

# LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE IN OUZZAL SUD-HOGGAR OCCIDENTAL: ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

Mohamed TALBI\*, Abderrahmane BENDAOU\*,  
Jean-Robert KIENAST\*\* et Khadidja OUZEGANE\*

## RÉSUMÉ

Le complexe ultra-mafique d'In Allarène, qui se situe dans la partie méridionale du terrane de l'In Ouzzal, est le seul massif basique à ultrabasique supposé lié à l'orogénèse panafricaine connu dans ce terrane. Il se présente sous une forme ovoïdale de 20 km<sup>2</sup> avec une structure concentrique. Les études de terrain, pétrologique et géochimique montrent que le cœur du massif est composé de harzburgites (olivine – orthopyroxène) et de dunites (olivine), ceinturées par un ensemble à lherzolites (olivine > 40% – orthopyroxène – clinopyroxène) et webstérites à olivine (olivine < 40% - orthopyroxène – clinopyroxène). Dans tous ces faciès on remarque la présence de chromite mais dans des proportions toujours faibles. La périphérie du complexe est représentée par des gabbros (plagioclase - orthopyroxène – clinopyroxène - olivine) plus ou moins riches en olivine et à texture grenue ou plus fine. Le tout est recoupé par un réseau de dolérites (plagioclase, amphibole, orthopyroxène, clinopyroxène) en filons.

L'étude minéralogique montre que la composition des minéraux évolue de manière progressive d'un faciès à un autre. Ainsi, au centre du massif, en allant des dunites aux webstérites à olivine, le  $X_{Mg}$  de l'olivine varie de 0.92 à 0.77, celui de l'orthopyroxène de 0.92 à 0.78 et celui du clinopyroxène de 0.92 à 0.82. À la périphérie, dans les gabbros, l'olivine présente un  $X_{Mg}$  de 0.75 à 0.70, le clinopyroxène un  $X_{Mg}$  de 0.83 à 0.77, et l'orthopyroxène un  $X_{Mg}$  de 0.76 à 0.71. Le plagioclase des gabbros est très calcique ( $X_{An} = 0.74$  à 0.87). Dans les dolérites, le clinopyroxène présente un  $X_{Mg}$  de 0.77 à 0.73, l'orthopyroxène de 0.65 à 0.63 et le plagioclase a des teneurs en anorthite de 75 à 81%.

Le processus de différenciation et de fractionnement continu (ni saccadé ni interrompu) combiné à une faible fugacité du soufre ne permet pas la liquation des sulfures et par là même la complexation des PGE dans le magma. Les métaux seront donc dispersés et en relation avec la cristallisation des minéraux primaires. De ce fait, le massif ultrabasique d'In Allarène, ne semble pas présenter d'intérêt économique.

La géochimie du massif et la minéralogie des clinopyroxènes, des dolérites et des gabbros montrent qu'il s'agit d'un complexe tholéitique probablement lié à un contexte d'arc. Ainsi, la mise en place de ce massif est à rattacher à l'accolement de l'In Ouzzal aux terranes qui l'entourent au cours d'un stade précoce de l'orogénèse panafricaine.

\* Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, U.S.T.H.B., B.P. 32, Dar el Beida 16111, Alger, Algérie.

\*\*Laboratoire de Géosciences Marines, UFR des Sciences Physiques de la Terre, Université Paris 7-Denis Diderot, UMR 7097, 4 place Jussieu, tour 14, 5<sup>ème</sup> Etage Paris Cedex 05, France.

e-mail : TalbiFSTGAT@hotmail.com ; abendaoud@gmail.com, jrk@ccr.jussieu.fr, ouzegane@usthb.dz

- Manuscrit déposé le 20 Novembre 2005, accepté après révision le 16 Avril 2006.

**Mots-clés** - Massif ultrabasique - Péridotites - Gabbros - Dolerites - Pétrographie - Minéralogie - Clinopyroxènes - PGE.

**THE IN ALLARENE ULTRABASIC COMPLEX  
(SOUTH IN OUZZAL-WESTERN HOGGAR)  
PETROGRAPHICAL AND MINERALOGICAL STUDY)**

**ABSTRACT**

The In Allarene mafic complex localized in the south of the In Ouzzal terrane is the unique mafic to ultramafic known pluton interpreted as Panafrikan in age. It has spherical shape of around 20 km<sup>2</sup> with concentric structure. Field, petrology and geochemistry studies show that the core of the pluton is composed of olivine-orthopyroxene-bearing hazburgites and dunites surrounded by lherzolites (olivine > 40% – orthopyroxène – clinopyroxène) and olivine-bearing websterites rocks (olivine < 40% - orthopyroxène – clinopyroxène). In all these facies we remark the presence of chromite with very low proportions. The marginal border in the outer part of the complex consists of gabbros (plagioclase - orthopyroxène – clinopyroxène - olivine) with variable amounts of olivine and present coarse or finer textures. All is cross-cutted by dolerite dykes (plagioclase, amphibole, orthopyroxène, clinopyroxène).

Mineralogical study shows that the evolution of mineral composition progressively changes to one facies to another. Thus, in the core of the complex from the dunites to the olivine websterites, the  $X_{Mg}$  of olivine is between 0.77 to 0.92, those of orthopyroxene is from 0.78 to 0.92 and clinopyroxene is between 0.82 to 0.92. In the periphery of the pluton, in the gabbros,  $X_{Mg}$  of olivine varies between 0.70 to 0.75, while  $X_{Mg}$  of clinopyroxene is from 0.77 to 0.83 and those of orthopyroxene is 0.71-0.76. In the dolerites,  $X_{Mg}$  of clinopyroxene presents a range between 0.73 to 0.77 and those of orthopyroxène is 0.63-0.65 while the anorthite content of plagioclase varies between 75 to 81 %.

The continued process of differentiation and fractionation (not interrupted) combined to a low fugacity of sulfur don't permit to occur the liquation of sulfures and also the complexation of PGE in the magmas. Thus the metals are all disseminated in relation with the primary crystallization of minerals. The In Allarene complex seems to do not present an economical significance.

The geochemistry and composition of clinopyroxene of dolerites and gabbros show that this complex belongs to arc tholeiitic domain. Thus the emplacement of this complex is in relation with the bracketing of the In Ouzzal with its surrounding terranes during the early stage of Panafrikan orogeny.

**Key-words** - Ultrabasic complex - Peridotites - Gabbros - Dolerites - Petrography- Mineralogy - Clinopyroxenes - PGE.

## I - CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le Môle In Ouzzal, l'un des 23 terranes définis par Black et *al.*, (1994), est un bloc allongé de direction Nord-Sud, de plus de 400 km de longueur, large au nord de 80 Km à hauteur du massif d'In Hahaou et s'amincissant jusqu'à disparaître au Sud, pour être relayé par l'Adrar des Iforas au Mali (fig. 1A). Les études lithologiques et géochronologiques faites dans la partie Nord de ce terrane ont permis de déterminer qu'il s'agissait d'un segment de croûte archéen formé de deux unités majeures: la première correspond à des orthogneiss charnockitiques archéens datés entre 3.3 et 2.5 Ga (Peucat et *al.*, 1996), alors que la seconde est constituée de métasédiments communément associés à un matériel orthodérivé composé de lentilles basiques (métanorites, pyroxénites à spinelle, pyrigarnites) et ultrabasiques (lherzolites et harzburgites), auxquelles s'ajoutent des leptynites et des anorthosites. La grande majorité des formations aussi bien ortho que para-dérivées dont est constitué ce terrane présentent les caractères géochimiques des terrains archéens mais les associations minéralogiques et les caractéristiques structurales ont été en majorité oblitérées au cours de l'Eburnéen par un métamorphisme granulitique de très haute température qui a dépassé les 1000°C (Ouzegane et *al.*).

Le complexe ultra-mafique d'In Allarène, qui se situe dans la partie méridionale du môle In Ouzzal, sur la carte de Tirek (fig. 1B), est le seul massif basique à ultrabasique supposé lié à l'orogénèse panafricaine qui soit connu dans ce terrane. En effet, Caby (1970, 1996) le corrèle avec des lopolithes et des sills intrudant les séries à stromatolites de la région de Tassendjanet qui ont été datés à environ 785 Ma (Dostal et *al.*, 1996). Il est à noter que Benmoussa et *al.*, (1996) suggèrent que le massif d'In Allarène est archéen ou protérozoïque inférieur. Etant donné le caractère intrusif du massif dans les formations

gneissiques archéennes de l'encaissant (fig. 2A), dont il recoupe la foliation éburnéenne (2000 Ma), l'âge archéen est à écarter; et celui protérozoïque inférieur peu vraisemblable. Nous considérons pour notre part, comme Caby (1996), que le massif d'In Allarène est plus probablement d'âge panafricain précoce.

L'intrusion se présente sous une forme plus ou moins ovale de 20 km<sup>2</sup> (fig. 2), avec une structure concentrique comportant au cœur un ensemble ultrabasique représenté par des péridotites localement serpentinisées, ceinturées par des ultrabasites plus riches en clinopyroxène. Ces dernières sont elles-mêmes entourées localement par des gabbros. Des corps gabbroïques de plus petites tailles peuvent également se retrouver intrudant les ultrabasites riches en clinopyroxène. En certains endroits les gabbros présentent un litage magmatique net et des ségrégations décimétriques à métriques d'anorthosites. La présence de faciès à grains fins, particulièrement dans la partie sud du massif, suggère une mise en place à faible profondeur (Caby, 1996).

Les faciès de bordure sont intrudés par des granitoïdes panafricains (585 Ma, isochrone Rb/Sr, Liégeois communication orale) et de nombreux dykes et filons de dolérites de direction E-W et NW-SE. Nous remarquons aussi l'existence d'îlots d'enclaves de quelques mètres de diamètre de syénites et de tonalites considérés par Benmoussa et *al.*, (1996) comme étant co-génétiques du massif, mais nos observations montrent qu'il s'agit d'enclaves de l'encaissant archéen et protérozoïque inférieur (1- ce sont des faciès qui se retrouvent dans l'encaissant archéen et paléo-protérozoïque; 2- le massif est panafricain).

