupes distincts (fig. 03). Chaque groupe comprend quelques volcans de grande taille, un plus grand nombre de cônes monogéniques plus petits et des coulées de laves et dépôts pyroclastiques associés. Le groupe occidental est le plus varié car il contient, outre les formations volcaniques citées, le double maar d'Oukcem et le spatter cone (cône de projections) d'Iteghrene. Une boutonnière de socle précambrien, large d'un kilomètre environ, le sépare des groupes situés plus à l'est. Le groupe central, très

développé, entoure à l'ouest et au nord le village d'Ideles. Il se marque par plusieurs alignements parallèles de cônes selon la direction SSO-NNE. Le groupe oriental, situé à l'est du village d'Ideles, se caractérise par une demi-douzaine de volcans alignés selon la même direction. Comme les coulées et les dépôts pyroclastiques issus de volcans différents peuvent se recouvrir les uns les autres, il n'a pas toujours été possible de relier chaque coulée à un volcan déterminé.

### 3.1. Le groupe occidental

Le groupe occidental est formé des volcans Menzez, Iteghrene et Oukcem, ainsi nommés d'après la toponymie locale, et par six volcans sans nom numérotés de V2 à V5. Parmi les coulées isolées, également numérotées, la coulée C2 se rattache au volcan Menzez, la coulée C3 est clairement issue du volcan Iteghrene, tandis que le groupe de coulées C4 n'a pas de point d'émission identifié.

Le volcan Menzez, situé à l'extrémité sud-ouest du district, présente un cratère éguelulé vers le sud-ouest. Ses flancs sont composés de scories avec des blocs anguleux de basalte. En contrebas, des tufs pyroclastiques comportent des bombes et des produits ponceux englobés dans une matrice cendreuse



Pl. 1- a. Cônes stromboliens du groupe central (*strombolian cones of the central group*);  
b. Coulée de lave « C1 » (« C1 » lava flow).

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

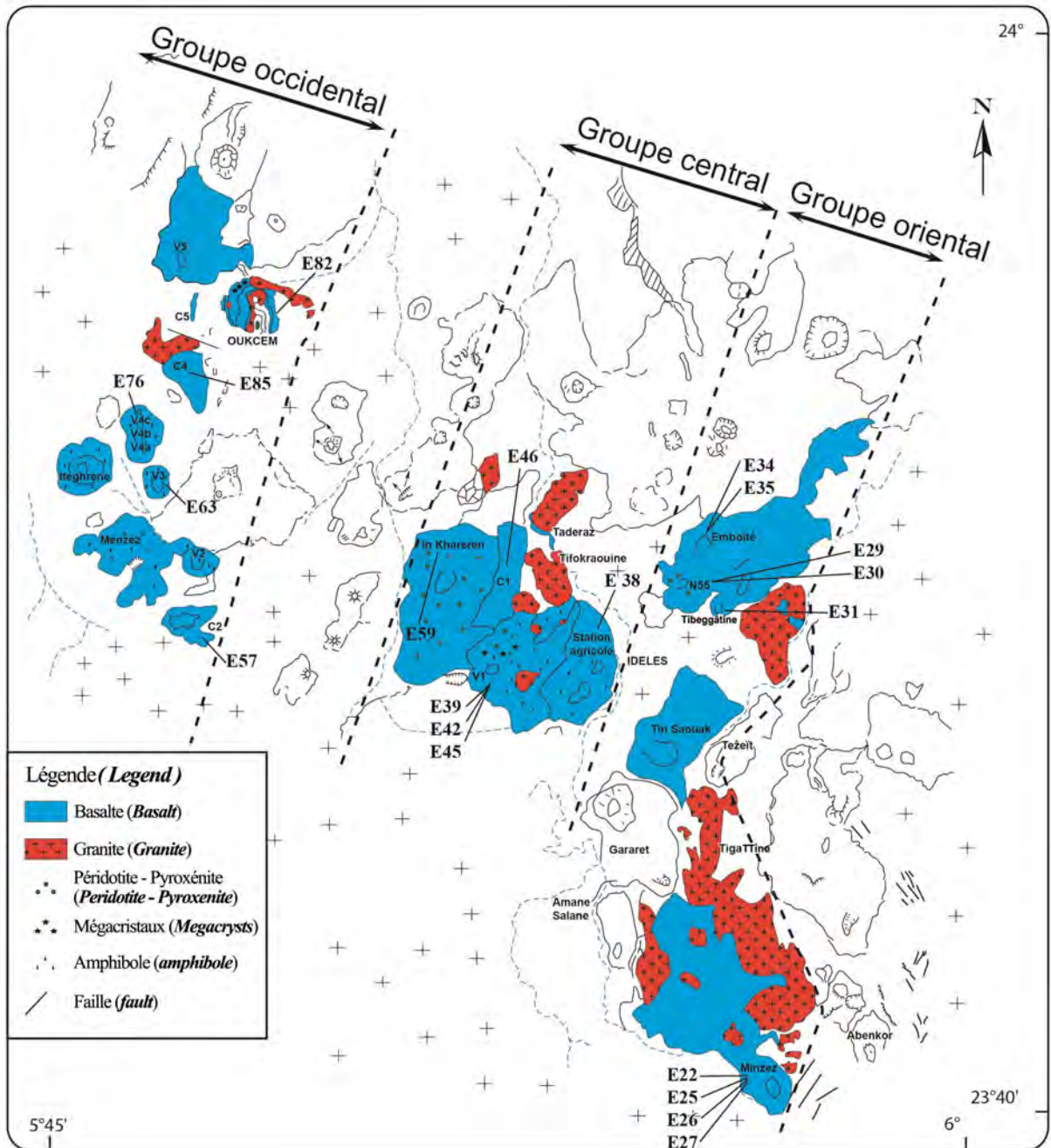


Fig. 3 - carte schématique des zones volcaniques étudiées, établie à partir de photographies aériennes à l'échelle 1/80 000.

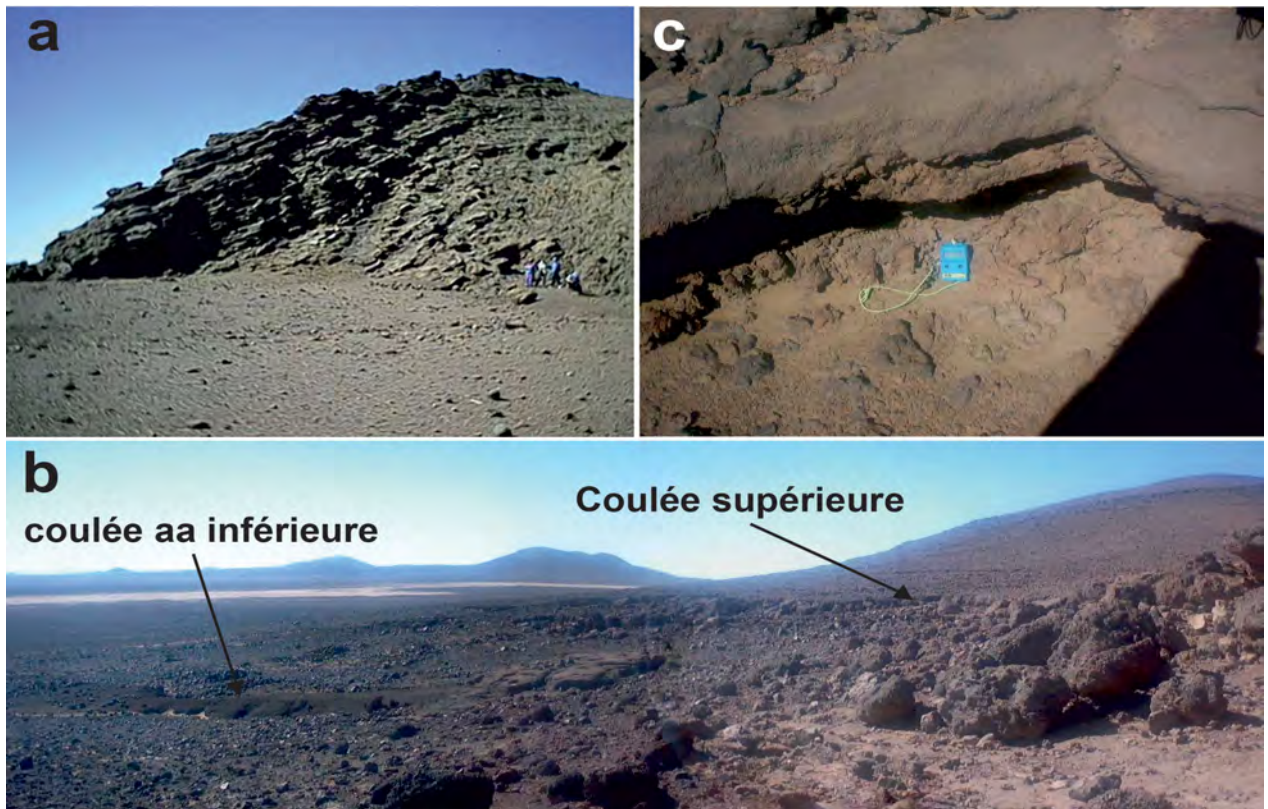
Sketch map of studied volcanic areas, established from aerial photographs on 1/80 000 scale.

et contiennent de nombreux mégacrists isolés d'amphibole, accompagnant de petits nodules de périclase et de pyroxénite. La matrice cendreuse des tufs s'érode très facilement pour donner une morphologie en "cheminées de fée". Les tufs sont recouverts par une coulée supérieure de lave vacuolaire qui les a protégés de l'érosion. Située au sud-est du volcan et séparée de lui par un petit affleurement de socle dégagé par l'érosion, la coulée C2 s'est épanchée vers le sud-est. La lave faiblement vacuolaire renferme des mégacrists d'olivine.

Le volcan Iteghrene a l'aspect d'un dôme grossièrement hémisphérique (pl. 2a). C'est un «spatter cone» formé par l'accumulation de paquets de laves très fluides. Il repose à sa base sur un niveau épais de tufs gris sombre (pl. 2b). Deux coulées de type pahoehoe de faible épaisseur recouvrent

les tufs. Leurs surfaces cordées et torsadées présentent par endroits des vacuoles et ont acquis une couleur rouge par oxydation en surface (pl. 2c). Par altération, la lave prend un aspect granuleux avec un grain millimétrique à centimétrique. En outre, la coulée C3 est constituée d'une lave très vacuolaire dont la surface altérée présente un débit en pelure d'oignon. La coulée recouvre des tufs à blocs, bombes et produits ponceux, qui prolongent les niveaux observés à la base du volcan.

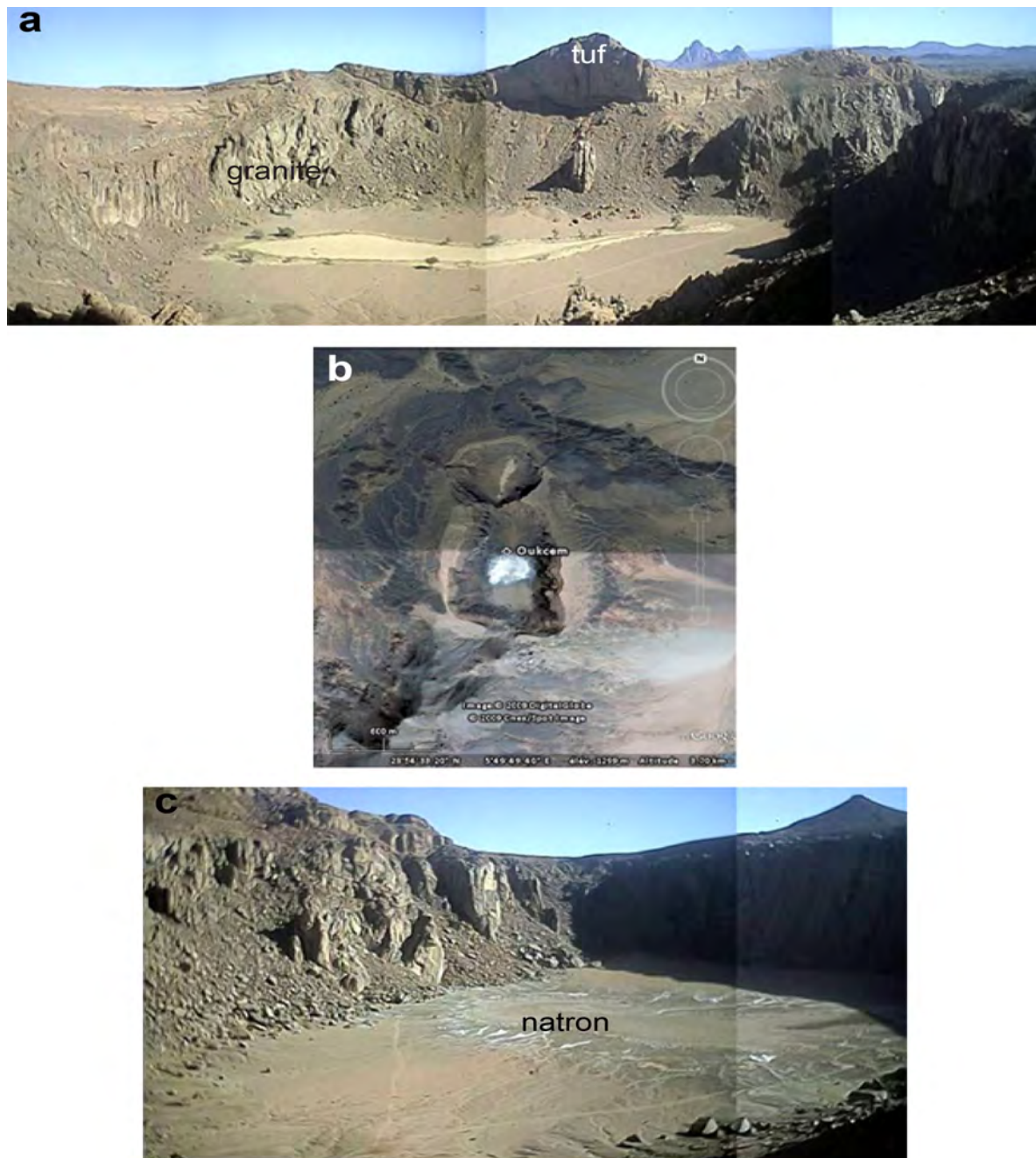
Le double maar d'Oukcem (pl. 3a) est constitué par deux cratères profonds de 170 m, dont le fond expose le soubassement de granite avec des filons d'aplite (Benhallou et *al.*, 2004; Aïdrous-Belhocine, 2010). Le fond d'un des deux cratères, inondé périodiquement, est rempli par un dépôt évaporitique de natron (pl. 3b). Les bords des cratères sont recouverts par une succession de niveaux



Pl. 2 - a. Volcan Iteghrene (*Iteghrene volcano*); b. Coulée inférieure à surface scoriacée (*Lower aa lava flow with scoriaceous crust*); c. Niveau supérieur oxydé (*Upper lava flow with oxidized crust*).



LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.



**Pl. 3 - a.** Double maar d'Oukcem (*Oukcem twin maar*); **b.** Photo satellite Google Earth™ du double maar d'Oukcem (*Google Earth™ satellite image of the Oukcem twin maar*); **c.** Dépôt de natron dans un maar d'Oukcem (le natron d'Oukcem est bien connu des populations locales. Il fait encore actuellement l'objet d'un commerce, car il est utilisé comme sel pour la cuisson des aliments, sert à fixer les teintures par la chaux qui en est issue par calcination ou encore participe au mélange du tabac à chiquer (*Natron deposit within one Oukcem maar (the Natron is well known by local people, who still currently deal in it for food cooking, colour fixation by lime, and chewing tobacco)*)).

hydro-magmatiques. La base est formée d'un niveau gris et peu épais de pouzzolane très fine. Le reste est constitué de tuf beige très épais présentant un granoclassement positif, les plus gros éléments de la base étant constitués de blocs anguleux de granite à surface rougie, de lapillis trempés et de mégacristaux isolés. Autour du volcan, les tufs hydro-magmatiques forment un dépôt subhorizontal qui constitue un gisement exceptionnel de mégacristaux d'amphibole, certains encore inclus dans des blocs de lave, et de plagioclase en moindre quantité.

