

N°d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et l'univers



Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade
De Master en Sciences de la Terre

Option : **GEODYNAMIQUE DE LA LITHOSPHERE**

Thème :

**Les caractéristiques pétrologiques et géochimiques des xénolites
emballés dans les complexes triasiques d'Ouled Aïcha et Tamalaht
(Ouarsenis, Tell algérien)**

Présenté par :

M.ALHOUSSEINI A.R

et

M. GHAF FOUR M.A

Soutenu le 11 novembre 2020, devant la commission d'examen :

| | | | |
|------------------------|-------------------------|---------------------|------------|
| M. A.SEDDIKI | Professeur | Université d'Oran 2 | Président |
| Mme N. REMACI | Maître de conférences A | Université d'Oran 2 | Rapporteur |
| M. R. BENDOUKHA | Maître de conférences A | Université d'Oran 2 | Examineur |

Oran, 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à tous mes êtres chers :

En premier lieu, à mes très chers parents (Alhousseini Awais et Assalama Ghoumur) dont l'amour inconditionnel et l'éducation vigilante ont toujours guidé mes pas,

A ma très chère grande mère pour ses prières qui ont illuminé ma voie.

A mes frères et sœurs pour leur indéfectible attachement,

A mes oncles et tantes pour leurs soutiens et conseils,

A particulièrement à mon oncle Ghabdoullah Ghoumur pour tous ses encouragements, son aide et son encadrement,

A mon tonton Ousmane Mahmoud pour ses encouragements et ses conseils.

A l'ensemble de l'équipe G.D.S (grain de sable) particulièrement au président Pierre, Françoise, au directeur Alhousseini; et Ahmadou... pour leurs conseils attentionnés,

A tous mes camarades étudiants nigériens, guinéens, algériens, maliens, mozambicains, angolais

Alhousseini Awais Rhissa

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، أما بعد..
الحمد لله الذي بنعمه تتم الصالحات، الحمد لله الذي وفقنا وهدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله.
الحمد لله أولا والحمد لله آخرا.

Je dédie ce mémoire à ceux qui m'ont donné cette vie à ma Reine qui est ma mère Chafiâa et à mon Roi Mouffak GHAFFOUR qui est mon père bien-sûr tout en souhaitant de les avoir honorés. A mon bras droit The King Chakib et à ma source de tendresse ma petite sœur ma princesse Sabrina Zhor. Et surtout à mon grand frère, mon exemple Mounir qui a été toujours là pour moi et c'était grâce à lui que je vais obtenir mon diplôme dans ce département des sciences de la Terre et à cette université de Mohamed Ben Ahmed – Oran. A ma perle ma pierre précieuse Imene Zhor ma grande sœur. A mamie yema Zoulikha ma deuxième maman et papi BOUALAM Mohammed qui est mon meilleur ami.

A mes chers Professeurs : Abdelmadjid SEDDIKI, Hocine BENRAMDANE, Rachid BENDOUKHA et à leur tête Mme Nacera REMACI.

GHAFFOUR Mohammed Alaa Eddine.

Remerciements

Nous remercions avant tout notre DIEU, qui grâce à lui sommes arrivés à ce stade.

Nous tenons tout particulièrement à remercier Mme N. REMACI, pour avoir dirigé avec beaucoup d'attention et de soin ce travail. Nous sommes très reconnaissants pour l'aide qu'elle nous a apporté tout le long de la réalisation de ce mémoire. Nous lui devons beaucoup pour sa disponibilité, sa bienveillance, sa patience et son soutien permanent. Nous la remercions également d'avoir mis de la documentation à notre disposition, pour ses conseils précieux et judicieux, sa gentillesse et sa bonté.

Notre reconnaissance et nos remerciements vont à M. A. SEDDIKI pour avoir accepté de présider ce jury ainsi que de juger ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont également à M. R. BENDOUKHA pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Par ailleurs, nous tenons à remercier très vivement les gouvernements algérien et nigérien qui nous ont permis de mener des études dans de très bonnes conditions en nous attribuant une bourse pour la Licence et le Master à l'université d'Oran 2.

Nous tenons aussi à exprimer toute notre gratitude à nos enseignants de la faculté des Sciences de la Terre (en particulier ceux de la spécialité GL) qui ont participé à notre formation et qui nous ont beaucoup appris tout le long de notre cursus universitaire.

Nous remercions tous nos amis et camarades de la promotion pour leur soutien et leurs encouragements.

Listes des figures

Fig.I-1 : Les grands ensembles géographiques de l'Algérie du Nord et les différents domaines tello-rifains (in Kireche, 1993, modifiée).

Fig.I-2 : Situation et limites géographiques de l'Ouarsenis dans le domaine tellien (in Benhamou et Brahim, 2020, modifiée).

Fig. I-3 : Schéma structural de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale montrant les différents domaines (Frizon de Lamotte et al, 2000 in Benhamou et Brahim, 2020).

Fig.I-4 : Situation des sites étudiés sur Google Earth

Fig.I-5 : Carte géologique de l'Ouarsenis occidental (Flandrin, 1951)

Fig.II-1: Position des feldspaths dans diagramme triangulaire Ab-An-Or.

Fig.II-2 Nomenclature des amphiboles calciques du complexe triasique, dans le diagramme de Leake et al (1997).

Fig II-3 : Position des biotites du complexe de Tamalaht dans le diagramme Al^{IV} versus XFe de Deer et al (1983).

Fig.II-4: Position des biotites dans le diagramme de Nockolds, 1947.

Fig.II-5 : Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al. (1992).

Fig.II-6: Corrélation entre Ti et Al^{IV} pour les amphiboles des Facies de Ouled Aïcha ET Tamalaht, à partir du diagramme de Helz (1973).

Fig.II-7: Diagramme illustrant les températures de cristallisation des amphiboles (d'après Otten, 1994).

Fig.III-1 :Position des metabasites dans le diagramme de nomenclature le Bas et al., 1986 et Lemaitre, 2002

Fig. III-2 : Diagramme Zr/TiO_2 en fonction de Nb/Y de Winchester et Floyd(1976)
Dans le diagramme de Winchester et Floyd (1977).

Figure-III-3 : Diagramme Nb/Y versus Zr/P_2O_5 de Winchester et Floyd (1977)

Fig. III-4 : Position des xénolites d'Ouled Aïcha et Tamalaht dans le diagramme de Thompson (1984).

Fig. III- 5 - A et B : Distribution des lanthanides dans les faciès basiques d'Ouled Aïcha et de Tamalaht (normalisation par rapport aux chondrites de Boynton, 1984)

Fig.III-6A et B:Spectres multi-élémentaires normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995).

Fig. III-7: Position des metabasites dans le diagramme géotectonique de Mullen (1983).

Fig.III-8 : Position des metabasites dans le diagramme géotectonique de Shervais (1982).

Liste des Tableaux

Tableau.II-1: Compositions chimiques et formules structurales des feldspaths des faciès d'Ouled Aïcha et de Tamalaht. *c* : cœur, *int* : intermédiaire, *b* : bordure.

Tableau.II-2 : composition chimique et formules structurales des amphiboles.

Tableau.II-3: Compositions chimiques et formules structurales des biotites.

Tableau.II-4: Compositions chimiques et formules structurales des oxydes ferro-titanés du faciès d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

Tableau.II-5: Calculs des pressions des amphiboles des faciès d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

Tableau III- 1: Compositions chimiques en éléments majeurs des roches totales d'Ouled Aïcha (OA) et de Tamalaht (T).

Tableau III-2: Compositions normatives des roches d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

Tableau III- 3: Analyses chimiques des éléments en traces avec terres rares.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : Introduction et Généralités

| | |
|--|-----|
| I-1-Introduction | 1 |
| I-2-Les objectifs de l'étude..... | 1 |
| I-3-Cadre géographique | 1-3 |
| I-4-Contexte géologique et organisation litho-stratigraphique des terrains de l'Ouarsenis. | 4-6 |
| I-5- Cadre géographique et géologique du secteur d'étude..... | 6-7 |
| I-6- Quelques données sur les diapirs | 7 |

CHAPITRE II: CARACTERISTIQUES PETROLOGIQUES

| | |
|--|-------|
| II- Les caractéristiques pétrologiques des xénolites d'Ouled Aïcha et Tamalaht | 8 |
| II-1-Aspect macroscopique et microscopique..... | 8-11 |
| II-2-Aspect minéralogique et estimations des conditions de cristallisation..... | 11 |
| II-2-1-Introduction | 11 |
| II-2-2-Chimie des phases minérales..... | 11 |
| II-2-2-1-Le plagioclase..... | 11-13 |
| II-2-2-2- L'Amphibole..... | 13-15 |
| II-2-2-3- La biotite..... | 15-17 |
| II-2-2-4- Les oxydes ferro-titanés..... | 18-19 |
| II-2-3- Estimations des conditions de cristallisation | 19 |
| II-2-3-1- Les thermomètres d'amphibole..... | 19-20 |
| II-2-3-2- Le baromètre amphibole | 20-21 |
| II-2-4- Discussions | 21-22 |

CHAPITRE III : Caractéristiques géochimiques

| | |
|---|-------|
| III-1- Introduction | 23 |
| III-2-Géochimie des éléments majeurs et traces | 23 |
| III-2-1-Classification et caractérisation géochimique..... | 23-27 |
| III-2-2-Comportement des éléments majeurs et en traces..... | 27-30 |
| III-3- Contexte géotectonique..... | 30-31 |
| III-4- Discussions..... | 32 |
| Conclusion générale | 33-35 |
| Références bibliographiques | 36-38 |

CHAPITRE I
Généralités

I-1-Introduction

Les complexes triasiques en Algérie ont de tout temps intéressé la communauté scientifique. Dès, 1952 puis 1957, Ville, découvreur du Trias et du diapirisme en Algérie, avait déjà décrit des affleurements en Oranie. La plupart de ces complexes chaotiques évaporitiques ont suscité un intérêt d'autant plus vif que certains d'entre eux occupaient des positions stratigraphiques et structurales particulières non conformes à leur attribution au Trias évaporitique, connu exclusivement dans l'avant-pays tellien. L'étude sur la géologie régionale de l'Oranie a permis aux auteurs tels que Delteil J. (1974), Fenet B. (1975), Guardia (1975), Cizak et al. (1986) et Midoun et Perthuisot (1992), Midoun et Seddiki (2016) de décrire ces pointements triasiques comme d'origine diapirique pour certains et des semelles de nappes pour d'autres. Ces formations triasiques contiennent tout un cortège de xénolites de roches vertes, ultramafiques, mafiques et granulitiques emballés dans des matériaux évaporitiques, détritiques et carbonatés. Ces enclaves constituent un ensemble de roches rapporté à la base de croûte et au sommet du manteau, témoignant d'un amincissement crustal local ayant débuté dès le Trias supérieur (Midoun et Perthuisot, 1992 et Midoun et Seddiki en 2016).

I-2-Les objectifs de l'étude

Le présent travail permet de mener, pour la première fois, une étude pétrologique et géochimique de xénolites emballées dans les pointements triasiques situés dans l'Ouarsenis occidental oranais (Ouled Aïcha et Tamalaht). Les objectifs principaux sont les suivants :

- ✓ Entamer ce travail par une étude bibliographique sur ces complexes diapiriques triasiques et présenter les caractères litho-stratigraphiques et structuraux de la région de l'Ouarsenis,
- ✓ Souligner l'importance de ces enclaves par une étude pétrographique en décrivant les caractères texturaux et para-génétiques des roches d'Ouled Aïcha et de Tamalaht,
- ✓ Réaliser une étude chimique des phases minérales telles que le plagioclase, l'amphibole, la biotite et les oxydes ferro-titanés, puis appréhender les conditions de cristallisation de ces metabasites,
- ✓ Etudier la caractérisation géochimique et géodynamique de ces enclaves à partir du chimisme des roches totales, avec éléments majeurs, traces avec Terres rares.

I-3- Cadre géographique

L'Algérie comporte quatre domaines nettement distincts, il s'agit du Nord au Sud (**Fig.I-1**) :

- ✓ Le Tell ou l'Atlas tellien enserré entre la Méditerranée au Nord et les Hauts-Plateaux au Sud, comprend du Nord au Sud: les massifs littoraux et le Sahel d'Oran, les petites dépressions et les dépressions étroites du Sud d'Oran (Grande Sebkhia d'Oran, plaines d'El Habra, Sig...), les massifs des Traras, les Tessala, les Monts de Ouled Ali, les Monts des Béni Chougrane et les massifs de l'Ouarsenis, les plaines de la Tafna et de Ghريس), les Monts de Ghar Rouban, de Tlemcen, de Daïa et de Saïda-Frenda ;
- ✓ Les Hautes-Plaines jalonnées par les marécages salés ou "Chott" (Chott Chergui, Chott El Gharbi) ;
- ✓ L'Atlas saharien qui correspond à un alignement de massifs calcaires modestes et accidentés ;
- ✓ Le Sahara ou la plate-forme saharienne non cultivée hormis les Oasis.

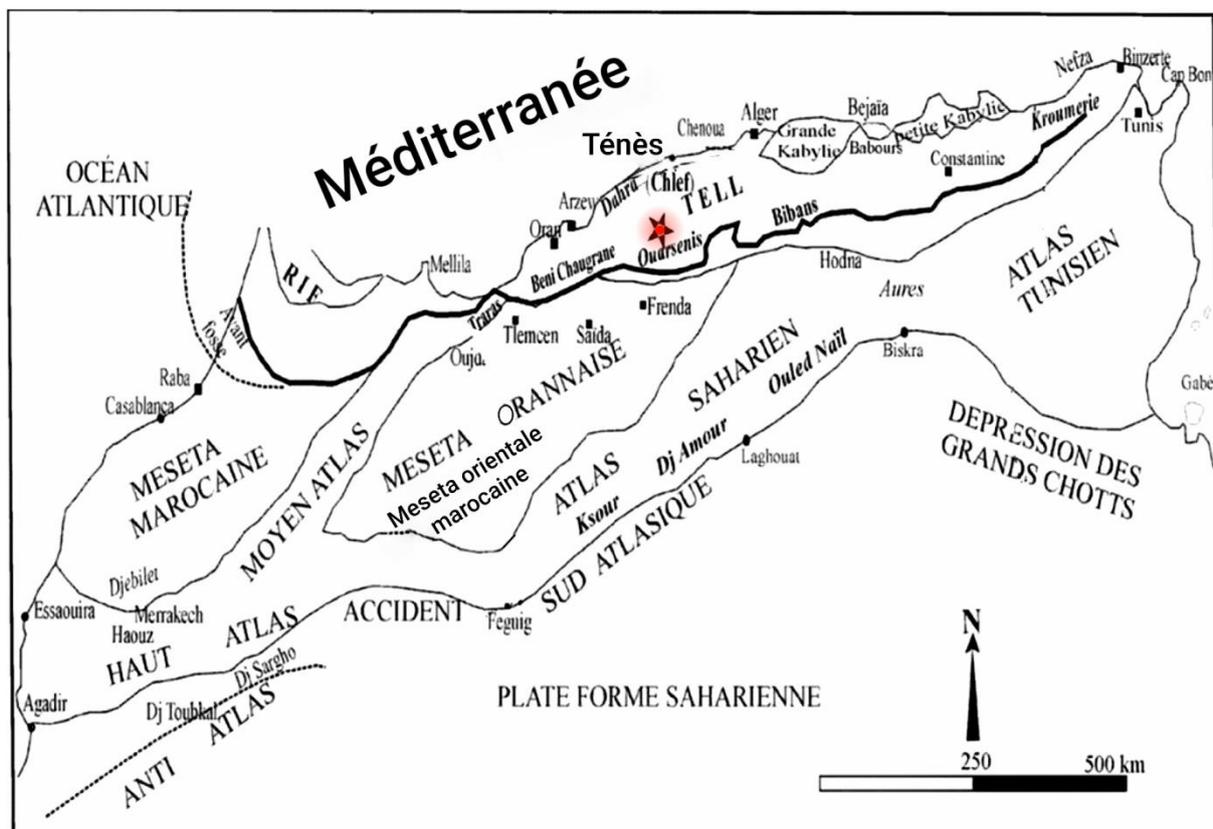


Fig.I-1 : Les grands ensembles géographiques de l'Algérie du Nord et les différents domaines tello-rifains (in Kireche, 1993, modifiée).

