

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 :**

**Caractérisation pétrologique et géochimique du magmatisme  
filonien basique de la région d'Oualène (Algérie sud occidentale).  
Comparaison avec celui de Reggane**

Présenté par :

Mme **BELMEKKI Asmaa** et M. **GRINE El Mahdi**

Soutenu le 3juillet 2019, devant la commission d'examen :

<b>M. A.SEDDIKI</b>	Professeur	Université d'Oran 2Président
<b>Mme N. REMACI</b>	Maître de conférences	Université d'Oran 2Rapporteur
<b>M. R. BENDOUKHA</b>	Maître de conférences	Université d'Oran 2Examinateur

**Oran, 2019**

## *REMERCIEMENTS*

*Nous remercions ALLAH qui nous a guidés, illuminé le chemin et nous a donné le courage et la persévérance durant toutes nos études.*

*Nos sincères remerciements s'adressent à Mme REMACI pour avoir dirigé avec beaucoup d'attention, de disponibilité, de patience ce travail sur le sud ouest saharien. Reconnaissons pour son enseignement, ses longues et fructueuses discussions, ses critiques constructives, son soutien et l'aide qu'elle nous a apporté durant la réalisation de ce mémoire*

*Notre reconnaissance va à M. A. SEDDIKI pour avoir accepté de présider ce jury.*

*Que M. R. BENDOUKHA soit remercié pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. Ses remarques seront les bienvenues.*

*Mes vifs remerciements vont également à M. MEKKAOUI qui a mis à notre disposition les données de terrain de la région d'Oualène.*

*Nous tenons à remercier également toutes les personnes qui ont contribué et aidé pour la réalisation de notre mémoire.*

## *Dédicace*

*Primum Omnium, louange à ALLAH ; m'avoir donné la volonté, la force et le courage d'accomplir ce travail modeste.*

*Que ce travail témoigne de mon respect à ma famille :*

*A mon défunt « MON TRÈS CHER PÈRE ALLAH YARHÉMAH »,*

*A ma chère maman*

*A celle qui a sacrifié d'innombrables belles choses depuis qu'elle m'a mis au monde. Sans ton écoute, ta générosité et ton dévouement, je ne serais pas arrivé où je suis.*

*A mes adorables chers frères et sœurs*

*Qui m'ont soutenu, supporté et encouragé durant toutes ces années*

*A mes chers neveux et nièce*

*A tous mes amis de la promotion 2014*

*Les moments inoubliables que nous avons partagés au cours de nos études*

*A toutes les familles GRINE/DJELLOUL/MOUSSAOU*

*A mes tantes, oncles, cousins et cousines,*

*A Amine Haddarmon frère-Ami le plus proche qui m'a toujours aidé, encouragé, je l'ai trouvé toujours à mes coté, que du bonheur et de la santé pour lui dans sa vie.*

*A TOUS MES INSTITUTEURS ET PROFESSEURS*

**M GRINE EL MAHDI**

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma chère mère,*

*A mon cher père,*

*Qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*A mon cher mari,*

*Qui m'a aidée et supportée dans les moments difficiles*

*A mon binôme,*

*Pour son entente et sa sympathie.*

*A toute les familles BELMEKKI et MOKHTARI*

*A mes amis,*

*Qui m'ont toujours encouragée et aidée*

*A tous ceux que j'aime et qui m'aiment*

*Merci*

**Mme belmekki asma**

## Liste des Tableaux

**Tableau-II-1 :** Compositions chimiques et formules structurales des plagioclases des dolérites d'Oualène.

**Tableau-II-2 :** Compositions chimiques et formules structurales des pyroxènes des dolérites d'Oualène.

**Tableau-II-3 :** Compositions chimiques et les formules structurales des opaques des Dolérites d'Oualène

**Tableau-III-1 :** Compositions chimiques des roches totales et normes CIPW

**Tableau-III-2 :** Compositions chimiques des éléments traces des dolérites d'Oualène et Reggane

**Tableau-III-3 :** Teneurs en ppm des Terres Rares des roches d'Oualène et de Reggane. \* Chabou et al. (2010).

## Liste des figures

**Figure-I-1:** Situation géographique de la région d'Oualène, par rapport à l'Anti Atlas, L'Ougarta, le Hoggar et la dorsale Réguibat (SONATRACH 2001).

**Figure I-2 :** Situation géographique du secteur étudié (Mekkaoui, inédit)

**Figure-I-3 :** géologie générales du craton ouest africain (Fabre, 2005; Liégeois et al., 2005;

**Figure-I-4 :** Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Sud-ouest Septentrional (in Ben Karroum, 2010).

**Figure-II-1 :** Log de forage 29 (ORGM, 2000)

**Figure-II-1:** Position des plagioclases des dolérites d'Oualène dans le diagramme Ab-An-Or. Egaleme<sup>n</sup>t reportéS les plagioclases de Reggane

**Figure-II-2:** Position des pyroxènes dans le diagramme de Morimoto (1988).

**Figure-II-3 :** Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al. , 1992.

**Figure-II-4 :** Position des clinopyroxènes des dolérites d'Oualène dans le diagramme SiO<sub>2</sub>vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de Lebas (1962).

**Figure-II-5 A et B :** position des clinopyroxène (cpx) des dolérites d'Oualène dans les diagrammes de Ieterrier et al. (1982).

**Figure-III-1 :** Position des roches dans le diagramme de nomenclature de Cox et al. (1979). Le trend (rose), défini par Miyashiro (1978), sépare le domaine alcalin du domaine subalcalin.

**Figure-III-2 :** Diagramme Nb/Y versus Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de Winchester et Floyd (1977)

**Figure-III-3 :** Position des roches dans le diagramme normatif de Thompson (1984).

**Figure-III-4 :** Spectres de terres rares des roches d'Oualène (Normalisation par rapport aux chondrites de Nakamura, 1974).

**Figure-III-5 :** Spectres multi-élémentaires des roches d'Oualène, normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995).