Les six volcans V2 à V5 sont des cônes monogéniques. Situé à l'est du Menzez, le cône V2 est constitué de scories rouges sous forme de bombes, de produits ponceux et de blocs. La lave contient de petits nodules de péridotite et des phénocristaux de titanite. Au nord du Menzez, les cônes stromboliens V3, V4a, V4b et V4c s'alignent selon la direction NNO-SSE. Des mégacristaux de plagioclase, d'olivine et, plus rarement, d'amphibole ont été observés dans les scories. Enfin, le volcan V5, situé près du double maar d'Oukcem et formé par des scories, a émis une coulée à surface vacuolaire.

Les deux coulées superposées C4 reposent directement sur le socle et butent au nord-ouest contre le relief granitique d'Oukcem. Peu épaisses, mais de grande extension, elles montrent en coupe une colonnade à débit prismatique.

### 3.2. Le groupe central

Le groupe central est vaste. S'étendant vers le nord et le nord-est où il entoure le relief granitique du Taderaze, il forme un grand plateau incliné vers les plaines du nord et, est parsemé de petits cônes de scories monogéniques. La zone étudiée comprend trois volcans stromboliens, In Khareren, V1 et Station Agricole ainsi qu'une coulée intercalée C1.

Le volcan In Khareren a un cratère égueulé ouvert vers le nord. Il est formé de scories recouvrant des tufs qui renferment de très nombreux nodules de péridotite et de pyroxénite de toutes tailles.

Le volcan V1, dont les flancs sont recouverts par une grande quantité de tufs qui s'étendent également à la périphérie du cône, a émis plusieurs coulées de laves. La stratigraphie des dépôts volcaniques montre, de la base au sommet (pl. 4):

(i) une coulée inférieure (pl. 4a) à surface scoriacée et altérée avec des taches d'analcime (texture en taches de "soleil");

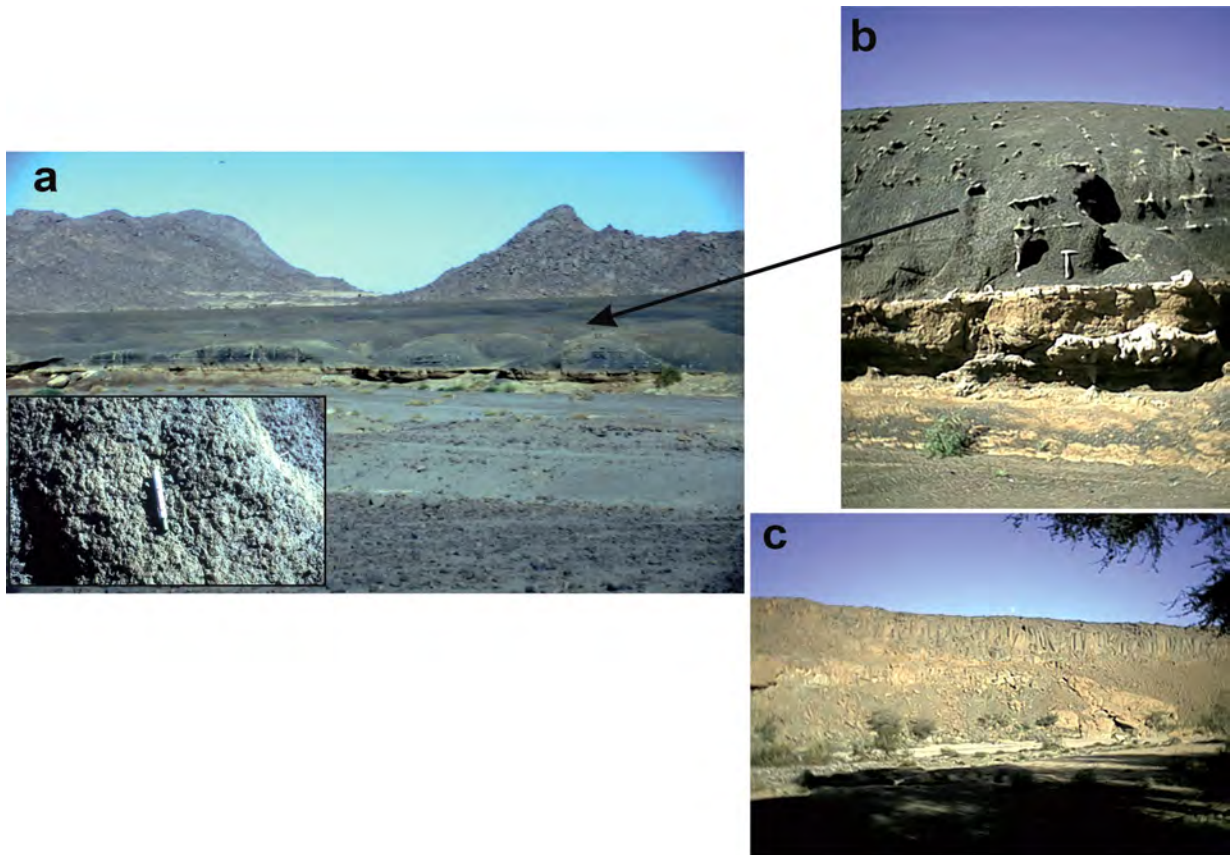
(ii) des tufs de près de 100 m d'épaisseur (pl. 4b), beiges à rouges à la base et gris au sommet, avec des intercalations beiges discontinues. De très nombreux mégacristaux d'amphibole, d'olivine, de plagioclase et de titanite, ainsi que des nodules de péridotite et de pyroxénite, parsèment les tufs à tous les niveaux. L'érosion de la matrice cendreuse se traduit localement par un relief en "cheminées de fée".

(iii) une coulée supérieure (pl. 4c) constituée de lave vacuolaire à surface rugueuse.

Le volcan appelé Station Agricole, car il domine la station agricole d'Ideles, présente un cratère circulaire intact. Il a émis une importante coulée à surface scoriacée sur laquelle le site de Téhéntawek a été occupé à l'Acheuléen tardif (Benmessaoud, 2014). Des mégacristaux d'amphibole ont été observés dans les projections. Cet ensemble recouvre des restes de coulées basaltiques anciennes, probablement miocènes.

Située entre les volcans In Khareren et V1, mais antérieure à leur construction, la coulée C1 contourne par l'ouest, le relief granitique du Taderaze et présente une colonnade en prismes verticaux. Son point d'émission n'a pas pu être déterminé avec certitude, mais il est probable que ce soit le volcan V1 au début de sa construction.

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.



Pl. 4 - a. Volcan V1 (*V1 volcano*); b. Coulée inférieure à croûte scoriacée, recouverte par un niveau épais de tufs (*Lower lava flow with scoriaceous crust, capped by a thick tuff layer*); c. Coulée supérieure (*Upper lava flow*).

### 3.3. Le groupe oriental

Situé à l'est de la piste qui mène d'Ideles à Tazrouk, le groupe oriental repose sur le socle précambrien et entoure le massif granitique Taourirt de Tigattine dont le relief domine les appareils volcaniques. Quatre grands volcans alignés nord-sud ont été reconnus: Mânzez, Ti-n-Saouak, "N55" et "Emboîté".

Le volcan Mânzez, le plus au sud du groupe, s'est construit au cours d'éruptions tantôt explosives et tantôt effusives et garde un cratère circulaire intact. Le cône est parsemé de bombes volcaniques et de produits ponceux à vacuoles sphé-

riques ou tubulaires. Recouvrant le reste d'une coulée ancienne, il a émis un vaste plateau volcanique qui s'étend vers le nord au pied du relief granitique de Tigattine qu'il ennoie partiellement (fig. 03). Des coulées de lave vacuolaire sans prismation visible sont intercalées entre les niveaux de tufs.

Le volcan Ti-n-Saouak est séparé du volcan Mânzez par le volcan Gararet. Formé au cours d'une alternance d'éruptions explosives et effusives, il présente un cratère égueulé vers l'ouest. Les coulées inférieures sont recouvertes par une couche de scories de 20 m d'épaisseur environ, elle-même recouverte par des coulées supérieures

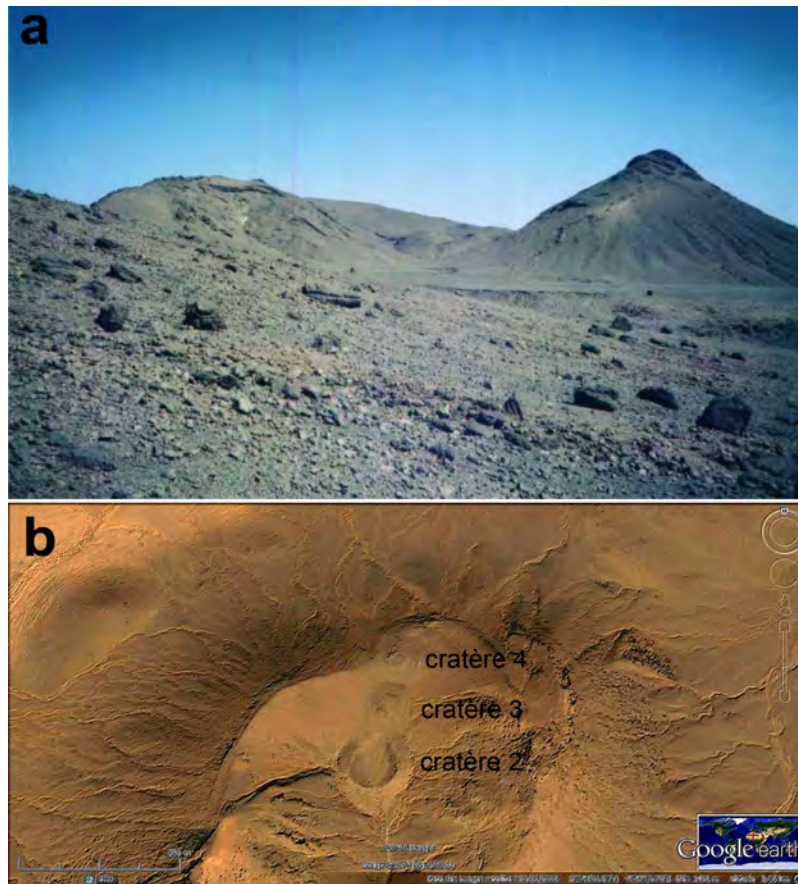
à surface scoriacée épaisse de 6 m environ. Enfin, une coulée très large s'est épanchée vers le nord-est.

Le volcan N55, ainsi appelé car il domine la route nationale 55 au nord-est du village d'Ideles, présente un cratère ouvert vers l'ouest et a émis une grande coulée reposant sur des coulées plus anciennes de trachyandésite. Le cône est constitué d'une alternance de couches de scories, de bombes volcaniques et de cendres blanches, contenant des mégacristaux d'amphibole et des nodules de pyroxénite.

Le volcan Tibeggâtine, cône de scories voisin et semblable au volcan N55, présente un cratère

ouvert vers le sud et a émis une vaste coulée associée à celle du volcan "Emboîté".

Enfin, plus au nord, le volcan "Emboîté" présente, comme son nom le suggère, plusieurs cratères "Emboîtés" (pl. 5a). Le cratère majeur, égueulé vers le sud, contient à l'intérieur trois cratères plus petits alignés nord-sud (pl. 5b). Du volcan s'est épanchée une longue coulée à surface scoriacée qui s'est étendue d'abord vers le sud, puis, après avoir contourné le volcan, vers le nord. Cette coulée rejoint la coulée issue du Tibeggâtine pour former un plateau allongé vers le nord-est au dessus des restes de basalte miocène très altéré se desquamant en pelure d'oignon.



**Pl. 5 - a.** Flanc sud du volcan Emboîté (*Southern flank of the "Nested" Volcano*); **b.** Alignement de cratères à l'intérieur du cratère majeur, photo satellite Google Earth™ (*Crater alignment inside the major crater, Google Earth™ satellite image*).

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

#### 4. PÉTROGRAPHIE DES LAVES

Morphologiquement, toutes les roches apparaissent homogènes et l'analyse chimique s'avère nécessaire pour pouvoir les distinguer. La perte au feu inférieure à 1,50% montre que les échantillons sont frais, mais, comme elle n'est pas nulle, elle suggère la présence limitée de minéraux contenant l'ion hydroxyl OH. Dans le diagramme TAS (fig. 4), les compositions chimiques ont été recalculées à 100% sur base anhydre (Le Maitre, 1989, 2002).

Les roches basiques ( $41.97\% < \text{SiO}_2 < 55.8\%$ ) prédominent et, parmi elles, les basanites qui sont présentes dans tous les appareils volcaniques, suivent la lignée basique des laves des autres régions volcaniques du Hoggar (fig. 4). Pauvres en silice, leurs compositions primitives suggèrent qu'elles peuvent provenir directement du manteau supérieur, (Pilet, 2015 et références incluses). Deux échantillons prélevés dans les produits des volcans Mînzez et In Khareren ont des compositions de basalte alcalin. La coulée inférieure issue du volcan V1 a une composition de trachybasalte avec une perte au feu de 1,57%.

L'affleurement à la base du cratère du volcan N55, a une perte au feu de 2,72%. Sa composition exceptionnelle la situe exactement à l'intersection de quatre champs dans le diagramme TAS: trachyandésite basaltique, trachyandésite, andésite basaltique et andésite. Contenant un peu de quartz normatif, cette roche présente des affinités avec les islandites (série tholéiitique) et n'appartient pas à la série alcaline. Issue d'une coulée plus ancienne, elle montre une composition proche des roches évoluées des séries tholéiitiques du Taharaq (Aït-Hamou, 2000) et pourrait, comme elles, avoir été émise bien avant le Miocène.

#### 4.1. Basanite

Roche typique du district du Manzaz, elle forme de vastes coulées de plateau et se retrouve dans les scories des cônes volcaniques, à l'exception probable du volcan In Khareren. Les affleurements présentent une patine marron, une cassure grise à noire et une texture souvent porphyrique avec des phénocristaux d'olivine, de pyroxène, d'amphibole et, plus rarement de titanite de couleur rouge. Les

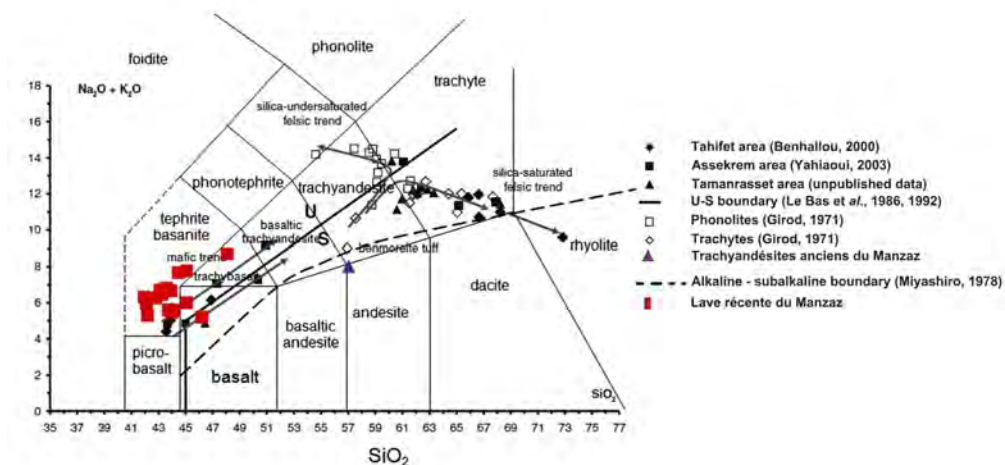


Fig. 4 - Compositions des roches volcaniques du Manzaz et du Hoggar (Azzouni-Sekkal et al., 2007) dans le diagramme TAS (Le Maitre, 2002).

**Manzaz and Hoggar (Azzouni-Sekkal and al., 2007) volcanic rock compositions plotted in the Total Alkali – Silica diagram (Le Maitre, 2002).**

vacuoles fréquentes témoignent de dégazages importants sur le site de l'éruption. Les affleurements de basanite d'Oukcem diffèrent des autres par l'absence totale de phénocristaux.