- Position du massif de l’Ouarsenis dans le Tell

Les monts de l’Ouarsenis se situent entre le parallèle (35°-36°,30) et le méridien (1°-2°E) s’étendant sur une distance de 200 km, sa largeur est de l’ordre de 100 km sauf à l’Est où elle ne dépasse pas 60 km à la hauteur du méridien de Derrag. C’est une chaîne très soulevée et enserrée entre la plaine de Chélif au Nord et les Hauts-Plateaux au Sud. Le célèbre sommet du Grand Pic ou Kef Sid Amar (1985m) constitue une gigantesque pyramide calcaire appelée communément l’"Œil du monde" ou "Nombriil du monde " (Mattauer, 1958). Sa position et son élévation permet de distinguer un Ouarsenis occidental et un autre oriental.

Ce Grand Pic est compris entre Chélif (ex-Orléans ville) au Nord et Tiaret au Sud, il est bordé par (Fig.I-2) :

- ✓ La vallée de Chélif au Nord correspondant à un bassin néogène subsident (Polvêche, 1960), s’étendant sur une longueur de 500 km depuis Khémis Miliana à l’Est jusqu’à Aïn Témouchent à l’Ouest ;
- ✓ Le plateau du Sersou constituant un talus de grés au Sud (Tiaret) ;
- ✓ Vers l’Ouest, il n’existe pas de limites naturelles nettes, mais les dépôts miocènes de Zemmoura sont considérés comme une limite occidentale (Polvêche (1960). Puis apparaissent les Monts de Béni Chougrane et de la Mina ;
- ✓ Vers l’Est apparaissent les Mont de Bibans (Médéa) et les formations post-miocènes autour de Miliana.



Fig.I-2 : Situation et limites géographiques de l’Ouarsenis dans le domaine tellien (in Benhamou et Brahim, 2020, modifiée).

I-4- Contexte géologique et organisation litho-stratigraphique des terrains de l’Ouarsenis

Le Nord de l’Algérie fait partie de la chaîne alpine des Maghrébides (**Fig.I-3**) qui s’étend de Gibraltar jusqu’à la Calabre (Frizon de Lamotte et al, 2000). Comme le soulignent Benhamou et Brahim (2020), diverses unités géologiques et structurales sont associées. Les zones externes des Maghrébides, au niveau du Tell méridional, sont composées de nappes allochtones et d’ensembles sédimentaires parautochtones ou autochtones structurés durant les phases alpines (Kireche, 1993 ; Bracène, 2002). Dans l’Ouarsenis oranais ou occidental, les nappes telliennes externes sont subdivisées en quatre unités tectono-stratigraphiques mal datées et dénommées : “Unité albo-cénomanienne”, “Unité sénonienne”, “Unité oligo-miocène”, “Unité Chouala” et “Unité numidienne” (Polvêche, 1960 ; Delteil et al, 1972 ; Fenet, 1975). La mise en place de ces nappes est à relier avec des mouvements compressifs horizontaux dans le cadre des phénomènes géodynamiques transgressifs méditerranéens (Wildi, 1983 ; Bracène, 2002). Dans l’Ouarsenis oriental, la géologie est plus complexe (Benhamou, 1996 ; Benhamou et Brahim, 2020), résidant dans (1) le renversement des séries, (2) la tectonique syn-sédimentaire, (3) la fréquence des contacts anormaux et (4) la présence des unités tectono-stratigraphiques ou nappes structurales.

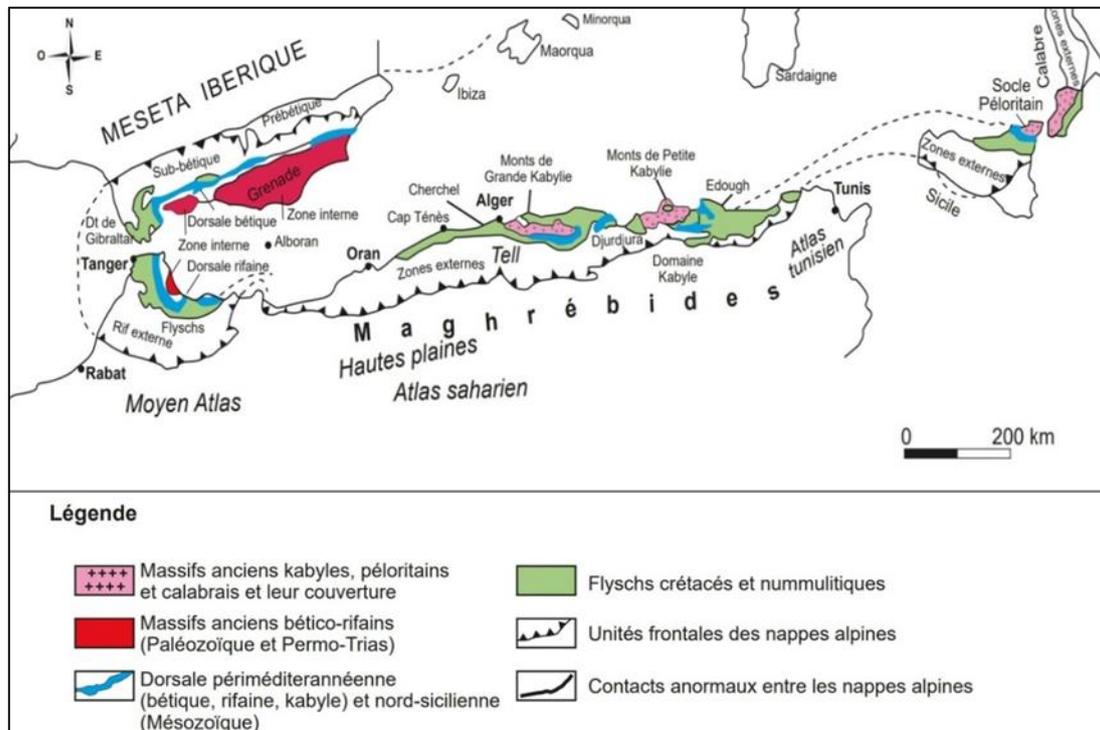


Fig. I-3 : Schéma structural de la chaîne alpine de la Méditerranée occidentale montrant les différents domaines (Frizon de Lamotte et al, 2000 in Benhamou et Brahim, 2020).

A partir de travaux bibliographiques (Mattaue, 1958 ; Kireche, 1977 et 1993 ; Benhamou, 1996 ; Zeghari, 2013 ; Benhamou et Brahim, 2020), il est judicieux de présenter la stratigraphie de la région de l'Ouarsenis. Dans cette dernière, la série litho-stratigraphique comporte des terrains assez diversifiés : des terrains paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques, bien que les premiers soient assez rares voire absents.

I-4-1- Le Paléozoïque

La stratigraphie du Paléozoïque demeure peu connue aussi bien dans l'Ouarsenis que dans tout le Tell algérien. Les terrains primaires sont assez rares et se présentent sous trois formes (Mattaue, 1958) :

- ✓ Un Primaire (cristallin, sédimentaire et métamorphique) autochtone dans les massifs de Chéelif que l'on qualifie les "Massifs de Chéelif" (Kireche, 1977, 1993) ;
- ✓ Un Primaire emballé dans le complexe triasique ;
- ✓ Un Primaire en galets dans le Miocène inférieur.

I-4-2- Le Mésozoïque

✓ Le Trias : En absence de fossiles, les géologues nord-africains ont admis le terme "Trias" à des formations non datées vue leurs ressemblances aux Trias germaniques ou germano-andalous (Trümpy, 1983 ; Fallot, 1942 a et b). Dans l'Ouarsenis, le Trias jalonne souvent les contacts anormaux matérialisé par des complexes gypso-salins, des dolomies massives et des cargneules ;

✓ Le Jurassique : Les affleurements jurassiques sont moins fréquents par rapport à ceux du Crétacé. Ils comportent en grande majorité une sédimentation carbonatée (dolomies et calcaires) (Benhamou, 1996) ;

✓ Le Crétacé : Les terrains de cet étage affleurent largement dans l'Ouarsenis. La série débute par des dépôts carbonatés peu profonds à profonds interrompus par des puissantes séries grésopélitiques à faciès flyschoides pendant l'Aptien inférieur-Albien (Mattaue, 1958 ; Benyoucef, 2006). Au-delà, la sédimentation carbonatée à prédominance de marnes marque le Crétacé supérieur.

I-4-3- Le Cénozoïque

✓ Le Paléocène : La différence des dépôts du Crétacé supérieur à celle du Paléocène ne s'individualise qu'à partir de la microfaune ; la sédimentation demeure toujours marneuse ;

✓ L'Eocène : L'Eocène inférieur englobe trois faciès avec les marno-calcaires blancs à Globigérines, le grésoglaucconieux et les faciès phosphatés. L'Eocène moyen et

supérieur affleure soit sous un faciès marneux (marnes brunes et/ou noires) soit sous un grès glauconieux ;

✓ L'Oligocène avec deux faciès principaux : Le faciès Boghari (Oranais) à prédominance marneux (nappe B) et le faciès Numidien de la nappe C ;

✓ Le Miocène inférieur et le Miocène supérieur sont indifférenciés. Il s'agit de dépôts de marnes analogues à celles de l'Eocène. Vers l'Est, l'épaisse série marneuse évolue vers le sommet à une autre série gréseuse. Vers le Sud et l'Ouest, elle passe latéralement à des formations conglomératiques rougeâtres reposant directement sur les flyschs ou le socle ;

✓ Le Pliocène : Constitue réduits de cailloutis et des replats tufacés.

I-4-4- Le Quaternaire

Les dépôts du Quaternaire forment des terrasses caillouteuses et des alluvions très limoneuses dans des vallées au-dessous de 50 m.

I-5- Cadre géographique et géologique du secteur d'étude

Le complexe triasique de Tamalaht se situe à 1 km au Sud-Est de la commune de Tamalaht, 9 km au Sud de la commune de Bordj Bou Naâma et à environ 13 km au Nord de la daïra de Lardjem. Il est bordé par le Douar Ouled Bekhalfa au Nord, Douar Sidi Amar au Sud, Douar Si El Ghalleem à l'Est, le village de Tamalaht et la RN 19 à l'Ouest. A quelques kilomètres vers le Sud-Ouest de Tamalaht se trouve site triasique d'Ouled Aïcha, se rapprochant de Lardjem (**Fig.I-4**).



Fig.I-4 : Situation des sites étudiés sur Google Earth.

Les roches récoltées sont localisées au niveau de failles gypsifères. Le pointement triasique de Tamalaht, dont les faciès ont été décrits en détails par Khettal et Safa (2013), est emballé dans les flysch du Crétacé inférieur (Albo-Aptien) et dans les marnes du Crétacé supérieur (Sénonien). Il est formé par des argiles gypsifères, avec des lambeaux de roches sédimentaires (grès, calcaires et dolomies), magmatiques (basaltes) et métamorphiques (schistes verts, amphibolites) (**Fig.I-5**). Le pointement d'Ouled Aïcha est également emballé dans les marnes du Crétacé supérieur et les gypses violacés de l'Eocène et l'Oligocène.

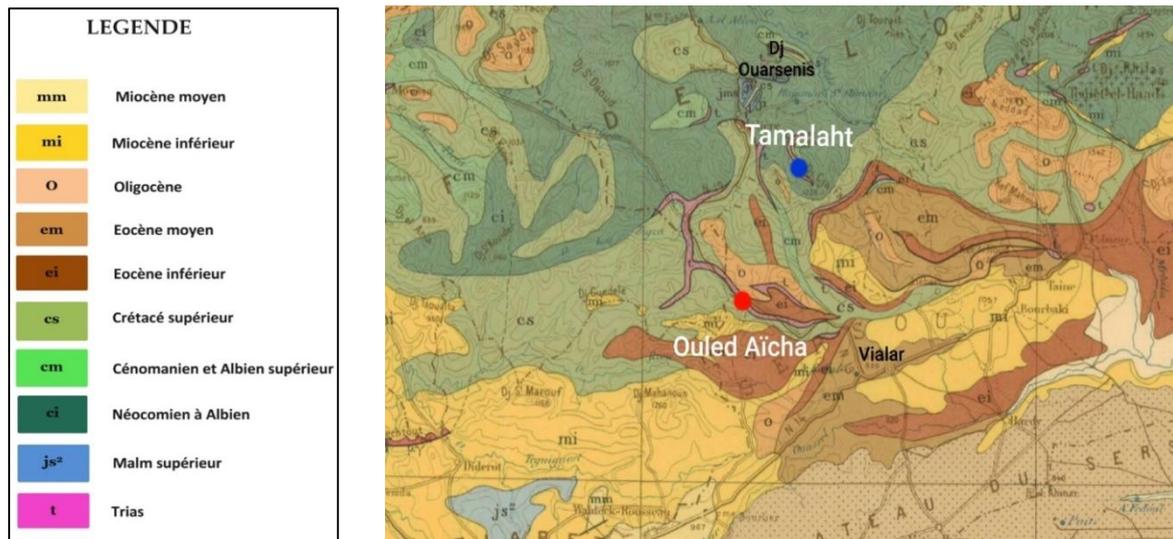


Fig.I-5 : Carte géologique de l'Ouarsenis occidental (Flandrin, 1951).

I-6- Quelques données sur les diapirs

En géologie, un diapir (du grec diapierein, « percer au travers », terme inventé en 1907 par le géologue roumain Ludovic Mrazek pour décrire ce type de formation salifère dans les Alpes) est un type d'intrusion impliquant une structure plus ou moins globuleuse, résultant de la remontée de roches plus légères à travers des roches plus denses. Il peut s'agir de diapir salifère (évaaporites de type sel gemme, gypse), diapir granitique (magmas en fusion peu denses), diapir asthénosphérique (remontée de l'asthénosphère sous les zones en extension par l'effet de l'amincissement), diapir mantellique (autre nom des panaches).

Les roches retrouvées en blocs dans les pointements évaporitiques triasiques d'Ouled Aïcha et de Tamalaht concernent le premier cas de diapir. Cette notion de diapir et diapirisme a fait pas mal l'objet d'un travail bibliographique, entre autres les travaux de Meddah (1998), Khettal et Safa (2013) et Bensahla et Hassan Daouadji (2018) que nous vous conseillons de lire.

CHAPITRE II
CARACTERISTIQUES
PETROLOGIQUES

II-Les caractéristiques pétrologiques des xénolites d'Ouled Aïcha et Tamalaht

Les deux pointements triasiques de Tamalaht et d'Ouled Aïcha formés d'argiles gypsifères de marnes et de gypse violacé, comportent des blocs de roches sédimentaires (grès, calcaires et dolomies), de roches magmatiques et de roches métamorphiques (schistes verts, amphibolites). Notre étude a porté sur quelques échantillons d'enclaves. Celles de Tamalaht ont déjà fait l'objet d'une étude pétrographique menée par Khettal et Safa (2013).

II-1-Aspect macroscopique et microscopique

Ces blocs arrachés au socle primaire sont de taille variable, le plus souvent de taille décimétrique à quelques centimètres.