**Figure-III-6 :** Position des dolérites d'Oualène dans le diagramme géotectonique de Pearce et Cann (1973).

**Figure-III-7 :** Position des dolérites d'Oualène dans le diagramme discriminant de Meschede (1986).

# TABLE DES MATIERES

## CHAPITRE I : GENERALITES

I-1-Introduction.....	1-2
I-2-Les objectifs d'études.....	2
I-3 Contexte géographique de la région d'Oualène.....	2-4
I-4-Contexte géologique.....	4-9
I-4-1- Organisation lithostratigraphique des terrains.....	4-9
I-4-2- Le magmatisme mésozoïque.....	9
I-5-Historique des travaux.....	9
I-5-1- Travaux de reconnaissances régionales.....	10
I-5-2- Travaux de l'exploration pétrolière.....	10
I-5-3-Travaux de la prospection minière.....	11
I-5-4- Travaux universitaires.....	11-13

## CHAPITRE II : LES CARACTERISTIQUES PETROLOGIQUES

II-1-Introduction.....	14
II-2- Etude pétrographique.....	14
II-2- 1-Données de terrain et aspect macroscopique.....	14-15
II-2- 2-Aspect microscopique.....	15-17
II-2- 3-Ordre de cristallisation.....	17
II-3- Etude minéralogique.....	17
II-3-1- Introduction.....	17
II-3-2-Etude chimique des différentes phases minérales.....	17-23
II-4-Affinité géochimique et géotectonique à partir du chimisme du clinopyroxène.....	23-26

## CHAPITRE III : LES CARACTERISTIQUES GEOCHIMIQUES

III-1- Introductions.....	27
III-2- Classification et caractérisation géochimique.....	27-32
III-3- Comportement des éléments majeurs et traces.....	32-35
III-4. Le contexte géodynamique.....	35-37
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>38-40</b>

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## I-1-Introduction

Le Sahara a toujours été une contrée attrayante, l'immensité de ses affleurements offrent aux géologues un magnifique pôle d'observations et de réflexions où de nombreuses questions ont été posées et résolues mais d'autres restent encore posées en suscitant un intérêt scientifique et économique.

L'activité magmatique y a été intense et a toujours suscité un immense intérêt aux pétrologues, géochimistes, géodynamiciens....

Les grandes provinces magmatiques du craton Ouest africain (Large igneous provinces of the West African Craton) ont fait l'objet de nombreux travaux, ainsi que des synthèses (Blecker et Ernst, 2010, Youbi et al., 2011).

Plus précisément, une importante activité magmatique a accompagné la fragmentation initiale de la Pangée qui a abouti à l'ouverture de l'Atlantique Central au début du Jurassique. Cette activité est à l'origine de la plus vaste province magmatique continentale, couvrant plus de 7 millions de km<sup>2</sup>, connue sous le nom de province magmatique de l'Atlantique Central (CAMP) (Bertrand et Millot, 1987 ; Marzoli et al., 1999). Suite à la dislocation continentale et à l'ouverture de l'Océan Atlantique, les témoins de la CAMP sont aujourd'hui dispersés sur quatre continents : Amérique du Nord, Amérique du Sud, Afrique et Europe.

Nous nous intéresserons à ceux du Sud-Ouest algérien tels que la région de Réguibat, les monts de l'Ougarta, les bassins de Tindouf, de Béchar de Reggane, Eglab-Oualène et de l'Ahnet. En effet, ce magmatisme semble coïncider avec la suture panafricaine localisée, entre autres, entre les bassins de Reggane et de l'Ahnet. Ce magmatisme, situé le long de cette suture, est connu depuis quelques décennies et continue à faire l'objet d'études ((Fabre, 1976; Bertrand et Millot, 1987; Seddiki, 1997 ; Chabou et al. 2007 et 2010 ; Meddah, 2010 ; Mekkaoui et al. 2009 ; Mekkaoui et Remaci-Bénaouda, 2014 ; Mekkaoui, 2015). Azzouz et Ould Slimane, 2013; Nadri et Teggat, 2016 ; Séda, 2017).

Les dernières études effectuées dans le Sud-Ouest algérien sur ce réseau filonien, entre autres Kahel Tabelbala (Mekkaoui et Remaci- Bénaouda, 2014 ; Mekkaoui, 2015), Reggane (Brahim, 2010, Séda, 2017), Boukaïs à Béchar (Seddiki, 1997), Zérigat (Azzouz et Ould Slimane, Nadri et Teggat, 2016), ont montré l'existence d'un lien pétrologique, géochimique et géochronologique de ces roches magmatiques basiques à intermédiaires. Elles ont montré leur affinité de tholéiites continentales et de les dater à la limite Trias-Lias, de rattacher ce magmatisme à la grande province magmatique de l'Atlantique Central (CAMP) (Bertrand,



1991 ; Nomade et al, 2007 ; Chabou et al, 2007 ; 2010 ; Meddah et al, 2007 ; Mekkaoui et Remaci- Bénaouda, 2014 ; Mekkaoui, 2015 ; Nadri et Tegggar, 2016, Séda, 2017).

La région d'Oualène ou Eglab-Oualène, objet d'étude de ce mémoire, est très peu connue. Ce travail va nous permettre de contribuer à la connaissance de ce magmatisme hypovolcanique et de faire apparaître ses analogies et ses différences avec le magmatisme des régions sus-citées, notamment avec la région de Reggane qui est l'une des plus proches d'Oualène.

### **I-2-Les objectifs de l'étude**

Le présent travail permet d'apporter une contribution à la connaissance du magmatisme filonien d'Oualène. Les objectifs principaux sont les suivants :

- A partir des données de terrain de Mekkaoui (inédites), présenter les caractères lithostratigraphiques et structuraux de la région,

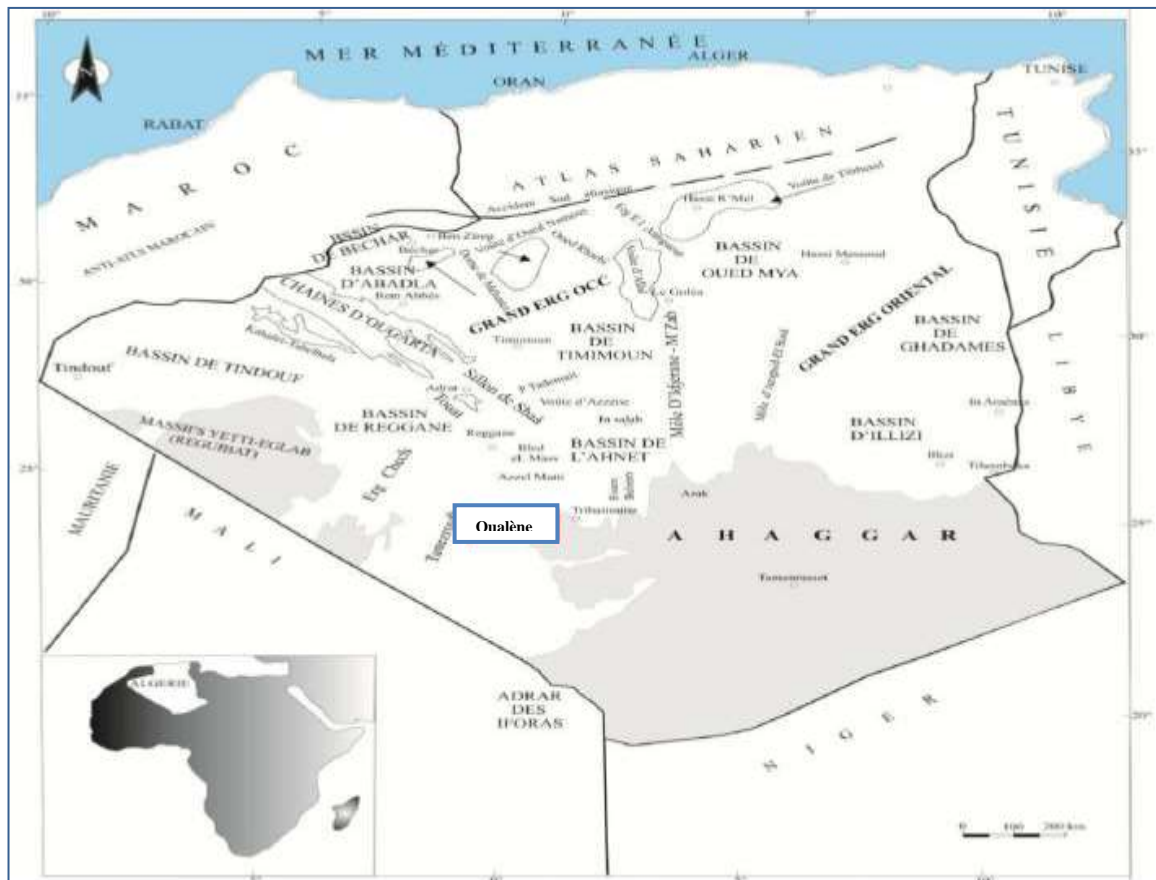
- Souligner l'importance de ces roches par une étude pétrographique en les comparant à celles de Reggane et réaliser une étude chimique des phases minérales primaires; cette étude aboutirait à une estimation des conditions de cristallisation de ces dolérites,