Dans le faciès porphyrique prédominant, les phénocristaux d'olivine (fig. 5a), automorphes, craquelés et incolores, ont une bordure iddingsitisée dans la coulée C2. Les phénocristaux de clinopyroxène sont souvent squelettiques, certains cristaux présentent un cœur vert, une bordure rose à incolore et une couronne de minéraux opaques (coulées C1 et C2) (fig. 5b), texture comparable à celle des phénocristaux décrits dans l'Atakor (Girod, 1971).

Les phénocristaux bruns d'amphibole sont plus rares (Station Agricole, Tibeggâtine), certains cristaux sont entourés d'un assemblage finement cristallisé d'orthopyroxène et de quartz (Tibeggâtine). La liste des phénocristaux est complétée par les feldspathoïdes en petits cristaux à section hexagonale et les minéraux opaques.

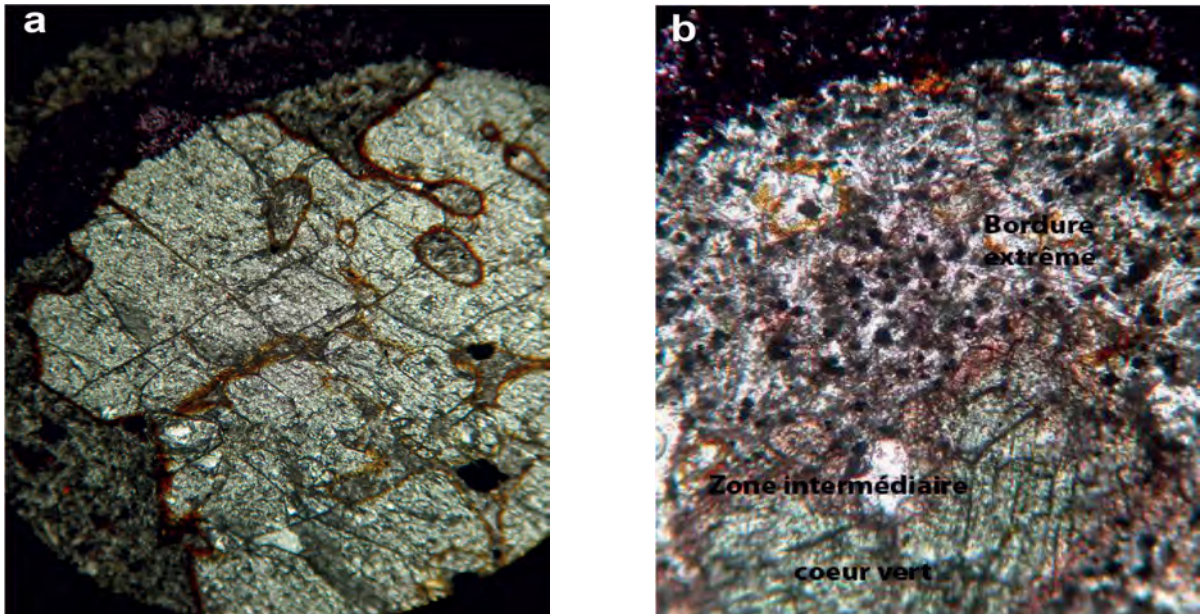
Dans la mésostase mésocrate, les microlites moulent les phénocristaux sans orientation préférentielle. Ils sont constitués essentiellement de labrador, prédominant sur le feldspath ternaire et l'anorthose, d'olivine iddingsitisée, de clinopyroxène, de minéraux opaques et, plus rarement, de spinelle (Mînzez).

Les roches du volcan d'Oukcem diffèrent par leur texture aphyrique. La mésostase qui comprend des phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène, contient environ 5% en volume de verre à composition de téphriphonolite.

#### 4.2. Basalte alcalin

Sur le terrain, le basalte alcalin est très semblable à la basanite. Les coulées, à surface lisse parfois vacuolaire, présentent une cassure gris foncé où apparaissent les phénocristaux d'olivine et de rares mégacristaux de clinopyroxène.

La coulée inférieure du Mînzez est porphyrique avec une surface vacuolaire. Sa mésostase



**Fig. 5 - a.** Phénocristaux d'olivine dans la basanite de la coulée C2 (*Olivine phenocrysts in basanite of C2 lava flow*)  
**b.** Clinopyroxène à cœur vert dans la basanite de la coulée C1. Polaroid Digital Microscope Camera, L.P.A. grossissements identiques (*Green core-bearing clinopyroxene in basanite of C1 lava flow. Polaroid Digital Microscope Camera, crossed nicols, same magnification*).

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

montre une fluidalité marquée par les microlites et diffère des coulées de basanite par l'aspect squelettique des phénocristaux d'olivine à inclusions de minéraux opaques. Comme dans les basanites, les phénocristaux de clinopyroxène ont un cœur vert.

Le basalte alcalin d'In Khareren (fig. 6a) a une texture hyaloporphyrrique, caractérisée par une phase interstitielle vitreuse. Les phénocristaux d'olivine, de clinopyroxène et de plagioclase baignent dans une mésostase constituée des mêmes minéraux. S'y ajoutent du quartz (fig. 6a) et des mégacristaux d'amphibole entourés d'une couronne noire de déstabilisation (fig. 6b) due à la remontée rapide du magma.

#### 4.3. Trachybasalte

La coulée inférieure du volcan V1 est pratiquement aphyrique avec de rares phénocristaux agglomérés de clinopyroxène et présente une surface d'altération en "taches de soleil". La texture microlitique fluidale montre de fines aiguilles de

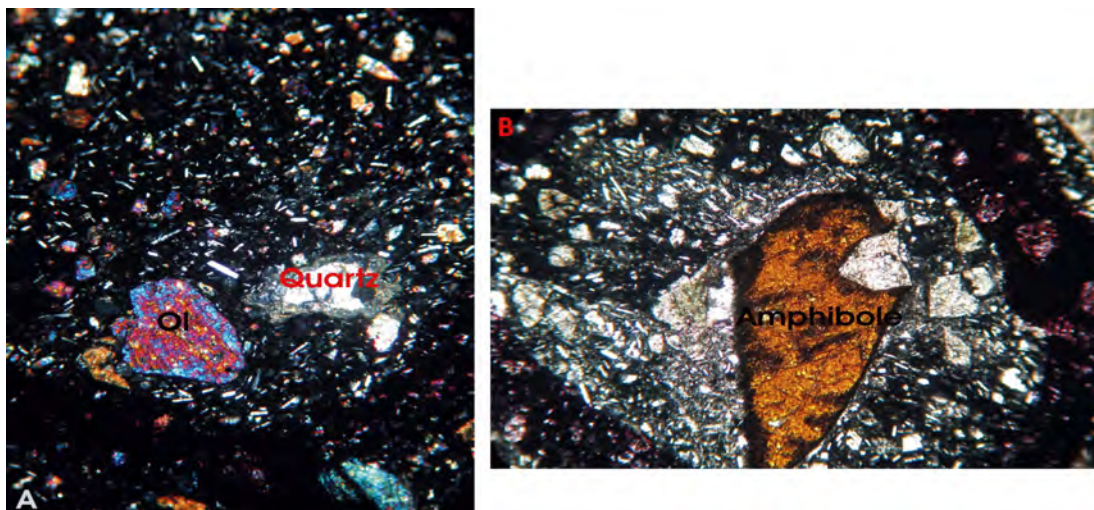
plagioclase et des microcristaux d'olivine, de clinopyroxène, de minéraux opaques, de titanite et d'analcime.

#### 4.4. Trachyandésite

La roche est porphyrique, avec de rares vacuoles. Elle présente des phénocristaux d'olivine, de clinopyroxène zoné et de minéraux opaques. La mésostase est clairement sursaturée en silice car, outre les microlites de clinopyroxène, d'amphibole et de spinelle, elle contient de l'orthopyroxène et du quartz.

#### 4.5. Synthèse pétrographique

Les roches alcalines du Manzaz sont caractérisées par la séquence paragénétique suivante (les minéraux rares sont placés entre parenthèses): (spinelle) → olivine → clinopyroxène + amphibole + plagioclase → oxydes ferro-titanés. Les basanites, roches les moins évoluées de la suite volcanique, contiennent des cristaux tardifs de feldspathoïdes. Les minéraux d'altération forment



**Fig. 6 - a.** Texture hyaloporphyrrique et présence de quartz dans le basalte alcalin du volcan In Khareren (*Hyaloporphyrritic texture and quartz occurrence in alkali basalt of In Khareren volcano*)

**b.** Phénocristal de ferri-kaersutite dans le basalte alcalin du volcan In Khareren. Polaroid Digital Microscope Camera, L.P.A. grossissements identiques (*Ferri-kaersutite phenocryst in alkali basalt of In the Khareren volcano. Polaroid Digital Microscope Camera, crossed nicols, same magnification*).

des "taches de soleil" constituées d'un assemblage de leucite et d'analcime.

Par contre, dans la mésostase du trachyandésite ancien, l'orthopyroxène et le quartz sont présents.

## 5. MINÉRALOGIE

L'observation macroscopique et microscopique des différents échantillons a été complétée par l'analyse des phases minérales obtenue à la microsonde électronique de CAMPARIS, Campus de Jussieu, Paris, dans les conditions analytiques suivantes: intensité du courant 12 nA, temps de comptage 10 s, tension d'accélération 15 kV, standards synthétiques et naturels.

Les formules structurales des minéraux majeurs ont été calculées sur les bases suivantes: 3 cations et 4 anions oxygène pour l'olivine, 4 cations et 6 anions oxygène pour les pyroxènes, 13 cations sans Ca, Na et K et 23 anions oxygène pour l'amphibole, 5 cations et 8 anions oxygène pour les feldspaths.

Une sélection représentative des compositions et des formules structurales des phases minérales majeures sont présentées sous forme de tableaux en annexe.

### 5.1. Olivine

L'olivine est un minéral ubiquiste. Elle a cristallisé dans toutes les laves sous forme de phénocristaux plus ou moins squelettiques et de microcristaux dans la mésostase. D'autre part, des xénocristaux d'olivine mantellique, provenant de fragments disloqués de péridotite, sont inclus dans les basanites et le basalte alcalin. Les nodules de péridotite sont également fréquents.

Les compositions chimiques montrent un continuum des teneurs en molécules de forstérite (Fo) de Fo<sub>88</sub> à Fo<sub>56</sub>, illustrant (fig. 7) une évolution au cours de la cristallisation vers des termes plus

riches en fer. Le basalte alcalin du Mînzez montre la plus grande gamme de valeurs, avec trois générations distinctes de cristaux. La première génération comprend des cristaux d'origine mantellique Fo<sub>88</sub> – Fo<sub>87</sub> et des cristaux au liquidus autour de Fo<sub>86</sub>. La deuxième génération comprend des phénocristaux autour de Fo<sub>78</sub>. La troisième génération, avec des compositions autour de Fo<sub>72</sub>, est constituée par les microcristaux de la mésostase.

Les xénocristaux d'olivine mantellique ont une composition en molécule de forstérite qui varie peu, Fo<sub>88</sub> – Fo<sub>87</sub> dans le basalte alcalin du Mînzez et Fo<sub>87</sub> – Fo<sub>83</sub> dans la basanite de Tibeggatine. Elle se distingue des cristaux d'origine magmatique par sa teneur plus élevée en NiO (0,28 – 0,41%) et ses teneurs plus faibles en CaO (< 0,15%) (fig. 7) et en MnO (< 0,10%).

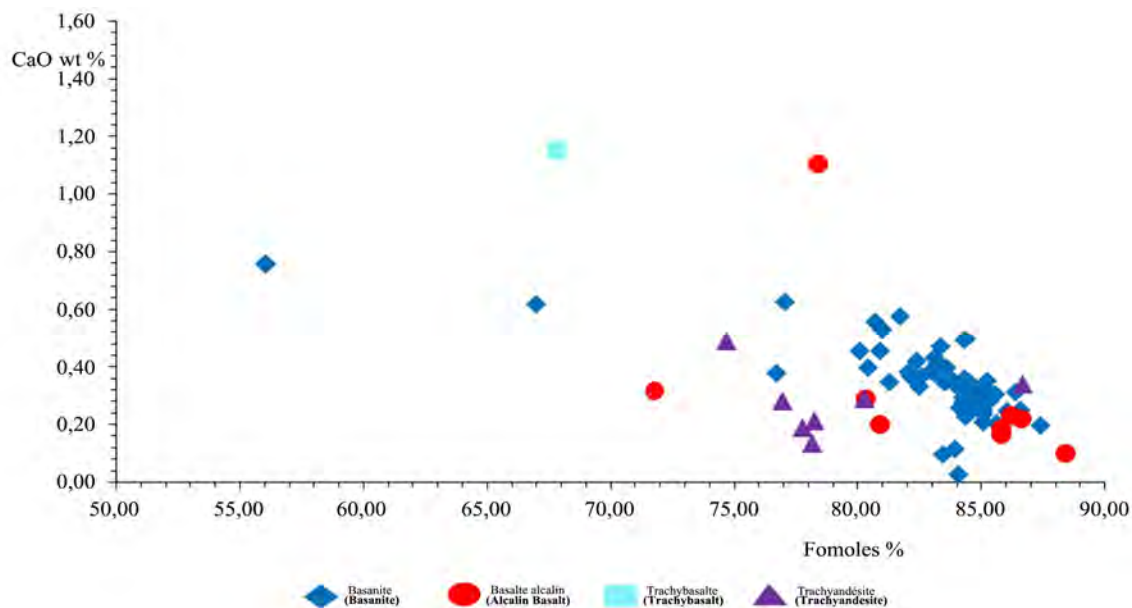
Les phénocristaux magmatiques, plus variables en molécule de forstérite (Fo<sub>86</sub> – Fo<sub>73</sub>), forment deux groupes. Le premier groupe Fo<sub>86</sub> – Fo<sub>80</sub> a des teneurs en NiO proches de celles des xénocristaux mantelliques, mais les teneurs en CaO sont toujours supérieures à 0,25%. Lorsque %Fo diminue, les teneurs en NiO baissent de 0,35 à 0,02%, les teneurs en CaO augmentent de 0,25% à 0,30% (fig. 8) et les teneurs en MnO de 0,10 à 0,45%. Le deuxième groupe Fo<sub>72</sub> – Fo<sub>56</sub> est constitué par les microcristaux. Ils sont plus pauvres en NiO (0,24 – 0,0% NiO), les teneurs en CaO atteignent 0,76% et les teneurs en MnO 0,69%. Le trachybasalte se distingue par un cristal dont les teneurs en CaO et MnO atteignent, respectivement, 1,15% et 1,23%. En revanche, les compositions de l'olivine du trachyandésite ne se distinguent pas de celles du même minéral dans les autres roches.

### 5.2. Pyroxènes

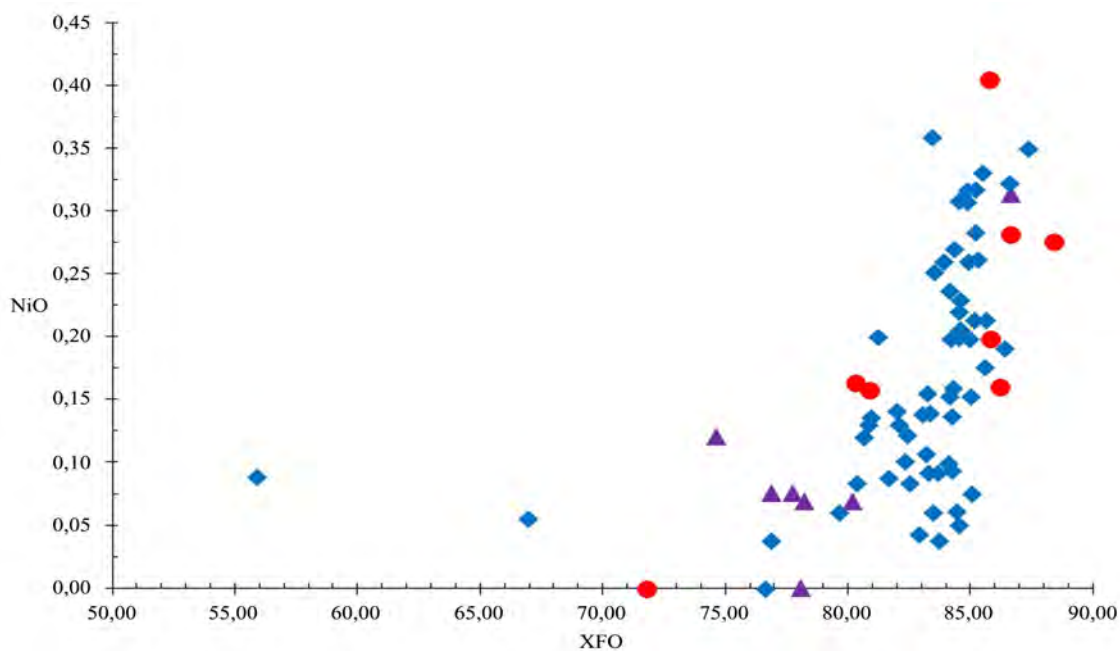
Comme l'olivine, le clinopyroxène est un minéral ubiquiste. Il s'observe en phénocristaux zonés plus ou moins squelettiques et en microcristaux dans la pâte. L'orthopyroxène n'a été observé que



LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.