Dans le site d'Ouled Aïcha, les enclaves récoltées semblent être essentiellement des roches métamorphiques type amphibolite, avec une texture granoblastique grossière à fine où des points triples entre les minéraux peuvent être distingués. La paragenèse minérale est composée d'amphibole, de plagioclase, d'oxydes ferro-titanés et un peu de quartz. Aucune trace de pyroxène n'a été décelée (**Photos 1 et 2**).

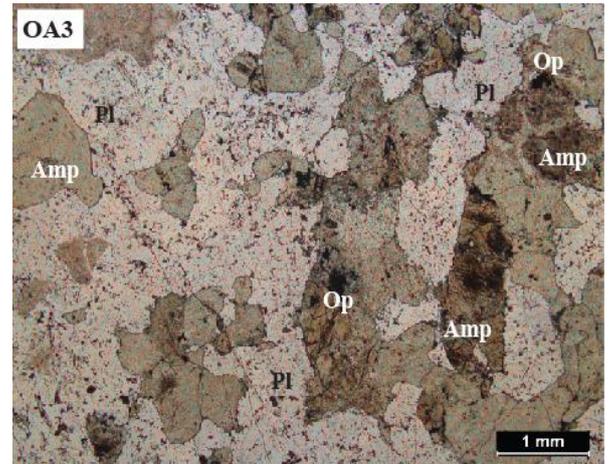
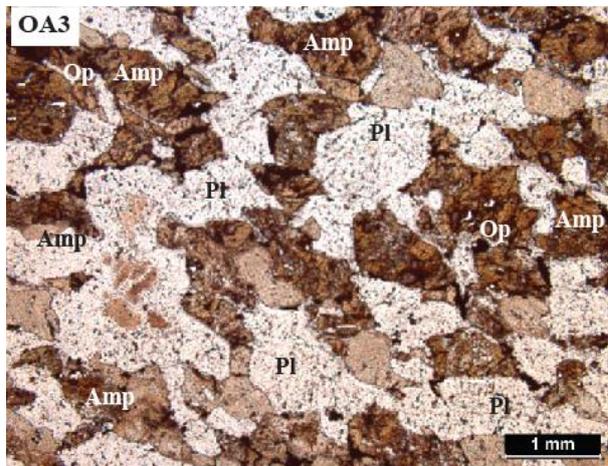
Le plagioclase est une des phases les plus importantes. Il présente un habitus en lattes subautomorphes infra à plurimillimétriques avec la mâcle de type albite et plus accessoirement Carlsbad.

L'amphibole est le minéral dominant au niveau de la composition modale. Elle apparaît en grands cristaux automorphes à subautomorphes avec ses deux directions de clivages et sa mâcle h^1 caractéristiques de cette phase minérale. Il s'agit de hornblende verte, fortement pléochroïque dans les tons verts.

Le quartz peut être présent, en très faible quantité et de forme interstitielle.

Les oxydes ferro-titanés sont présents et se rapprochent du pôle magnétite. Très souvent liés à l'amphibole qu'ils entourent ou se surimposent.

Il est à noter que d'autres échantillons récoltés à Ouled Aïcha montrent les mêmes textures, granoblastiques mais plus fines, et la même paragenèse minérale avec un quartz interstitiel plus important.

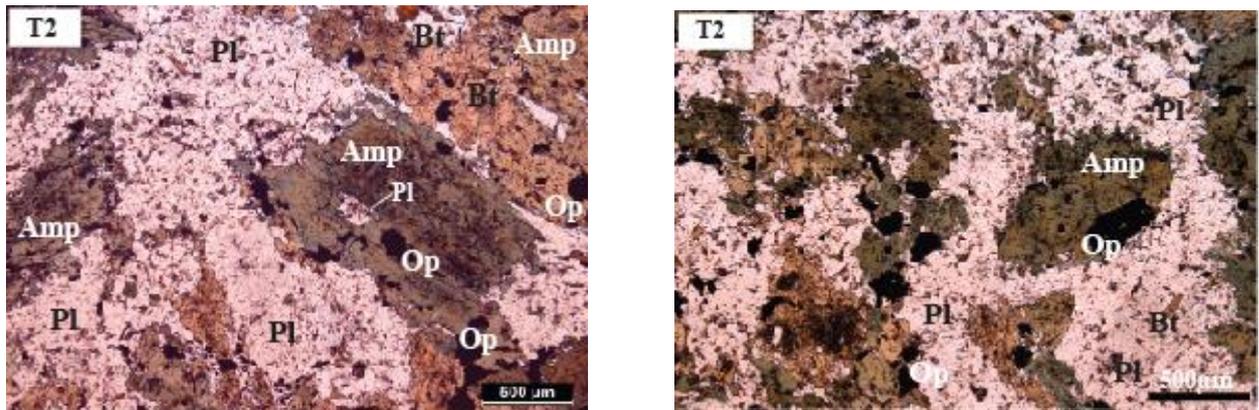


Photos 1 et 2 : Lumière naturelle

Dans le site de Tamalaht, l'observation des lames minces, menée par le binôme Khettal et Safa (2013) et complétée par notre étude, montre pour certains échantillons des textures moins étirées et déformées qu'à Ouled Aïcha. Elles rappellent une texture plutôt grenue avec une paragenèse minérale formée de grands plagioclases, d'amphiboles prismatiques et énormément d'oxydes ferro-titanés. L'échantillon le plus représentatif est celui de T2 que nous décrivons en détails (**Photos 3, 4 et 5**).

Le plagioclase est une des phases les plus importantes. Il présente un habitus en lattes subautomorphes avec la macle polysynthétique et parfois de Carlsbad. Ces cristaux de plagioclase ont des compositions qui varient de An_{50} à An_{18} (andésine à oligoclase) compositions qui ne sont pas usuellement celles des plagioclases de roches basiques (cf géochimie). Ces valeurs basses en Ca pourraient être liées à une albitisation (processus secondaire d'altération) du plagioclase.

L'amphibole est le minéral le plus caractéristique de ces xénolites (d'où le nom d'amphibolite ou gabbro riche en amphibole), elle se présente en cristaux automorphes à subautomorphes souvent maclés h^1 . Il s'agit d'hornblende commune, fortement pléochroïque dans les tons verts. Elle comporte des inclusions d'opaques et de plagioclase. Certains cristaux d'amphibole ont des lamelles (ou tâches) de biotite qui présentent les mêmes caractères optiques (**Photo 3**). Cette amphibole est parfois altérée, par endroits, par de la chlorite et de l'épidote avec ses teintes de polarisation vives (**Photo 5**).



Photos 3 et 4 : Lumière naturelle

La biotite représente la deuxième phase ferromagnésienne hydratée. Elle est assez discrète. L'analyse texturale met en évidence son association avec l'amphibole où elle se surimpose en formant des taches rouge-brunâtres ayant toutes les mêmes caractères optiques. Parfois, on la retrouve en petits paquets de lamelles épars dans la lame.

Le quartz est en très faible pourcentage, en cristaux inframillimétriques et souvent en gouttelettes dans le plagioclase.

Les oxydes ferro-titanés occupent un volume non négligeable (**Photos 3 et 4**), ce sont essentiellement de l'ilménite (cf minéralogie) que nous pouvons rencontrer en inclusions dans les cristaux d'amphibole et de plagioclase.

La chlorite et l'épidote représentent les produits de déstabilisation des minéraux essentiels.

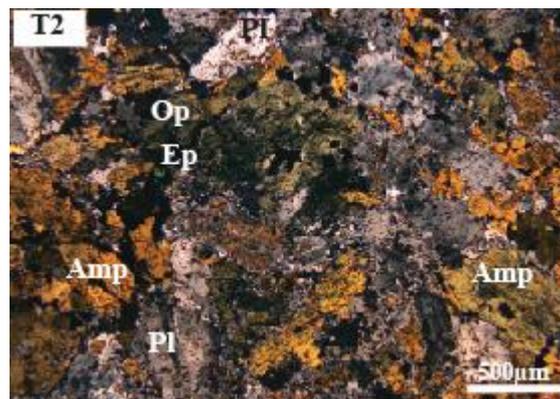


Photo 5 : Lumière polarisée analysée

Abréviations : Pl : Plagioclase, Amp : Amphibole, Bt : Biotite, Op : Opaque, Ep : Epidote

Nous pouvons déduire une séquence de cristallisation à partir de l'agencement des différentes phases minérales. Elle débute par la cristallisation du plagioclase (retrouvé en inclusion dans l'amphibole), suivi des opaques, de l'amphibole, de la biotite et du quartz. La chlorite et l'épidote représentent les produits de déstabilisation des minéraux essentiels.

D'autres échantillons (tels que T5) peuvent présenter une texture plutôt doléritique où la paragenèse minérale est toujours à plagioclase, amphibole et oxydes ferro-titanés.

Il est à rajouter que parmi les enclaves de Tamalaht, il a été décrit par Khettal et Safa (2013), en plus des amphibolites, des schistes verts (prasinite) et des épidotites.

II-2-Aspect minéralogique et estimations des conditions de cristallisation

II-2-1-Introduction

Suite à l'étude pétrographique des faciès récoltés du complexe triasique, ce chapitre minéralogique va permettre de mener une étude chimique détaillée des phases minérales en précisant la nature et éventuellement la variation de compositions de chaque phase minérale : plagioclases, amphibole, biotite et oxydes ferro-titanés. Les échantillons les plus représentatifs sur Ouled Aïcha et Tamalaht ont été sélectionnés pour ces analyses.

Par ailleurs, à partir du chimisme de l'amphibole, une étude thermobarométrique, tentera une approche des conditions thermodynamiques de cristallisation.

Les analyses, réalisées par Mme **N. REMACI**, ont été effectuées à la microsonde CAMECA SX 100 de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, avec des conditions analytiques de 15 kV, 15 nA et 10s. La microsonde est calibrée sur des standards silicatés et la précision des données est inférieure à 1% sur les teneurs en poids d'oxydes pour les éléments majeurs.

II-2-2-Chimie des phases minérales

Les analyses des phases minérales ont porté sur les échantillons OA3 et T2. L'étude a révélé l'existence de deux types de phases minérales :

- *une phase anhydre*, constituée de plagioclase et d'opaques.
- *une phase hydratée*, représentée par l'amphibole et la biotite.

II-2-2-1-Le plagioclase

Les analyses et les formules structurales (calculées sur la base de 8 oxygènes) sont consignées dans le **tableau II-1**.

| Ech. | OA3 | OA3 | OA3 | OA3 | OA3 | OA3 | OA3 | T2 | T2 | T2 |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N°analyse | 19 b | 20 int | 21c | 24 b | 25 int | 26 c | 30 | 44 | 51 | 48 |
| SiO ₂ | 54,27 | 54,34 | 53,65 | 53,91 | 54,68 | 54,12 | 53,12 | 64,18 | 62,03 | 55,67 |
| TiO ₂ | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 28,07 |
| Al ₂ O ₃ | 24,26 | 24,09 | 24,46 | 24,16 | 23,38 | 23,91 | 24,53 | 22,43 | 23,97 | 0;00 |
| MgO | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,06 |
| CaO | 9,20 | 9,28 | 10,13 | 9,54 | 8,35 | 9,12 | 10,33 | 3,58 | 5,46 | 0,01 |
| MnO | 0,00 | 0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| FeO | 0,08 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,19 | 0,06 | 10,36 |
| Na ₂ O | 8,87 | 8,60 | 8,38 | 8,88 | 9,35 | 8,72 | 8,17 | 9,22 | 8,25 | 0,05 |
| K ₂ O | 0,11 | 0,11 | 0,06 | 0,13 | 0,10 | 0,11 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,1 |
| Total | 96,83 | 96,52 | 96,69 | 96,71 | 95,93 | 96,04 | 96,27 | 99,68 | 99,92 | 99,88 |
| Nb d'oxy. | | | | | | | | | | |
| Si | 2,55 | 2,56 | 2,53 | 2,54 | 2,59 | 2,56 | 2,52 | 2,84 | 2,75 | 2,51 |
| Al | 1,35 | 1,34 | 1,36 | 1,34 | 1,31 | 1,34 | 1,37 | 1,17 | 1,25 | 1,49 |
| Ca | 0,46 | 0,47 | 0,51 | 0,48 | 0,42 | 0,46 | 0,52 | 0,17 | 0,26 | 0,00 |
| Fe | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,007 | 0,002 | 0,50 |
| Na | 0,81 | 0,79 | 0,77 | 0,81 | 0,86 | 0,80 | 0,75 | 0,79 | 0,71 | 0,48 |
| K | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Total | 5,18 | 5,17 | 5,17 | 5,19 | 5,19 | 5,17 | 5,17 | 4,98 | 4,98 | 4,99 |
| An% | 36,26 | 37,15 | 39,92 | 37,01 | 32,88 | 36,44 | 41,00 | 17,59 | 26,60 | 50,48 |
| Ab% | 63,24 | 62,33 | 59,80 | 62,40 | 66,66 | 63,03 | 58,70 | 82,04 | 72,73 | 48,94 |
| Or% | 0,50 | 0,52 | 0,28 | 0,58 | 0,46 | 0,53 | 0,30 | 0,36 | 0,67 | 0,58 |

Tableau II-1: Compositions chimiques et formules structurales des plagioclases.

Que ce soit dans les faciès d'Ouled Aïcha ou de Tamalaht, le plagioclase constitue la phase minérale prédominante. Bien que les roches étudiées soient toutes de composition basique, les teneurs en anorthite du plagioclase ne dépassent pas 50%.

Placé dans le diagramme Ab – An – Or (**Fig. II-1**), dans la metabasite d'Ouled Aïcha, le plagioclase montre une composition d'andésine. Les cristaux peuvent montrer une légère zonation qui est peu décelable optiquement, elle va de An₄₀ au cœur à An₃₆ en bordure. Le composant orthose (Or%) est faible, il est compris entre 0.28 et 0.58%.

Dans le faciès basique de Tamalaht, la composition du plagioclase varie entre An₅₀ et An₁₈, andésine et oligoclase (**Fig. II-1**). Ces valeurs basses en Ca pourraient être liées à une albitisation (processus secondaire d'altération) du plagioclase. Le composant orthose est assez faible, ne dépassant pas 0,7%.