Les contacts avec l'encaissant archéen sont intrusifs à l'exception de la partie NW où le contact se fait par faille, jalonné par des roches sédimentaires à faible pendage vers le NW (fig. 2). La structure générale plus ou moins concentrique

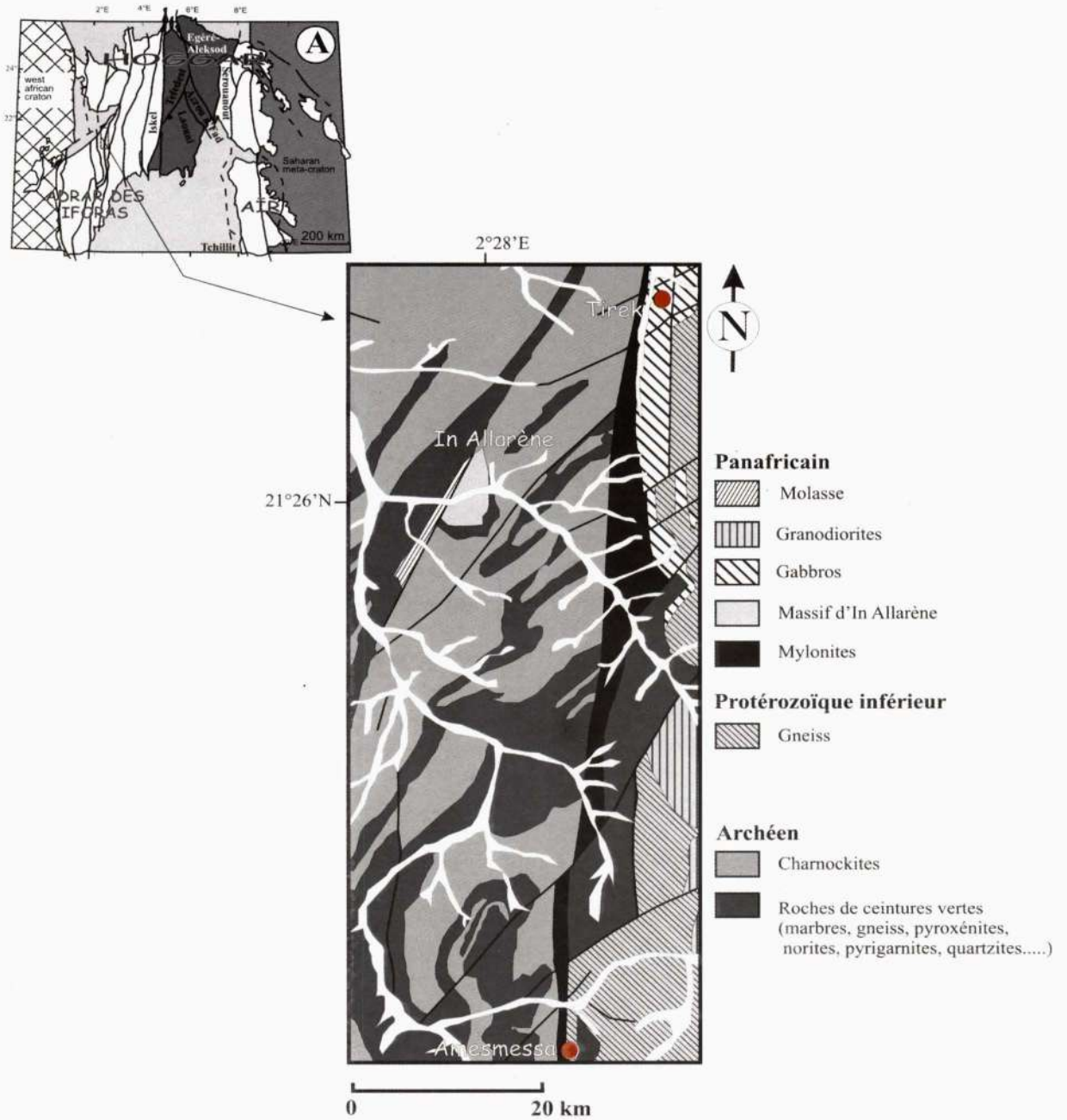


Fig. 1 - (A) Carte des terranes du Bouclier Touareg (Black et al., 1994).

(B) Carte géologique de la région qui s'étend de Tirek à Amesmesssa (d'après des rapports internes de la SONAREM).

(A) Terrane map of the Hoggar shield (Black et al., 1994).

(B) Geological sketch map of the Tirek-Amesmesssa area (SONAREM).

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

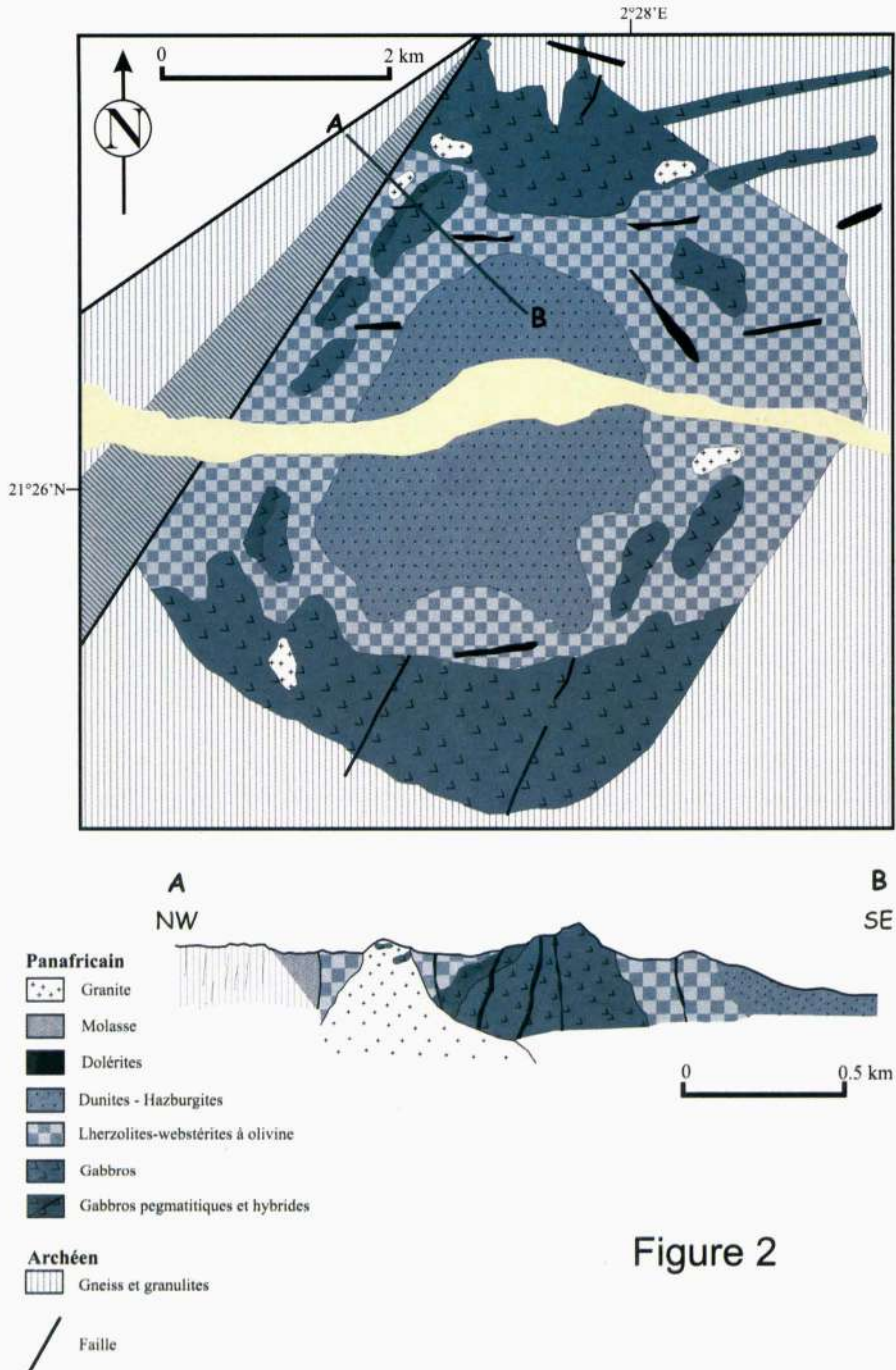


Figure 2

Fig. 2 - (A) Carte géologique simplifiée du massif ultrabasique d'In Allarène.  
(B) Coupe NW-SE du massif d'In Allarène montrant les relations entre les différentes formations constitutives du massif.

(A) *Geological sketch map of ultrabasic complex of In Allarène.*  
(B) *Schematic NW-SE cross-section summarizing the relationships between the formations of ultrabasic complex of In Allarène.*

et le pendage des formations rappellent ceux d'un lopolithe stratifié en forme de cuvette aplatie.

## II - ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

L'échantillonnage de l'intrusion a été réalisé au cours de deux missions de terrain en 1989 et 1990. Il porte sur l'ensemble des grands types lithologiques récoltés à la faveur de transversales passant par le cœur du massif. Notre échantillonnage semble avoir concerné des roches plus fraîches que celles étudiées par Benmoussa et *al.*, (1996), comme le montre la bonne préservation de l'olivine et des pyroxènes dans une bonne partie des roches que nous avons étudiées.

### Les Harzburgites – Dunites:

Elles occupent la position centrale du massif (fig.2). A l'affleurement, elles ont un aspect « moucheté » et sont complètement altérées par endroits. Il s'agit de cumulats très riches en olivine se présentant souvent en cristaux polygonaux conférant ainsi une texture en pavés à la roche (fig.3A). L'olivine primaire est par endroit totalement ou partiellement transformée en minéraux tels que le chrysotile et l'antigorite, donnant une trame maillée à la texture adcumulat palimpseste. Les pyroxènes (20 à 40% en volume lorsque la roche n'est pas très altérée) correspondent essentiellement à de l'orthopyroxène et exceptionnellement à du clinopyroxène (< 5%). Ces pyroxènes peuvent eux aussi être altérés en serpentine. L'orthopyroxène s'apparente comme l'olivine, à la phase cumulus. Ces minéraux sont accompagnés par de la magnétite contemporaine à la serpentinisation (fig.3A). Comme phase tardive, on note également la présence de biotite venant remplacer l'orthopyroxène.

La chromite apparaît en petits filets millimétriques et parallèles sous forme de grains automorphes ou en inclusion dans les pyroxènes (fig.3A). Les cristaux

de chromite sont parfois fracturés et recoupés par les minéraux du groupe de la serpentine. Cette chromite est ainsi, elle aussi primaire et d'origine magmatique.

### Lherzolites – Webstérites à olivine:

Elles sont massives, de couleur sombre et moins souvent altérées que les péridotites pauvres en clinopyroxène. Il s'agit de hétéroadcumulats à augite et olivine. L'olivine bien qu'en plus faible volume par rapport au faciès précédent est bien présente et correspond avec le clinopyroxène à la phase cumulus. La principale différence avec la partie centrale du massif est la prépondérance du clinopyroxène par rapport à l'orthopyroxène (fig.3B et C). Le clinopyroxène est très souvent maclé (fig.3B). La serpentine remplace la phase intercumulus qui demeure ainsi incertaine et parfois, de l'amphibole vient remplacer les pyroxènes.