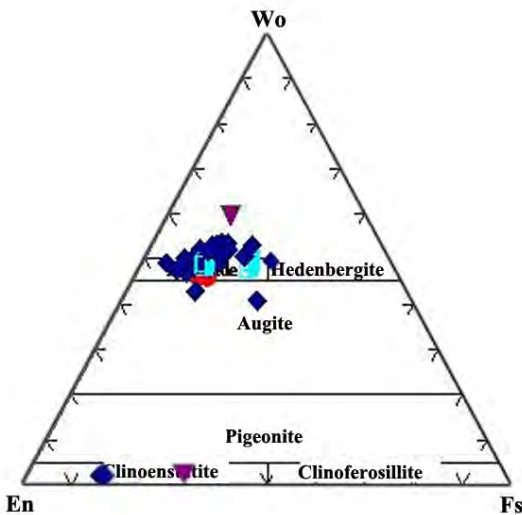
**Fig. 7 - Compositions de l'olivine dans le diagramme CaO – Fo.**  
***Olivine compositions plotted in the CaO – Fo diagram.***



**Fig. 8 - Compositions de l'olivine dans le diagramme NiO – Fo. Même légende que fig. 7.**  
***Olivine compositions plotted in the NiO – Fo diagram. Same legend as fig. 7.***

dans la basanite du Tibeggâtine et le trachyandésite du volcan N55.

Le paramètre Q, défini comme la somme ( $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn}$ ), varie de 1,05 à 1,95 et le paramètre J, défini par  $2^* \text{Na}$ , de 0,02 à 0,48. Les pyroxènes appartiennent donc au groupe Quad des pyroxènes Ca – Fe – Mg (Morimoto, 1989). Les phénocristaux se placent dans le champ du diopside, plus rarement près de la limite diopside – hedenbergite (coulée C1), les microlites se situent dans les champs du diopside et de l'augite (Mînzez, Emboîté) (fig. 9). L'apparente richesse en Ca, souvent supérieure au maximum stœchiométrique de 50%, dans le diagramme Ca – Mg – Fe provient de la présence dans la composition chimique du minéral des molécules de Tschermak,  $\text{CaM}^{3+}\text{M}^{3+}\text{SiO}_6$  ( $\text{M}^{3+} = \text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{\text{VI}}, \text{Cr}^{3+}$ ) et  $\text{CaTiAl}_2\text{O}_6$ , qui ne sont pas prises en compte dans le diagramme.



**Fig. 9** - Nomenclature des cristaux de clinopyroxène (Morimoto, 1989). Même légende que fig. 07.

**Nomenclature of clinopyroxene crystals (Morimoto, 1989). Same legend as fig. 07.**

Les xénocristaux de clinopyroxène mantellique sont rares et n'ont été observés que dans le groupe oriental (Tibeggâtine, Emboîté). Ils sont caractérisés par un rapport Mg#, défini comme

$\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn})$ , élevé (0,91 – 0,82) et par des teneurs significatives en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,69 – 0,17%). Ces valeurs de Mg# et les teneurs en Cr sont néanmoins inférieures à celles mesurées à l'intérieur des enclaves de lherzolite du volcan V1 et d'In Khareren (Beccaluva et al., 2007), suggérant un début de rééquilibrage des compositions avec le magma-hôte.

Dans les phénocristaux et microlites de clinopyroxène magmatique, le rapport Mg# est plus faible et varie de façon continue de 0,80 à 0,69 (phénocristaux et quelques microcristaux) et, après une lacune entre 0,68 et 0,61, il varie de 0,60 à 0,46 (cristal vert de la basanite de la coulée C1, bords d'un cristal dans le trachybasalte de la coulée inférieure de V1 et microcristaux dans la basanite d'Oukcem) (fig. 10). Les teneurs en Cr sont variables, mais généralement inférieures à celles des xénocristaux. Al et Ti présentent une nette corrélation inverse avec Mg# pour Mg# supérieur à 0,69, alors que les variations sont plus erratiques pour Mg# inférieur à 0,60 (figs. 10 et 11). Les phénocristaux zonés présentent un zonage inverse, avec le cœur plus riche en Fe que le bord, ce qui suggère des fugacités variables en oxygène au cours de la cristallisation.

Dans le diagramme (fig. 12) Ti – (Ca + Na) (Letierrier et al., 1982) établi originellement pour seulement les phénocristaux de clinopyroxène, toutes les compositions, du cœur des phénocristaux aux microlites, se placent dans le champ des basaltes alcalins. Les teneurs en Cr relativement faibles excluent une origine mantellique directe. Les fortes teneurs en  $\text{TiO}_2$  (fig. 11) suggèrent une température de cristallisation élevée. Les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (fig. 10) sont suffisantes pour saturer le site T, mais non pour entrer en quantité significative dans les sites M1, indiquant une cristallisation à basse pression à partir d'un liquide sous-saturé en silice.

L'ensemble des clinopyroxènes magmatiques des roches volcaniques du Hoggar se place dans

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

le même champ des basaltes alcalins que celui du Manzaz (fig. 12). Cette remarque vaut aussi bien pour les phéno- et microcristaux des suites alcalines-Atakor (Girod, 1971; Yahiaoui, 2003), Tahifet (Benhallou, 2000), Tazrouk (Ben El Khaznadj, 2008) que, à quelques exceptions près, pour ceux

de la suite tholéiitique du Taharaq (Aït-Hamou, 2000). Il est remarquable que la suite tholéiitique du Taharaq, mise en place en milieu continental, se distingue de la série de référence du Thingmuli (Charreteur et *al.*, 2013), mise en place en milieu océanique.

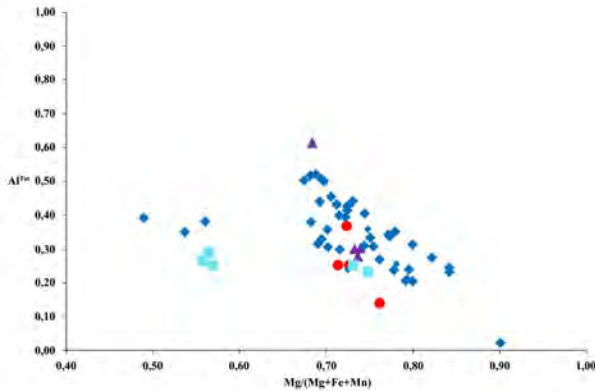


Fig. 10 - Compositions des cristaux de clinopyroxène dans le diagramme Al-Mg#. Même légende que fig. 07.

*Clinopyroxene crystals composition plotted in the Al - Mg# diagram. Same legend as fig. 07.*

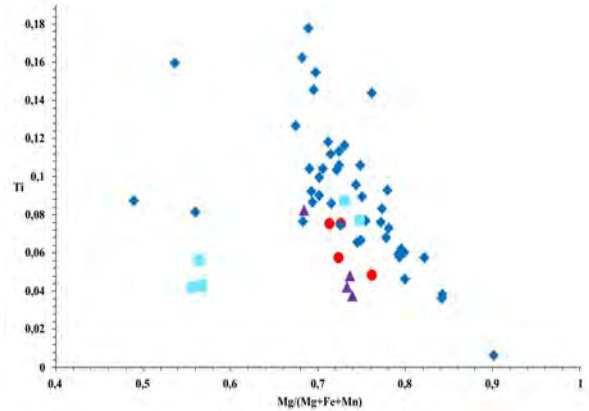


Fig. 11 - Compositions des cristaux de clinopyroxène dans le diagramme Ti - Mg#. Même légende que fig. 07.

*Clinopyroxene crystals composition plotted in the Ti - Mg# diagram. Same legend as fig. 07.*

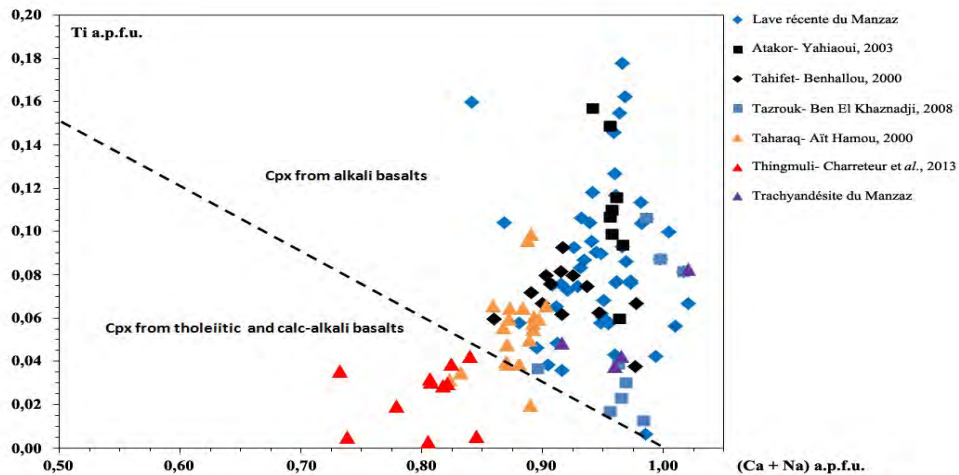


Fig. 12 - Compositions des cristaux de clinopyroxène dans le diagramme Ti - (Na + Ca) (Leterrier et *al.*, 1982). Même légende que fig. 07.

*Clinopyroxene crystals composition plotted in the Ti - (Na + Ca) diagram (Leterrier and *al.*, 1982). Same legend as fig. 07.*

Issu du démantèlement d'un nodule mantellique, l'orthopyroxène de la basanite de Tibeggâtine est donc, un xéno cristal et se place dans le champ de l'enstatite; il a une composition chromifère (0,25 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) en équilibre avec un xéno cristal de clinopyroxène riche en Cr (0,69%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), tous deux présentant le même rapport Mg# de 0,85. Au contraire, celui du trachyandésite ancien, plus évolué avec un rapport Mg# voisin de 0,67, a vraisemblablement cristallisé à partir du liquide magmatique.

### 5.3. Amphibole

L'amphibole apparaît rarement en phénocristaux dans les laves, mais elle est abondante en microcristaux dans l'ensemble de la suite volcanique, y compris dans les roches les plus primitives. Ce caractère est spécifique du district du Manzaz et ne se retrouve pas à ce point dans les autres districts du Hoggar. Ailleurs, l'amphibole en phénocristal est connue dans une mugéarite de l'Atakor (kaersutite) (Azzouni-Sekkal *et al.*, 2007) et dans le trachyte du neck d'In Tifar du district de Tazrouk (fluororichterite) (Azzouni-Sekkal *et al.*, 2013). Des mégacristaux isolés sont par contre communs dans les tufs d'autres districts volcaniques (Tahalgha, Adrar n'Ajjer, Djanet).

Les microcristaux d'amphibole sont assez pauvres en  $\text{TiO}_2$  et le site OH est entièrement rempli par l'ion hydroxyl OH. Les totaux analytiques proches de 98% suggèrent que des volatils comme F et Cl ne sont présents qu'à l'état de traces. Dans la nouvelle classification (Hawthorne *et al.*, 2012), l'amphibole de la basanite de la coulée C1 est une édenite et celle de la basanite du Tibeggâtine (un cristal entourant l'olivine) une magnésio-hastingsite. L'amphibole du trachyandésite ancien est une magnésio-hornblende.

Le basalte alcalin d'In Khareren est remarquable car il présente des phénocristaux de ferri-kaersutite définie par les caractères suivants:  $\text{Ti} = 0,62 \pm 0,06$  atomes par unité dans la formule structurale et site OH occupé de façon prédominante par

l'anion O à la place de l'ion hydroxyl OH. La composition est semblable à celle des mégacristaux récoltés dans les tufs un peu partout dans la province volcanique du Hoggar (Girod, 1971; Dautria *et al.*, 1987; Azzouni-Sekkal *et al.*, 2007). Entourés par une couronne noire composée des produits de déstabilisation au contact du magma en cours d'ascension, ces phénocristaux de ferri-kaersutite peuvent donc, être considérés en déséquilibre avec le magma représenté par la mésostase vitreuse.

### 5.4. Plagioclase

Le plagioclase se présente en microlites dans la mésostase de la plupart des roches. Sa composition (fig. 13) ne varie pas beaucoup d'une roche à l'autre; elle varie plutôt selon sa place dans la séquence de cristallisation. Dans la basanite, le plagioclase précoce a une composition variant de  $\text{An}_{68}$  (labrador) à  $\text{An}_{30}$  (limite andésine – oligoclase) et, est suivi au solidus par un rare feldspath ternaire (oligoclase potassique) subsolidus. Le ba-

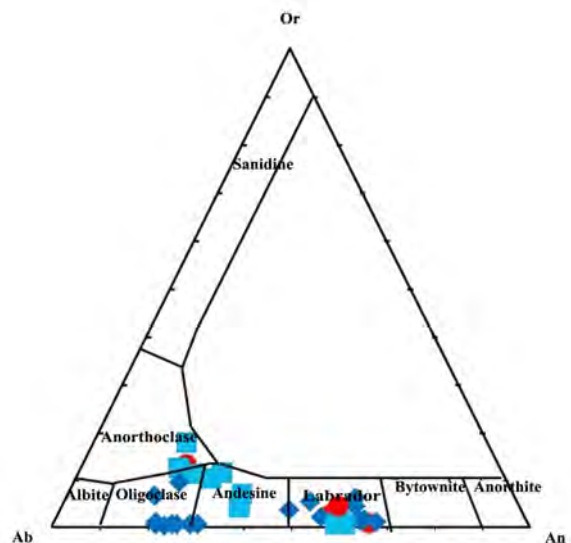


Fig. 13 - Compositions des feldspaths dans le diagramme Ab-Or-An. Même légende que fig. 07.

**Feldspars compositions plotted on the Ab-Or-An diagram. Same legend as fig. 07.**

salte alcalin présente une gamme de cristaux précoces à tardifs avec des compositions variant de  $An_{66}$  (labrador) à  $An_{41}$  (andésine), associé à l'oligoclase potassique dont un cristal a été observé en inclusion dans un cristal d'olivine. Le trachybasalte contient des cristaux de plagioclase précoce à tardif variant de  $An_{61}$  (labrador) à  $An_{31}$  (proche de la limite andésine – oligoclase).

### 5.5. Minéraux accessoires et d'altération

Les minéraux opaques de la basanite et du trachybasalte sont des oxydes appartenant à la solution solide ulvöspinelle  $Fe_2TiO_4$  – magnétite  $Fe_3O_4$  et contenant une quantité non négligeable de molécule spinelle  $MgAl_2O_4$ . La molécule chromite  $FeCr_2O_4$  est présente en faibles quantités dans les cristaux d'oxydes de basanite, mais est absente dans ceux du trachybasalte. Enfin, les teneurs en Mn (molécule jacobsite  $MnFe_2O_4$ ) sont faibles (0,70 à 0,90% MnO) dans les cristaux d'oxydes de basanite et plus élevées (1,27 – 1,40% MnO) dans ceux du trachybasalte.

Des microcristaux ayant les caractères optiques du spinelle ont également été analysés dans la basanite du Mînzez et le trachyandésite ancien. Dans la basanite, un cristal titanifère (2,03%  $TiO_2$ ) appartient à la solution solide complexe spinelle – chromite – hercynite. Le spinelle chromifère est bien connu dans l'Atakor en inclusion dans l'olivine des basanites à analcime (Conquéreé et Girod, 1968). Dans le trachyandésite ancien, un cristal précoce moins titanifère (1,48-1,65%  $TiO_2$ ), en inclusion dans un cristal d'olivine  $Fo_{80}$ - $Fo_{78}$ , appartient à la série spinelle – hercynite – magnétite, sans intervention de la molécule chromite (moins de 0,50%  $Cr_2O_3$ ).