- Enfin, une caractérisation géochimique et géodynamique de ces roches filoniennes à partir du chimisme de leur clinopyroxène, ainsi que celui des roches totales, avec éléments majeurs, traces et avec Terres rares.

### **I-3 Contexte géographique de la région d'Oualène**

Oualène fait partie du Sahara algérien, elle est située à 1480 Km au Sud de la ville d'Oran et à plus de 250 Km au Sud-est de Reggane, entre les longitudes  $1^{\circ} 17' 14,3$  ( $1,2873^{\circ}$ ) ESE et les latitudes  $24^{\circ} 36' 23,6$  ( $24,6066^{\circ}$ ) Nord et altitude de 394 mètres (1293 pieds). Cette région est limitée (**Fig.I-1**):

- Au Nord par la chaîne de l'Ougarta et les massifs infracambriens du Touat ;
- Au Sud et au Sud-Ouest par les affleurements du massif précambrien des Eglab ;
- A l'Ouest par le môle de Bou Bernous qui le sépare du bassin de Tindouf ;
- A l'Est par l'ensellement de l'Azzel Matti, où il est séparé du bassin de l'Ahnet.

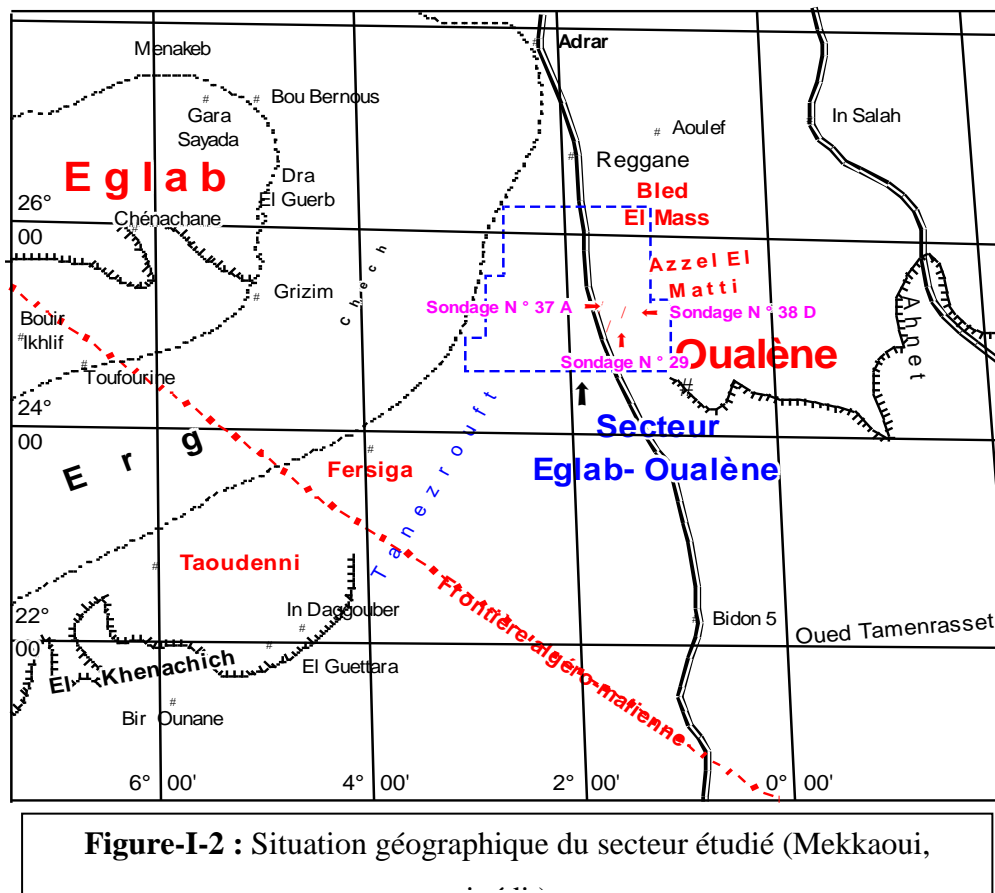


secteur d'étude

**Figure-I-1 :** Situation géographique de la région d'Oualène, par rapport à l'Anti - Atlas marocain, l'Ougarta, le Hoggar et la dorsale Réguibat (SONATRACH 2001).

La région d'Oualène a connu un intérêt, suite aux travaux effectués dans la région de Reggane. La récolte de quelques grains de diamant à Bled El Mass (djebel Aberraz) a stimulé l'investigation géologique et géophysique dans cette contrée, afin de localiser d'éventuelles sources primaires (pipes kimberlitiques ....).

En effet, dans le cadre du projet de recherches stratégiques pour les diamants, les géologues prospecteurs de l'ORGM ont élargi leur champ d'action vers le Sud, tout en envisageant le secteur 'Eglab – Oualène', potentiellement intéressant ; il se relie vers le Sud à Bled El Mass et se positionne sur la ligne hypothétique de suture entre le vieux craton ouest africain et le domaine panafricain. L'Azzel Matti et le Chech le bordent successivement vers l'Est et vers l'Ouest (**Fig.I-2**).