A noter enfin, là aussi, l'existence de quelques grains de spinelles chromifères en inclusion dans les pyroxènes confirmant son caractère précoce.

Dans ces roches ultrabasiques, l'olivine (tabl. 1A) présente des  $X_{Mg}$  de 0.77 ( $\sigma 58$  – webstérite à olivine) à 0.92 ( $\sigma 22$  - harzburgite), avec des teneurs en  $NiO_2$  variant entre 0.15 ( $\sigma 58$ ) et 0.5 wt% ( $\sigma 22$ ). Les  $X_{Mg}$  élevés de l'olivine attestent du caractère peu évolué de ces roches. L'orthopyroxène est une enstatite (fig.4B, tabl. 1B) à  $X_{Mg}$  variant de 0.78 ( $\sigma 58$ ) à 0.92 ( $\sigma 22$ ) avec des teneurs moyennes en  $Al_2O_3$  et en  $Cr_2O_3$  respectivement de 2 et 0.6 wt%. Le clinopyroxène (fig.4B, tabl. 1C) est un diopside à  $X_{Mg}$  allant de 0.82 ( $\sigma 58$ ) à 0.92 ( $\sigma 22$ ). Plus en détail, il est pauvre en sodium ( $Na_2O < 0.50$  wt%) et montre des teneurs en  $Al_2O_3$  et en  $Cr_2O_3$  pouvant atteindre respectivement 3 wt%, et 0.80 wt%. Dans chacune de ces roches, le clinopyroxène montre des évolutions de composition correspondant à une substitution du type tschermackitique ( $Si + Mg \rightleftharpoons Al^{IV} + Al^{VI}$ , fig.4C).

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

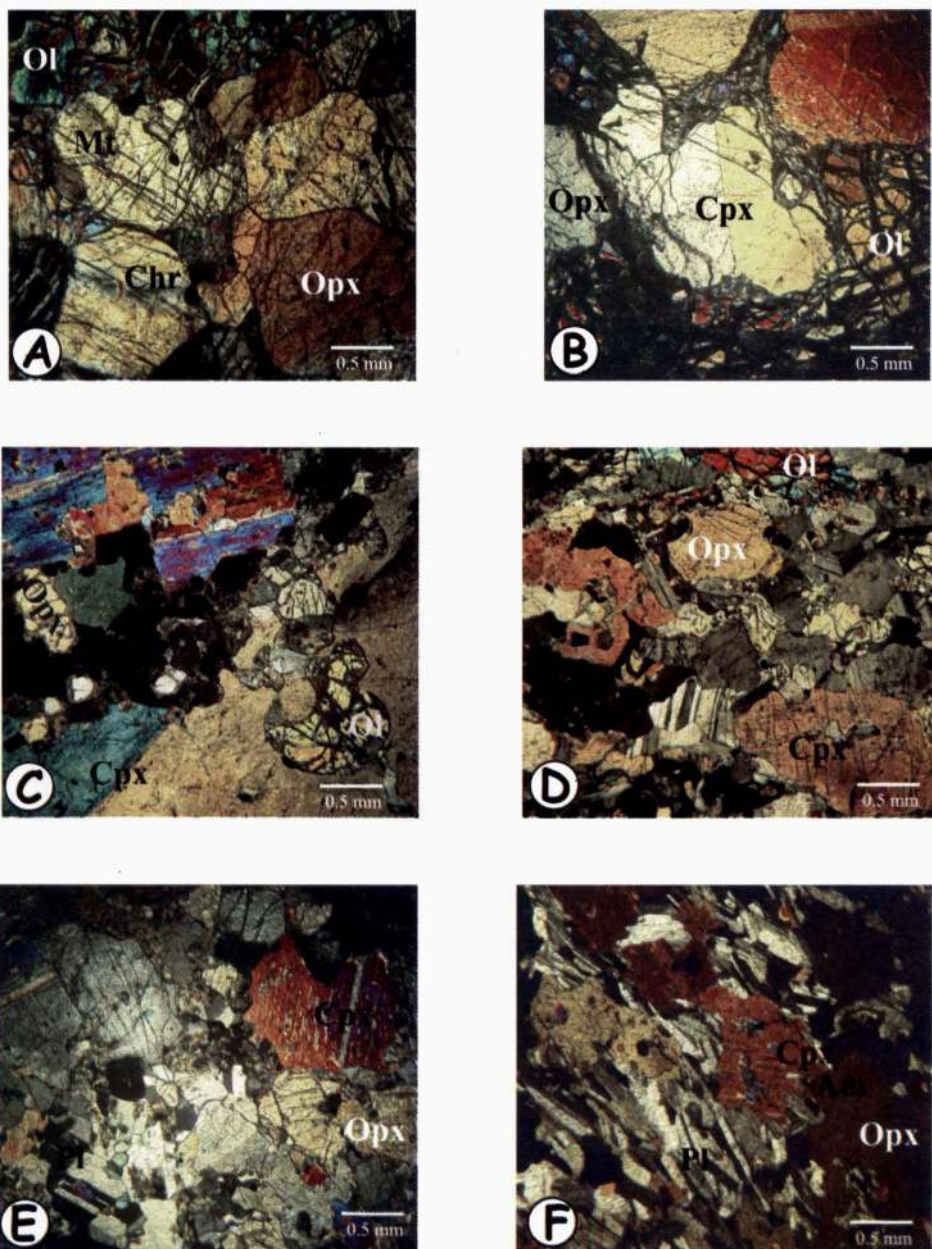
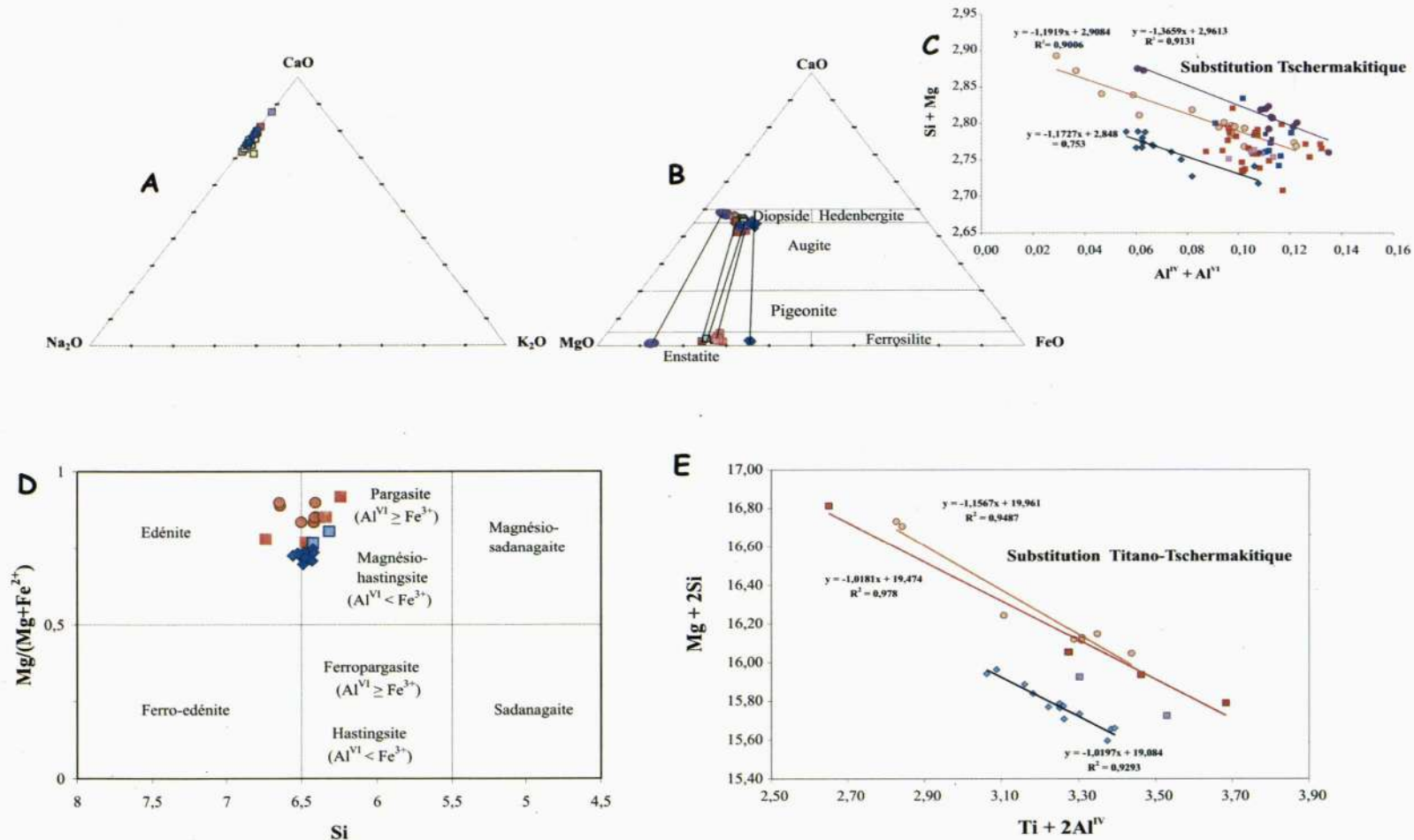


Fig.3 : Photographies au microscope optique en lumière polarisée-analysée des différentes lithologies du massif d'In Allarène

**Photomicrographs of thin section of basic and ultrabasic rocks of In Allarène complex.**

(A) Harzburgite (olivine-orthopyroxène-chromite-magnétite) (*Harzburgite (olivine-orthopyroxene-chromite-magnetite)*); (B) Lherzolite (olivine-clinopyroxène-orthopyroxène) (*Lherzolite (olivine-clinopyroxene-orthopyroxene)*); (C) Webstérite à olivine (clinopyroxène-olivine-orthopyroxène) (*olivine bearing-Websterite (clinopyroxene-olivine-orthopyroxene)*); (D) Gabbro riche en olivine (*olivine rich Gabbro*); (E) Gabbro pauvre en olivine (*olivine poor Gabbro*); (F) Dolérite (plagioclase-amphibole-clinopyroxène-orthopyroxène) (*Dolerite (plagioclase-amphibole-clinopyroxene-orthopyroxene)*).



**Fig. 4** - Composition et évolution des différentes phases minéralogiques des formations du massif ultrabasique d'In Allarène.