Il faut remarquer qu'aucun cristal d'ilménite n'a été repéré, alors que les teneurs en  $TiO_2$  des roches sont élevées. Une partie du titane se situe donc probablement dans la structure des cristaux de clinopyroxène et d'amphibole mais il ne peut être

exclu que de l'ilménite soit présente dans la méso-stase. Enfin, la titanite est abondante en mégacristaux dans les tufs et a été analysée dans une basanite et le trachybasalte. Dans ces roches, la présence de microcristaux de titanite à côté de ceux d'ulvöspinelle – magnétite implique soit que l'ilménite a disparu, soit qu'elle n'a jamais cristallisé.

Même si les échantillons sont les plus frais possible, de l'altération hydrothermale accompagne et suit les éruptions et elle s'observe dans la pâte et les produits tapissant les parois des vaucoles de certaines roches. Elle se marque par de la leucite et de l'analcime qui forment les "taches de soleil" typiques de certaines basanites.

Bien qu'elles n'aient pas été systématiquement recherchées, plusieurs associations deutériques ont été détectées. La paragenèse typique du faciès des schistes verts [chlorite + épidote + carbonates] est présente dans la basanite des coulées C1 et C2, où elle est accompagnée par des zéolites, dont l'analyse complète n'a pu être réalisée, et, parfois, de la fluorite. Les carbonates contiennent Ca, Fe et Mn en proportions variables selon les solutions solides calcite – ankérite et ankérite – kutnohorite. Enfin, l'association [calcite ferreuse + fluorite + zéolites] a également été détectée dans la pâte du trachybasalte.

## 6. CONDITIONS DE CRISTALLISATION

Les conditions de cristallisation de l'amphibole et du clinopyroxène ont été estimées par les géothermobaromètres de Schmidt (1992), Féménias *et al.* (2006) et Lindsley (1983).

### 6.1. Amphibole

L'estimation des pressions et des températures d'équilibre des amphiboles ont été calculées selon le modèle de Schmidt (1992) pour la pression et celui de Féménias *et al.* (2006) pour la température.

Les conditions expérimentales utilisées pour leurs calibrations correspondent à un milieu plutôt oxydant, qui se traduit par la présence de titanite dans les roches du Manzaz. Les équations utilisées sont:

$$P (\pm 0.6 \text{ kbar}) = -3.01 + 4.76 \text{ Altot (Schmidt, 1992)}$$

$$T (\pm 0.15\text{-}0.55^\circ\text{C}) = 2603 / (1.7 - \ln Ti) \text{ (Féménias et al., 2006)}$$

Les températures des amphiboles sont comprises entre 1170°C et 1250°C pour la ferri-kaersutite du basalte alcalin et entre 860°C et 670°C pour la suite magnésio-hastingsite-édenite des basanites et de l'ordre de 710°C pour la magnésio-hornblende du trachyandésite ancien.

La pression estimée varie de 0,72 à 0,37 GPa pour les basanites. Elle est de 0,92 GPa pour le basalte alcalin et de 0,25 GPa pour le trachyandésite ancien.

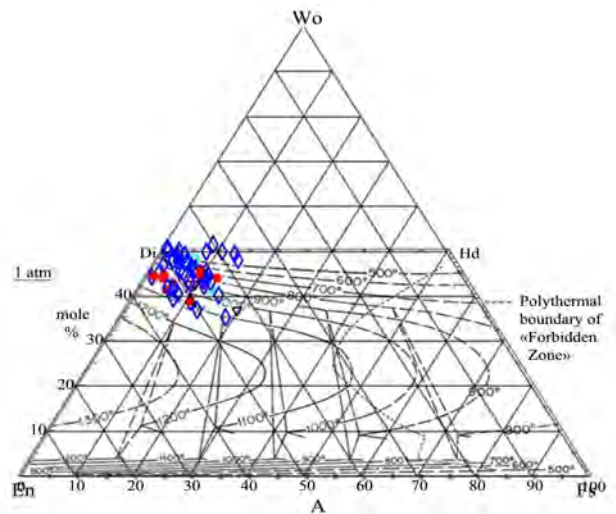
## 6.2. Estimation de la profondeur

Si l'on suppose une densité crustale moyenne de 2,78, la profondeur  $z$  est donnée par la formule suivante:  $z \text{ (km)} = 36 * P \text{ (GPa)}$ . La pression utilisée dans le calcul est celle de l'amphibole. Les résultats suggèrent la présence de plusieurs réservoirs magmatiques intra-crustaux. Dans le groupe central, la profondeur calculée varie de 33 km (basalte alcalin) à 13,5 km (basanite), alors que, dans le groupe oriental, elle est de 26 km (basanite). L'amphibole du trachyandésite ancien a cristallisé à 9 km seulement.

## 6.3. Clinopyroxène

La température d'équilibre du clinopyroxène a été estimée en utilisant le géothermomètre de Lindsley (1983). Elle varie largement de 1100°C à 500°C et met en évidence plusieurs ensembles.

Dans les phénocristaux (fig. 14), deux groupes sont apparents: un premier groupe de haute température ( $\leq 1100^\circ\text{C}$ ) présent dans toutes les roches traduit des températures de cristallisation à partir



**Fig. 14** - Températures d'équilibre des phénocristaux de clinopyroxène (Lindsley, 1983). Même légende que fig. 07.

**Clinopyroxene phenocrysts equilibrium temperatures (Lindsley, 1983). Same legend as fig. 07.**

du bain de silicates fondus, et un deuxième groupe de basse température ( $\sim 500^\circ\text{C}$ ) restreint aux coulées C1 et C2 traduisant un rééquilibrage subsolidus à plus faible profondeur.

Les microlites montrent également plusieurs groupes (fig. 15):  $\leq 1000^\circ\text{C}$  dans les basanites,  $900^\circ\text{C}$  dans le basalte alcalin et  $600^\circ\text{C} - 500^\circ\text{C}$  dans le trachybasalte. La teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et, plus particulièrement en  $\text{Al}^{\text{VI}}$  du clinopyroxène, est contrôlée par la pression (Muir et Tilley, 1961; Brown, 1967). Dans le diagramme  $\text{Al}^{\text{VI}}$  vs.  $\text{Al}^{\text{IV}}$  (Aoki et Kushiro, 1968; Wass, 1979; Pe-Piper et Jansa, 1988) fondé sur le principe du partage de l'aluminium entre les sites tétraédriques et octaédriques (fig. 16), les cristaux pauvres en  $\text{Al}^{\text{VI}}$  typiques de basse pression sont représentés par les phénocristaux et les microlites présents dans les roches de tous les groupes.

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

Les cristaux riches en  $Al^{VI}$  sont beaucoup plus rares, car ils ne sont présents que dans la basanite de Tibbegatine et le trachyandésite ancien du groupe oriental. Ils coexistent avec l'orthopyroxène pour former un assemblage de haute pression non observé ailleurs.

roxène pour former un assemblage de haute pression non observé ailleurs.

## 7. CONTRÔLE STRUCTURAL DU VOLCANISME, CONSÉQUENCE DE LA CONVERGENCE AFRIQUE- EUROPE

La mise en place des volcans du Manzaz a été favorisée par la rhéologie du terrane LATEA et la présence de fractures de différentes directions (fig. 17). Les réseaux de fractures ont été mis en évidence par l'utilisation de la méthode de télédétection «SRTDM» et de méthodes géophysiques. La méthode de télédétection fondée sur le modèle numérique d'élévation «MNE» et les données SRTM, combiné à l'image satellite (Nkono *et al.*, 2009) a permis d'établir une carte linéamentaire. Deux rosaces directionnelles quantitative et qualitative ont été réalisées mettant en évidence les directions principales N-S (groupe oriental), NE-SO (groupe central et oriental) et NO-SE (groupe occidental) (fig. 18). L'alignement des volcans du Manzaz est conforme à un contexte limité par deux zones de décrochement dextre en bordure et disséqué par un système de Riedel sous compression de direction NE-SW. Les différentes fractures suivent les orientations générales des fractures panafricaines (N-S) et mésozoïques (NE-SO et NO-SE).

Le massif du Manzaz (fig. 19) est lié à une anomalie aéromagnétique de nature homogène dont le toit se situe entre 10 et 20 km de profondeur (Benhallou *et al.*, 2010). L'anomalie est limitée à la base à des profondeurs de 10 à 20 km (source A) et de plus de 50 km (source B). Les données de terrain et l'alignement des cônes volcaniques montrent que le district volcanique du Manzaz est de type fissural, avec un plateau de laves englobant les reliefs résiduels de granites Taourirt. Ces observations sont en accord avec la structure mise en évidence par la magnéto-tellurie qui indique la présence d'une shear zone majeure d'échelle lithosphérique sous la région de l'Atakor-Manzaz (Bouزيد *et al.*, 2015).

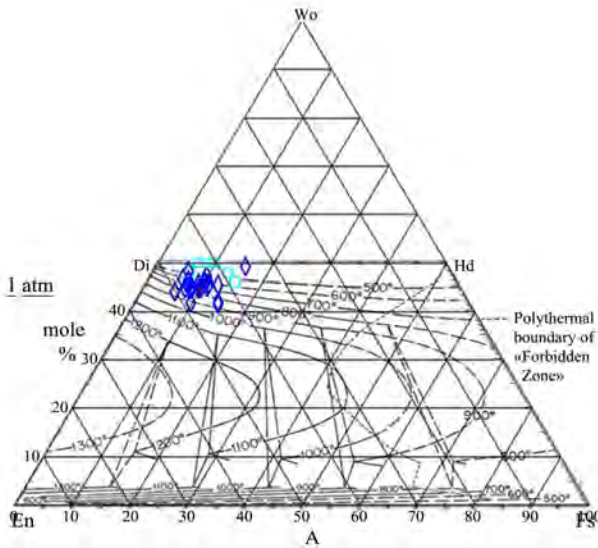


Fig. 15 - Températures d'équilibre des microlites de clinopyroxène (Lindsley, 1983). Même légende que fig. 07.

**Clinopyroxene microlite equilibrium temperatures estimates (Lindsley, 1983). Same legend as fig. 07.**

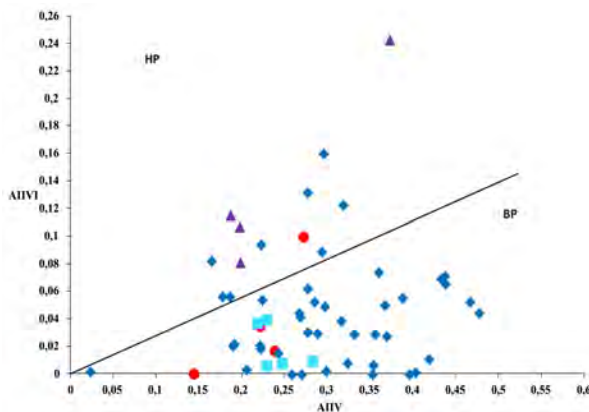
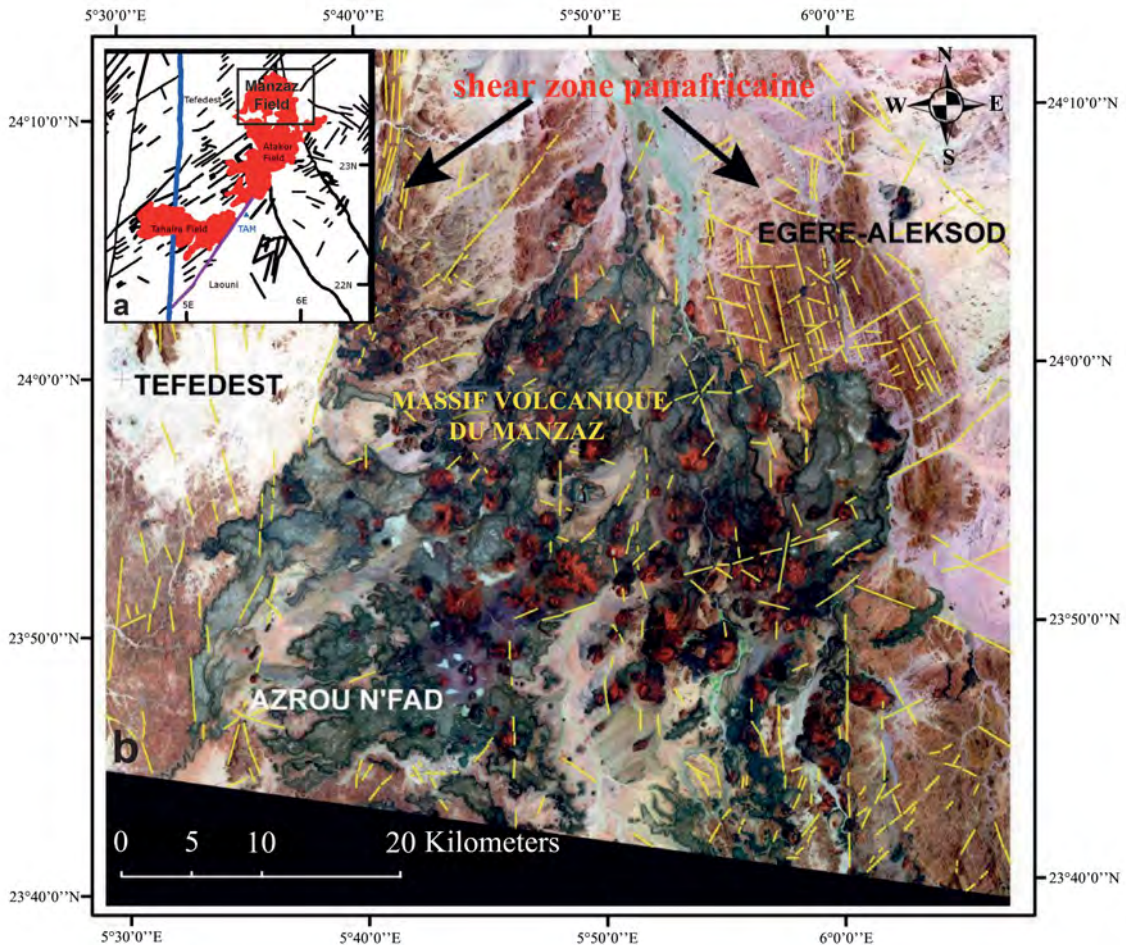


Fig. 16 - Clinopyroxène dans le diagramme  $Al^{VI}$  vs.  $Al^{IV}$  (Aoki et Kushiro, 1968; Wass, 1979; Pe-Piper et Jansa, 1988). HP: haute pression; BP: basse pression; même légende que fig. 07.

**Clinopyroxene plotted in the  $Al^{VI}$  vs.  $Al^{IV}$  diagram (Aoki and Kushiro, 1968; Wass, 1979; Pe-Piper and Jansa, 1988). HP: high pressure; BP: low pressure; same legend as fig. 07.**

La collision Afrique-Europe induit une importante activité sismique inter-plaque dans le Nord de l'Algérie. Plus au sud, le Hoggar est le siège d'une sismicité peu fréquente, dont les épicentres, rassemblés entre Tamanrasset et Silet (Benhallou, 1985) et entre Idèles (Manzaz) et Garet El Dje-

noun (Grandjean et Pinon, 1960), se situent le plus souvent à proximité du volcanisme récent (Quaternaire). Outre la mise en place de la province volcanique, la réactivation des zones de cisaillement préexistantes à l'intérieur ou aux frontières du métacraton LATEA, a favorisé la sismicité actuelle.