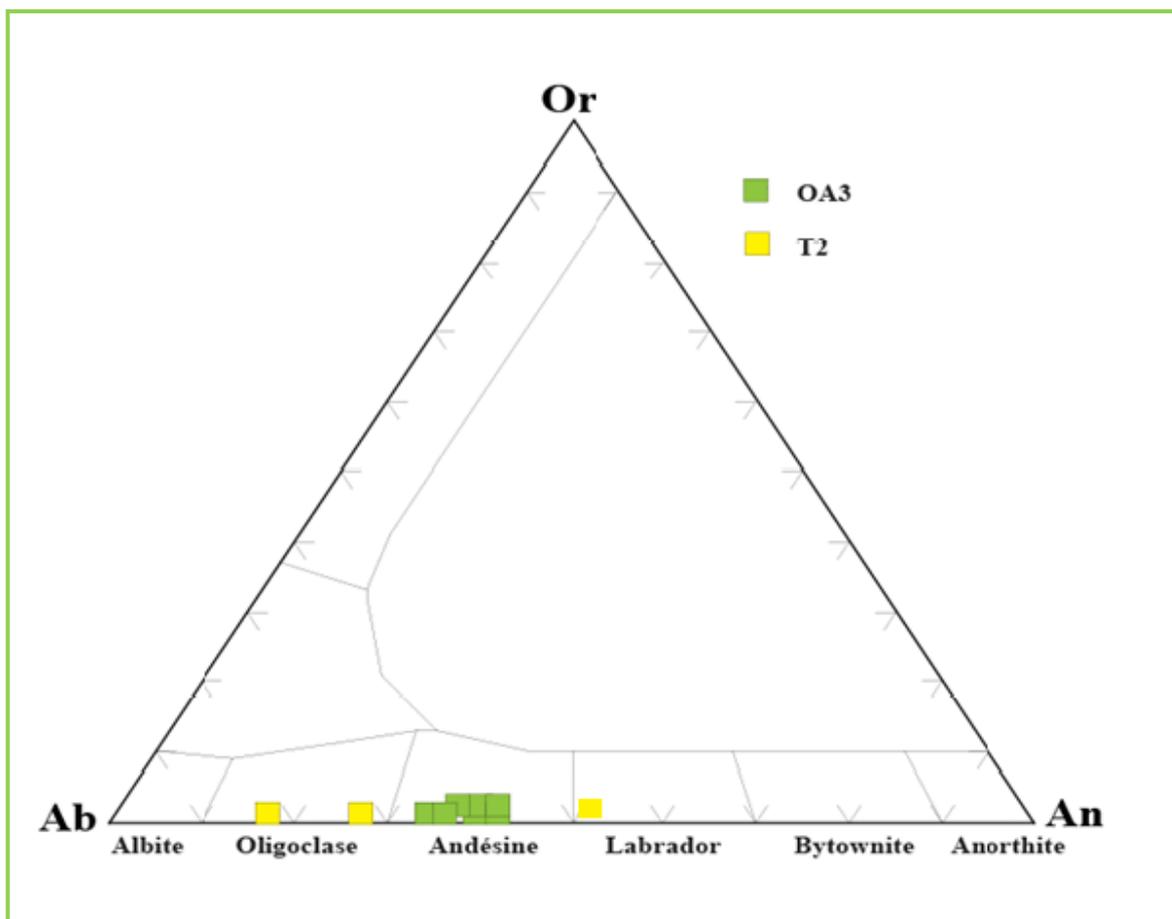


Fig.II-1 Position des plagioclases dans le diagramme triangulaire Ab-Or-An.

II-2-2-2-L'amphibole

Très représentée dans les métabasites d'Ouled Aïcha et de Tamalaht, cette phase minérale hydratée vient juste après le plagioclase.

Les analyses chimiques et les formules structurales calculées sur la base de 23 oxygènes sont consignées dans le tableau **II-2**.

La formule structurale adaptée selon Leake et al. (1978, 1997) est la suivante :



- A=Na, K.
- X=Ca, Na, Mn, Mg, Fe²⁺
- Y=Al^{VI}, Ti, Cr, Fe²⁺, Fe³⁺, Mg.
- Z=Si, Al^{IV}

Toutes les amphiboles étudiées appartiennent au groupe des amphiboles calciques :



Placées dans le diagramme de nomenclature de Leake et al. (1997), les amphiboles d'Ouled Aïcha se situent dans le champ des tschermakites, traduisant donc une composition alumineuse et magnésienne avec un $0.59 < \text{Mg}^*(\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}) < 0.64$. L'analyse effectuée à Tamalaht se rapproche des magnésio-hornblendes avec un caractère légèrement plus siliceux et ferrifère.

| Ech. | OA3 | OA3 | OA3 | OA3 | T2 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N° analyse | 18 | 23 | 29 | 31 | 54 |
| SiO ₂ | 43,29 | 42,94 | 43,50 | 42,98 | 45,12 |
| Al ₂ O ₃ | 11,39 | 11,46 | 11,48 | 12,13 | 9,32 |
| TiO ₂ | 2,40 | 2,25 | 2,58 | 2,07 | 1,39 |
| FeO | 13,64 | 13,59 | 12,59 | 12,38 | 16,17 |
| MnO | 0,29 | 0,40 | 0,17 | 0,11 | 0,17 |
| MgO | 11,63 | 11,77 | 12,57 | 12,73 | 11,40 |
| CaO | 10,99 | 11,04 | 11,33 | 11,54 | 11,22 |
| Cr ₂ O ₃ | 0,07 | 0,07 | 0,01 | 0,02 | 0,00 |
| Na ₂ O | 2,23 | 2,47 | 2,29 | 2,24 | 1,88 |
| K ₂ O | 0,34 | 0,36 | 0,35 | 0,38 | 0,54 |
| Total | 96,26 | 96,34 | 96,88 | 96,57 | 97,21 |
| Nb d'oxy. | 23 | | | | |
| Si | 6,24 | 6,16 | 6,19 | 6,11 | 6,50 |
| Al ^{III} | 1,93 | 1,94 | 1,92 | 2,03 | 1,58 |
| Al ^{IV} | 1,76 | 1,84 | 1,81 | 1,89 | 1,50 |
| Al ^{VI} | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,15 | 0,08 |
| Ti | 0,26 | 0,24 | 0,28 | 0,22 | 0,15 |
| Fe ³⁺ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fe ²⁺ | 1,72 | 1,72 | 1,57 | 1,54 | 2,03 |
| Mn | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,02 |
| Mg | 2,50 | 2,52 | 2,66 | 2,70 | 2,45 |
| Cr | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ca | 1,70 | 1,70 | 1,73 | 1,76 | 1,73 |
| Na _(X) | 0,30 | 0,30 | 0,27 | 0,24 | 0,27 |
| Na _(A) | 0,32 | 0,38 | 0,36 | 0,38 | 0,26 |
| K | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,10 |
| (Ca+Na) _X | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |
| (Na+K) _A | 0,38 | 0,45 | 0,42 | 0,44 | 0,36 |
| Mg*= (Mg/Mg+Fe ²⁺) | 0,59 | 0,59 | 0,63 | 0,64 | 0,55 |

Tableau II-2 : Compositions chimiques et formules structurales des amphiboles.

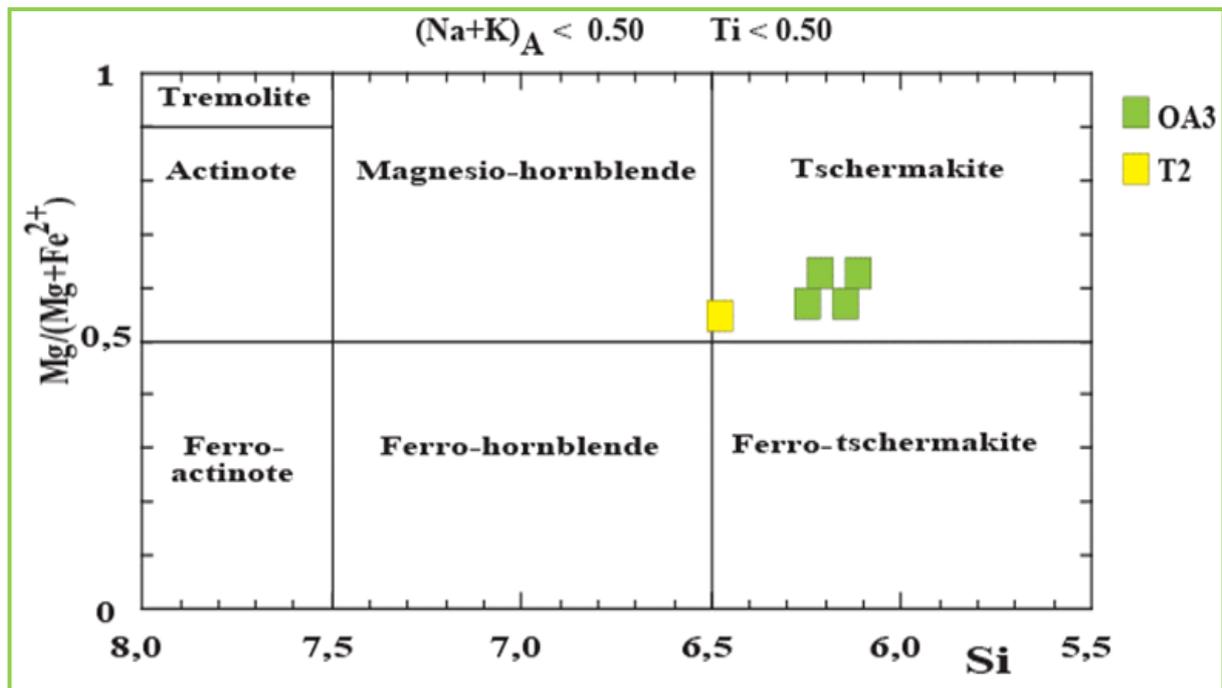


Fig.III-2 : Nomenclature des amphiboles calciques dans le diagramme de Leake et al. (1997).

II-2-2-3-La biotite

Dans les échantillons étudiés, la biotite n'est pas très répandue, elle a été retrouvée uniquement dans le site Tamalaht. Les analyses ont été réalisées (sur la base de 22 oxygènes) et consignées dans le **tableau II-3**.

C'est un mica tri-octaédrique, dont la formule structurale est la suivante :

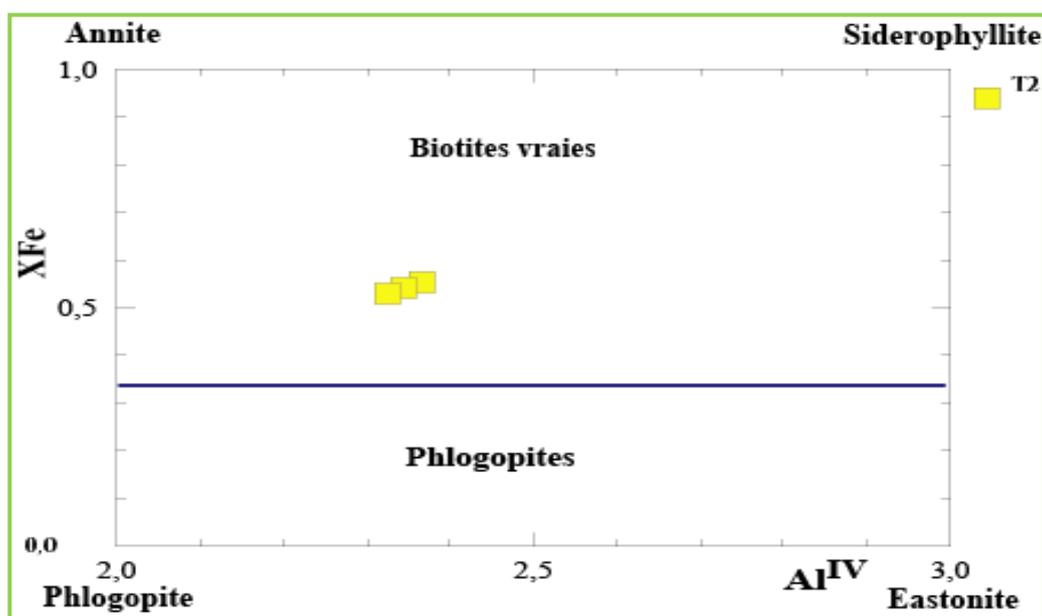


- X = Ca, Na, K : site interfoliaire.
- Y = Ti, Al^{VI}, Mn, Mg, Fe : site octaédrique.
- Z = Si, Al^{IV} : site tétraédrique.

Les analyses montrent des compositions chimiques caractérisées par des teneurs moyennes en aluminium ($13.81 < Al_2O_3\% < 14.44$) et en FeO (20.65%-21.12%). Les teneurs en TiO₂ sont modérées, ne dépassant pas 3%. Ces biotites ont des rapports XFe (Fe / Fe + Mg) compris entre 0.52 et 0.54, ce qui les placent dans le champ des biotites vraies du diagramme XFe vs Al^{IV} (**Fig. II-3**), avec un caractère moyennement ferrifère.

| Ech. | T2 | T2 | T2 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| N° D'analyse | 49 | 50 | 53 |
| SiO ₂ | 36,56 | 35,93 | 36,51 |
| Al ₂ O ₃ | 14,08 | 14,44 | 13,81 |
| TiO ₂ | 3,10 | 2,45 | 2,87 |
| FeO | 20,96 | 21,12 | 20,65 |
| MnO | 0,05 | 0,10 | 0,08 |
| MgO | 10,37 | 10,43 | 10,63 |
| CaO | 0,04 | 0,11 | 0,10 |
| Na ₂ O | 0,09 | 0,12 | 0,16 |
| K ₂ O | 9,74 | 8,85 | 9,33 |
| Total | 95,00 | 93,55 | 94,14 |
| Nb d'oxy. | 22 | | |
| Si | 5,66 | 5,64 | 5,69 |
| Al ^{IV} | 2,34 | 2,36 | 2,31 |
| Al ^{VI} | 0,23 | 0,31 | 0,23 |
| Ti | 0,36 | 0,29 | 0,34 |
| Fe | 2,71 | 2,77 | 2,69 |
| Mn | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mg | 2,39 | 2,32 | 2,47 |
| Ca | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| Na | 0,03 | 0,03 | 0,05 |
| K | 1,92 | 1,77 | 1,86 |
| XFe (Fe / Fe + Mg) | 0,53 | 0,54 | 0,52 |

Tableau II-3 : Compositions chimiques et formules structurales des biotites.

Fig.II-3 : Position des biotites du pointement de Tamalaht dans le diagramme Al^{IV} versus XFe de Deer et al. (1983).

Le diagramme triangulaire MgO-FeO-Al₂O₃ de Nockolds (1947) (**Fig. II-4**) traduit les relations entre les compositions chimiques des biotites et leur paragenèse dans les roches magmatiques. Le report des analyses du faciès de Tamalaht tombent dans le domaine III (le domaine des biotites en équilibre avec l'amphibole), ce qui est en accord avec l'étude pétrographique.

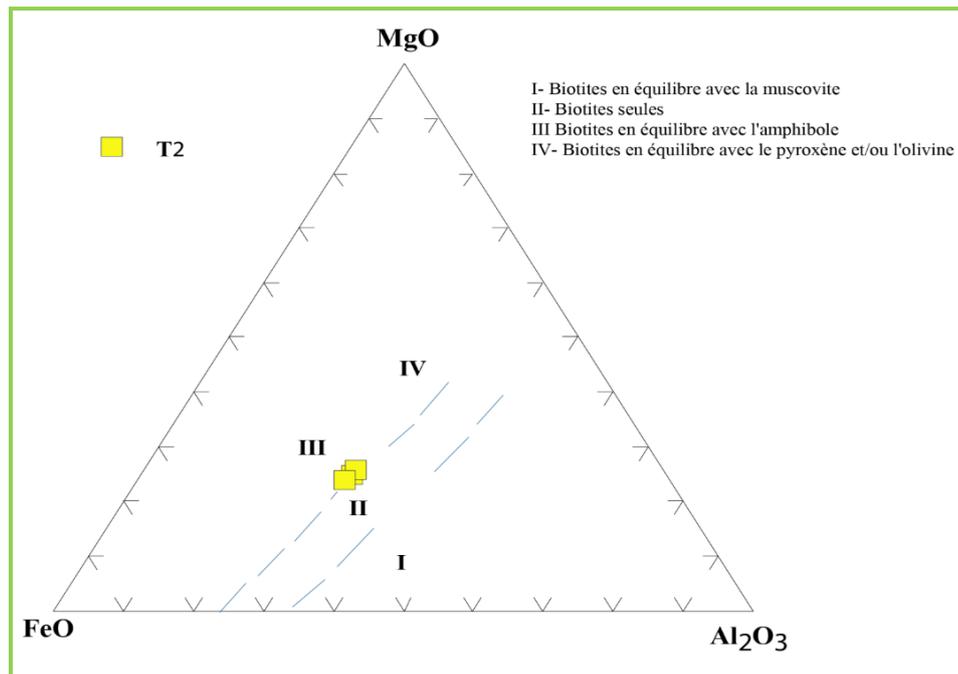


Fig.II-4 : Position des biotites dans le diagramme de Nockolds, 1947.