**Composition of mineral phases of basic-ultrabasic rocks of In Allarène complex.**

**(A)** Composition du plagioclase des gabbros et des dolérites (**Composition of plagioclase in the gabbros and dolerites**); **(B)** Composition des pyroxènes dans le diagramme Ca-Fe-Mg (**Composition of pyroxenes in the Ca-Fe-Mg diagram**); **(C)** La substitution tschermakitique dans le clinopyroxène (**Tschermakite substitution in clinopyroxene**); **(D)** Composition des amphiboles dans le diagramme de Leake et al. (1997) (**Composition of amphiboles after Leake et al. (1997)**); **(E)** La substitution titano-tschermakitique dans les amphiboles. Rond = Harzburgites et Lherzolites, Carré = Gabbros et Losange = Dolérites (**Titano-tschermakite substitution in amphibole. circle = Harzburgites and Lherzolites, Square = Gabbros and Diamond = Dolerites**).



LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

Benmoussa et *al.* (1996) subdivise ces roches ultrabasiques en dunites, pour la partie centrale du massif, et pyroxénites pour l'auréole qui l'entoure. En fait, lorsqu'on projette la composition des minéraux constitutifs de ces roches dans des diagrammes binaires tels que  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{MgO}$  ou  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{CaO}$  (fig.5A et B) avec les compositions de roches totales des deux types de roches ultrabasiques, on remarque que le passage d'un type à l'autre se fait simplement par enrichissement en clinopyroxène. De plus, le calcul du mode des roches par la méthode des moindres carrés (tabl. II) le montre bien. Pour cela nous avons utilisé les compositions chimiques des échantillons de Benmoussa et *al.*, (1996) et la composition des minéraux analysés à la microsonde sur des roches de même type échantillonnées par nos soins. (L'utilisation d'analyses à la microsonde d'échantillons différents de ceux de Benmoussa et *al.*, 1996 se justifie largement ici, non seulement en raison du fait que nos échantillons font partie du même massif mais également parce que des phases comme l'olivine et l'orthopyroxène n'ont qu'un nombre limité d'oxydes constitutifs :  $\text{SiO}_2 + \text{FeO} + \text{MgO} > 96\%$  en poids d'oxydes, ce qui limite les variations). Par exemple, l'échantillon INA 16, présenté comme une péridotite de type dunité, peut être considéré comme constitué de 63% d'olivine, 34% d'orthopyroxène et 3% de magnétite (somme des carrés des résidus = 0.34), ce qui correspond à une harzburgite. De même, l'échantillon IA 34 (le plus riche en CaO des ultrabasiques), considéré comme une pyroxénite par Benmoussa et *al.*, (1996), a une composition de 58% d'olivine, 9% d'orthopyroxène et 33% de clinopyroxène (somme des carrés des résidus = 0.33) ce qui correspond à une lherzolite. Ainsi, si on projette le mode calculé par la méthode précitée dans le triangle Olivine-Orthopyroxène-Clinopyroxène de nomenclature des roches ultrabasiques établie par l'IUGS (fig.5C), les ultrabasites échantillonnées par Benmoussa et *al.*, (1996) correspondent soit à des harzburgites, soit à

des lherzolites (pour aucun des échantillons la somme des carrés des résidus ne dépasse 0.9 et souvent elle est inférieure à 0.5). Même en projetant les compositions normatives sur ce diagramme (fig.5C), qu'on utilise classiquement avec le mode, on obtient pratiquement les mêmes résultats, avec cependant un échantillon des harzburgites qui se met à la limite harzburgite/dunité et les deux échantillons des lherzolites qui se mettent à la limite lherzolite/Werhlite, ce qui corrobore nos conclusions. L'erreur sur la nature de ces roches semble avoir été provoquée par la différence de couleur que présentent les deux types de roches sur le terrain, au degré d'altération des roches échantillonnées par Benmoussa et *al.*, (1996) comme le montre les pertes au feu (13 wt% pour les harzburgites et 8 wt% pour les lherzolites) et la ressemblance des produits d'altération de l'olivine et des pyroxènes (serpentes). Nous avons pu échantillonner des roches où les teneurs en pyroxènes sont supérieures à 60% mais l'olivine est toujours présente en quantité non négligeable (> 20%). Ces webstérites à olivine ne font pas partie des roches analysées par Benmoussa et *al.*, (1996).

Ainsi, les péridotites au cœur du massif sont essentiellement composées d'olivine et d'orthopyroxène, alors que les ultrabasiques qui les ceinturent s'enrichissent en clinopyroxène. L'ordre de cristallisation semble avoir été en premier lieu olivine + orthopyroxène + spinelle (traces), induisant un enrichissement en CaO du liquide (aucune phase ne fractionnant le calcium), puis le clinopyroxène. C'est ce que suggère le caractère poecilitique de ce dernier dans les lherzolites et certains gabbros (inclusions d'orthopyroxène, d'olivine et plus rarement de spinelle dans le clinopyroxène).

Le spinelle (tabl. IG) est chromifère avec des teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  variant de 26 à pratiquement 30 wt%, avec corrélativement des  $X_{\text{Fe}}$  allant de 0.62 à 0.82 et des teneurs en  $\text{FeO}_1$  passant de

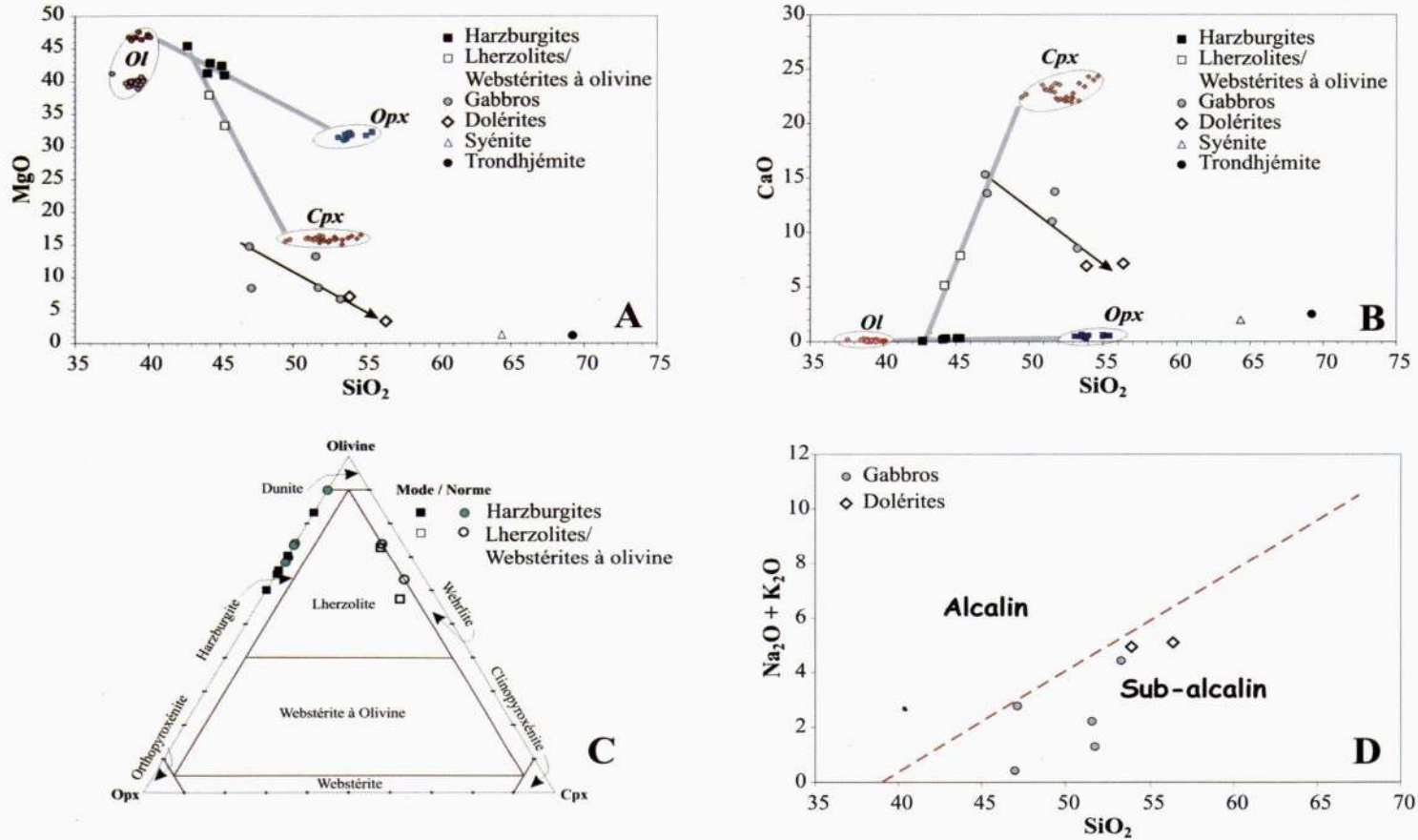


Fig. 5 - Géochimie du massif d'In Allarène.

*Geochemistry of In Allarène complex .*

(A) et (B) Diagrammes binaires MgO et CaO versus SiO<sub>2</sub>, où en même temps que la composition des roches totales, sont projetées les compositions des minéraux constitutifs de ces lithologies. Ils illustrent que les formations du centre du massif sont des harzburgites et celles qui les ceinturent des lherzolites (voir texte pour plus de détails). Les flèches indiquent l'évolution allant des gabbros non cumulatifs aux dolérites (**Binary diagrams MgO and CaO vs SiO<sub>2</sub>. The arrows show the magmatic differentiation from gabbros to dolerites**); (C) Projection des compositions modales de roches ultrabasiques calculées par la méthode des moindres carrés dans le diagramme olivine-cpx-opx (nous y avons également projeté les compositions normatives pour comparaison) (**projection of ultrabasic rocks in Olivine-Cpx-Opx diagram**); (D) Diagramme Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> d'Irvin et Baragar (1971) montrant que les gabbros et les dolérites d'In Allarène se projettent dans le champ du magmatisme sub-alkalin (**Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> diagram after Irvin et Baragar (1971)**).

22 à 43 wt%. Dans certaines roches, de l'amphibole ou de la biotite tardives remplacent le plus souvent l'orthopyroxène. Ceci correspond à un événement de rétrogression métamorphique, comme noté par Benmoussa et *al.*, (1996). L'amphibole (fig.4D, tabl. ID) varie d'une magnésio-hastingsite riche en potassium avec  $Al_2O_3 H \approx 11.70$  wt% et  $X_{Mg} = 0.76$ , à une magnésio-hornblende pauvre en potassium avec  $Al_2O_3 H \approx 10$  wt% et  $X_{Mg} = 0.78$ . La biotite est une phlogopite à  $X_{Mg}$  autour de 0.90 (tabl. IF).

### Les Gabbros

Deux types de gabbros ont été rencontrés sur le terrain; ils diffèrent par leur position au sein du massif, la taille des grains et leur proportion relative d'olivine.