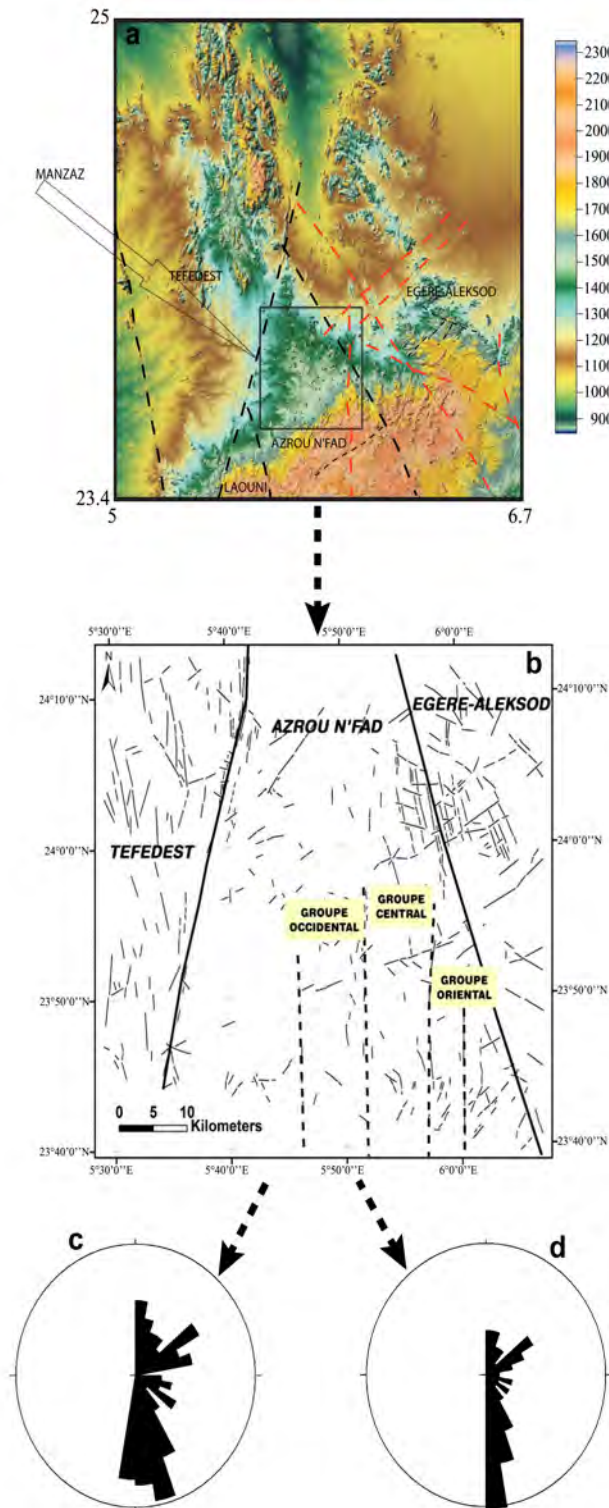


**Fig. 17 - a.** Distribution du volcanisme cénozoïque dans le Hoggar Central et systèmes de fractures, la ligne violette représente l'accident qui sépare le terrane de la Tefedest de celui de Laouni, l'accident bleu N-S représente l'accident 4°50'E (Liu et Gao, 2010) (*Distribution of Cenozoic volcanism (red areas) and brittle fracture systems in central Hoggar. The purple line represents the fault separating Tefedest and Laouni terranes, the blue N-S line represents the 4°50'E fault (Liu and Gao, 2010).*)

**b.** Carte linéamentaire du massif du Manzaz, superposé à l'image Landsat 7 ETM+ (composition en RVB en fausse couleur : 742) (*lineament map superimposed on Landsat 7 ETM+ image (false colors composit of 742 in RGB).*)



LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.



En effet, des séismes intraplaques peuvent s'exprimer à des centaines, voire des milliers de kilomètres des limites de plaques à l'intérieur de zones réputées stables, tels les boucliers anciens ou les chaînes de montagnes anciennes (Boughacha, 2005). Ils sont caractérisés par des périodes de retour millénaires échappant à la mémoire historique et rendant difficiles leur étude. Les épisodes sismiques intraplaques peuvent s'expliquer par la délamination de croûte profonde (Lay et Wallace, 1995) et plus particulièrement par la délamination planaire le long des méga-shear zones dans les zones métacratoniques (Liégeois et *al.*, 2013). Le caractère semi-rigide du métacraton LATEA, dans le Hoggar central, explique le bombement et les épisodes volcaniques sous l'influence de la convergence Afrique-Europe (Liégeois et *al.*, 2005). L'étude détaillée de la distribution des épicentres et des mécanismes aux foyers couplée à la datation des édifices volcaniques récents pourra définir les caractéristiques de la reprise d'activité.

**Fig.18** - Représentation schématique de l'analyse et de la détermination de l'orientation des linéaments.

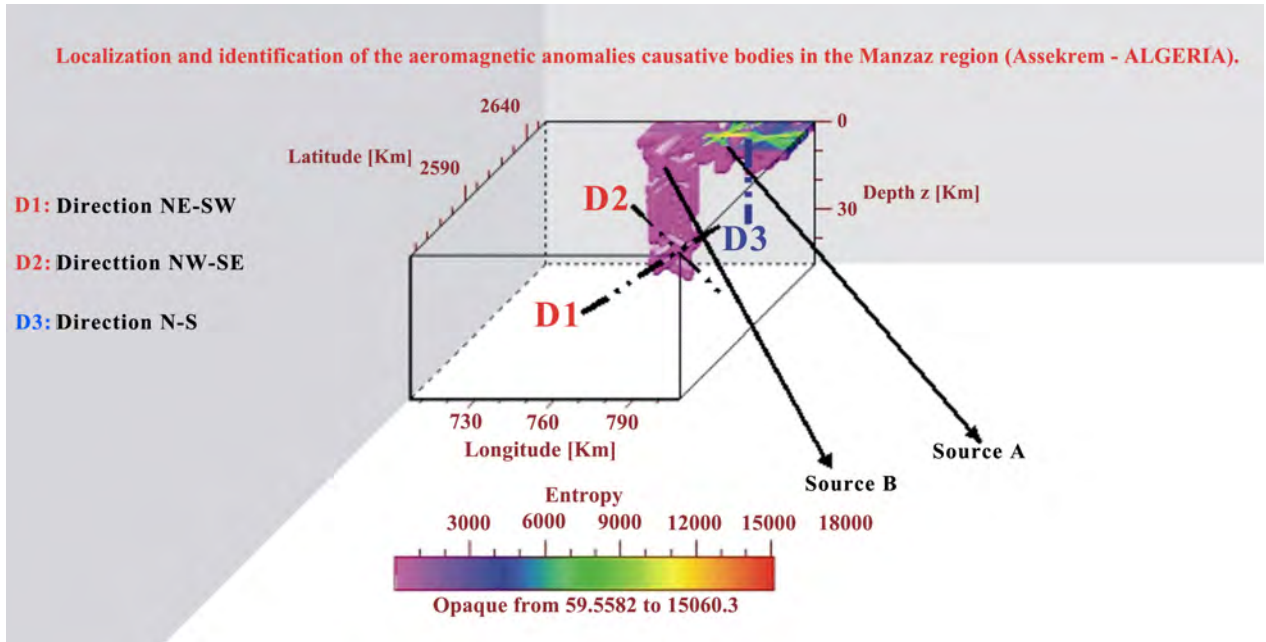
**Analysis and determination of lineaments orientations schematic representation.**

**a.** carte topographique du Hoggar Central (*topographic map of Central Hoggar, calibration of color scale made as a function of altitude*);

**b.** carte linéamentaire du massif volcanique du Manzaz (*lineament map of Manzaz volcanic massif*);

**c.** rosace quantitative des linéaments du Manzaz (*quantitative rose diagram of Manzaz lineaments*);

**d.** rosace qualitative des linéaments du Manzaz établie à partir du logiciel SPO2003 (*qualitative rose diagram of Manzaz lineaments by SPO2003 software*).



**Fig. 19** - Zones d'alimentation du district du Manzaz déterminées à partir des anomalies aéromagnétiques (Benhallou et al., 2010).

*Feeder zones of the Manzaz district detected from aeromagnetic anomalies (Benhallou and al., 2010).*

## 9. DISCUSSION ET CONCLUSION

La morphologie du Manzaz, dominée par des cônes monogéniques, des plateaux basaltiques et un double maar, ne se distingue pas spécialement des autres districts volcaniques récents de la province du Hoggar. La faible différenciation magmatique se marque par la prédominance des basanites sur des termes à peine plus évolués (trachy-basalte). De ce fait, la minéralogie est relativement constante d'un échantillon à l'autre, de sorte que les variations de composition entre cristaux et à l'intérieur des cristaux dans un même échantillon soient souvent plus importantes que les variations entre échantillons. L'omniprésence des produits éruptifs basiques conduit à supposer l'absence de chambres magmatiques pérennes intracrustales sous le Manzaz. La présence de xénocristaux mantelliques (olivine pauvre en Ca et Mn et rares orthopyroxènes) désagrégés dans la pâte des basanites constitue un argument supplémentaire. Cependant, des chambres magmatiques crustales de durée de

vie limitée sont nécessaires. En effet, d'après les pressions d'équilibre de l'amphibole, l'individualisation des liquides s'est produite dans des réservoirs transitoires à des profondeurs de 33 à 13,5 km selon les éruptions. Ces réservoirs se situent à l'intérieur de la croûte continentale du métacraton de LATEA et à des profondeurs variant du Moho à la limite croûte inférieure plastique – croûte supérieure cassante mais n'ont que peu ralenti la montée des magmas mantelliques qui n'ont que très rarement interagi avec la croûte précambrienne comme le démontrent les isotopes du Pb, Sr et du Nd (Liégeois et al., 2005 et références incluses).

Les phénocristaux squelettiques témoignent d'une croissance rapide unidirectionnelle lors de l'éruption et sont synchrones des microcristaux de la mésostase. Cependant, tous ne se sont pas formés lors de l'éruption. Des phénocristaux intratelluriques précoces ont cristallisé en profondeur, puis ont commencé à se déstabiliser au cours de l'ascension rapide du magma. Le déséquilibre est marqué, par exemple,

par la couronne d'amphibole autour de l'olivine dans la basanite de Tibeggatine et par l'association d'oxydes de fer-titane (solution solide ulvöspinelle  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$  – magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) autour de certains phénocristaux de clinopyroxène et d'amphibole.

Par ailleurs, il n'est pas à exclure que les phénocristaux à zonage inverse, en particulier le clinopyroxène à cœur vert et bordure claire à violacée, aient pu cristalliser aux dépens d'un magma différent de celui qui les a amené en surface, comme cela a déjà été proposé dans de nombreuses provinces basaltiques intraplaques.

Le Manzaz montre cependant des différences avec l'Atakor voisin et avec d'autres districts comme la Tahalgha. La fugacité d'oxygène au cours de la cristallisation des magmas a été plus élevée. L'absence apparente d'ilménite et l'occurrence de titanite en mégacristaux et en phénocristaux dans les laves témoignent d'un milieu entre liquidus et solidus proche du tampon titanite – magnétite, c'est-à-dire dans des conditions de plus fortes fugacité d'oxygène que celles qui gouvernent les conditions de cristallisation régnant dans la plupart des magmas basiques intraplaques (FMQ).

La fugacité d'oxygène relativement forte, vraisemblablement induite par la quantité de  $\text{H}_2\text{O}$  dissoute dans le magma, se traduit également par la présence systématique d'amphibole dans tous les types de roches. Bien que ce caractère soit connu dans les magmas alcalins issus de manteau métasomatique, dans le cas du Hoggar, l'amphibole précoce n'avait été observée jusqu'à présent que sous forme de mégacristaux séparés dans les pyroclastites et très rarement en phénocristaux dans les laves. Les amphiboles calciques pauvres en titane marquent, par le remplissage de leur site OH, que la molécule  $\text{H}_2\text{O}$  dissoute dans le magma était présente en assez fortes quantités, sans doute plus de 2% en masse. L'occurrence de ferri-kaersutite dans le basalte alcalin d'In Khareren, avec un site OH rempli à 50-75% par l'anion oxygène, suggère que la quantité dissoute de  $\text{H}_2\text{O}$  a été plus faible. La ferri-kaersutite fait partie

du groupe rare des oxoamphiboles. Les quelques occurrences connues, à côté des cristaux d'amphibole d'origine mantellique, se situent dans les suites magmatiques sous-saturées en silice soumis à des conditions oxydantes (Zaitsev et *al.*, 2013).

Les différences subtiles de texture des roches du groupe occidental par rapport aux autres groupes et la présence d'oxoamphibole dans le seul volcan In Khareren indiquent que les poches de magma se sont individualisées à des niveaux différents et ont suivi des trajets différents à travers un réseau de fractures ouvertes dans la croûte continentale. L'alignement des édifices volcaniques du Manzaz suit la fracturation mésozoïque qui peut également être liée à un système de fracturation conjugué des cisaillements panafricains.

**Remerciements :** Les auteurs remercient vivement le Professeur M. Mégartsi pour sa participation active et ses recommandations sur le terrain et les rapporteurs, Professeurs K. Ouzegane et J.Y. Cottin, pour leurs remarques qui ont contribué à bien améliorer le texte. La note est une contribution au projet CNEPRU (G00220070025) intitulé: «Pétrologie et métallogénie des xénolites associés au volcanisme alcalin, des massifs mafiques et ultramafiques et de leur encaissant (Hoggar)».

## BIBLIOGRAPHIE

- AÏDROUS-BELHOCINE, K. 2010.** Étude pétrologique des granitoïdes panafricains de la partie nord du Bloc Azrou-N'Fad (Région du col d'Azrou et du Manzaz) Hoggar Central, Algérie. *Thèse de Magister. USTHB, Alger*, 147p.
- AÏT-HAMOU, F. 2000.** Un exemple de point chaud intracontinental en contexte de plaque quasi stationnaire: étude pétrologique et géochimique du Djebel Taharaq et évolution du volcanisme cénozoïque de l'Ahaggar (Sahara algérien). *Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Montpellier II*, 200p.
- AÏT-HAMOU, F. 2006.** Le volcanisme cénozoïque à l'échelle du bombement de l'Ahaggar (Sahara Central algérien): synthèse géochronologique et répartition spatio-temporelle. Quelques implications en relation avec l'histoire eo-alpine de la plaque Afrique. *Bull. Serv. Géol. de l'Alg.*, 13, pp. 155-167.

- AIT-HAMOU, F., DAUTRIA, J.-M., CANTAGREL, J.-M., DOSTAL, J. ET BRIQUEU, L. 2000.** Nouvelles données géochronologiques et isotopiques sur le volcanisme cénozoïque de l'Ahaggar (Sahara algérien): des arguments en faveur d'un panache. *C. R. Acad. des Sciences de Paris*, 330, pp. 829–836.
- AOKI, K. AND KUSHIRO, I. 1968.** Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 18, pp. 326–337.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., LIÉGEOIS, J.-P., BECHIRI-BEN-MERZOU, F., BELAIDI-ZINET, S. AND BONIN, B. 2003.** The “Taourirt” magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: review of available data and Sr–Nd isotope evidence. *Journal of African Earth Sciences*, 37, pp. 331–350.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., BONIN, B., BENHALLOU, A., YAHIAOUI, R. AND LIÉGEOIS, J.-P. 2007.** Cenozoic alkaline volcanism of the Atakor Massif (Hoggar, Algeria). In: L. Beccaluva, G. Bianchini and M. Wilson (Eds.) Cenozoic volcanism in the Mediterranean area. *Geological Society of America Special Paper*, 418, pp. 321–340.
- AZZOUNI-SEKKAL, A., BONIN, B. AND BEN-EL KHAZNADJI, R. 2013.** Occurrence of fluororichterite and fluorian biotite in the In Tifar trachyte neck (Tazrouk district, Hoggar volcanic province, Sahara, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 85, pp. 1–11.
- BECCALUVA, L., AZZOUNI-SEKKAL, A., BENHALLOU, A., BIANCHINI, G., ELLAM, R.-M., MARZOLA, M., SIENA, F. AND STUART, F.-M. 2007.** Intracratonic asthenosphere upwelling and lithosphere rejuvenation beneath the Hoggar swell (Algeria): evidence from HIMU metasomatised lherzolites mantle xenoliths. *Earth and Planetary Science Letters*, 260, pp. 482–494.
- BEN EL KHAZNADJI, R. 2008.** Étude pétrologique des laves alcalines et hyperalcalines de la région de Tazrouk (bloc Azrou N'Fad – Eggere Aleksod, Hoggar central). *Thèse de Magister, USTHB, Alger*, 165 p.
- BENHALLOU, H. 1985.** Les catastrophes séismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie. *Thèse de Doctorat es-Sciences, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (U.S.T.H.B.), Alger*, 295 p.
- BENHALLOU, A.-Z., 2000.** Étude du volcanisme alcalin cénozoïque de la région de Tahifet (Bloc d'Azrou N'Fad, Hoggar central, Algérie). *Thèse de Magister, USTHB, Alger*, 164p
- BENHALLOU, A.-Z. DEBABHA, F., MÉGARTSI, M. AND AZZOUNI-SEKKAL, A. 2004.** Twin maars of Ouksem (Manzaz Northern Tamanrasset, Hoggar): a volcanic curiosity. *20<sup>ème</sup> Colloque de Géologie Africaine, Orléans, France, 2-7 Juin*, 75p.
- BENHALLOU, A.-Z. BOUKERBOUT, H., AZZOUNI-SEKKAL, A. ET LIÉGEOIS J.-P. 2010.** Apport de l'aéromagnétisme dans la détermination de la profondeur de la source magmatique et des accidents tectoniques à l'origine du massif volcanique du Manzaz (Hoggar Central). *1<sup>er</sup> Congrès sur la Géologie du Maghreb, Tlemcen, 10-12 Novembre*, résumé étendu, pp. 69-72.
- BENMESSAOUD, M. 2014.** Recherches sur l'Acheuléen de l'Ahaggar : les matières premières lithiques ; l'outillage lithique, rapport éclats/outil ; le cadre stratigraphique et chronologique. Exemple du site Téhéntawek. *Thèse de Doctorat en Archéologie, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne*, 341p.
- BEUF, S., BIJU-DUVAL, B., DE CHARPAL, O., ROGNON, P., GARIEL, O. ET BENNACEF, A. 1971.** Les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara. *Publication IFP, Collection “Science et Techniques Pétrole”* 464 p.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEOIS, J.-P., CABY, R. AND BERTRAND, J.-M. 1994.** Pan African displaced terranes in the Tuareg shield (Central Sahara). *Geology*, 22, pp. 641–644.
- BOISSONNAS, J. 1973.** Les granites à structure concentrique et quelques autres granites tardifs de la chaîne panafricaine en Ahaggar (Sahara central, Algérie). *Centre de Recherches sur les Zones Arides, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris*, série géologie, 16, 662 p.