II-2-2-4-Les oxyde ferro-titanés

Les analyses chimiques et les formules structurales sont consignées dans le tableau II-4. Dans le faciès de Tamalaht, elles montrent des teneurs élevées en titane allant de 46,62% à 52,02% et de fer comprises entre 47,16% et 51,62%. Ces concentrations situent ces opaques dans le domaine des ilménites (**Fig. II-5**). Les teneurs en MgO sont très faibles, ne dépassant pas 0,04%. Les teneurs en MnO ne sont pas négligeables (jusqu'à 1.38%). Quant aux opaques de l'amphibolite d'Ouled Aïcha, les analyses montrent essentiellement des teneurs en FeO avoisinant les 92% ; ce qui se traduit par la présence d'un minéral proche de la magnétite (**Fig. II-5**).

| N°Ech | OA3 | OA3 | OA3 | T2 | T2 | T2 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| N° Anal | 22 | 27 | 32 | 45 | 52 | 47 |
| SiO ₂ | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 0,03 |
| Al ₂ O ₃ | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 00 | 00 |
| TiO ₂ | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 52,02 | 46,85 | 46,62 |
| FeO | 91,51 | 92,16 | 92,38 | 47,16 | 51,62 | 50,14 |
| MnO | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 1,38 | 0,98 | 1,09 |
| MgO | 00 | 00 | 00 | 0,04 | 0,01 | 0,02 |
| CaO | 0 | 0,04 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| CrO ₃ | 0,23 | 0,17 | 0,17 | 0,01 | 0 | 0,07 |
| Na ₂ O | 0,01 | 00 | 00 | 0,02 | 0 | 0,03 |
| K ₂ O | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 0,01 |
| Total | 91,83 | 92,47 | 92,47 | 100,74 | 99,5 | 98,05 |
| Ti | 0,01 | 0 | 0 | 0,98 | 0,89 | 0,90 |
| Fe ³⁺ | 15,91 | 15,92 | 15,93 | 0,04 | 0,22 | 0,20 |
| Fe ²⁺ | 8,01 | 7,99 | 8,00 | 0,95 | 0,87 | 0,87 |
| Mn | 00 | 00 | 00 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |

Tableau II-4: Compositions chimiques et formules structurales des oxydes ferro-titanés du faciès d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

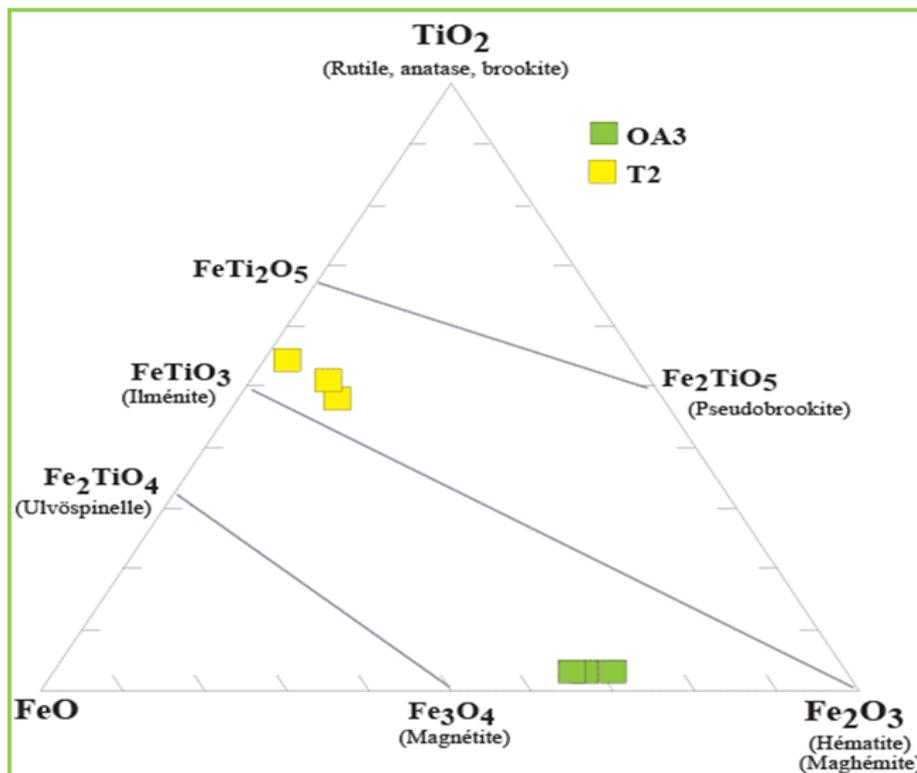


Fig. II-5 : Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al. (1992).

II-2-3- Estimations des conditions de cristallisation

Quand les paragenèses minérales le permettent, il est important d'appréhender les conditions thermodynamiques. L'utilisation alors de géothermomètres et géobaromètres permet d'évaluer la température et la pression.

Il est à rappeler que dans les faciès étudiés, l'amphibole est l'un des minéraux principaux utilisé dans la géo-thermo-barométrie.

II-2-3-1- Les thermomètres amphibole

Illustré par un diagramme binaire Al^{IV} en fonction de Ti , le géothermomètre de Helz (1973) basé sur des travaux expérimentaux portant sur des liquides basaltiques saturés en H_2O à 5Kb, permet d'évaluer la température de cristallisation de l'amphibole. Le report des analyses dans le diagramme montre que les amphiboles les plus alumineuses et les plus titanifères (tschermakites) d'Ouled Aïcha ont les températures qui atteignent les 1000°C. Avec des teneurs basses en Al^{IV} et en Ti , l'amphibole de Tamalaht indique une température plus faible, comprise entre 825° et 750°C (**Fig. II-6**).

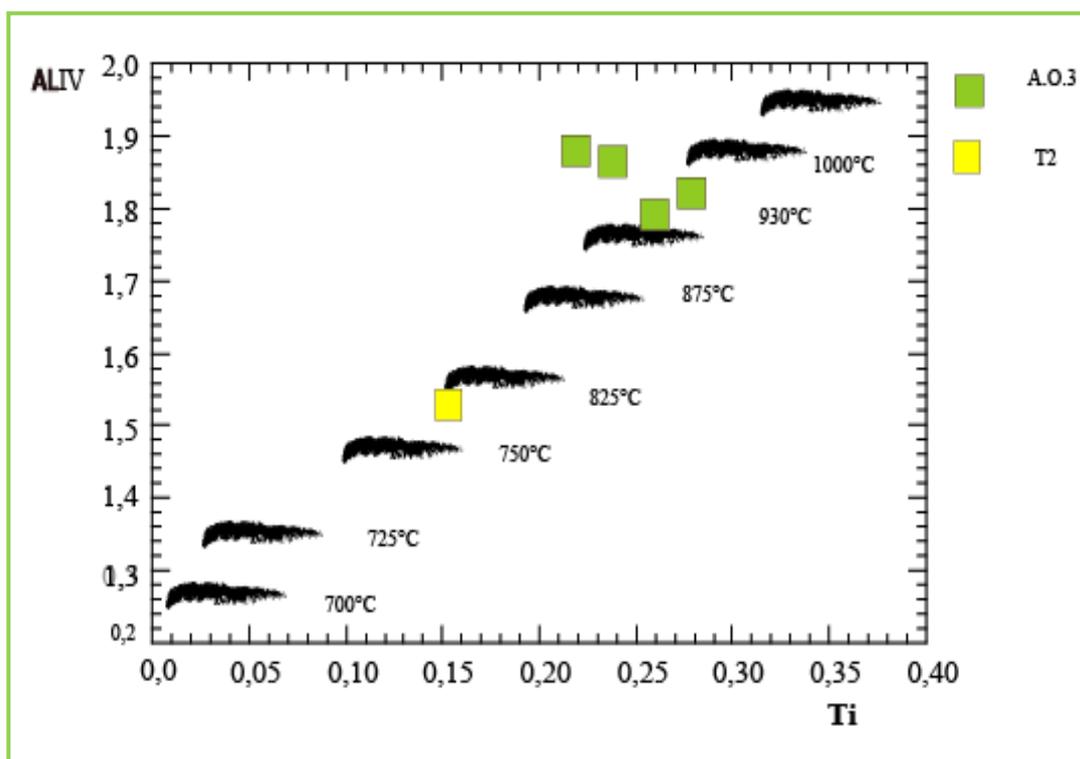


Fig. II.6 : Corrélation entre Ti et Al^{IV} pour les amphiboles des metabasites d'Ouled Aïcha et de Tamalaht, à partir du diagramme de Helz (1973).

Le diagramme d'Otten (1984) propose l'équation linéaire suivante quand la température est inférieure à 970°C : $T^{\circ}\text{C} = 1204 \text{ Ti} + 545$.

Ces températures sont légèrement plus basses que celles du diagramme de Helz (1973), elles s'échelonnent entre 900 et 800°C pour Ouled Aïcha et supérieure à 700°C pour Tamalaht (Fig.II-7).

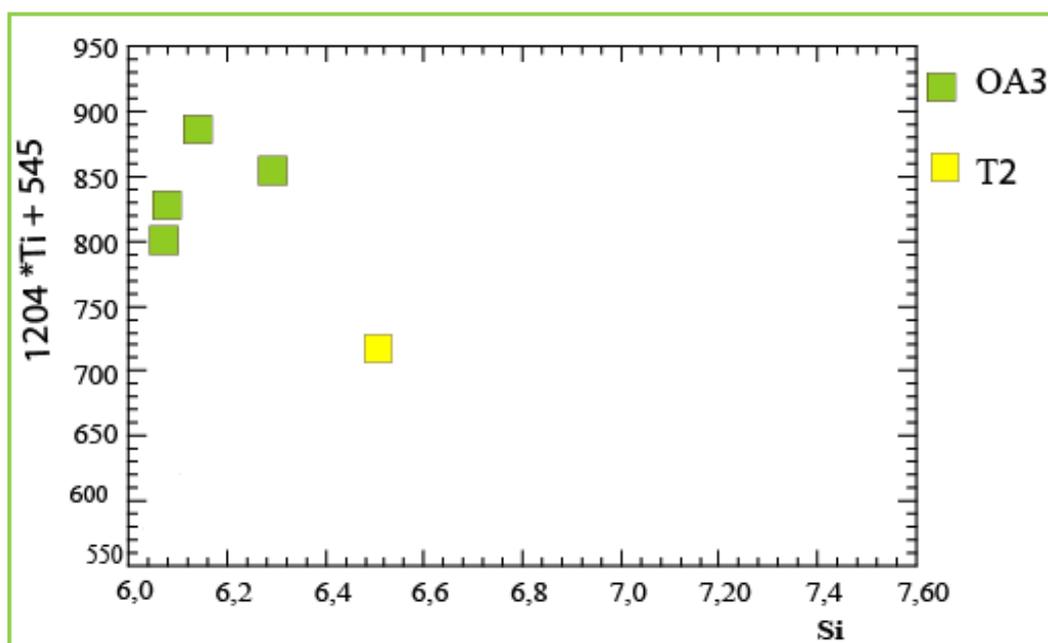


Fig.II-7 : Diagramme illustrant les températures de cristallisation des amphiboles (d'après Otten, 1994).

II-2-3-2- Le baromètre amphibole

La pression de cristallisation des amphiboles peut être calculée à partir de leur teneur en Al_{total} (tableau III-2). Plusieurs géobaromètres peuvent être utilisés pour le calcul de la pression. Les auteurs ci-dessous ont proposé les suivants :

➤ Hammarström et Zen (1986) ont montré que la teneur en Al_t des amphiboles aide à déterminer le baromètre des systèmes ignés, en proposant l'équation suivante :

$$P (\pm 3\text{Kb}) = -3,92 + 5,03 \text{ Al}_t$$

➤ Hollister et al. (1987), après leur étude sur les plutons calco-alcalins de Colombie britannique, ont proposé l'équation suivante :

$$P (\pm 1\text{Kb}) = -4,76 + 5,64 \text{ Al}_t$$

➤ Schmidt (1992), à partir d'une étude expérimentale, a proposé l'équation suivante :

$$P (\pm 0,5\text{Kb}) = -3,01 + 4,76 \text{ Al}_t$$

| N° Echan | N° Analyse | Al _t | P (±3kb) | P (±1kb) | P (±0,5) |
|------------|------------|-----------------|----------|----------|----------|
| OA3 | 18 | 1,93 | 5,79 | 6,13 | 6,18 |
| | 23 | 1,94 | 5,85 | 6,18 | 6,22 |
| | 29 | 1,92 | 5,74 | 6,07 | 6,13 |
| | 31 | 2,03 | 6,30 | 6,69 | 6,66 |
| T2 | 54 | 1,58 | 4,03 | 4,15 | 4,51 |

Tableau II-5 : Calcul des pressions des amphiboles des roches d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

Nous retenons les résultats à partir de l'équation de Schmidt (1992) car la marge d'erreur est la plus faible. Nous constatons qu'il y a des différences de pression de cristallisation entre les amphiboles d'Ouled Aïcha et celles de Tamalaht : des conditions de pression comprises entre 6.66 et 6.13 Kb pour les premières et 4.51 Kb pour les deuxièmes, ce qui donne des profondeurs de cristallisation d'une moyenne de **21 km** pour Ouled Aïcha et **15 km** pour Tamalaht.

II-2-4- Discussions

L'étude des phases minérales a permis de montrer quelques différences entre les metabasites d'Ouled Aïcha et celles de Tamalaht. Leur paragenèse minérale est presque identique, à savoir plagioclase, amphibole, biotite et oxydes ferro-titanés.

Dans les xénolites du pointement triasique d'Ouled Aïcha, la composition chimique des phases minérales de ces faciès montre :

- Un plagioclase de composition ne dépassant pas l'andésine,
- Une amphibole, abondante, appartenant au groupe des amphiboles calciques.

Les analyses la situent dans le domaine tschermakitique, traduisant donc une composition alumineuse et magnésienne avec un $0.59 < Mg^* < 0.64$,

- Des cristaux d'oxyde ferro-titané révèlent des compositions très riches en FeO se rapprochant de la magnétite.

Dans les xénolites de Tamalaht, la paragenèse comporte :

- Un plagioclase de composition variant entre An₅₀ et An₁₈, andésine et oligoclase. Bien que la roche analysée soit de composition basique (50% SiO₂), ces valeurs assez basses en Ca du minéral pourraient être liées à une albitisation (processus secondaire d'altération) du plagioclase,

- Une amphibole, également abondante, appartenant au groupe des amphiboles calciques, se rapprochant de la magnésio-hornblende,
- Une biotite moyennement ferrifère, avec des rapports XFe compris entre 0.52 et 0.54,
- Un oxyde ferro-titané de type ilménite.

Par ailleurs, les estimations des conditions thermodynamiques de ce magmatisme basique représenté par les xénolites de ces pointements triasiques révèlent :

- La présence de phases hydroxylées telles que l'amphibole et la biotite, argument en faveur de la présence d'eau dans les magmas à l'origine de ces roches (Whitney 1975),
- Des températures et pressions relativement élevées atteignant les 1000°C et 7 kb (21 km) pour la cristallisation des amphiboles d'Ouled Aïcha et 800°C et 5 kb (15 km) pour celle de Tamalaht,
- La présence d'ilménite dans les roches de Tamalaht permet de proposer des conditions réductrices (fugacité d'oxygène faible) lors de la cristallisation de leur magma. Par contre, le magma à l'origine des faciès d'Ouled Aïcha a dû cristalliser dans des conditions plutôt oxydantes (fugacité d'oxygène élevée).

Chapitre III
Caractéristiques
géochimiques

III-1- Introduction

Cette étude géochimique, réalisée pour la première fois, sur les xénolites emballés dans les pointements triasiques d'Ouled Aïcha et Tamalaht va contribuer à la compréhension du magmatisme et métamorphisme représentés par ces roches dans le domaine tellien de l'Algérie.

Elle va permettre de :

- ✓ Préciser le comportement des éléments majeurs et traces dans ces metabasites,
- ✓ Caractériser leur affinité géochimique et leur contexte géotectonique de mise en place,
- ✓ Identifier le protolithe à l'origine des roches métamorphiques.