*Les gabbros riches en olivine :* Ils sont de couleur sombre et sont directement au contact avec les lherzolites-webstérites à olivine. Dans ce faciès (fig.3D), la texture est grenue, hétérogranulaire à tendance gabbroïque. L'olivine est abondante et se présente en grains plus ou moins arrondis, elle est rarement altérée et se retrouve parfois en inclusions dans le clinopyroxène. Le clinopyroxène en plus grande proportion que l'orthopyroxène se présente en grandes plages et il est le plus souvent maclé. Les plagioclases sont en position intercumulus et sont souvent altérés.

Nous notons également la présence de magnétite en inclusions dans les pyroxènes et l'olivine, ainsi que de nombreuses plages de spinelle chromifère apparemment primaire et magmatique.

*Les gabbros pauvres en olivine :* Ils constituent la périphérie des gabbros précédemment décrits et présentent une texture légèrement différente (fig.3E). Celle-ci, comme précédemment, est grenue hétérogranulaire à tendance gabbroïque, mais avec un grain plus petit que celui des gabbros riches en olivine; et parfois, ils montrent un litage magmatique assez net pouvant passer à des concentrations plus ou moins noduleuses de quelques décimètres d'anorthosites.

L'olivine, assez rare, est généralement altérée et il n'en subsiste que quelques reliques. Le clinopyroxène se présente en grandes plages limpides, le plus souvent maclé. L'orthopyroxène est souvent remplacé par de l'amphibole. Les plagioclases montrent un habitus prismatique tabulaire, parfois ils sont altérés. Dans les gabbros lités, les plagioclases sont très abondants et orientés. Les ferromagnésiens semblent également souligner le litage magmatique mais d'une manière fruste.

A noter également que les phénomènes de subsolidus liés au refroidissement sont soulignés par des exsolutions de plagioclase dans le clinopyroxène.

*Dans les roches gabbroïques,* l'olivine présente des  $X_{Mg}$  variant de 0.70 dans les gabbros pauvres en olivine à 0.75 dans les gabbros riches en olivine (tabl. IA). La composition des clinopyroxènes s'étend de celle d'un diopside (fig. 4B, tabl. IC) à celle d'une augite à  $X_{Mg} = 0.77$  à 0.83, tandis que l'orthopyroxène est une enstatite (fig. 4B, tabl. IB) à  $X_{Mg}$  entre 0.71 et 0.76. Les pyroxènes les plus magnésiens sont ceux des gabbros riches en olivine. Le plagioclase (fig. 4A, tabl. IE) est très calcique ( $X_{An} = 0.74$  à 0.87)

### Les Dolérites

Il s'agit d'un faciès assez particulier qui ceinture généralement les gabbros (faciès de bordure) ou apparaît en filons recoupant les autres lithologies du massif. Elles sont formées par un assemblage de cristaux prismatiques de plagioclase plus ou moins orientés et de cristaux de hornblende parfois à bordures vertes assez irrégulières et diffuses (fig. 3F). Ces dolérites présentent une texture doléritique intergranulaire parfois intersertale. Certaines des amphiboles renferment des inclusions de plagioclase conférant ainsi à la roche une texture ophitique. Les pyroxènes, plus ou moins rares, sont généralement observés en reliques à l'intérieur des hornblendes mais accompagnent également les niveaux plagioclasiques. La biotite squelettique est très rare et pratiquement toujours chloritisée.

L'assemblage magmatique est complété par l'ilménite, la magnétite et des feldspaths potassiques altérés en faible quantité.

Dans les dolérites, la composition du clinopyroxène (fig. 4B, tabl. IC) est située à la limite diopside-augite avec des  $X_{Mg}$  de 0.73 à 0.77 et l'orthopyroxène est une enstatite (fig. 4B, tabl. IB) à  $X_{Mg}$  de 0.63 à 0.65. Le plagioclase a des teneurs en anorthite de 75 à 81% (fig. 4A, tabl. II). L'amphibole évolue de la composition de tschermakite à celle de magnésio-hornblende (fig. 4D, tabl. ID) essentiellement par une substitution de type titano-tschermakitique (pente = 1,  $R^2 = 0.93$ , fig. 4E).

### III- GÉOCHIMIE DES PLANITOÏDES

Après analyse des spectres des teneurs en PGE (le tableau III présente les compositions des différents faciès analysés par Benmoussa et al., (1996)) des différents faciès du massif d'In Allarène, Benmoussa et al., (1996) mettent en évidence les faits suivants :

- les teneurs relevées dans tous les faciès sont faibles;
- la présence d'anomalies négatives en Ir déjà au sein des harzburgites, ce qui traduit la précipitation précoce de cet élément dans les spinelles;
- la présence d'anomalies positives en Pt, traduisant son accumulation dans des phases telles que l'isoferroplatine;
- les spectres des gabbros et des dolérites sont caractérisés par une différenciation plus marquée, attestée par une forte atténuation de l'anomalie en Pt;
- l'absence de chromite en quantité notable ainsi que l'absence d'un horizon sulfuré expliquent l'absence des PGE;
- une faible fugacité du soufre qui a présidé à la mise en place du massif ultrabasique;

Ainsi, pour Benmoussa et al., (1996) la concentration

éventuelle des PGE devrait se situer dans la séquence gabbroïque. Ils n'excluent cependant pas l'existence d'un horizon sulfuré dans une autre partie de la chambre magmatique. Les harzburgites, dans ce cas, seraient le sommet de la séquence inférieure de l'intrusion.

Pour notre part, les études pétrographiques, minéralogiques et géochimiques des échantillons étudiés mettent en évidence les faits suivants :

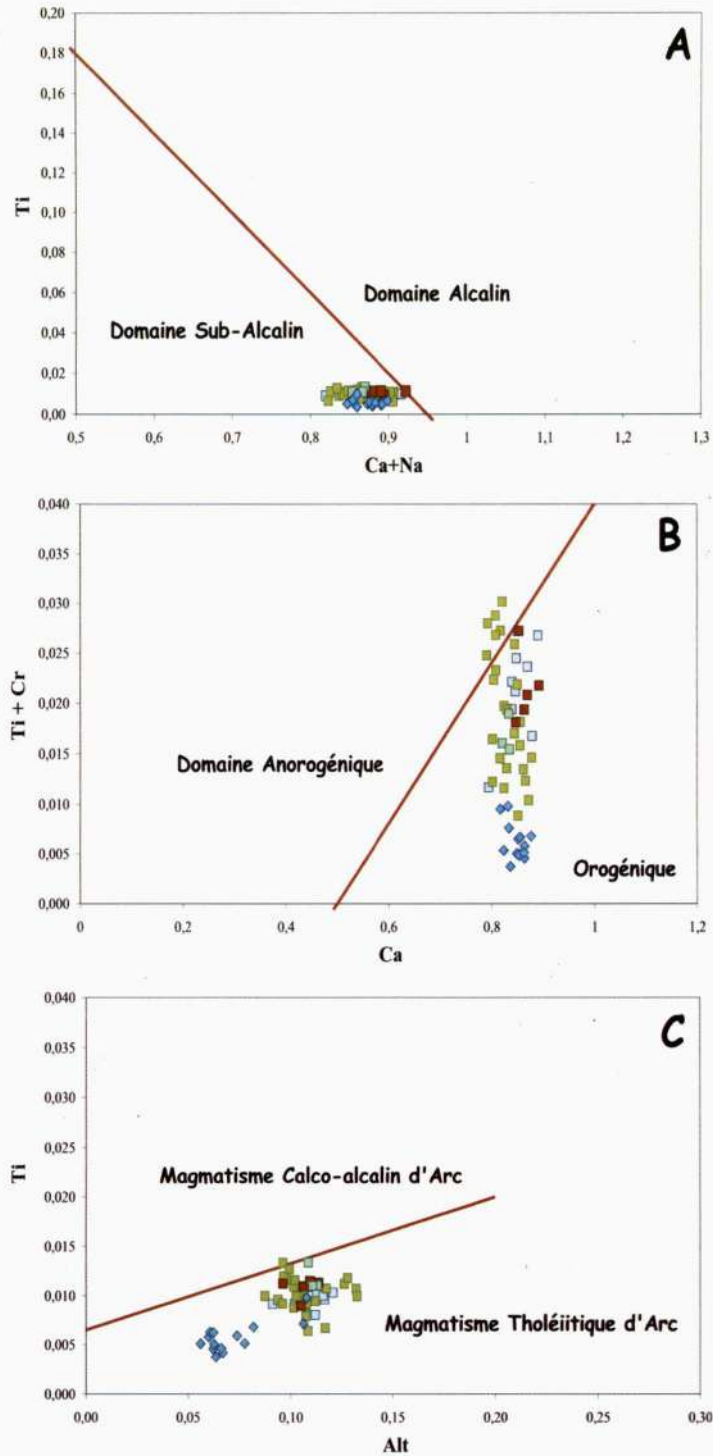
- la composition de l'olivine des harzburgites, avec un rapport  $X_{Mg}$  de 0.92, indique qu'on est au niveau plancher de la chambre magmatique, particulièrement pour un magma tholéiitique plutôt riche en fer;
- la différenciation magmatique est relativement peu prononcée et le fractionnement des phases minérales est continu (ni saccadé, ni interrompu) comme le montrent l'omniprésence de l'olivine dans tous les faciès et l'évolution progressive de la composition des différents minéraux d'un faciès à un autre;
- l'absence notable de phase fluide, facteur pouvant concentrer les sulfures hôtes des PGE ;

Ainsi, le processus de différenciation et de fractionnement combiné à une faible fugacité du soufre ne permet pas la liquation des sulfures et par conséquent la complexation des PGE dans le magma. Les métaux sont donc dispersés et en relation avec la cristallisation des minéraux primaires. En conclusion, il est peu probable de trouver un horizon sulfuré hôte des PGE à quelques niveaux que ce soit de la chambre magmatique. De ce fait, le massif ultrabasique d'In Allarène, ne semble pas présenter d'intérêt économique.

### IV- NATURE DU MASSIF ET CONCLUSION

Pour mieux définir la nature du massif, nous avons projeté les clinopyroxènes des gabbros à olivine et des dolérites dans les diagrammes (fig.6) de Leterrier et al., (1982). S'il est vrai qu'une partie des gabbros sont manifestement des cumulats, certains d'entre-eux

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ETUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE



**Fig. 6 -** Projection de la composition des clinopyroxènes des gabbros et des dolérites dans les diagrammes (A) Ti vs Ca + Na, (B) Ti+Cr vs Ca et (C) Ti vs Alt de Letterier et al., (1982). Carré = Gabbros et Losange = Dolérites.  
**Projection of clinopyroxene compositions in the diagrams of Letterier et al. (1982) (A) Ti vs Ca + Na, (B) Ti+Cr vs Ca and (C) Ti vs Alt. Square = Gabbros and Diamond = Dolerites.**

semblent correspondre à un liquide magmatique comme le montre le fait qu'ils forment des trends avec les dolérites dans les diagrammes binaires (fig.5A, B et C). Ceci nous permet d'utiliser les clinopyroxènes aussi bien des dolérites que de ces gabbros. Il en ressort que dans le diagramme Ca vs Cr + Ti (fig.6B), qui distingue le magmatisme des domaines orogéniques de celui anorogénique, la grande majorité des clinopyroxènes, des dolérites et des gabbros du massif d'In Allarène, se projette dans le domaine orogénique. Dans le diagramme Ti vs Ca + Na (Fig.6A), les clinopyroxènes se projettent dans le domaine des magmas sub-alkalins et dans le domaine des magmas tholéitiques d'arc dans le diagramme Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs Ti (fig.6C). Précisons que le caractère sub-alkalin est également indiqué lorsqu'on projette la composition roche totale des gabbros à olivine et des dolérites dans le diagramme Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O vs SiO<sub>2</sub> (fig.5D).