**Figure-I-2 :** Situation géographique du secteur étudié (Mekkaoui,

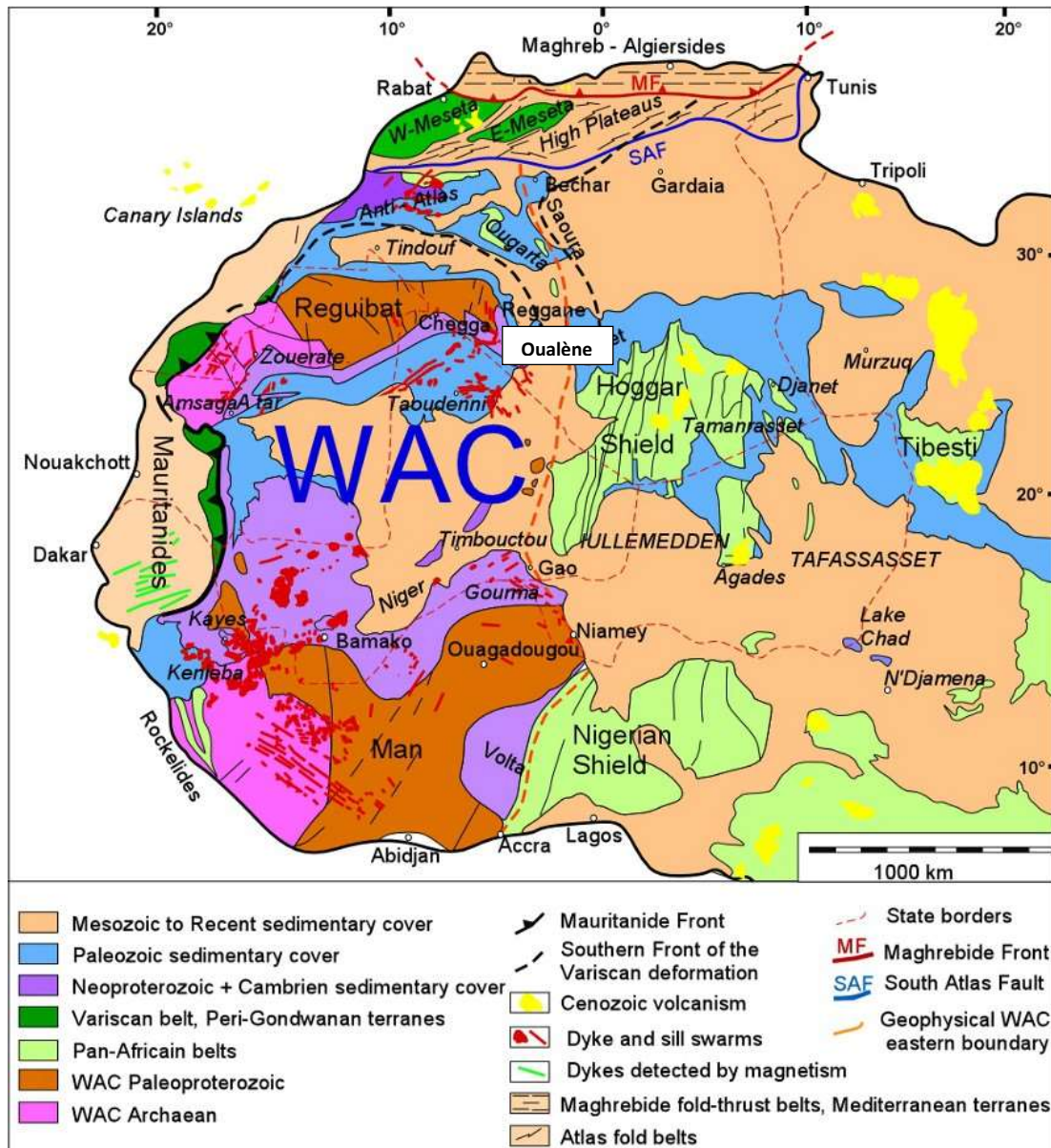
#### I-4-Contexte géologique

Les formations sédimentaires néoprotérozoïques et paléozoïques des bassins occidentaux du Sahara algérien (Béchar, Tindouf, Reggane et Hank) sont fréquemment injectés de dolérites sous forme de dykes et de sills. Il en est de même pour la région d'Oualène.

##### I-4-1-Organisation lithostratigraphique des terrains

Que ce soit dans les monts de l'Ougarta, les bassins de Béchar, Tindouf, Hank, Reggane et de la région d'Oualène, les formations géologiques rencontrées sont assez similaires (**Fig.I-3**).

La colonne stratigraphique synthétique du Sahara sud occidental (**Fig.I-4**) indique que la majeure partie de la sédimentation est représentée par le Paléozoïque allant de l'Infracambrien jusqu'au Tertiaire. Ces dépôts reposent en discordance sur un socle d'âge précambrien. De bas en haut, nous distinguons :



Secteur d'étude

**Figure-I-3 :** Géologie générale du craton ouest africain (WAC) (Fabre, 2005; Liégeois et al., 2005;

✓ **L'infraCambrien**

C'est une série volcano-sédimentaire discordante sur le Précambrien. Elle affleure au Hoggar par la série pourprée de 4000 m d'épaisseur (grés rouges et conglomérats), aux bordures de la dépression de Reggane (Oualène, Boubernous, Bled El Mas, Touat, Adrar) et aux Eglab (série de Hank : calcaire-détritique). Il est connu aussi sous le nom de la série pourprée ou de l'unité I selon les pétroliers. Il est divisé en quatre faciès (Caby et Moussine Pouchkine, 1992 in Fabre, 2005) :

- Le premier faciès est représenté par des pélites rubanées à lamination parallèle avec quelques lits à ciment calcitique.

Le deuxième faciès correspond à une alternance de pélites et de grès à lamination parallèle, avec des figures de base et des rides.

- Le troisième est formé par des grès grossiers et des conglomérats à galets de quartz et de quartzites.

- Le quatrième est constitué par des conglomérats à galets de taille centimétrique de granite, pegmatite, gneiss, basalte, quartzites et quartz.