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

- BOUGHACHA, M.-S. 2005.** Analyse de la sismicité de l'Algérie. Application à l'établissement des cartes des I.M.O et ΔCFF. *Thèse de Doctorat es-Sciences, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (U.S.T.H.B), Alger*, 289 pp.
- BOUZID, A., BAYOU, B., LIÉGEAIS, J.-P., BOURUIS, S., BOUGHICHE, S.-S., BENDEKEN, A., ABTOUT, A., BOUKHLOUF, W. AND OUABADI, A. 2015.** Lithospheric structure of the Atakor metacratonic volcanic swell (Hoggar, Tuareg Shield, Southern Algeria): Electrical constraints from magnetotelluric data. In: Foulger, G.R., Lustrino, M., and King, S.D., eds., *The Interdisciplinary Earth: a volume in honor of Don L. Anderson: Geological Society of America*, special paper, 514 pp. 239-255.
- BROWN, J.-W. 1967.** Jurassic dolerites from the Falklands Islands and Dronning Maud Land. *British Antarctic Survey Bulletin*, 13, pp. 89-92.
- CONQUÉRÉ, F. ET GIROD, M. 1968.** Contribution à l'étude des paragenèses précoces des basaltes alcalins: les spinelles (titanomagnétites et ferripléonastes) du volcan de l'oued Temorte (Atakor, Sahara central) et leurs produits de transformation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 20, pp. 1-29.
- CHARRETEUR, G., TEGNER, C AND HAASE, K. 2013.** Multiple ways of producing intermediate and silicic rocks within Thingmu li and other Icelandic volcanoes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, pp. 471-490.
- CHEILLETZ, A., BERTRAND, J.-M., CHAROY, B., MOULAHOU, O., BOUABSA, L., FARRAR, E., ZIMMERMAN, J.-L., DAUTEL, D., ARCHIBALD, D.-A. ET BOULLIER, A.-M. 1992.** Géochimie et géochronologie Rb/Sr, K/Ar, <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar des complexes granitiques panafricains de la région de Tamanrasset (Algérie): relation avec les minéralisations Sn-W associées et l'évolution tectonique du Hoggar central. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 163, pp. 733-750.
- DAUTRIA, J.-M., LIOTARD, J.-M., CABANES, N., GIROD, M. AND BRIQUEU, L. 1987.** Amphibole-rich xenoliths and host alkali basalts: Petrogenetic constraints and implications on the recent evolution of the upper mantle beneath Ahaggar (Central Sahara, Southern Algeria). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95, pp. 133-144.
- FÉMÉNIAS, O., MERCIER, J.-C.-C., VKOVO, C., DIOT, H., BERZA, T., TATU, M. AND DEMAIFFE, 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.
- GIROD, M. 1971.** Le massif volcanique de l'Atakor (Hoggar, Sahara algérien). Étude pétrographique, structurale et volcanologique. Centre de Recherches sur les Zones Arides, *série Géologie 12, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris*, Série Géologie 12, 158 p.
- GRANDJEAN, A. ET PINON, R. 1960.** Les séismes du Hoggar. *Bulletin Institut de physique du Globe d'Algérie, Alger, Algérie*.
- HAWTHORNE, F.-C., OBERTI, R., HARLOW, G.-E., MARESCH, W.-V., MARTIN, R.-F., SCHUMACHER, J.-C. AND WELCH, W.-D. 2012.** IMA Report. Nomenclature of amphiboles. *American Mineralogist*, 97, pp. 2031-2048.
- LAY, T. AND WALLACE, T.-C. 1995.** Modern Global Seismology. *Academic Press*, 521p.
- LE BAS, M.-J., LE MAITRE, R.-W., STRECKEISEN, A. AND ZANETTIN, B. 1986.** A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silicat diagram. *Journal of Petrology*, vol. 27, pp. 745-750.
- LE BAS, M.-J., LE MAITRE, R.-W. AND WOOLLEY, A.-R. 1992.** The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and Petrology*, vol. 46, pp. 1-22.
- LE MAITRE, R.-W. 1989.** A classification of the igneous rocks and glossary of terms. recommendations of the I.U.G.S subcommission on the systematics of igneous rocks. *Blackwell Scientific Publications, Oxford, U.K.*, 193 p.
- LE MAITRE, R.-W. 2002.** igneous rocks-a classification and glossary of terms. Recommendations of the I.U.G.S subcommission on the systematics of igneous rocks. *Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2<sup>nd</sup> Edition*, 236 p.

- LETERRIER, J., MAURY, R.-C., THONON, P., GIRARD, D. AND MONCHAL, A. 1982.** Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, pp. 139-154.
- LIÉGEOIS, J.-P., LATOUCHE, L., BOUGHRARA, 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. *Jour. of Afric. Earth Sciences*, 37, pp. 161-190.
- LIÉGEOIS, J.-P., BENHALLOU, A., AZZOUNI-SEKKAL, A., YAHIAOUI, R. AND BONIN, B. 2005.** The Hoggar swell and volcanism: Reactivation of the Precambrian Tuareg Shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism. *In: Foulger, G.-R., Natland, J.-H., Presnall, D.-C., and Anderson, D.L. (Eds) Plates, Plumes and Paradigms. Geological Society of America, special paper 388*, pp. 379-400.
- LIÉGEOIS, J.-P., ABDELSALAM, M.-G., ENNIH, N. AND OUABADI, A. 2013.** Metacraton: nature, genesis and behaviour. *Gondwana Research*, 23, pp. 220-237.
- LINDSLEY, D.-H. 1983.** Pyroxene thermometry. *American Mineralogist*, 68, pp. 477-493.
- LIU, K.-H. AND GAO, S.-S. 2010.** Spatial variations of crustal characteristics beneath the Hoggar Swell, Algeria, revealed by systematic analyses of receiver functions from a single seismic station. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, Q08011, doi:10.1029/2010GC003091, pp. 1-14.
- MIYASHIRO, A. 1978.** Nature of Alkali volcanic rock series. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, pp. 99-104.
- MORIMOTO, N. 1989.** Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist*, 27, pp. 143-156.
- MUIR, I.-D. AND TILLEY, C.-E. 1961.** Mugarites and their place in alkaline igneous rock series. *Journal of Geology*, 69, pp. 186 - 203.
- NKONO, C., FÉMÉNIAS, O AND DEMAÏFFE, D. 2009.** Geodynamic framework of large volcanic fields high lighted by SRTM DEMS: Method evaluation and perspectives exemplified on three areas from the Cameroon Volcanic Line. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 187 (1), pp. 13-25.
- PAQUETTE, J.-L., CABY, R., DJOUADI, M.-T. AND BOUCHEZ, J.-L., 1998.** U-Pb dating of the end of Pan-African orogeny in the Tuareg Shield: the post-collisional syn-shear Tioueine pluton (Western Hoggar, Algeria). *Lithos*, 45, pp. 245-253.
- PE-PIPER, G. AND JANSA, L.-F. 1988.** Geochemistry of the Late Middle Jurassic-Early Cretaceous igneous rocks on the Eastern North American margin. *Bulletin of the Geological Society of America*, 99, pp. 803-813.
- PILET, S. 2015.** Generation of low-silica alkaline lavas: Petrological constraints, models, and thermal implications. *In: Foulger, G.-R., Lustrino, M., and King, S.-D., eds. The Interdisciplinary Earth: A Volume in Honor of Don L. Anderson. Geological Society of America, special paper 514 and American Geophysical Union, special publication, 71*, pp. 281-304
- ROUGIER, S., MISSENERD, Y., GAUTHERON, C., BARBARAND, J., ZEYEN, H., PINNA, R., LIÉGEOIS, J.-P., BONIN, B., OUABADI, A., DERDER, M.-E.-M. AND FRIZON DE LAMOTTE, D. 2013.** Eocene exhumation of the Tuareg Shield. *Geology*, 41, pp. 615-618.
- SCHMIDT, M.-W. 1992.** Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110, pp. 304-310.
- WASS, S.-Y. 1979.** Multiple origins of clinopyroxenes. *Mineralogical Magazine*, 39, pp. 768-787.
- YAHIAOUI, R. 2003.** Étude du volcanisme alcalin de la région de l'Assekrem (Hoggar central), étude pétrographique, minéralogique, géochimique et géobarométrique *Thèse de Magister, FSTGAT-USTHB, Alger*; 164 p.
- ZAITSEV, A.-N., AVDONTSEVA, E.-Y.-U., BRITVIN, S.-N., DEME'NY, A., HOMMONAY, Z., JEFFRIES, T.-E., KELLER, J., KRIVOVICHEV, V.-G., MARKL, G., PLATONOVA, N.-V., SIIDRA, O.-I., SPRATT, J. AND VENNEMANN, T. 2013.** Oxo-magnesian hastingsite, NaCa<sub>2</sub>(Mg<sub>2</sub>Fe<sup>3+</sup><sub>3</sub>)(Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>)O<sub>22</sub>O<sub>2</sub>, a new anhydrous amphibole from the Deeti volcanic cone, Gregory rift, Northern Tanzania. *Mineralogical Magazine*, 77, pp. 2773-2792.

## **Annexe**

**Tableau I** - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 04 oxygènes de quelques olivines des laves du Manzaz.

**Analysis and structural formulas on the basis of 04 oxygens of the Manzaz lavas olivine .**

Groupe	Oriental sud			Oriental nord		
Roche	Basalte alcalin	Basalte alcalin	Basanite	Trachyandésite	Trachyandésite	Basanite
N° Éch.	E22	E22	E27	E29	E29	E31
N°Anal.	3 cœur phénocristal squelettique	4 bordure phénocristal squelettique	109 cœur	68 coeurmeg	75 bordmeg	39 meg nodule à olv + opx
SiO <sub>2</sub>	40,34	40,41	40,34	39,53	39,29	40,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,06	0,09	0,08	0,08	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,05	0,02	0,07	0,01	0,08	0,00
FeO	13,55	12,76	15,58	20,12	21,09	15,53
MnO	0,19	0,23	0,07	0,21	0,16	0,22
MgO	45,71	46,19	43,56	40,45	39,36	43,81
CaO	0,19	0,23	0,48	0,21	0,28	0,10
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06
NiO	0,41	0,28	0,09	0,07	0,08	0,36
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,09	0,00	0,01	0,04	0,04
K <sub>2</sub> O	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
<b>TOTAL</b>	100,52	100,29	100,26	100,69	100,47	100,31
<b>FORMULE STRUCTURALE (4 Oxygènes)</b>						
Si	1,002	1,002	1,011	1,008	1,009	1,009
Al	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe	0,281	0,265	0,327	0,429	0,453	0,326
Mn	0,004	0,005	0,001	0,005	0,004	0,005
Mg	1,692	1,708	1,628	1,538	1,507	1,639
Ca	0,005	0,006	0,013	0,006	0,008	0,003
Cr	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Ni	0,008	0,006	0,002	0,001	0,002	0,007
Na	0,000	0,004	0,000	0,000	0,002	0,002
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	3	3	3	3	3	3
XFo	86	87	83	78	77	83
XFa	14	13	17	22	23	17
Mg	0,86	0,87	0,83	0,78	0,77	0,83
<b>FORMULE STRUCTURALE (24 Oxygènes)</b>						
Si	6,012	6,014	6,069	6,051	6,057	6,052
Al	0,008	0,010	0,000	0,000	0,014	0,000
Ti	0,000	0,002	0,000	0,000	0,009	0,000
Fe	1,689	1,588	1,960	2,575	2,719	1,956
Mn	0,024	0,030	0,008	0,028	0,021	0,028
Mg	10,154	10,247	9,768	9,227	9,044	9,834
Ca	0,031	0,036	0,077	0,035	0,047	0,016
Cr	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,007
Ni	0,049	0,034	0,011	0,008	0,009	0,043
Na	0,000	0,025	0,000	0,000	0,011	0,010
K	0,004	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000
<b>TOTAL</b>	18	18	18	18	18	18



LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

**Tableau I - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 04 oxygènes de quelques olivines des laves du Manzaz.**

**Analysis and structural formulas on the basis of 04 oxygens of the Manzaz lavas olivine.**

Groupe	Central			Occidental		
	Trachybasalte	Basanite	Basalte alcalin	Basanite	Basanite	Basanite
N° Éch.	E42	46	59	57	82	82
N° Anal.	11	105 meso	37 bord	86 bord megacristal	1coeur	2bord
SiO <sub>2</sub>	38,85	37,24	39,80	41,08	39,46	39,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,01	0,00	0,04	0,01	0,08	0,03
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,07	0,02	0,00	0,08	0,03
FeO	26,40	28,95	17,87	13,68	16,80	16,58
MnO	1,23	0,68	0,26	0,03	0,33	0,21
MgO	31,21	32,88	42,39	45,17	42,92	43,31
CaO	1,15	0,62	0,21	0,31	0,38	0,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,00	0,00	0,03	0,06	0,01
NiO		0,06	0,16	0,33	0,14	0,10
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02
K <sub>2</sub> O	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>99,96</b>	<b>100,53</b>	<b>100,76</b>	<b>100,66</b>	<b>100,25</b>	<b>100,18</b>
<b>FORMULE STRUCTURALE (4 Oxygènes)</b>						
Si	1,033	0,999	1,005	1,017	0,999	0,998
Al	0,032	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001
Ti	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001
Fe	0,587	0,649	0,377	0,283	0,355	0,351
Mn	0,028	0,015	0,005	0,001	0,007	0,005
Mg	1,237	1,315	1,596	1,666	1,619	1,632
Ca	0,033	0,018	0,006	0,008	0,010	0,011
Cr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Ni	0,000	0,001	0,003	0,007	0,003	0,002
Na	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
XFo	68	67	81	85	82	82
XFa	32	33	19	15	18	18
Mg	0,68	0,67	0,81	0,85	0,82	0,82
<b>FORMULE STRUCTURALE (24 Oxygènes)</b>						
Si		5,994	6,030	6,100	5,991	5,988
Al		0,000	0,007	0,002	0,014	0,006
Ti		0,008	0,003	0,000	0,009	0,003
Fe		3,897	2,265	1,699	2,132	2,103
Mn		0,092	0,033	0,004	0,043	0,027
Mg		7,888	9,573	9,998	9,713	9,793
Ca		0,107	0,034	0,049	0,062	0,069
Cr		0,000	0,000	0,004	0,007	0,002
Ni		0,007	0,019	0,040	0,017	0,012
Na		0,007	0,000	0,003	0,000	0,005
K		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>TOTAL</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>