Nous disposons de quelques analyses chimiques de roches totales (majeurs, traces avec terres rares) qui ont été réalisées au laboratoire de Géologie de l'université J. Monnet de Saint-Etienne.

Ces analyses chimiques mises à notre disposition par N. Remaci (majeurs et traces avec terres rares) sont inédites et vont être dépouillées pour la première fois dans ce travail.

III-2-Géochimie des éléments majeurs et traces**III-2-1-Classification et caractérisation géochimique**

Toutes les données analytiques (éléments majeurs, traces et compositions normatives) sont consignées dans les **tableaux III-1, 2 et 3**.

Très souvent la caractérisation géochimique des roches magmatiques peut connaître des problèmes en raison des altérations métamorphiques et hydrothermales qu'elles peuvent subir (chloritisation, Albitisation, microclinisation et épidotisation). Ces altérations engendrent donc des modifications parfois importantes dans le chimisme global de la roche et s'expriment par une perte au feu conséquente.

Dans le cas d'Ouled Aïcha et de Tamalaht, les xénolites étudiés montrent des pertes au feu faibles, traduisant donc un état de fraîcheur pour ces roches.

Nous avons utilisé la classification chimique proposée par le Bas et al, 1986 et Lemaitre, 2002 pour les roches volcaniques. Elle est basée sur les teneurs en alcalins et en silice (TAS). Toutes les roches étudiées, de composition basique avec $46,62 < \text{SiO}_2 < 50,85$, se répartissent entre les champs des basaltes et des trachy-Basaltes, avec une légère affinité vers le domaine alcalin (**Fig. III-1**).

| Echant. | OA2 | OA3 | OA5 | OA6 | OA9 | T2 | T5 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ % | 50,62 | 47,18 | 50,85 | 46,62 | 50,60 | 48,84 | 50,66 |
| Al ₂ O ₃ | 16,31 | 15,50 | 16,56 | 14,91 | 16,91 | 15,24 | 15,74 |
| Fe ₂ O ₃ tot | 7,62 | 12,69 | 5,82 | 12,75 | 6,19 | 13,36 | 7,33 |
| MgO | 6,93 | 7,26 | 7,84 | 7,91 | 7,90 | 5,03 | 6,87 |
| CaO | 10,17 | 9,96 | 9,45 | 9,47 | 11,12 | 7,69 | 9,70 |
| Na ₂ O | 5,27 | 4,51 | 5,13 | 4,35 | 4,75 | 4,63 | 5,70 |
| K ₂ O | 0,32 | 0,35 | 0,43 | 0,39 | 0,57 | 0,80 | 0,39 |
| TiO ₂ | 1,79 | 1,24 | 1,72 | 1,68 | 0,53 | 3,45 | 1,77 |
| MnO | 0,03 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,14 | 0,04 |
| P ₂ O ₅ | 0,33 | 0,16 | 0,33 | 0,16 | 0,10 | 0,28 | 0,30 |
| H ₂ O+ | 0,09 | 0,15 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,02 |
| H ₂ O- | 0,48 | 0,47 | 1,20 | 0,70 | 0,68 | 0,04 | 0,62 |
| Total | 99,96 | 99,55 | 97,68 | 99,01 | 99,41 | 99,57 | 99,14 |
| Mg# | 65,00 | 55,00 | 71,00 | 56,00 | 72,00 | 45,00 | 65,00 |

Tableau III- 1: Compositions chimiques en éléments majeurs des roches totales d'Ouled Aïcha (OA) et de Tamalaht (T).

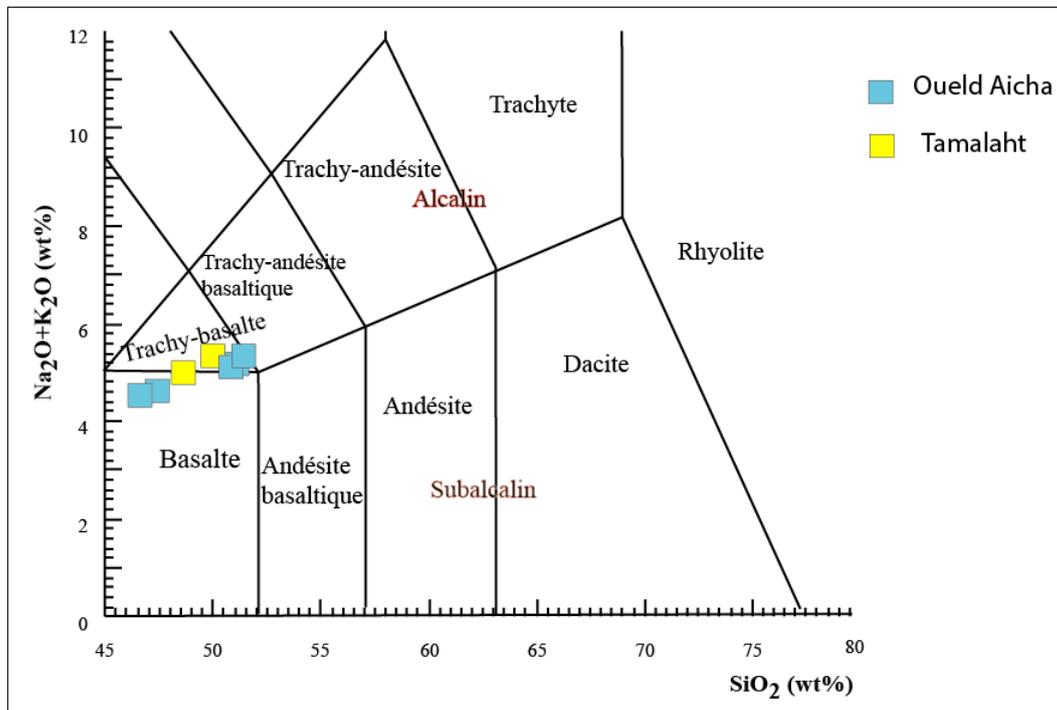


Fig.III-1 : Position des métabasites dans le diagramme de nomenclature le Bas et al, 1986 et Lemaitre, 2002.

Le diagramme Zr/TiO₂ versus Nb/Y de Winchester et Floyd (1976) réalisé à partir d'éléments inertes est encore plus fiable, il montre plus précisément le caractère subalcalin pour certains échantillons (T2, OA3, OA6 et OA9) et alcalin pour d'autres (OA2, OA5 et T5).

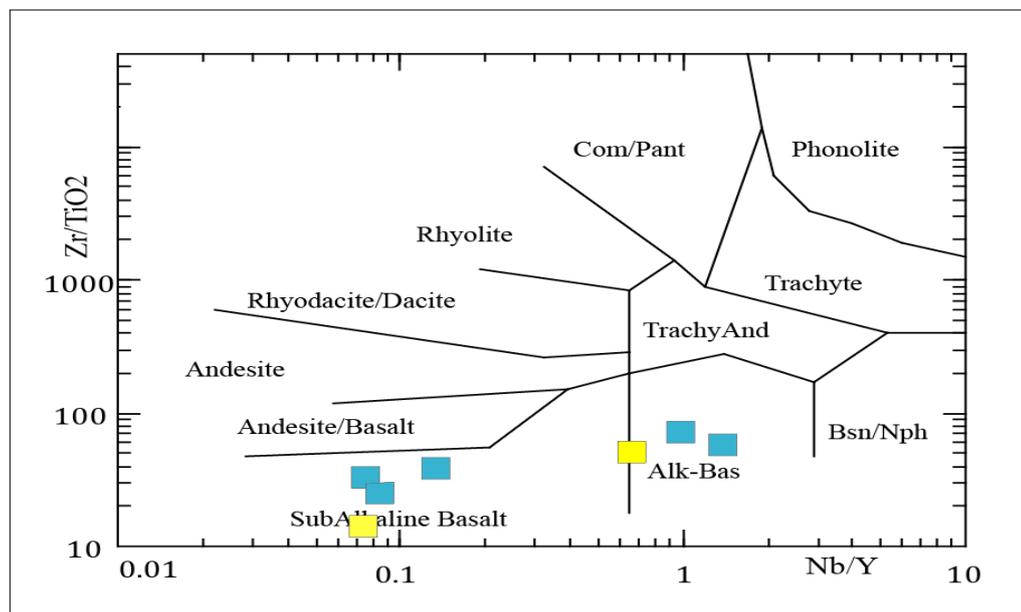


Fig. III-2 : Diagramme Zr/TiO₂ en fonction de Nb/Y de Winchester et Floyd (1976).

Dans le diagramme de Winchester et Floyd (1977) discriminant entre le caractère alcalin et tholéitique (Fig.III-3), les xénolites de Tamalaht et d'Ouled Aïcha se partagent les deux domaines, alcalin pour OA2, OA5 et T5 et tholéitique pour les autres analyses.

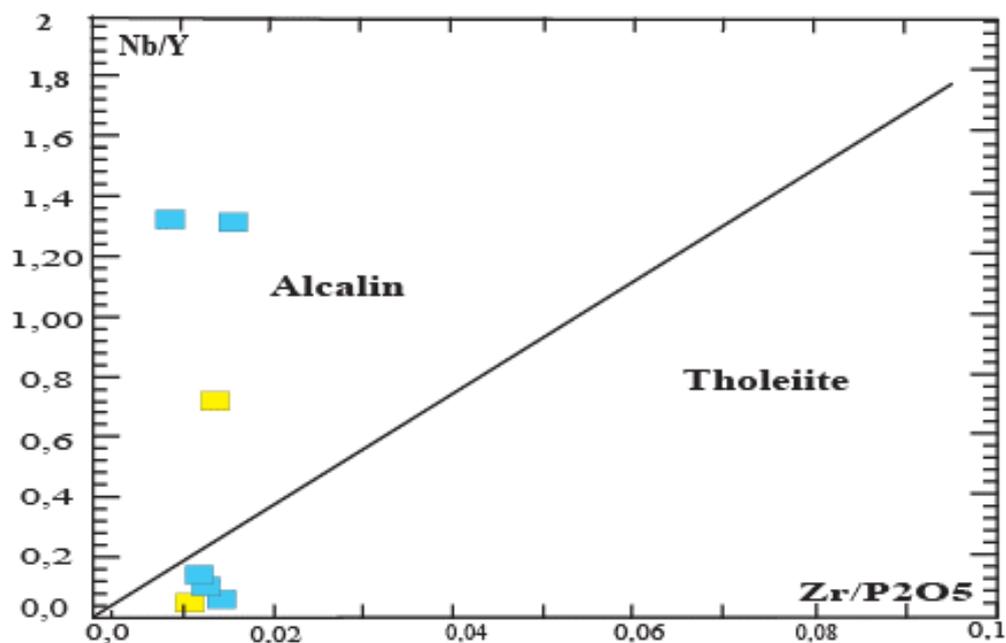


Figure-III-3 : Diagramme Nb/Y versus Zr/P₂O₅ de Winchester et Floyd (1977).

Le calcul de la norme CIPW (**Tableau III- 2**) confirme le caractère très basique de ces roches ; il montre l'absence de quartz et d'hypersthène et la présence, en quantité suffisamment importante, d'olivine (jusqu'à 18%), de néphéline (jusqu'à 10%) et de diopside (jusqu'à 25%).

| N° Echant. | OA2 | OA3 | OA5 | OA6 | OA9 | T2 | T5 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quartz | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Orthose | 1,92 | 2,12 | 2,60 | 2,37 | 3,43 | 4,81 | 2,36 |
| Albite | 32,12 | 23,13 | 34,62 | 23,63 | 25,50 | 36,62 | 32,76 |
| Anorthite | 20,13 | 21,46 | 21,36 | 20,56 | 23,54 | 18,73 | 16,54 |
| Néphéline | 7,04 | 8,59 | 5,30 | 7,70 | 8,35 | 1,73 | 8,93 |
| Diopside | 23,36 | 23,09 | 19,64 | 21,94 | 25,75 | 15,22 | 24,80 |
| Hypersthène | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Olivine | 9,73 | 16,29 | 11,22 | 17,56 | 10,94 | 12,91 | 9,04 |
| Magnétite | 1,52 | 2,56 | 1,17 | 2,59 | 1,24 | 2,68 | 1,47 |
| Ilménite | 3,45 | 2,41 | 3,35 | 3,28 | 1,03 | 6,67 | 3,44 |
| Apatite | 0,73 | 0,36 | 0,74 | 0,36 | 0,22 | 0,62 | 0,67 |
| Total | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Tableau III-2 : Compositions normatives des roches d'Ouled Aïcha et Tamalaht.

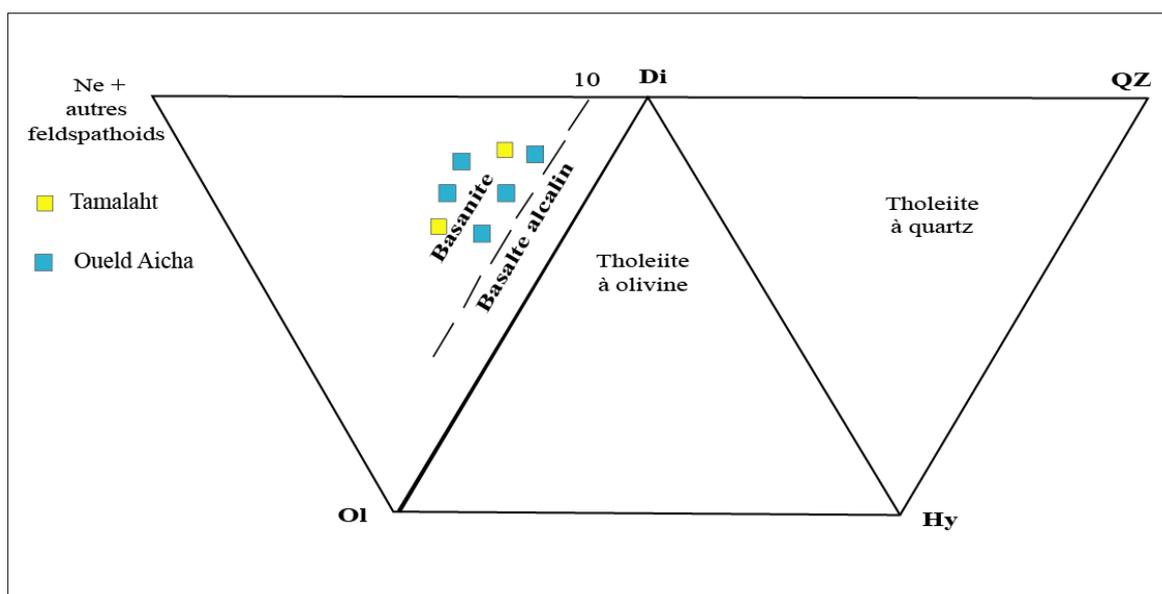


Fig. III-4 : Position des xénolites d'Ouled Aïcha et Tamalaht dans le diagramme de Thompson (1984).

L'utilisation de cette norme dans le diagramme de Thompson (1984) (**Fig. III-4**) montre que ces xénolites se regroupent dans le triangle (Ne-Ol-Di). Etant pauvres en silice et riches en alcalins, elles se situent dans le domaine des basaltes alcalins et des basanites, traduisant bien le domaine des magmas sous-saturés en silice.

III-2-2- Comportement des éléments majeurs et en traces

Les xénolites d'Ouled Aïcha et de Tamalaht, dont la paragenèse est dominée par le plagioclase, l'amphibole et les opaques, ont tous une composition basique avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 46.62 et 50.85% pour des concentrations en Al₂O₃ allant de 14.91 et 16.91%, en Na₂O élevées (4.35-5.70%) et en K₂O faibles (0.32-0.80%). Les teneurs en TiO₂ comprises entre 0.53-1.79 %, sauf une analyse de Tamalaht où TiO₂ est très élevé (T2= 3.45%) qui est probablement liée à une accumulation d'ilménite, en CaO (7.69-11.12%), en Fe₂O₃ (5.82-13.36%), en P₂O₅, en MgO (5,03-7,91%) et Mg# (100*Mg/(Mg+0.85 Fe_t)= 45 à 72) sont très variables.