### ✓ Le Paléozoïque

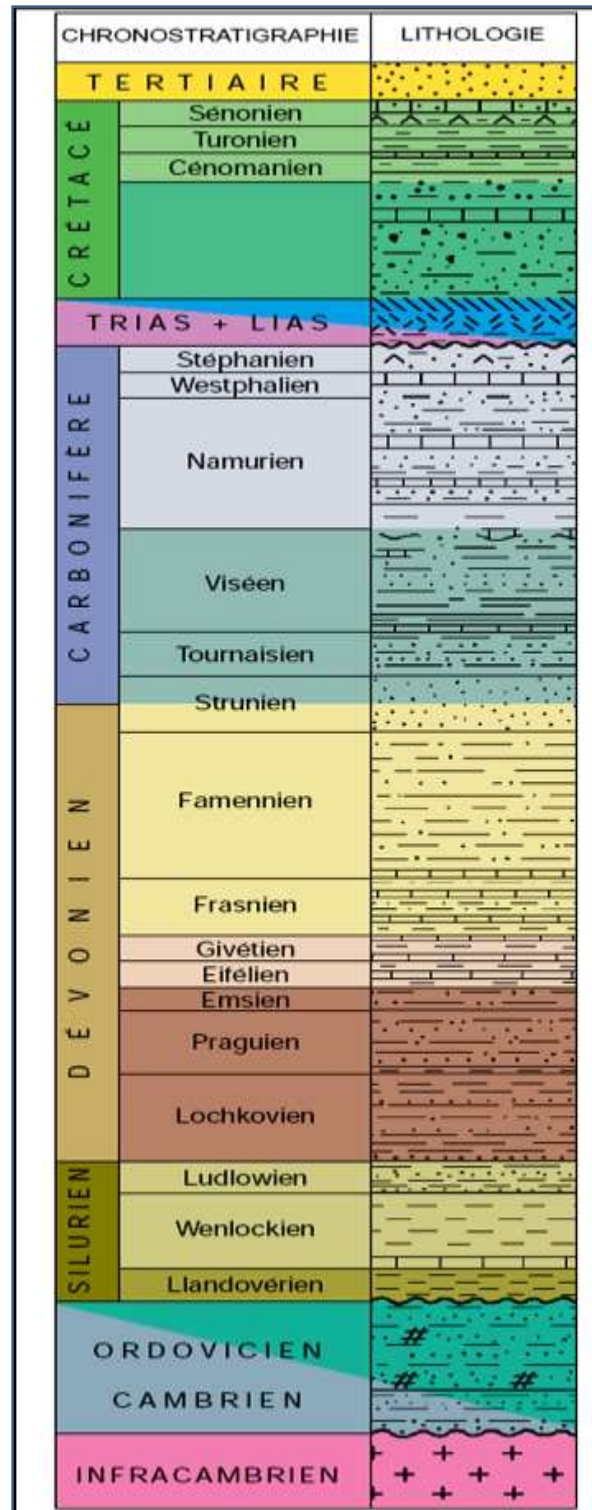
Il est bien développé et constitue des crêtes qui circonscrivent l'Infracambrien vers l'Ouest. Le Paléozoïque repose en discordance sur l'Infracambrien au moins localement. D'après les données sismiques, ces terrains et ceux de l'Infracambrien reposent sur un socle d'âge Précambrien qui peut être similaire à celui des massifs des Eglab. La couverture paléozoïque est représentée par des sédiments détritiques. Elle présente les caractères de dépôts de plateforme ou d'aire cratonique (Fabre, 1988). Dans ce Paléozoïque, nous retrouvons :

- Le Cambrien qui correspond aux grès de Hassi Leïla, il s'agit de l'unité II des pétroliers représentant des dépôts d'un système fluvial en tresse, le milieu est tantôt continental tantôt marin peu profond,

- L'ordovicien développé dans les limites des feuilles El Kseibat, Adrar, Reggane, Oualène. Il est représenté par un ensemble inférieur matérialisé par des dépôts transgressifs et localement discordant sur les grès du Cambrien. Il comprend les unités III1, III2, III3 et IV. Cette dernière repose en discordance de ravinement sur les diverses formations sous-jacentes. Les trois premières unités sont caractéristiques d'un milieu marin peu profond à profond et la dernière représente des dépôts glaciaires et glacio-marins, bien étudiée dans les monts de l'Ougarta (Mekkaoui, 2015),

- Le Silurien fait suite au dépôt de la formation glaciaire de la fin de l'Ordovicien, la dérive vers le Nord du continent a provoqué la fonte de la calotte glaciaire du Sahara central. Une transgression glacio-eustatique majeure a commencé et un environnement marin franc s'est installé et a permis le dépôt d'une épaisse série argileuse au flanc de l'anticlinal du djebel Hech, à Oualène (série d'Imirhou), au niveau de l'oasis Ikhas.





**Figure-I-4** : Colonne stratigraphique synthétique du Sahara Sud-occidental (in Ben Karroum, 2010).

- Le Dévonien est formé par des argiles, des grès et des calcaires.

La coupe la plus complète s'observe dans la région d'Oualène, elle est composée de trois étages :

- Le Gédinien composé par une intercalation de grès à grains fins avec des grès argileux et des aleurolites (partie inférieure) et par une intercalation des grès quartzo-feldspathiques avec des argilites (partie supérieure).
- Le Siéginien constitué de grès à grains fins, à interlits d'aleurolites et de grès grossiers.
- L'Emsien composé de grès quartzeux à grains fins, de grès argileux, d'aleurolites et de grès grossiers.

-Le Carbonifère (Tournaisien, Viséen et Namurien) affleure dans les régions de Timimoun, Adrar, Bled el Mass, Tanezrouft et sur les flancs du bassin de Reggane.

- Le Tournaisien est caractérisé par une formation argilo-silteuse : sédiments clastiques fins silstones, argilites et grès à intercalations de calcaires.
- Le Viséen inférieur est composé d'une formation inférieure silto-gréseuse et d'une formation supérieure argileuse.
- Le Viséen supérieur est représenté par des intercalations en plaquettes stratifiées organogènes. Parfois ces derniers passent aux calcaires gréseux et par endroits, on observe de minces lits de gypse.
- Le Namurien est formé de calcaire, d'argiles à gypse et de grès fins

- Le Crétacé : ses dépôts couvrent en discordance les terrains primaires. Les dépôts continentaux du crétacé inférieur communément appelés « continental intercalaire » sont constitués de grès fins faiblement cimentés et d'argile. Ils forment le complexe aquifère le plus important de la région. Les dépôts marins transgressifs du Cénomaniens supérieur du plateau de Tademaït sont représentés par des calcaires, des calcaires dolomitiques et des dolomies. Les dépôts du Crétacé supérieur de la dépression de Tanezrouft, sont représentés par la série inférieure terrigène et la série supérieure carbonatée.

-Le Néogène et le Quaternaire : le premier est peu épais correspondant à des sables argileux consolidés et à des calcaires lacustres. Le Quaternaire est représenté par des dépôts de regs, de sebkhas et de dunes de sables.

### **I-4-2- Le magmatisme mésozoïque**

L'intérêt de l'étude de ce magmatisme de la région d'Oualène est de le relier aux tholéiites continentales datés à la limite Trias-Lias et de pouvoir le rattacher à la grande province magmatique de l'Atlantique Central (CAMP).

Grâce à des datations radiométriques réalisées sur des dykes et sills doléritiques (Hank, Fersiga, Ksi-Ksou, Reggane...), nous avons pu confirmer que la CAMP s'étend à l'intérieur de la plaque africaine et que sa limite orientale coïncide avec la suture panafricaine.