Ainsi, il semble que la mise en place de ce massif est à lier à l'accrolement de l'In Ouzzal aux terranes qui l'entourent. Cet accrolement est contemporain de la collision, plus à l'Ouest, avec le Craton Ouest-Africain. Caby, (2003) et Caby et Monié, (2003) mettent de part et d'autre du terrane de l'In Ouzzal, considéré comme marge active, des zones de subduction vers 680 Ma; le massif d'In Allarène pourrait s'être mis en place à un stade précoce de cet événement.

**Remerciements :** Nous exprimons notre reconnaissance aux professeurs A. Azzouni et D. Aïssa pour leurs critiques détaillées et constructives; et au professeur H. Haddoum pour son aide au cours des missions de terrain. Ce travail est une contribution aux projets TASSILI05 MDU 653, intitulé « Imagerie tridimensionnelle et évolution spacio-temporelle du Hoggar » et OTAN EST/CLE 979766, intitulé « Geodynamical evolution of the Hoggar Pan-African Lithosphere ».

## BIBLIOGRAPHIE

- BENMOUSSA, L., AMOSSE, J. ET PIBOULE, M., 1996.** Comportement géochimique des éléments du groupe du platine (PGE) dans l'intrusion ultrabasique d'In Allarène (Hoggar Occidental). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie*, Vol. 7, n°2, 159-170.
- BLACK, R., LATOUCHE, L., LIÉGEOIS, J.P., CABY, R. AND BERTRAND, J.M., 1994.** Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology* 22, 641-644.
- CABY, R., 1970.** La chaîne pharusienne dans le NW de l'Ahaggar (Sahara central; Algérie); sa place dans l'orogénèse du Précambrien supérieur en Afrique. *Thesis, University of Montpellier, France and 1983 Publication de la Direction des Mines et de la Géologie, Algiers, Algeria* 47, 289 p.
- CABY, R., 1996.** A review of the In Ouzzal granulitic terrane (Tuareg shield, Algeria): its significance within the Pan-African Trans-Saharan belt. *Journal of Metamorphic Geology* 14, 659-666.
- CABY, R., 2003.** Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar : a synthesis. *Journal of African Earth Sciences* 37, 133-159.
- CABY, R. AND MONIÉ, P., 2003.** Neoproterozoic subductions and differential exhumation of western Hoggar (Southwest Algeria): new structural, petrological and geochronological evidence. *Journal of African Earth Sciences* 37, 269-293.
- DOSTAL, J., CABY, R., DUPUY, C., MEVEL, C. AND OWEN, J.V., 1996.** Inception and demise of a Pre-Pan-African ocean basin: evidence from the Ougda complex, western Hoggar (Algeria). *Geologische Rundschau* 85, 619-631.

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

- LEAKE, B.E., WOOLLEY, A.R., BIRCH, W.D., GILBERT, M.C., GRICE, J.D., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KISCH, H.J., KRIVOVICHEV, V.G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J., MARESCH, W.V., NICKEL, E.H., ROCK, N.M.S., SCHUMACHER, J.C., SMITH, D.C.N., UNGARETTI, L., WHITTAKER E.J.W. AND YOUZHI, G., 1997. Nomenclature of amphiboles. *Canadian Mineralogist* 9, 623–651.
- LEFERRIER, J., MAURY, R.C., THONON, P., GIRARD, D. AND MARCHAL, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planetary Sciences Letters*, 59, 139-154.
- OUZEGANE, K., KIENAST, J.R., BENDAOU, A. AND DRARENI, A., 2003. A review of Archaean and Paleoproterozoic evolution of the In Ouzzal granulitic terrane (Western Hoggar, Algeria). *Journal of African Earth Sciences* 37 207–227
- PEUCAT, J.J., CAPDEVILA, R., DRARENI, A., CHOUKROUNE, P., FANNING, M., BERNARD-GRIFFITHS, J. AND FOURCADE, S., 1996. Major and trace element geochemistry and isotope Sr, Nd, Pb, O systematics of an Archaean basement involved in a 2.0 Ga VHT 1000 C metamorphic event: In Ouzzal massif, Hoggar, Algeria. *Journal of Metamorphic Geology* 14, 667–692.

**Tabl. I - Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.**

**Chemical compositions and structural formulas of different phases of the In Allarène complex formation**

**(A) Composition chimique de l'olivine (Chemical composition of olivine).**

Ech	Harzburgite			Webstérite à olivine			Gabbros								
	s22	s22	s22	s58	s58	s58	s7	s7	s7	s29	s29	s29	s8	s8	s8
Analyse	65	66	67	9	17	18	58	59	64	10	11	20	48	49	50
SiO <sub>2</sub>	39,96	39,92	40,11	39,30	38,82	38,73	38,36	38,39	38,57	37,83	38,00	37,49	37,31	37,88	37,57
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,04	0,02	0,07	0,00	0,02	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,06	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,07	0,00	0,12	0,00	0,15	0,00	0,06	0,05	0,05	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00
FeO	11,19	11,20	11,78	20,59	20,63	20,39	22,78	22,63	23,21	24,00	24,82	25,14	26,35	26,56	26,14
MnO	0,21	0,13	0,11	0,40	0,28	0,33	0,44	0,39	0,28	0,35	0,28	0,49	0,47	0,35	0,40
MgO	47,17	46,83	46,75	40,05	39,73	40,07	37,88	37,44	37,84	32,67	35,31	35,08	35,17	35,24	35,26
NiO	0,49	0,46	0,39	0,10	0,12	0,13	0,16	0,25	0,12	0,18	0,02	0,02	0,17	0,07	0,07
CaO	0,02	0,02	0,03	0,12	0,02	0,18	0,11	0,06	0,05	0,15	0,07	0,09	0,01	0,02	0,01
TOTAL	99,04	98,69	99,20	100,79	99,59	100,06	99,73	99,22	100,14	95,27	98,52	98,31	99,48	100,23	99,47
Si	0,998	1,000	1,002	1,006	1,005	1,000	1,004	1,009	1,006	1,044	1,016	1,008	0,997	1,003	1,002
Ti	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Al	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Cr	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe(II)	0,234	0,235	0,246	0,441	0,447	0,440	0,499	0,497	0,506	0,554	0,555	0,565	0,589	0,588	0,583
Mn	0,004	0,003	0,002	0,009	0,006	0,007	0,010	0,009	0,006	0,008	0,006	0,011	0,011	0,008	0,009
Mg	1,756	1,749	1,740	1,528	1,534	1,542	1,479	1,468	1,471	1,344	1,407	1,407	1,402	1,392	1,402
Ni	0,010	0,009	0,008	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005	0,002	0,004	0,001	0,000	0,004	0,001	0,002
Ca	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,005	0,003	0,002	0,001	0,004	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000
TOTAL	3,002	2,999	2,999	2,994	2,995	3,002	2,998	2,992	2,994	2,960	2,986	2,994	3,003	2,995	2,998
XMg	0,88	0,88	0,88	0,78	0,77	0,78	0,75	0,75	0,74	0,71	0,72	0,71	0,70	0,70	0,71
Pôles purs															
Fo	88,06	88,06	87,52	77,28	77,21	77,51	74,41	74,35	74,18	70,51	71,49	70,94	70,04	70,01	70,31
Fa	11,72	11,81	12,37	22,28	22,48	22,12	25,10	25,20	25,52	29,06	28,19	28,51	29,43	29,60	29,24
Ip	0,22	0,14	0,11	0,44	0,30	0,36	0,49	0,44	0,31	0,43	0,32	0,56	0,53	0,39	0,45



LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

**Tabl. I - Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.**

**Chemical compositions and structural formulas of different phases  
of the In Allarène complex formation**

**(B) Composition chimique de l'orthopyroxène (Chemical composition of orthopyroxene).**

Roche	Harzburgites			Gabbros				Dolérites			
	s22	s22	s22	s 29	s10b	s8	s8	s8	s24	s24	
N° d'Analyse	43	70	14	8	25	27	61	65	76	1	3
SiO <sub>2</sub>	53,83	55,43	55,39	54,27	53,49	52,52	53,57	53,59	53,10	53,03	53,13
TiO <sub>2</sub>	0,12	0,08	0,09	0,19*	0,25	0,23	0,32	0,18	0,10	0,03	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,11	2,32	2,20	1,42	1,34	1,46	1,24	1,29	0,90	0,79	0,79
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	0,35	0,30	0,05	0,14	0,06	0,12	0,00	0,03	0,02	0,00
FeO*	8,60	8,13	8,37	14,74	15,30	16,81	16,83	17,58	21,75	20,98	21,06
FeO	5,95	8,08	7,54	14,74	14,43	14,55	16,14	16,08	21,75	20,98	21,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95	0,05	0,92	0,00	0,97	2,51	0,77	1,66	0,00	0,00	0,00
MnO	0,18	0,09	0,12	0,46	0,48	0,27	0,40	0,49	0,99	1,02	0,97
MgO	31,98	32,17	32,34	26,34	26,15	24,88	25,56	25,64	21,82	21,90	22,28
NiO	0,13	0,05	0,08	0,04	0,01	0,04	0,07	0,08	0,00	0,00	0,00
CaO	0,57	0,53	0,56	0,81	1,33	3,37	1,40	1,12	0,70	0,77	0,92
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,01	0,04	0,06	0,18	0,14	0,07	0,08	0,00	0,00	0,03
K <sub>2</sub> O	0,06	0,02	0,02	0,08	0,04	0,05	0,02	0,02	0,03	0,00	0,01
TOTAL	98,21	99,19	99,60	98,44	98,81	99,07	99,67	100,23	99,42	98,53	99,25
Si	1,913	1,945	1,938	1,988	1,956	1,932	1,955	1,948	1,993	2,004	1,990
AlIV	0,087	0,055	0,062	0,012	0,044	0,063	0,045	0,052	0,007	0,000	0,010
AlVI	0,002	0,041	0,028	0,049	0,014	0,000	0,009	0,003	0,032	0,035	0,025
AlI	0,088	0,096	0,091	0,061	0,058	0,063	0,053	0,055	0,040	0,035	0,035
Ti	0,003	0,002	0,002	0,005	0,007	0,006	0,009	0,005	0,003	0,001	0,001
Cr	0,008	0,010	0,008	0,001	0,004	0,002	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000
Fe <sup>3+</sup>	0,079	0,001	0,024	0,000	0,027	0,070	0,021	0,046	0,000	0,000	0,000
Fe <sup>2+</sup>	0,177	0,237	0,220	0,451	0,441	0,448	0,493	0,489	0,683	0,663	0,660
Mg	1,694	1,683	1,680	1,438	1,425	1,364	1,390	1,389	1,220	1,233	1,244
Ni	0,004	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Mn	0,005	0,003	0,004	0,014	0,015	0,008	0,012	0,015	0,032	0,033	0,031
Ca	0,022	0,020	0,021	0,032	0,052	0,093	0,055	0,043	0,028	0,031	0,037
Na	0,005	0,001	0,002	0,004	0,013	0,010	0,005	0,006	0,000	0,000	0,002
K	0,003	0,001	0,001	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001
Total	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
X <sub>Mg</sub>	0,91	0,88	0,88	0,761	0,764	0,753	0,738	0,740	0,641	0,650	0,653
Wo	0,011	0,010	0,011	0,017	0,027	0,049	0,028	0,023	0,015	0,016	0,019
En	0,895	0,867	0,875	0,748	0,743	0,716	0,718	0,723	0,632	0,640	0,641
Fs	0,093	0,122	0,114	0,235	0,230	0,235	0,254	0,254	0,353	0,344	0,340