Parmi les métabasites des deux sites, que ce soit celles à affinité alcaline (OA2, OA5 et T5) ou celles à affinité tholéïtique (OA3, OA6, OA9 et T2), certaines présentent des caractères de magmas primitifs avec des rapports Mg# allant jusqu'à 72, des teneurs en MgO, Ni et Cr assez élevées, ce qui pourrait suggérer que ces faciès basiques (le protolithe) sont très proches de la composition du magma mantellique primaire et qu'ils ont dû subir une faible cristallisation fractionnée.

En ce qui concerne les éléments incompatibles et notamment au niveau des HFSE tels que le Nb, Ta et Zr, se dessinent bien les deux tendances :

- ✓ L'une à caractère alcalin avec des teneurs élevées en Nb (jusqu'à 31 ppm), en Ta (1.60 ppm) et en Zr (57 ppm) (OA2, OA5 et T5),
- ✓ L'autre à caractère tholéïtique avec des teneurs beaucoup plus faibles en ces éléments : Nb (entre 1.35 et 4.68 ppm), en Ta (0.03 et 0.20 ppm) et en Zr (15.24 et 23.88 ppm).

Pour ce qui est des lanthanides (**tableau III-3**), les métabasites des deux sites ont des concentrations très modérées, la somme est comprise entre 47 et 60 ppm, excepté l'échantillon T2 qui atteint 103 ppm. Elles sont normalisées aux chondrites de Boynton (1984) et présentent les spectres suivants (**Fig.III-5**) :

- ✓ Un enrichissement en terres rares légères (LREE) (10 à 50 fois les chondrites) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) (8 à 15 fois les chondrites),
- ✓ Une légère à absente anomalie négative en Eu, traduisant la cristallisation précoce du plagioclase,

✓ Des spectres presque plats, avec un fractionnement faible (La/Yb_N ne dépassant pas 4). De ce fait, la source à l'origine de ces metabasites pourrait être un manteau à spinelle.

| N° Echant. | OA2 | OA3 | OA5 | OA6 | OA9 | T2 | T5 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| Sc | 14,39 | 37,34 | 15,84 | 42,32 | 37,82 | 30,64 | 19,15 |
| V | 135,9 | 306,2 | 126,3 | 360,0 | 206,4 | 392,5 | 158,1 |
| Cr | 198,3 | 211,6 | 205,4 | 145,2 | 224,3 | 8,3 | 173,4 |
| Co | 6,81 | 47,22 | 7,04 | 19,62 | 12,49 | 32,48 | 11,79 |
| Ni | 120,3 | 112,6 | 127,5 | 108,1 | 117,5 | 14,4 | 101,3 |
| Rb | 0,633 | 0,615 | 3,169 | 0,943 | 1,995 | 12,213 | 0,781 |
| Sr | 509,8 | 371,9 | 507,5 | 341,5 | 529,8 | 308,0 | 504,2 |
| Ba | 26,1 | 26,8 | 46,9 | 57,5 | 54,8 | 107,5 | 26,4 |
| Y | 23,41 | 31,36 | 18,58 | 30,97 | 19,39 | 30,57 | 26,76 |
| Zr | 45,71 | 23,32 | 56,62 | 23,75 | 15,24 | 23,88 | 48,58 |
| Nb | 30,957 | 4,685 | 24,069 | 2,755 | 1,346 | 2,573 | 18,837 |
| Hf | 1,310 | 0,993 | 1,575 | 1,069 | 0,683 | 1,094 | 1,378 |
| Ta | 1,606 | 0,202 | 1,417 | 0,133 | 0,058 | 0,027 | 1,309 |
| Pb | 0,43 | 0,50 | 0,47 | 1,28 | 5,01 | 1,20 | 0,90 |
| Th | 0,797 | 0,066 | 0,694 | 0,093 | 0,084 | 1,792 | 0,658 |
| U | 0,396 | 0,127 | 0,521 | 0,180 | 0,088 | 0,691 | 0,510 |
| REE | | | | | | | |
| La | 6,19 | 5,09 | 6,52 | 3,03 | 5,83 | 15,87 | 5,84 |
| Ce | 16,08 | 14,72 | 15,67 | 9,68 | 14,54 | 36,58 | 15,79 |
| Pr | 2,51 | 2,28 | 2,24 | 1,73 | 2,07 | 4,73 | 2,50 |
| Nd | 12,71 | 11,71 | 10,91 | 9,78 | 9,88 | 20,32 | 13,15 |
| Sm | 3,92 | 3,58 | 3,11 | 3,40 | 2,71 | 4,85 | 4,01 |
| Eu | 1,23 | 1,25 | 0,99 | 1,19 | 0,95 | 1,47 | 1,30 |
| Tb | 0,737 | 0,800 | 0,559 | 0,772 | 0,548 | 0,846 | 0,775 |
| Gd | 4,526 | 4,575 | 3,506 | 4,458 | 3,234 | 5,156 | 4,821 |
| Dy | 4,314 | 5,194 | 3,392 | 5,068 | 3,356 | 5,158 | 4,716 |
| Ho | 0,840 | 1,078 | 0,662 | 1,076 | 0,689 | 1,040 | 0,953 |
| Er | 2,336 | 3,192 | 1,838 | 3,185 | 1,988 | 2,967 | 2,619 |
| Tm | 0,333 | 0,484 | 0,261 | 0,490 | 0,296 | 0,450 | 0,387 |
| Yb | 2,012 | 3,031 | 1,609 | 2,996 | 1,848 | 2,729 | 2,366 |
| Lu | 0,291 | 0,443 | 0,238 | 0,435 | 0,277 | 0,404 | 0,364 |
| Σ REE | 58,031 | 57,421 | 51,509 | 47,284 | 48,226 | 102,570 | 59,584 |

Tableau III- 3: Analyses chimiques des éléments en traces avec terres rares.

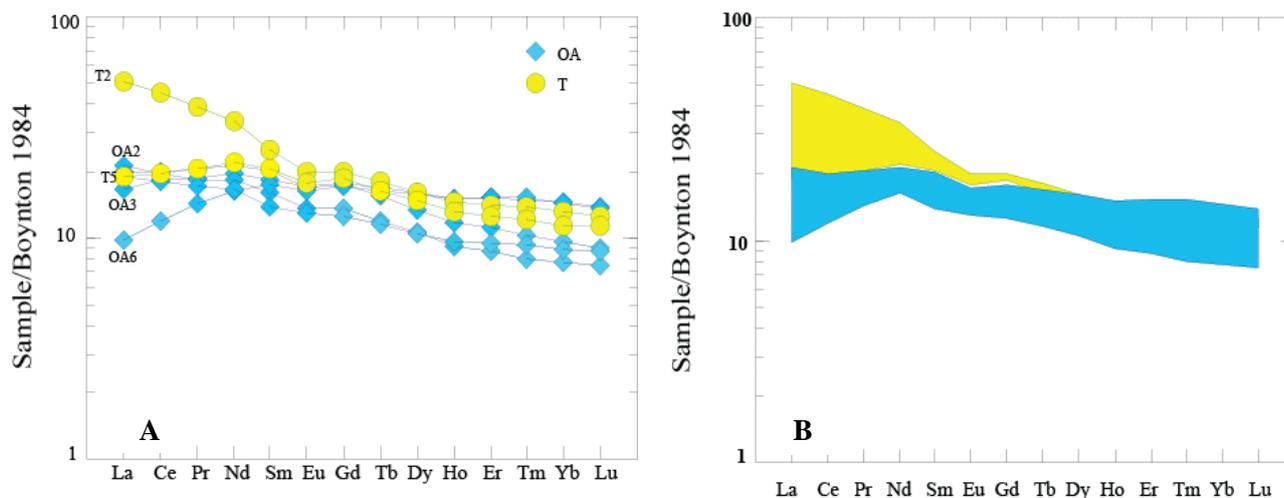


Fig. III- 5 - A et B : Distribution des lanthanides dans les faciès basiques d'Ouled Aïcha et de Tamalaht (normalisation par rapport aux chondrites de Boynton, 1984).

Il est à remarquer que la **Fig.III-5B** montre clairement l'enrichissement en LREE des metabasites de Tamalaht par rapport à celles d'Ouled Aïcha.

Les diagrammes multi-élémentaires (spectres élargis) normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995) montrent une grande variabilité au niveau de tous ces éléments incompatibles (excepté pour les HREE) et confirment également les deux tendances pour Ouled Aïcha et Tamalaht (**Fig.III-6**):

- ✓ L'une à affinité alcaline avec des anomalies positives en Nb, Ta et Ti, une anomalie négative en Pb typique d'un domaine intraplaque, avec absence de contamination crustale (anomalie négative en Pb) (OA2, OA5 et T5),

- ✓ L'autre à affinité tholéïtique avec des anomalies négatives en Nb, Ta, Zr et Ti caractéristique des magmas orogéniques (Saunders et al. 1980 et Taylor et Mc Lennan 1985). L'anomalie positive en Pb pour certains échantillons traduirait une contamination par la croûte continentale.

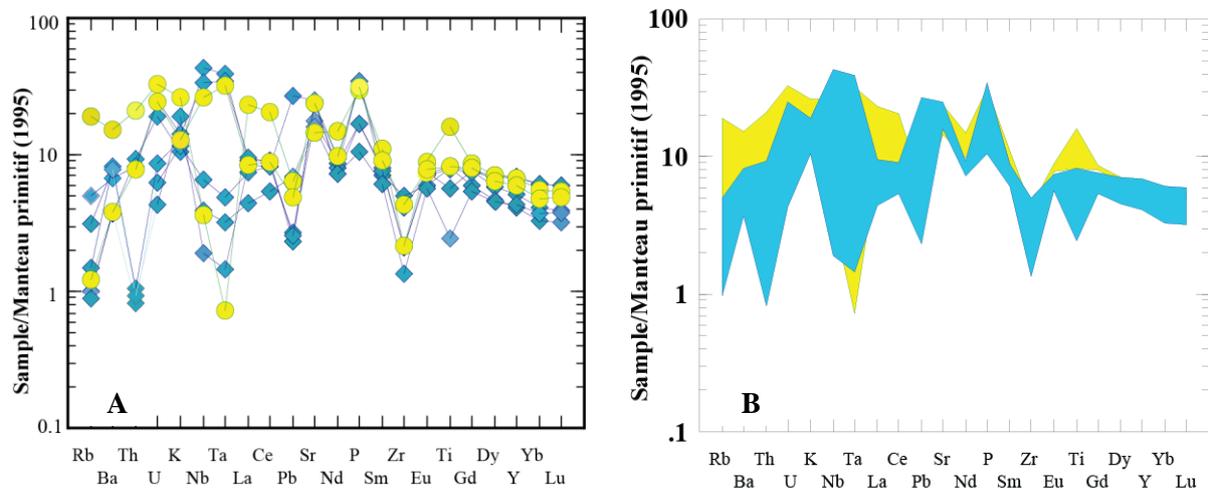


Fig. III- 6A et B : Spectres multi-élémentaires normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995).

III-3- Contexte géotectonique

L'utilisation de certains éléments majeurs et traces permettent de construire des diagrammes géotectoniques qu'il faut analyser avec prudence.

Le diagramme de Mullen (1983), utilisé pour les roches basaltiques et andésito-basaltiques ($45 < \text{SiO}_2 < 54$ %) et établi à partir des oxydes TiO_2 , MnO P_2O_5 (Fig. III-7) situe les roches étudiées dans le domaine intraplaque OIT (Ocean Island tholeiite) et OIA (Ocean Island alkali). Il ne distingue pas tellement les deux tendances (alcaline et tholéitique) que nous avons mentionné plus haut.

Par contre, l'utilisation du diagramme de Shervais (1982) établi à partir des concentrations de V et Ti pour les roches de composition basaltique (Fig. III-8) permet de voir que les metabasites étudiées s'implantent dans deux domaines : continental flood basalt (tholéite continentale) et ocean island et alkali basalt (basalte alcalin et intraplaque).

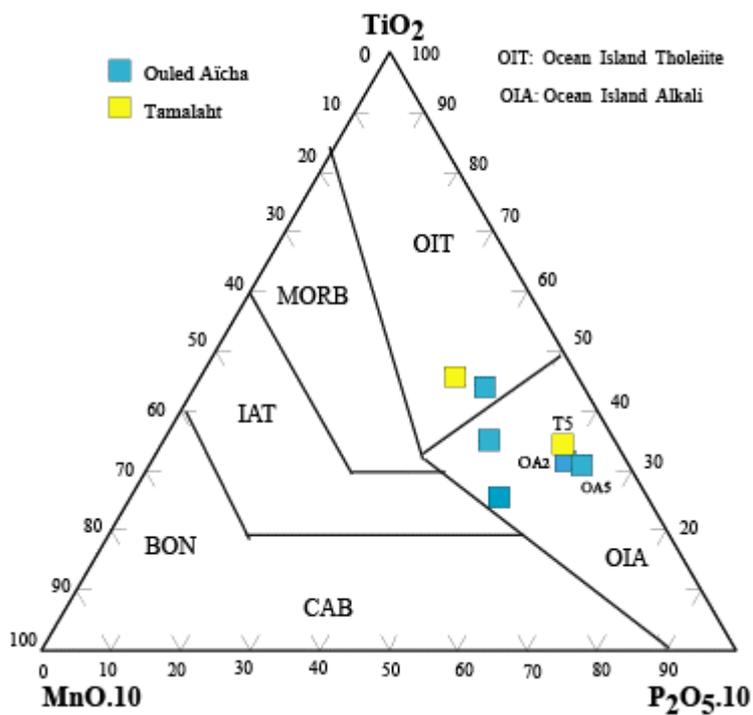


Fig. III-7: Position des métabasites dans le diagramme géotectonique de Mullen (1983).

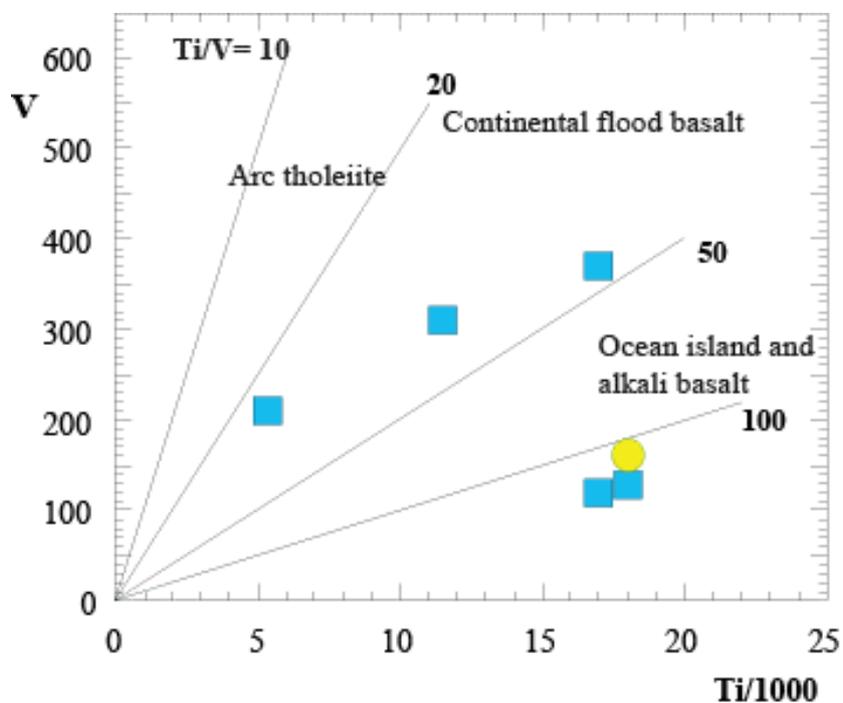


Fig. III-8 : Position des métabasites dans le diagramme géotectonique de Shervais (1982).