Les missions de terrain effectuées par Mekkaoui (inédit) lui ont permis de décrire ce secteur d'Oualène. Il est constitué par un reg monotone, d'une remarquable platitude, sur lequel, on ne connaît que de mauvaise qualité d'affleurements. Les sills et les dykes doléritiques ne se manifestent en surface que par des pseudo-alignements de petits blocs, de même les schistes et les argiles dévoniens et carbonifères sont complètement dévorés par les évaporites quaternaires. En surface, on ne retrouve pas d'affleurements significatifs, ni pour l'encaissant, ni pour les dolérites.

Toutefois, le magnétisme aéroporté a révélé des anomalies magnétiques souvent complexes (EREM, 1978). Certaines anomalies ont fait l'objet de levés au sol puis vérification par sondages. Elles correspondent, à la majeure partie des cas, à des dolérites et rarement à des lentilles de fer oolithique dévoniennes, comme en témoignent de nombreux sondages entrepris dans le cadre de la recherche des pipes kimberlitiques et ceux réalisés par la SONATRACH lors d'exploration du pétrole.

Ces dolérites s'expriment en surface par quelques petits cailloux résiduels dont le mode de mise en place et leurs éléments de gisement restent à éclaircir. Ce qui a permis à Mekkaoui de réaliser un échantillonnage sur des carottes de forages, notamment le sondage 29, qui l'a mené à faire des observations et des descriptions pétrographiques.

### **I-5-Historique des travaux**

Cet historique des travaux géologiques est présenté à partir d'une compilation bibliographique réalisée par Mekkaoui (2015) et d'autres auteurs.

#### **I-5-1- Travaux de reconnaissance régionale**

La première période est celle des parcours, basée sur la description de la recherche systématique. Cette phase commença dès la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle par les longs périples à travers le Sahara, comme celui de Rholf, le voyageur allemand, qui décrit son itinéraire du Tafilalet, Igli, Saoura jusqu'à Touat puis le Tidikelt.



Ces voyages se sont ensuite transformés en missions géologiques officielles, comme celles de Barth, Overweg, Duveyrier, les missions « Latter » et de Fourreau Lamy. Puis, les pionniers de la géologie algérienne tels Flamand (1896 à 1911), Menchikoff (1928 à 1957), Meyendorff (1938, 1942), Follot (1950,1953) et Lelubre (1952) prennent le relai.

### **I-5-2- Travaux de l'exploration pétrolière**

Cette deuxième période correspond à l'exploration pétrolière afin d'établir la stratification et la détermination des réservoirs des hydrocarbures au sein de la plateforme saharienne. Ces travaux consistaient en une étude orientée vers les roches mères et réservoirs, ainsi que leurs propriétés pétrophysiques.

Remack-Petitot (1960) a travaillé sur le Gothlandien (Silurien) du bassin de Reggane. Il a déterminé les conodontes du Viséen-Namurien de la coupe " de Hassi-Taibine et El Ahmar ".

Dans la même année, Bonnet et *al.* Étudient le Carbonifère post Tassilien du bassin de Reggane, qui avait fait l'objet d'études élaborées par Gevin (1960) jusqu'à l'Erg Chech.

En 1962, Legrand et Nabos étudient le Cambro-Ordovicien des bassins du Sahara occidental. Puis en 1964, la compagnie pétrolière entame des recherches d'exploitations sur le Cambro-Ordovicien.

Chanton (1963,1964) décrit la microfaune du Viséen supérieur (Chebbi,Tazoult, Touat) et signale la présence d'algues dans la coupe d'El Ahmar.

L'analyse micropaléontologie du Carbonifère a connu un grand essor avec les travaux de Lys (1964) et ce grâce à l'étude des matériaux récoltés par Conard dans trois coupes (Azzel Matti, Hassi Taibine et El Ahmar). La limite siluro-dévonienne et la stratigraphie plus ou moins détaillée du Dévonien ont été établies par Legrand (1967). Le même auteur, dans la même année réalisait une étude paléontologique du Paléozoïque inférieur et donnait la biozonation des graptolites.

D'autres travaux de synthèse (élaboration d'une étude lithostratigraphique détaillée de la région, étude de l'extension des corps gréseux, considérés comme des bons réservoirs d'hydrocarbures, étude structurale de la région et les possibilités de repérer des piègeages du pétrole) du Cambro-Ordovicien, du Siluro-Dévonien et du Carbonifère ont été établis par les géologues de la SONATRACH-BEICEIP en 1972.

### **I-5-3-Travaux de la prospection minière**

Les travaux de prospection minière ont été réalisés par l'ex EREM, puis par l'ORGM. Le choix de cette région n'est pas aléatoire, c'est à partir de la toponymie " Bled El Mass" qui signifie région de diamants et aux trouvailles de diamants faites dans le Hoggar.

Dans le cadre de travaux de recherche systématique, l'EREM entreprend, entre 1973 et 1976, des campagnes de prospections de diamants. Ils avaient pour objectif d'approfondir l'étude de la région d'In Hihaou et d'examiner la limite entre le craton Ouest africain et le Hoggar.

Deux diamants ont été récoltés dans les dépôts du continental intercalaire, l'un à Reggane, l'autre à Adrar, accompagnés de nombreux minéraux satellites.

Ces résultats jugés positifs ont conduit à l'engagement de lourds moyens de prospection (prospection et évaluation, travaux de forage, géophysique au sol, recherche des kimberlites).

Au final, les prospections dans la région de Reggane – Bled El Mass- ont permis la récolte de 845 diamants dont 784 pour le seul placer du djebel Aberraz(EREM, inédit).

Sur le plan académique, les géologues de l'ORGM ont levé des cartes géologiques, gravimétriques et magnétiques, tout en réservant une attention particulière aux cartes paléogéographiques afin d'expliquer les recyclages des grains de diamants dans les réservoirs d'âge primaire, secondaire et tertiaire.

#### **I-5-4- Travaux universitaires**

Ces travaux ont tous bénéficié du soutien de la SONATRACH et dans la majorité, ils traitent des détails stratigraphiques :

En 1971, Beuf, Biju-Duval Rogonon et Bennacef étudient les grès du Paléozoïque inférieur au Sahara.

En 1972, Mamet identifie la microfaune et la microflore des couches du passage du Viséen supérieur et du Serpukhovien. La même année, Conrad établit une datation sur le sill d'Ain Chebbi à 166 Ma.

En 1974, Basseto, Bensalah, Moussine-Pouchkine et Philippe établissaient des cartes géologiques de Reggane, d'Ahnet et de Mouydir. Fabre (1976) réalise une synthèse sur le Sahara Algérien intitulé " Introduction à la géologie de Sahara occidental et central ".