**Tableau II - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 06 oxygènes de quelques clinopyroxènes des laves du Manzaz.**

**Analysis and structural formulas on the basis of 06 oxygens of the Manzaz lavas clinopyroxene.**

Groupe	Oriental sud			Oriental nord		
Roche	Basalte alcalin	Basalte alcalin	Basanite	Trachyandésite	Trachyandésite	Basanite
N° Éch.	E22	E22	E25	E29	E29	E31
N°Anal.	18vert cœur	19 vert micr	136 cœur	63 bord	64 cœur	2 crmeg
SiO <sub>2</sub>	49,69	46,99	45,42	48,54	48,70	45,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,28	5,74	6,80	6,94	6,88	8,65
TiO <sub>2</sub>	1,75	2,67	3,06	1,36	1,52	2,73
FeO	7,80	8,55	8,25	7,43	7,33	8,69
MnO	0,20	0,24	0,33	0,11	0,21	0,19
MgO	14,25	12,21	12,00	11,86	11,50	10,64
CaO	22,15	21,83	22,97	21,40	21,38	21,91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,14	0,02	0,19	0,08	0,01
NiO	0,03	0,08	0,16	0,02	0,07	0,02
Na <sub>2</sub> O	0,37	0,41	0,64	1,48	1,55	1,08
K <sub>2</sub> O	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03
TOTAL	99,53	98,87	99,64	99,33	99,22	99,40
<b>FORMULE STRUCTURALE (6 Oxygènes)</b>						
Si	1,853	1,779	1,702	1,803	1,814	1,706
Al <sup>IV</sup>	0,144	0,221	0,298	0,197	0,186	0,294
T	1,997	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Al <sup>VI</sup>	0,000	0,035	0,002	0,107	0,116	0,089
Fe <sup>3+</sup>	0,080	0,061	0,169	0,115	0,095	0,131
Ti	0,049	0,076	0,086	0,038	0,043	0,077
Cr	0,000	0,004	0,001	0,005	0,002	0,000
Ni	0,001	0,003	0,005	0,001	0,002	0,001
Mg	0,792	0,689	0,670	0,657	0,639	0,595
Fe <sup>2+</sup>	0,162	0,210	0,088	0,115	0,132	0,140
Mn	0,006	0,008	0,010	0,003	0,007	0,006
MI	1,090	1,084	1,031	1,041	1,035	1,039
Ca	0,885	0,885	0,922	0,852	0,853	0,881
Na	0,027	0,030	0,046	0,107	0,112	0,078
K	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002
Groupe	Oriental Sud			Oriental Nord		
Roche	Basalte alcalin	Basalte alcalin	Basanite	Trachyandésite	Trachyandésite	Basanite
N° Éch.	E22	E22	E25	E29	E29	E31
N°Anal.	18 vert cœur	19 vert microlite	136 cœur	63 bord	64 cœur	2 cœurmeg
T+MI+M2	4	4	4	4	4	4
%En	41	37	36	38	37	34
%Fs	13	15	14	13	14	16
%Wo	46	48	50	49	49	50
XFe	0,23	0,28	0,28	0,26	0,26	0,31
Mg/Mg+Fet	0,77	0,72	0,72	0,74	0,74	0,69

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

**Tableau II - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 06 oxygènes de quelques clinopyroxènes des laves du Manzaz.**

***Analysis and structural formulas on the basis of 06 oxygens of the Manzaz lavas clinopyroxene.***

Groupe	Groupe central		Groupe occidental				
	Trachybasalte	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite
N° Éch.	42	46 cpx vert	46 cpx vert	57	82	82	82
N° Anal.	4 bord	96 coeur	97 bord	76 bord	22 inter	23 bord	24 coeur
SiO <sub>2</sub>	47,07	43,63	40,00	46,55	42,37	44,09	43,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,05	8,65	8,72	6,24	9,75	9,10	9,24
TiO <sub>2</sub>	1,51	2,88	3,03	2,43	4,06	3,75	4,03
FeO	12,47	11,95	15,35	7,53	7,77	7,89	8,06
MnO	0,63	0,29	0,32	0,14	0,10	0,15	0,13
MgO	9,15	8,68	8,34	12,68	11,45	11,58	11,37
CaO	21,92	24,17	23,04	24,79	23,74	23,96	24,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,01	0,00	0,27	0,40	0,00	0,08
NiO	0,03	0,02	0,07	0,02	0,06	0,03	0,00
Na <sub>2</sub> O	1,50	0,55	0,63	0,63	0,43	0,44	0,45
K <sub>2</sub> O	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>TOTAL</b>	100,34	100,85	99,51	101,27	100,13	101,00	100,90
<b>FORMULE STRUCTURALE (6 Oxygènes)</b>							
Si	1,771	1,645	1,539	1,708	1,582	1,631	1,598
Al <sup>V</sup>	0,229	0,355	0,395	0,270	0,418	0,369	0,402
T	2,000	2,000	1,934	1,978	2,000	2,000	2,000
Al <sup>VI</sup>	0,040	0,029	0,000	0,000	0,011	0,028	0,001
Fe <sup>3+</sup>	0,213	0,203	0,398	0,217	0,199	0,164	0,206
Ti	0,043	0,082	0,088	0,067	0,114	0,104	0,112
Cr	0,000	0,000	0,000	0,008	0,012	0,000	0,002
Ni	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000
Mg	0,513	0,487	0,478	0,694	0,637	0,638	0,628
Fe <sup>2+</sup>	0,177	0,171	0,092	0,012	0,041	0,078	0,042
Mn	0,020	0,009	0,010	0,004	0,003	0,005	0,004
MI	1,007	0,983	1,069	1,002	1,019	1,019	0,996
Ca	0,884	0,976	0,950	0,975	0,950	0,950	0,971
Na	0,109	0,040	0,047	0,045	0,031	0,031	0,032
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Groupe	Groupe Central			Groupe Occidental			
	Trachybasalte	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite
N° Éch.	42	46 cpx vert	46 cpx vert	57	82	82	82
N° Anal.	4 bord	96 coeur	97 bord	76 bord	22 inte	23 bord	24 coeur
T+MI+M2	4	4	4	4	4	4	4
%En	28	26	25	36	35	35	34
%Fs	23	21	26	12	13	13	14
%Wo	49	53	49	51	52	52	52
XFe	0,43	0,43	0,51	0,25	0,27	0,28	0,28
Mg/Mg+Fet	0,57	0,57	0,49	0,75	0,73	0,72	0,72

**Tableau III** - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 06 oxygènes de quelques orthopyroxènes des laves du Manzaz.

*Analysis and structural formulas on the basis of 06 oxygens of the Manzaz lavas orthopyroxene.*

Groupe	Oriental nord			
	Trachyandésite	Trachyandésite	Basanite	Basanite
N° Éch.	E29	E29	E31	E31
N°Anal.	59/bord	60/ cœur	37/ inclusion ds olivine (nodule)	38/ in ds oli
SiO <sub>2</sub>	52,20	52,89	54,71	54,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,75	2,77	3,69	3,79
TiO <sub>2</sub>	0,15	0,28	0,04	0,07
FeO	18,79	19,48	9,85	9,77
MnO	0,29	0,09	0,10	0,29
MgO	22,39	22,34	30,40	29,35
CaO	1,13	1,13	0,82	0,80
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09	0,02	0,23	0,25
NiO	0,01	0,00	0,03	0,13
Na <sub>2</sub> O	0,08	0,00	0,14	0,01
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,02	0,01
TOTAL	98,00	99,12	100,18	99,14
<b>FORMULE STRUCTURALE (6 Oxygènes)</b>				
Si	1,955	1,959	1,918	1,933
Al <sup>IV</sup>	0,045	0,041	0,082	0,067
T	2	2	2	2
Al <sup>VI</sup>	0,076	0,080	0,070	0,091
Fe <sup>3+</sup>	0,000	0	0,014	0
Ti	0,004	0,008	0,001	0,002
Cr	0,003	0,000	0,006	0,007
Ni	0,000	0,000	0,001	0,004
Mg	1,250	1,234	1,589	1,550
Fe <sup>2+</sup>	0,588	0,603	0,275	0,289
Mn	0,009	0,003	0,003	0,009
M1	1,931	1,928	1,959	1,952
Ca	0,045	0,045	0,031	0,030
Na	0,005	0,000	0,010	0,001
K	0,000	0,000	0,001	0,001
T+M1+M2	4	4	4	4
%En	66	65	83	83
%Fs	32	32	15	16
%Wo	2	2	2	2
XFe	0,32	0,33	0,15	0,16
Mg/Mg+Fet	0,68	0,67	0,85	0,84

LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

**Tableau IV-** Analyse et formules structurales calculées sur la base de 08 oxygènes de quelques plagioclases des laves du Manzaz.

*Analysis and structural formulas on the basis of 08 oxygens of the Manzaz lavas plagioclase.*

Groupe	Oriental sud			Oriental nord		Groupe entral						Groupe occidental	
	Basalte alcalin	Basalte alcalin	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Trachy-basalte	Basanite	Basanite	Basalte alcalin	Basalte alcalin	Basanite	Basanite
Sample	E22	E22	E26	E31	E34	E38	E42	E46	E46	E59	E59	E57	E57
an.	16 mic	17 mic	116 mic	10 mic bor	30 mi	37mes	pl 190	120	123	54 micro	65 microer	92 micro	93 micro
K <sub>2</sub> O	1,97	0,47	0,28	1,22	0,32	1,63	2,19	1,71	1,20	2,37	0,83	6,55	5,70
CaO	7,78	11,66	13,25	13,54	12,99	9,21	4,10	4,60	3,76	6,18	12,62	2,58	4,22
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,34	0,12	0,30	0,25	0,93	0,29	0,04	-0,08	0,47	0,37	0,23	0,24
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
MnO	0,05	0,08	0,07	0,04	0,05	0,07	0,03	0,06	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00
FeO	0,66	0,92	0,61	0,91	0,80	3,28	0,40	1,06	0,39	1,13	1,75	0,45	0,32
NiO	0,00	0,08	0,05	0,12	0,00	0,02	0,05	0,07	-0,01	0,00	0,04	0,02	0,00
Na <sub>2</sub> O	6,18	4,63	4,02	4,18	3,81	4,89	7,55	8,11	8,73	6,04	4,59	5,34	5,87
SiO <sub>2</sub>	57,26	52,46	51,81	49,52	51,83	51,98	63,38	61,41	62,72	59,56	52,89	63,13	61,68
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,12	29,07	30,30	26,98	29,17	26,38	22,28	22,55	23,72	23,19	25,78	21,07	22,01
MgO	0,03	0,09	0,08	0,02	0,28	0,71	0,00	0,48	0,06	0,11	0,41	0,17	0,02
TOTAL	100,45	99,82	100,59	100,58	99,47	99,10	100,28	100,08	100,52	99,14	99,28	99,55	100,07
<b>Cations per O:8</b>													
Si	2,580	2,396	2,350	2,366	2,376	2,424	2,815	2,755	2,773	2,707	2,453	2,859	2,791
Al	1,388	1,565	1,620	1,520	1,576	1,450	1,166	1,192	1,236	1,243	1,409	1,125	1,174
Ti	0,014	0,012	0,004	0,011	0,008	0,032	0,010	0,001	-0,003	0,016	0,013	0,008	0,008
Cr	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,025	0,035	0,023	0,036	0,031	0,128	0,015	0,040	0,014	0,043	0,068	0,017	0,012
Mn	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000
Mg	0,002	0,006	0,005	0,002	0,019	0,049	0,000	0,032	0,004	0,008	0,028	0,012	0,001
Ni	0,000	0,003	0,002	0,004	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000
Ca	0,375	0,571	0,644	0,693	0,638	0,460	0,195	0,221	0,178	0,301	0,627	0,125	0,205
Na	0,539	0,410	0,353	0,387	0,339	0,442	0,650	0,706	0,748	0,532	0,412	0,469	0,515
K	0,113	0,027	0,016	0,074	0,018	0,097	0,124	0,098	0,068	0,138	0,049	0,378	0,329
XAn	0,41	0,58	0,65	0,64	0,65	0,51	0,23	0,24	0,19	0,36	0,60	0,21	0,28



LE DISTRICT VOLCANIQUE DU MANZAZ (HOGGAR, SAHARA ALGÉRIEN):  
GÉOLOGIE, PÉTROGRAPHIE ET MINÉRALOGIE.

**Tableau V** - Analyse et formules structurales calculées sur la base de 03 oxygènes de quelques oxydes de fer et titane des laves du Manzaz.

*Analysis and structural formulas on the basis of 03 oxygens of the Manzaz lavas Fe-Ti oxides.*

Groupe	Groupe occidental				
	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite	Basanite
N° Éch.	E57	E57	E57	E57	E57
N° Anal.	72	73	74	75	91
SiO <sub>2</sub>	0,06	0,08	0,27	0,03	0,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,24	2,20	1,90	1,94	1,50
TiO <sub>2</sub>	24,12	24,28	24,47	24,87	24,51
FeO	65,57	65,98	66,39	66,20	66,70
MnO	0,90	0,75	0,89	0,85	0,79
MgO	3,19	3,07	3,15	3,03	2,27
CaO	0,06	0,03	0,19	0,16	0,26
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,60	0,67	0,38	0,45	0,22
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,02	0,04	0,01	0,03	0,04
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06
K <sub>2</sub> O	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01
TOTAL	96,47	97,19	97,60	97,70	96,58
Verification	96,77	97,11	97,64	97,75	96,50
<b>FORMULE STRUCTURALE (3 Oxygènes et 2 Cations)</b>					
Al	0,065	0,063	0,054	0,056	0,044
Ti	0,444	0,446	0,447	0,455	0,456
Fe <sup>3+</sup>	1,034	1,029	1,032	1,026	1,035
Cr	0,012	0,013	0,007	0,009	0,004
V	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,308	0,318	0,316	0,321	0,346
Mg	0,116	0,112	0,114	0,110	0,084
Mn	0,019	0,015	0,018	0,018	0,017
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
TOTAL	2	2	2	2	2

**Tableau VI-** Analyse et formules structurales calculées sur la base de 32 oxygènes de quelques spinelles des laves du Manzaz.

*Analysis and structural formulas on the basis of 32 oxygens of the Manzaz lavas spinelle.*

Groupe	Oriental sud		Oriental nord
	Basanite	Trachyandésite	Trachyandésite
Éch	E27	E29	E29
Analyse	106 mésostase	72 bord in ds oli	73 coeur in ds ol
Comm	Sp	sp	sp
SiO <sub>2</sub>	0,09	0,07	0,11
TiO <sub>2</sub>	2,03	1,48	1,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,96	49,78	50,32
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,23	0,47	0,32
NiO	0,00	0,00	0
FeOt	31,07	29,97	30,05
FeO	20,67	17,25	17,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,56	14,13	13,91
MnO	0,51	0,13	0,1
MgO	10,88	15,19	15,31
CaO	0,08	0,02	0,13
ZnO	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>98,01</b>	<b>98,53</b>	<b>99,38</b>
<b>Formules Structurales (32 Oxygènes et 24 Cations)</b>			
Si	0,022	0,016	0,024
Ti	0,377	0,247	0,273
Al	8,716	13,030	13,048
Cr	4,339	0,083	0,056
Ni	0,000	0,000	0
Fe(ii)	6,414	5,566	5,528
Mn	0,107	0,024	0,019
Mg	4,004	5,030	5,022
Ca	0,021	0,005	0,031
Zn	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
Fe/Fe+Mg	0,62	0,53	0,52
Cr/Cr+Al	0,33	0,01	0,00
XMg	0,38	0,47	0,48
Fe(ii)	4,27	3,20	3,23
Fe(iii)	2,15	2,36	2,30
Fe <sub>2</sub> /(Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3</sup> )	0,67	0,58	0,58
Fe <sub>3</sub> /(Fe <sup>2+</sup> Fe <sup>3</sup> )	0,33	0,42	0,42