**Tabl. I -** Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.

**Chemical compositions and structural formulas of different phases of the In Allarène complex formation**

**(C) Composition chimique du clinopyroxène (Chemical composition of clinopyroxene).**

	Harzburgites			Webstérites à olivine			Gabbros						Dolérites				
Roche	s22	s22	s22	s58	s58	s58	s7	s7	s7	s8	s8	s8	s 29	s 29	s24	s24	s24
N° d'Analyse	59	60	61	16	37	38	77	78	79	9	37	38	3	19	80	81	26
SiO <sub>2</sub>	51.43	51.52	50.91	52.94	54.03	54.67	51.54	51.79	51.84	51.00	52.39	52.13	52.60	51.34	52.99	52.87	51.96
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.33	0.24	0.27	0.12	0.16	0.29	0.37	0.36	0.39	0.33	0.38	0.32	0.41	0.13	0.15	0.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.78	3.58	2.75	2.29	0.84	0.67	2.57	2.56	2.65	2.30	2.20	2.44	2.40	2.48	1.43	1.52	1.85
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.38	0.36	0.47	0.09	0.00	0.45	0.48	0.57	0.13	0.36	0.57	0.41	0.23	0.00	0.03	0.00
FeO	3.42	3.16	3.14	6.05	3.89	3.64	6.42	6.83	6.14	7.46	7.86	7.49	6.84	7.53	8.39	8.55	8.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.73	1.68	1.07	5.21	3.89	3.64	2.94	6.43	5.01	4.63	6.98	6.94	6.84	5.74	8.39	8.55	7.84
MnO	0.77	1.65	2.30	0.93	0.00	0.00	3.87	0.44	1.26	3.14	0.98	0.61	0.00	1.99	0.00	0.00	0.81
MgO	0.04	0.03	0.10	0.22	0.20	0.19	0.27	0.20	0.24	0.19	0.24	0.08	0.14	0.22	0.60	0.39	0.49
MgO	15.73	15.99	15.97	15.88	16.33	16.50	15.69	15.14	14.91	14.88	15.19	15.50	14.72	15.18	14.08	14.22	13.85
NiO	0.02	0.00	0.04	0.16	0.03	0.00	0.08	0.00	0.03	0.11	0.14	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	22.99	23.35	23.54	22.32	24.27	24.32	21.41	21.22	22.44	21.90	20.76	20.56	21.90	21.18	20.71	21.35	21.78
Na <sub>2</sub> O	0.29	0.48	0.27	0.23	0.07	0.08	0.69	0.30	0.37	0.40	0.41	0.32	0.35	0.33	0.32	0.33	0.31
K <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00
TOTAL	97.62	97.90	97.54	100.92	99.90	100.24	99.80	98.95	99.69	99.06	99.98	99.65	99.73	99.12	98.67	99.40	99.12
Si	1.924	1.919	1.905	1.932	1.980	1.995	1.901	1.931	1.919	1.907	1.939	1.932	1.949	1.915	1.997	1.977	1.952
Al <sup>IV</sup>	0.076	0.081	0.095	0.068	0.020	0.005	0.099	0.069	0.081	0.093	0.061	0.068	0.051	0.085	0.003	0.023	0.048
Al <sup>VI</sup>	0.047	0.033	0.026	0.030	0.017	0.024	0.012	0.044	0.035	0.008	0.035	0.038	0.054	0.025	0.061	0.043	0.034
Al <sup>I</sup>	0.123	0.113	0.121	0.099	0.036	0.029	0.112	0.113	0.116	0.101	0.096	0.107	0.105	0.109	0.063	0.067	0.082
Ti	0.007	0.009	0.007	0.008	0.003	0.004	0.008	0.010	0.010	0.011	0.009	0.011	0.009	0.011	0.004	0.004	0.007
Cr	0.016	0.011	0.011	0.014	0.003	0.000	0.013	0.014	0.017	0.004	0.011	0.017	0.012	0.007	0.000	0.001	0.000
Fe <sup>3+</sup>	0.022	0.046	0.065	0.025	0.000	0.000	0.107	0.012	0.035	0.088	0.027	0.017	0.000	0.056	0.000	0.000	0.023
Fe <sup>2+</sup>	0.085	0.052	0.033	0.159	0.119	0.111	0.091	0.201	0.155	0.145	0.216	0.215	0.212	0.179	0.264	0.267	0.246
Mg	0.877	0.888	0.890	0.864	0.892	0.898	0.862	0.842	0.823	0.829	0.838	0.856	0.813	0.844	0.791	0.793	0.775
Ni	0.000	0.000	0.001	0.005	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001	0.003	0.004	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.001	0.001	0.003	0.007	0.006	0.006	0.008	0.006	0.008	0.006	0.008	0.003	0.004	0.007	0.019	0.012	0.016
Ca	0.921	0.932	0.944	0.873	0.953	0.951	0.846	0.848	0.890	0.877	0.823	0.817	0.869	0.847	0.836	0.855	0.877
Na	0.021	0.027	0.020	0.016	0.005	0.006	0.050	0.022	0.026	0.029	0.030	0.023	0.025	0.024	0.023	0.024	0.022
K	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
Total	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
XMg	0.911	0.944	0.964	0.844	0.882	0.890	0.905	0.808	0.841	0.851	0.795	0.799	0.793	0.825	0.750	0.748	0.759

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

Tabl. I - Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.

**Chemical compositions and structural formulas of different phases  
of the In Allarene complex formation**

(D) Composition chimique de l'amphibole (**Chemical composition of amphibole**).

Roche	Webstérites à olivine			Giabros				Dolérites		
	s58	s58	s58	s8	s8	s8	s10	s24	s24	s24
N° d'Analyse	50	51	52	20	33	36	24	18	86	89
SiO <sub>2</sub>	44,19	45,11	47,09	43,01	42,65	44,76	42,87	43,31	44,19	43,62
TiO <sub>2</sub>	1,40	1,53	1,23	1,27	1,51	1,97	1,43	2,07	1,57	1,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,63	11,48	10,15	10,89	11,51	10,67	11,85	10,94	10,21	10,07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22	1,92	1,18	0,12	0,00	0,29	0,24	0,00	0,00	0,07
FeO	4,81	3,17	3,62	4,56	2,39	7,72	6,04	8,20	8,65	8,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,20	6,20	5,11	6,89	8,87	3,84	5,27	5,09	4,65	5,15
MnO	0,13	0,99	0,06	0,11	0,19	0,00	0,07	0,25	0,27	0,26
MgO	15,53	15,73	16,25	14,81	15,15	14,44	14,09	12,77	12,79	12,65
NiO	0,00	0,01	0,03	0,13	0,07	0,00	0,09	0,00	0,10	0,11
ZnO	0,01	0,07	0,08	0,00	0,00	0,02		0,03	0,14	0,00
CaO	12,00	11,81	12,05	11,37	11,18	11,67	11,49	11,08	11,20	10,96
Na <sub>2</sub> O	1,93	1,93	1,61	2,44	2,32	2,23	2,03	2,03	1,84	1,89
K <sub>2</sub> O	0,97	0,17	0,04	0,41	0,31	0,66	0,94	0,64	0,76	0,82
F								0,06	0,16	0,35
Cl								0,00	0,04	0,03
H <sub>2</sub> O*	2,08	2,11	2,12	2,03	2,05	2,07	2,03	2,02	2,02	2,01
O-F-Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,16
Total	100,10	100,43	100,60	98,06	98,19	100,33	98,43	98,48	98,59	98,32
Si	6,358	6,408	6,644	6,340	6,242	6,471	6,315	6,419	6,556	6,512
AlIV	1,642	1,592	1,356	1,660	1,758	1,529	1,685	1,581	1,444	1,488
AlVI	0,330	0,331	0,332	0,232	0,227	0,289	0,372	0,329	0,342	0,284
Ti	0,151	0,164	0,131	0,141	0,166	0,214	0,159	0,230	0,175	0,205
Cr	0,139	0,115	0,131	0,014	0,000	0,034	0,028	0,000	0,000	0,008
Fe <sup>3+</sup>	0,455	0,663	0,543	0,764	0,976	0,417	0,584	0,567	0,519	0,578
Mg	3,330	3,331	3,418	3,255	3,306	3,112	3,094	2,822	2,829	2,816
Fe <sup>2+</sup>	0,579	0,377	0,428	0,562	0,293	0,933	0,744	1,017	1,074	1,064
Mn	0,015	0,011	0,007	0,014	0,023	0,000	0,008	0,031	0,034	0,032
Ni	0,000	0,001	0,003	0,016	0,008	0,000	0,011	0,000	0,012	0,013
Zn	0,001	0,007	0,008	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,015	0,000
Ca	1,850	1,798	1,821	1,796	1,753	1,807	1,814	1,760	1,780	1,752
Na	0,538	0,530	0,440	0,697	0,659	0,625	0,580	0,584	0,529	0,546
K	0,179	0,030	0,006	0,078	0,057	0,122	0,176	0,120	0,143	0,156
F								0,026	0,076	0,166
Cl								0,001	0,011	0,008
OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,974	1,912	1,826

**Tabl. I -** Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.

**Chemical compositions and structural formulas of different phases of the In Allarene complex formation**

(E) Composition chimique du plagioclase (*Chemical composition of plagioclase*).