Lys (1979 et 1986) réalisa une analyse micropaléontologique du Carbonifère.

Conrad (1984) a travaillé sur les séries carbonifères du Sahara Algérien.

Brahim (1994) a effectué une étude stratigraphique des dépôts paléozoïques du bassin de Reggane.

En 1985, Legrand étudie la paléoécologie des brachiopodes du Carbonifère.

Caby (1987) étudie le Précambrien de Bled El-Mass.

Fabre (1988) étudie les séries paléozoïques d'Afrique.

En 1994, Nédjari fait une synthèse des travaux sur les événements tardi-hercyniens de l'Ouest du Maghreb (Algérie, Maroc).

Haddoum (1997) décrit la tectogenèse hercynienne de l'Ahnet et de Bled El Mass.

Dans le cadre de son Magister, Seddiki (1997) mène une étude pétrologique et géochimique sur les dolérites de Boukaïs, dans la région de Béchar.

Sebbar (1998) présente un inventaire détaillé des foraminifères benthiques et des algues calcaires du Carbonifère. Deux années plus tard, dans le cadre de sa thèse de doctorat, elle étudie les microfossiles et la relation avec leurs microfaciès carbonifères dans le bassin de Reggane, de Bechar et de Tindouf.

Polonio et al. (2005) réalisent des analyses stratigraphiques du Dévonien inférieur du bassin de Reggane. Une année plus tard, Wendt et al. (2006) mettent en évidence l'évolution sédimentologique du Dévonien moyen et supérieur de l'Ahnet et Mouydir.

En 2006, les chercheurs Smith et al., étudient la relation importante entre l'Hercynien et la phase tectonique post- jurassique dans la plate- forme saharienne, leurs études portaient sur les successibilités magnétiques des sills du bassin de Reggane (les sills du Jurassique).

Chabou et al. (2007) présentent des âges de 197 et 195 Ma pour des sills de Reggane et montrent leur concordance avec ceux de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP).

Meddah et al. (2007) montrent la présence de la province magmatique de l'Atlantique central à partir des dolérites du bassin des Ksour.

Khaldi et El Moumen (2008), dans le cadre de leur mémoire d'ingénieur ont établi une étude lithostratigraphique et environnementale du Dévonien inférieur du secteur d'Ain Echikh dans le bassin de Reggane.

Brahim (2010), dans le cadre de son mémoire d'ingénieur contribue à l'étude pétrographique et minéralogique des dolérites de Hassi Taïbine dans la région de Reggane.

Meddah (2010), dans le cadre de la thèse de doctorat montre la présence de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP) dans le bassin des Ksour.

Mekkaoui (2015), dans le cadre de sa thèse de doctorat, étudie le magmatisme basique de l'axe Damrane-Kahal Tabelbala dans les Monts de l'Ougarta dans lequel il décrit la présence de LPT tholéiites qui pourraient concorder avec celles de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP).

Dans le cadre de leur Master2 :

Azzouz et Ould Slimane (2013) contribuent à l'étude pétrologique et géochimique du magmatisme basique de Zerigat (région d'Abadla).

Nadri et Teggat (2016) réalisent la géochronologie et le traçage isotopique (Sr/Nd) de la source du complexe volcanique de Zérigat (région d'Abadla, Sud-Ouest algérien).

Séda (2017) présente les caractéristiques pétrologiques, géochimiques et géochronologiques des dolérites de la région de Reggane.



# CHAPITRE II

*LES CARACTERISTIQUES PETROLOGIQUES*

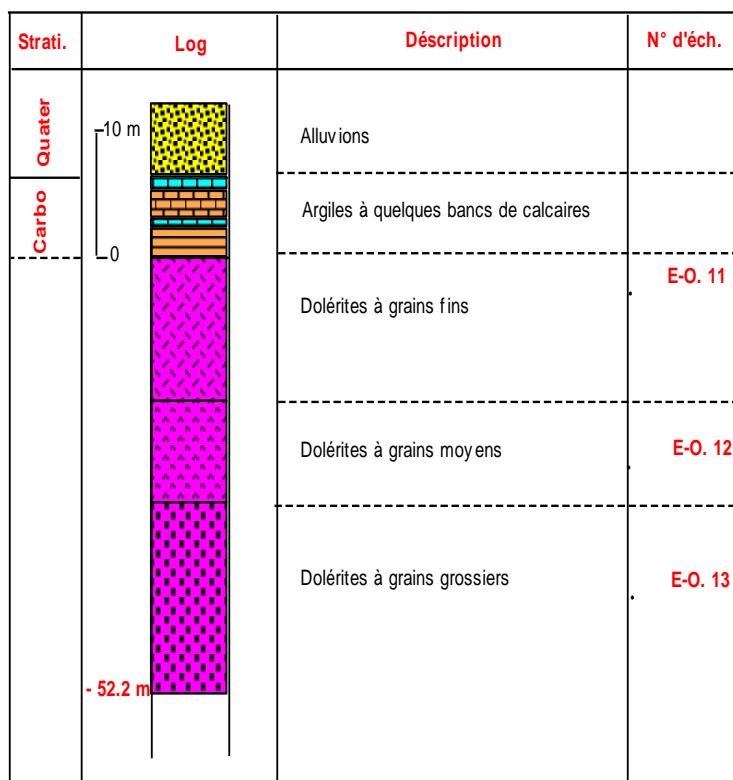
### **II-1- Introduction**

Comme nous l'avions évoqué, les missions de terrain effectuées par Mekkaoui lui ont permis de décrire ce secteur d'Oualène où des affleurements de mauvaise qualité ont pu être décelés. Ce secteur est constitué par un reg monotone, d'une remarquable platitude, dans lequel des sills et des dykes doléritiques ne se manifestent en surface que par des pseudo-alignements de petits blocs, de même les schistes et les argiles dévoniens et carbonifères sont complètement dévorés par les évaporites quaternaires. Donc, en surface, pas d'affleurements significatifs, ni pour l'encaissant, ni pour les dolérites. Pour cette raison l'échantillonnage réalisé par ce géologue s'est fait sur un sondage carotté effectué par l'EREM en 1978. L'étude pétrographique a porté sur le sondage 29 implanté à la base d'une anomalie magnétique détectée au sol et dont les coordonnées sont les suivantes : x : 25°13'142'' et y : 01°04'541'' Est.