III-4- Discussions

A l'issue de cette étude géochimique des enclaves d'Ouled Aïcha et Tamalaht, des caractéristiques fort intéressantes sont à noter. Ce sont des roches à compositions de roches basaltiques à trachy-basaltiques, avec des compositions normatives où il y a absence de quartz et d'hypersthène et présence d'olivine et de néphéline, se retrouvant donc dans le domaine des basaltes alcalins à basanites. Ces résultats montrent un protolithe provenant d'un magma sous-saturé en silice. Certaines enclaves présentent des caractères de magmas primitifs avec des rapports Mg# allant jusqu'à 72, ce qui pourrait suggérer que ces faciès basiques (le protolithe) sont très proches de la composition du magma mantellique primaire et qu'ils ont dû subir une faible cristallisation fractionnée.

L'examen des lanthanides montrent une somme assez modérée, avec des spectres presque plats et un fractionnement faible (La/Yb_N ne dépassant pas 4). La source de ces metabasites pourrait être une péridotite à spinelle.

Par ailleurs, l'étude des xénolites retrouvés dans ces pointements évaporitiques triasiques a montré au moins deux types de metabasites avec deux tendances géochimiques : (i) une à affinité alcaline à contexte intraplaque avec des anomalies positives en Nb, Ta et Ti, une anomalie négative en Pb avec absence de contamination crustale (OA2, OA5 et T5), (ii) l'autre à affinité de tholéïtes continentales (OA3, OA6, OA9 et T2) avec des anomalies négatives en Nb, Ta, Zr et Ti caractéristique des magmas orogéniques et une anomalie positive en Pb pour certains échantillons traduisant une contamination par la croûte continentale.

CONCLUSION
GENERALE

La présente étude sur les xénolites emballés dans les pointements triasiques d'Ouled Aïcha et Tamalaht a permis de mener, pour la première fois, une contribution pétrologique et géochimique afin de connaître un peu plus le massif de l'Ouarsenis dans le Tell algérien, plus précisément la partie occidentale oranaise.

Nous avons abordé ce travail par une étude géologique de toute cette région. Les roches récoltées dans ces deux sites triasiques sont localisées au niveau de failles gypsifères. Le pointement triasique de Tamalaht, est emballé dans les flysch du Crétacé inférieur (Albo-Aptien) et dans les marnes du Crétacé supérieur (Sénonien). Il est formé par des argiles gypsifères, avec des lambeaux de roches sédimentaires (grès, calcaires et dolomies), magmatiques (basaltes) et métamorphiques (schistes verts, amphibolites). Le pointement d'Ouled Aïcha est également emballé dans les marnes du Crétacé supérieur et les gypses violacés de l'Eocène et l'Oligocène.

D'un point de vue pétrographique, ces enclaves étudiées sont des blocs arrachés au socle paléozoïque, elles sont de taille variable, le plus souvent de taille décimétrique à quelques centimètres.

Dans le site d'Ouled Aïcha, l'examen microscopique des enclaves semblent être essentiellement des roches métamorphiques type amphibolite, avec une texture granoblastique grossière à fine où des points triples entre les minéraux peuvent être distingués. La paragenèse minérale est composée d'amphibole, de plagioclase, d'oxydes ferro-titanés et un peu de quartz. Dans le site de Tamalaht, l'observation des lames minces, montre pour certains échantillons des textures moins étirées et déformées qu'à Ouled Aïcha. Elles rappellent une texture plutôt grenue avec une paragenèse minérale formée de grands plagioclases, d'amphiboles prismatiques et énormément d'oxydes ferro-titanés. La richesse en amphibole qui est le minéral le plus caractéristique de ces xénolites pourrait les désigner comme amphibolite ou gabbro riche en amphibole.

L'étude chimique des phases minérales a permis de montrer quelques différences entre les metabasites d'Ouled Aïcha et celles de Tamalaht. Leur paragenèse minérale est presque identique, à savoir plagioclase, amphibole, biotite et oxydes ferro-titanés.

Dans les xénolites d'Ouled Aïcha, la composition chimique des phases minérales de ces faciès montre :

CONCLUSION GENERALE

- Un plagioclase de composition ne dépassant pas l'andésine,
- Une amphibole, abondante, appartenant au groupe des amphiboles calciques.

Les analyses la situent dans le domaine tschermakitique, traduisant donc une composition alumineuse et magnésienne avec un $0.59 < \text{Mg}^* < 0.64$,

- Des cristaux d'oxyde ferro-titané se rapprochant du pôle magnétite.

Dans les xénolites de Tamalaht, la paragenèse comporte :

- Un plagioclase de composition variant entre An_{50} et An_{18} , andésine et oligoclase. Bien que la roche analysée soit de composition basique (50% SiO_2), ces valeurs assez basses en Ca du minéral pourraient être liées à une albitisation (processus secondaire d'altération) du plagioclase,

- Une amphibole, également abondante, appartenant au groupe des amphiboles calciques, se rapprochant de la magnésio-hornblende,

- Une biotite moyennement ferrifère, avec des rapports XFe compris entre 0.52 et 0.54,

- Un oxyde ferro-titané de type ilménite.

Les estimations des conditions thermodynamiques de ce magmatisme basique représenté par les xénolites emballés dans ces pointements triasiques révèlent :

- La présence de phases hydroxylées telles que l'amphibole et la biotite, argument en faveur de la présence d'eau dans les magmas à l'origine de ces roches,

- Des températures et pressions relativement élevées atteignant les 1000°C et 7 kb (21 km) pour la cristallisation des amphiboles d'Ouled Aïcha et 800°C et 5 kb (15 km) pour celle de Tamalaht,

- La présence d'ilménite dans les roches de Tamalaht permet de proposer des conditions réductrices (fugacité d'oxygène faible) lors de la cristallisation de leur magma. Par contre, le magma à l'origine des faciès d'Ouled Aïcha a dû cristalliser dans des conditions plutôt oxydantes (fugacité d'oxygène élevée).

D'un point de vue géochimique, les enclaves d'Ouled Aïcha et de Tamalaht sont des roches à compositions de roches basaltiques à trachy-basaltiques, avec des compositions normatives où il y a absence de quartz et d'hypersthène et présence d'olivine et de néphéline. Elles se retrouvent donc dans le domaine des basaltes alcalins à basanites. Ces résultats montrent un protolithe igné provenant d'un magma sous-saturé en silice. Certaines enclaves présentent des caractères de magmas primitifs avec des rapports $\text{Mg}\#$ allant jusqu'à 72, ce qui pourrait suggérer que ces faciès basiques (le protolithe) sont très proches de la

CONCLUSION GENERALE

composition du magma mantellique primaire et qu'ils ont dû subir une faible cristallisation fractionnée.

L'examen des lanthanides montrent des spectres presque plats et un fractionnement faible (La/Yb_N ne dépassant pas 4). La source de ces metabasites pourrait être une péridotite à spinelle.

Par ailleurs, l'étude des xénolites retrouvés dans ces pointements évaporiques triasiques a montré au moins deux types de metabasites avec deux tendances géochimiques : (i) une à affinité alcaline à contexte intraplaque avec des anomalies positives en Nb, Ta et Ti, une anomalie négative en Pb avec absence de contamination crustale (OA2, OA5 et T5), (ii) l'autre à affinité de tholéïtes continentales (OA3, OA6, OA9 et T2) avec des anomalies négatives en Nb, Ta, Zr et Ti caractéristique des magmas orogéniques et une anomalie positive en Pb pour certains échantillons traduisant une contamination par la croûte continentale.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Benhamou M. (1996)** - Evolution tectono-eustatique d'un bassin de la Téthys maghrébine: L'Ouarsenis (Algérie) pendant le Jurassique inférieur et moyen. *Thèse. Doct. Etat. Univ. Oran.* 434 p. 139 fig. 27 pl.
- Benhamou. M. et Brahim. M. (2020)** – Gisement d'Ichthyofaunes et faciès associés au passage Cénomanién-Turonien dans la région de l'Ouarsenis (Algérie du Nord) : Coupes de référence, corrélation régionale et approche paléobiogéographique. *Mémoire du Service Géologique de l'Algérie. N 21.* 18 fig. 1 pl.
- Benyoucef M. (2006)** - Les flysch albo-aptiens de l'Ouarsenis (Algérie du Nord) : Aspect sédimentologique et reconstitution paléogéographique. *Thèse. Magister. Univ. Oran. Bracène.*
- Frizon de Lamotte. D. (2002)** – The origin of intraplate deformation in the Atlas system of western and central Algeria : from Jurassic rifting to Cenozoic-Quaternary inversion. *Tectonophysics*, 357 (1-4).
- Ciszak. R. Magné. J. et Peybernès. B. (1986)** – Interprétation du complexe chaotique "triasique" d'Oranie (Algérie occidentale) comme un olistostrome sénonien localement réinjecté dans les accidents alpins. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 302, sér. II, n 6.
- Deer W.A., Howie R.A. et Zussman J.(1992)** - An Introduction to the Rock Forming Minerals. *2nd Edition*, Longman, London, 632 p.
- Delteil J. (1972)** – Oued el Abtal (Ex.Uzès le Duc). Volume 185 de Notice explicative de la carte géologique au 1/50.000, J. Delteil Algérie/ Ministère de l'industrie lourde, Direction des mines et de la géologie.
- Delteil J. (1974)** - Tectonique de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Tell oranais orientale (monts de la Mina, Béni Chougrane, Dahra). *Thèse Es-Sciences*, Nice, 294 p. 38
- Fallot P. (1942)** – Bulletin de la Société Géologique de France. S5-XII (1-3).
- Fenet B. (1975)** – Recherches sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain, à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse nord-maghrébin : les Monts du Djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. *Thèse Doct. Etat. Univ. Nice*, 301 p, 101 fig, 4 pl.
- Flandrin J. (1951)** – Carte géologique de l'Algérie 1/500.000. Alger Nord. Alger. Serv. Carte géologique de l'Algérie.
- Frizon de Lamotte. D. Saint Bezar. B. Bracène. R. Mercier E. (2000)** – The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean. *Tectonics* 19 (4).
- Frizon de Lamotte. D. (2002)** – The origin of intraplate deformation in the Atlas system of western and central Algeria : from Jurassic rifting to Cenozoic-Quaternary inversion. *Tectonophysics*, 357 (1-4).
- Guardia P. (1975)** - Géodynamique de la marge alpine au continent africain d'après l'étude de l'Oranais nord occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique. *Thèse Doct. Etat. Univ. Nice*, 289 p, 141 fig, 5 pl.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hammarstrom, J.M., Zen, E-An. (1986).** Aluminium in hornblend: an empirical igneous geobarometer., *Am. Mineral.*, 71, 1297-1313.
- Helz R.T. (1973)-** Phase relations of basalts, in their melting range of PH₂O= 5 kb as a function of oxygen fugacity. Part I: mafic phases. *J.Petrol.* 14 : 249-302 .
- Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H. et Sisson V.B. (1987) -** Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72 : 231-239.
- Khatal. M. et Safa. S. (2013).** – Etude pétrographique des roches du complexe triasique de Tamalaht. Région d’Ouarsenis, Atlas Tellien, Algérie du Nord. Mémoire d’Ingéniorat. Univ. Oran 39
- Kireche. O. (1977) –** Etude géologique et structurale des massifs à schistosités du Chélif.
- Kireche. O. (1993) –** Evolution géodynamique de la marge tellienne des Maghrébides d’après l’étude du dandive parautochtone schistosé (Massif du Chélif, d’Oranie, de Blida-Bou Maad, des Babors et Biban). *Thèse. Doct. d’ES Science. Univ. Alger.* 328 p. 226 fig. 9 pl.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986)-**Subcommission of the Systematics of ogneous Rocks.*J.Petrol.*, V. 27, Issue 3, PP.745-750.
- Le Maitre R.W.(ed),2002-** Igneous Rocks: A classification and Glassary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological sciences, *Cambridge University Press*, xvi+236 p.
- Leake B. E., Woolley A. R., ARPS C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Larid J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E.H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W. et Youzhi G. (1997)-**Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international Mineralogical Association, Commission on New Minerals Names.*American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- Mattauer. M. (1958) -** Etude géologique de l’Ouarsenis oriental. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, n. Sér.17, 534 p.
- Mc Donough W.F. Et Sun S. (1995)-** The composition of the Earth. *Chem Geol.*120 , PP.223-253.
- Meddah. A. (1998) -** Etude géologique des appareils diapiriques des Monts des Ksour. Atlas saharien occidental. (Essai de synthèse sur les diapirs atlasiques). Thèse de Magister. U.S.T.H.B. Alger. 40
- Midoun. M. Perthuisot. V. (1992) –** Les éléments de socle inclus dans les évaporites du Trias (région d’Oran, Algérie). Implications sur les caractéristiques du substratum et sur l’amincissement lithosphérique triasique. *Compte Rendus de l’Académie des Sciences, Série2, PP.315 (05).*
- Midoun. M. Seddiki. A. (2016) –** The mafic, ultramafic and metamorphic xenoliths in Triassic evaporite complexes, North West Algeria. *BoletinGeologico y Minero* 127 (2-3).
- Mullen E.D.(1983)-**A minor elements discriminant for basaltic rocks of oceanic environment and its implications for petrogenesis. *Earth.Plan.Scie.Lett.* Volume 62, Issue 1, PP. 53-62.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nocholds (1947)** - The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks. *Am. J. Sci.*, 245 : 401-420.
- Otten M.T. (1984)** -The origin of brown hornblende in the Artfjallet Gabbro and dolerites.*Contrib., Mineral., Petrol.* **86**, PP.189-199.
- Polvèche. J. (1960)** - Contribution à l'étude de de l'Ouarsenis oriental (Algérie). *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, nouv. Série, 24, 576 p.
- Schmidt, M.W. (1992)**-Amphibole composition in tonalite as a fonctionpressure: experimental calibration of Al-in-hornblende barometer. *Contrib., Mineral., Petrol.* 110, 304-310.
- Shervais J.W. (1982)** - Plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas.*Earth. Plan. Scie. Lett.* Volume 59, Issue 1, PP.101-118.
- Taylor S.R. et Mc Lennan S.M. (1985)** : The Continental Crust : its composition and evolution. Oxford : Blackwel Scientific, 312 pp.
- Thompson R.N. (1984)**- Dispatches from the basalt front.1.Experiments.Proc.Geol..Asso.,
- Trümpy (1983)**. – La fibule de présente. Document inestimable ou falsification ? *Museum Helveticum* 40. 41
- Wildi. W (1983)**. – La Chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du trias au miocène. *SA aus : Revue de géologie dynamique et de géographie physique*, ISSN 0241-1407. 97 p.
- Whitney J.A (1975)**: The effects of pressure, temperature and X H₂O on phase assemblage in four synthetic rock compositions. *J. Geol.*, 83 : 1-31.
- Winchester J.A. et Floyd P.A., (1976)** - discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements.*Chem.Geol.* 20, 325-343.
- Winchester J.A. et Floyd P.A., (1977)** - Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements.*Chem.Geol.* 21, 291-306.
- Zeghari A. (2013)**. – Etude des blocs diachrones resédimentés dans le ‘‘Flysch Albo-Aptien’’ (Grand pic de l'Ouarsenis) : cartographie et aspects sédimentologiques. Magister. Université d'Oran. 77p.