Roche	Gabbros						Dolérites			
	s8	s8	s8	s8	s29	s 29	s24	s23	s24	s24
N° d'Analyse	34	42	58	59	1	13	28	33	96	91
SiO <sub>2</sub>	48,34	49,02	47,45	48,90	47,46	47,75	48,77	47,93	49,14	48,36
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,04	0,02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,08	32,77	32,61	32,08	33,49	32,89	32,96	33,50	32,83	31,61
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	0,06	0,04	0,07
FeO <sub>t</sub>	0,35	0,46	0,32	0,40	0,43	0,49	0,23	0,21	0,46	0,34
MnO	0,00	0,07	0,05	0,00	0,11	0,00	0,02	0,09	0,06	0,00
MgO	0,07	0,03	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
NiO	0,01	0,00	0,10	0,10	0,08	0,06	0,07	0,01	0,00	0,00
CaO	14,70	15,49	16,16	14,26	16,51	16,53	15,33	15,94	14,89	15,33
Na <sub>2</sub> O	3,05	2,60	2,21	2,72	2,02	2,34	2,60	2,12	2,61	2,63
K <sub>2</sub> O	0,09	0,06	0,04	0,61	0,04	0,08	0,07	0,00	0,06	0,05
TOTAL	98,68	100,51	99,01	99,07	100,21	100,27	100,06	99,87	100,14	98,43
Si	2,241	2,233	2,200	2,258	2,177	2,191	2,228	2,196	2,241	2,249
Al	1,753	1,760	1,782	1,747	1,811	1,780	1,775	1,810	1,765	1,732
Ti	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Cr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,001	0,003
Fe <sup>2+</sup>	0,014	0,017	0,012	0,015	0,016	0,019	0,009	0,008	0,018	0,013
Mn	0,000	0,003	0,002	0,000	0,004	0,000	0,001	0,004	0,003	0,000
Mg	0,005	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002
Ni	0,000	0,000	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Ca	0,730	0,756	0,803	0,706	0,812	0,813	0,750	0,783	0,728	0,764
Na	0,274	0,229	0,198	0,243	0,179	0,208	0,231	0,188	0,231	0,237
K	0,005	0,003	0,002	0,036	0,002	0,005	0,004	0,000	0,003	0,003
S	5,02	5,00	5,01	5,01	5,01	5,02	5,00	4,99	4,99	5,00
XAn	0,727	0,767	0,802	0,743	0,819	0,796	0,765	0,806	0,759	0,763
XAlb	0,271	0,232	0,198	0,247	0,181	0,203	0,234	0,194	0,240	0,236
XOrth	0,005	0,004	0,002	0,036	0,002	0,005	0,004	0,000	0,003	0,003

LE MASSIF ULTRABASIQUE D'IN ALLARÈNE :  
ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE

Tabl. I - Compositions chimiques et formules structurales des différentes phases minérales des formations du massif d'In Allarène.

**Chemical compositions and structural formulas of different phases  
of the In Allarene complex formation**

(F) Composition chimique de la biotite (**Chemical composition of biotite**).

(G) Composition chimique du spinelle (**Chemical composition of spinelle**).

Roche	s22	s22	s8		Lich	s22	s22	s22	s22	s22	s22
N° Analyse	6	7	8		N°Analyse	1	2	23	24	54	71
SiO <sub>2</sub>	39,01	38,68	36,70		SiO <sub>2</sub>	0,19	0,34	0,05	0,39	0,09	0,17
TiO <sub>2</sub>	1,89	2,02	3,25		TiO <sub>2</sub>	0,63	0,44	0,20	0,15	0,18	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,77	15,58	14,87		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,48	27,14	29,34	28,46	30,90	16,12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,83	0,60	0,40		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,31	26,60	26,69	27,45	25,05	29,73
FeO <sub>t</sub>	4,22	4,08	9,91		NiO	0,24	0,32	0,29	0,33	0,28	0,40
MnO	0,00	0,00	0,01		FeO <sub>t</sub>	33,59	31,21	29,64	28,01	30,28	42,74
MgO	22,35	22,38	17,81		FeO	22,60	21,67	20,10	19,55	19,48	16,17
NiO	0,29	0,20	0,07		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,09	10,49	10,49	9,31	11,89	29,23
CaO	0,03	0,06	0,31		MnO	0,18	0,21	0,28	0,31	0,33	0,72
Na <sub>2</sub> O	0,45	0,35	1,03		MgO	8,14	8,44	9,57	9,67	10,48	5,39
K <sub>2</sub> O	9,58	9,43	8,64		CaO	0,01	0,05	0,01	0,12	0,04	0,12
BaO	0,00	0,00	0,00		ZnO	0,21	0,19	0,24	0,30	0,23	0,12
Total	94,41	93,37	93,02		Total	97,07	95,90	97,25	96,04	98,93	98,62
Si	5,596	5,599	5,500		Si	0,049	0,088	0,011	0,098	0,021	0,045
AlIV	2,404	2,401	2,500		Ti	0,121	0,085	0,038	0,028	0,032	0,093
AlVI	0,262	0,257	0,127		Al	7,986	8,210	8,638	8,475	8,870	5,148
Ti	0,204	0,220	0,366		Cr	5,322	5,398	5,272	5,483	4,824	6,368
Cr	0,094	0,068	0,047		Ni	0,145	0,199	0,177	0,201	0,163	0,260
Ni	0,033	0,023	0,008		Fe <sub>t</sub>	7,188	6,697	6,193	5,918	6,167	9,683
Mg	4,779	4,827	3,979		Fe <sub>2+</sub>	4,837	4,650	4,200	4,129	3,967	3,663
Fe <sub>2+</sub>	0,506	0,494	1,242		Fe <sub>3+</sub>	2,352	2,047	1,992	1,789	2,200	6,020
Mn	0,000	0,000	0,002		Mn	0,038	0,045	0,059	0,065	0,067	0,166
Cu	0,004	0,009	0,050		Mg	3,107	3,230	3,566	3,643	3,805	2,179
Na	0,125	0,097	0,300		Ca	0,003	0,013	0,003	0,031	0,010	0,035
K	1,754	1,741	1,652		Zn	0,040	0,036	0,044	0,056	0,042	0,023
Ba	0,000	0,000	0,000		Total	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000
S	15,760	15,737	15,773								
					Cr/Cr+Al	0,400	0,397	0,379	0,393	0,352	0,553
XMg	0,904	0,907	0,762		XMg	0,30	0,33	0,37	0,38	0,38	0,18
	Biotite				Spinelle						

**Tabl. II -** Calcul par la méthode des moindres carrés de la composition modale des roches ultrabasiques du massif d'In Allarène (pour plus de détails voir texte).**Modal composition of ultrabasic rocks of In Allarène complex computed by the least square method (see text for discussion).**

phase	Ol	Opx	Cpx	Mt	Résultats Mode	Mode %	Observé INA16	Calculé	±	s <sup>2</sup>
SiO <sub>2</sub>	40,30	55,47	52,66	0,00	Ol	0,63	44,10	43,97	0,13	0,02
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,10	0,25	0,00	Opx	0,34	0,03	0,04	-0,01	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	2,15	2,48	0,00	Cpx	-0,00	0,45	0,73	-0,28	0,08
FeO	11,12	8,27	3,21	100,00	Mt	0,04	13,40	13,30	0,10	0,01
MnO	0,13	0,16	0,07	0,00			0,08	0,13	-0,05	0,00
MgO	47,79	32,67	16,47	0,00			41,23	41,15	0,08	0,01
CaO	0,05	0,53	23,80	0,00			0,20	0,10	0,10	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,07	0,34	0,00			0,03	0,02	0,01	0,00
K <sub>2</sub> O	0,00	0,07	0,05	0,00			0,01	0,02	-0,01	0,00
Total	99,43	99,47	99,33	100,00			99,53	99,46		0,35

phase	Ol	Opx	Cpx	Mt	Résultats Mode	Mode %	Observé IA34	Calculé	±	s <sup>2</sup>
SiO <sub>2</sub>	39,66	54,80	52,77	0,00	Ol	0,58	45,30	45,33	-0,03	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,17	0,25	0,00	Opx	0,09	0,15	0,11	0,04	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	1,76	2,20	0,00	Cpx	0,34	1,20	0,91	0,29	0,09
FeO	15,82	11,88	4,38	100,00	Mt	0,00	11,73	11,74	-0,01	0,00
MnO	0,23	0,32	0,12	0,00			0,24	0,20	0,04	0,00
MgO	43,85	29,57	16,11	0,00			33,22	33,21	0,01	0,00
CaO	0,08	0,04	23,25	0,00			7,88	7,89	-0,01	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,13	0,29	0,00			0,22	0,11	0,11	0,01
K <sub>2</sub> O	0,00	0,05	0,00	0,00			0,06	0,00	0,06	0,00
Total	99,68	98,72	99,37	100,00			100,00	99,49		0,33

**Tabl. III -** Compositions en traces et ultratrace (PGE) des roches basiques et ultrabasiques du complexe d'In Allarène (Benmoussa *et al.*, 1996).**PGE Analytical data of basic and ultrabasic rocks of In Allarène complex (Benmoussa *et al.*, 1996).**

Echant	Nat	Ni	Cr	Cu	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
INA2	Harzburgite	911	2525	6	1,84	2,85	4,84	0,19	14,78	22,25
INA8	Harzburgite	1010	2826	4	2,48	1,92	2,97	0,36	8,84	4,94
INA16	Harzburgite	1136	2915	5	1,95	2,49	2,57	0,36	16,28	2,77
INA34	Harzburgite	1064	2310	4	2,65	2,6	2,27	0,2	23,27	4,47
INA38	Harzburgite	861	2160	6	1,43	2,37	1,46	0,18	21,59	9,37
IA34	Lherzolite	1064	2310	4	2,65	2,6	2,27	0,2	23,27	4,47
IA37	Lherzolite	756	2172	17	5,77	3,54	6,3	0,52	35,81	6,8
INA13	Gabbros	204	92	5	0,6	0,56	4,91	0,11	2,53	5,13
IA29	Gabbros	80	73	26	2,52	0,84	7,88	0,18	7,32	11,14
INA41B	Gabbros	151	38	16	0,7	0,62	2,18	0,1	4,64	2,47
IA26	Gabbros	305	875	68	1,88	1,08	8,78	0,17	6,96	7,71
IA18	Dolérite	148	208	51	1,56	0,9	4,7	0,14	7,51	7,79
IA30	Dolérite	121	15	22	5,77	2,9	5,47	0,1	5,11	3,91