### **II-2- Etude pétrographique**

#### **II-2- 1-Données de terrain et aspect macroscopique**

D'après les travaux de terrain de Mekkaoui (inédits), ce sondage carotté a recoupé les terrains suivants (Fig. II-1) : sous les alluvions quaternaires, viennent des argiles sombres, armées de quelques bancs de calcaires bioclastiques. Ces faciès sont attribuables au Carbonifère. Entre les cotes -10.2 m à - 52.2 m, le forage a recoupé une masse doléritique, dont le contact avec les argiles est souligné par un liseré très riche en matières organiques et des circulations de fluides (calcite en veines). Ces dolérites forment des sills, dits aussi filons couches, épais de plus de 10 m et encaissés dans les argiles dévono-carbonifères, ces dernières servent d'écran. Cette masse doléritique interstratifiée montre des variations texturales avec un passage progressif d'une dolérite à grains grossiers, puis à dolérite à grains moyens et enfin dolérite à grains fins. N'ayant pas de datation absolue sur Oualène, ces dolérites pourraient être contemporaines des dolérites de Reggane, l'étude pétrologique va pouvoir le traduire par les innombrables ressemblances.



**Figure II-1** : Log du forage 29 (ORGM, 2000)

## II-2- 2-Aspect microscopique

Il est à noter que c'est le faciès à grains grossiers qui a fait l'objet de l'étude microscopique. Cette dernière révèle une texture intergranulaire, parfois subophitique. Elle se caractérise par l'agencement des lattes de plagioclases, laissant des espaces interstitiels qui sont comblés essentiellement par des pyroxènes (Photos 1 et 2). La présence de certains pyroxènes englobant entièrement ou partiellement des baguettes de plagioclases traduit alors ce caractère subophitique.

Ces roches montrent une paragenèse primaire comprenant essentiellement du plagioclase, du clinopyroxène, des oxydes ferro-titanés. Des plages interstitielles granophyriques (ou micropegmatitiques) peuvent être également observées (Photo 2). Cette même paragenèse est également rencontrée dans les dolérites de Reggane (Photos 3 et 4).

**Le plagioclase**, la phase minérale dominante, se présente sous forme de grandes lattes, automorphes à subautomorphes, parfois imbriquées, à macles polysynthétiques fréquentes. Les cristaux sont de composition de labrador, ils sont parfois zonés (voir minéralogie). Ils sont relativement bien conservés, l'altération peut se traduire par une légère saussurisation.



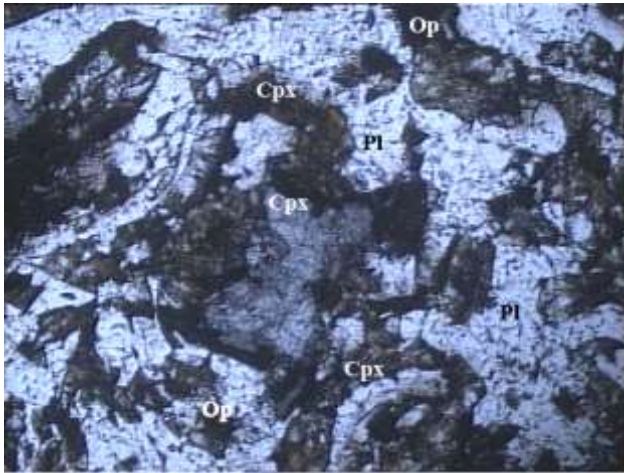


Photo 1- Oualène LN 25x

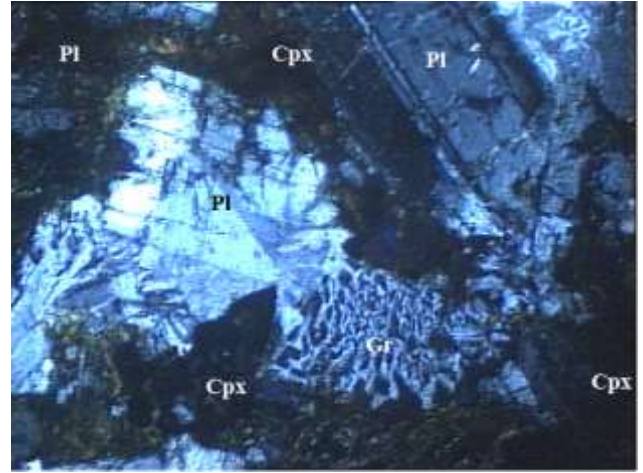


Photo 2- Oualène LPA 100x

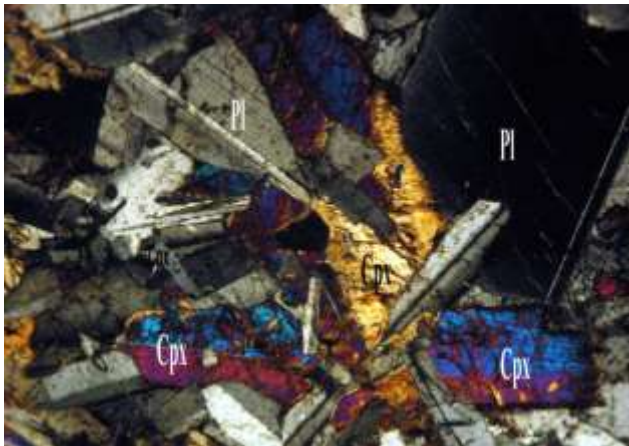


Photo 3- Reggane LPA 25x



Photo 4- Reggane LPA 100x

*Pl : Plagioclase, Cpx : clinopyroxène, Op : opaque, Gr : granophyre*

**Le clinopyroxène** est également abondant. Les cristaux, de couleur brunâtre, forment des prismes trappus à contours parfois irréguliers.

**Les minéraux opaques**, suffisamment abondants se présentent le plus souvent en petites sections xénomorphes.

**Le quartz**, rare, se développe soit d'une manière interstitielle, soit en association granophyrique (micropegmatitique), lorsqu'il y a syn-cristallisation avec le **feldspath potassique** (Photo 2), tout comme les dolérites de Reggane (Photo 4)

### **II-2- 3- Ordre de cristallisation**

L'ordre d'apparition des minéraux est déterminé à partir de l'agencement des différentes espèces minérales. Les textures intergranulaire à subophitique permettent de proposer que le plagioclase, phase la plus précoce, constitue la charpente. Il délimite des espaces qui sont occupés par le clinopyroxène et pourrait même l'englober. Viennent après les oxydes ferro-titanés, de type titanomagnétite.. Le quartz et le feldspath potassique terminent cette séquence de cristallisation en formant une association granophyrique.

### **II-3- Etude minéralogique**

#### **II-3-1- Introduction**

Quelques analyses chimiques de minéraux des dolérites d'Oualène tels que le plagioclase, le Cpx et les oxydes ferro-titanés ont pu être réalisées par Mme **N. Remaci** à la microsonde électronique de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

Par ce biais, nous allons connaître exactement leur composition chimique et la nature et les variations de compositions de chaque phase minérale

Elle va également permettre de mener une caractérisation géochimique et géodynamique de ces roches filoniennes à partir du chimisme de leur clinopyroxène et enfin suggérer des conditions thermodynamiques qui régnaient lors de la cristallisation du magma à l'origine de ces roches.

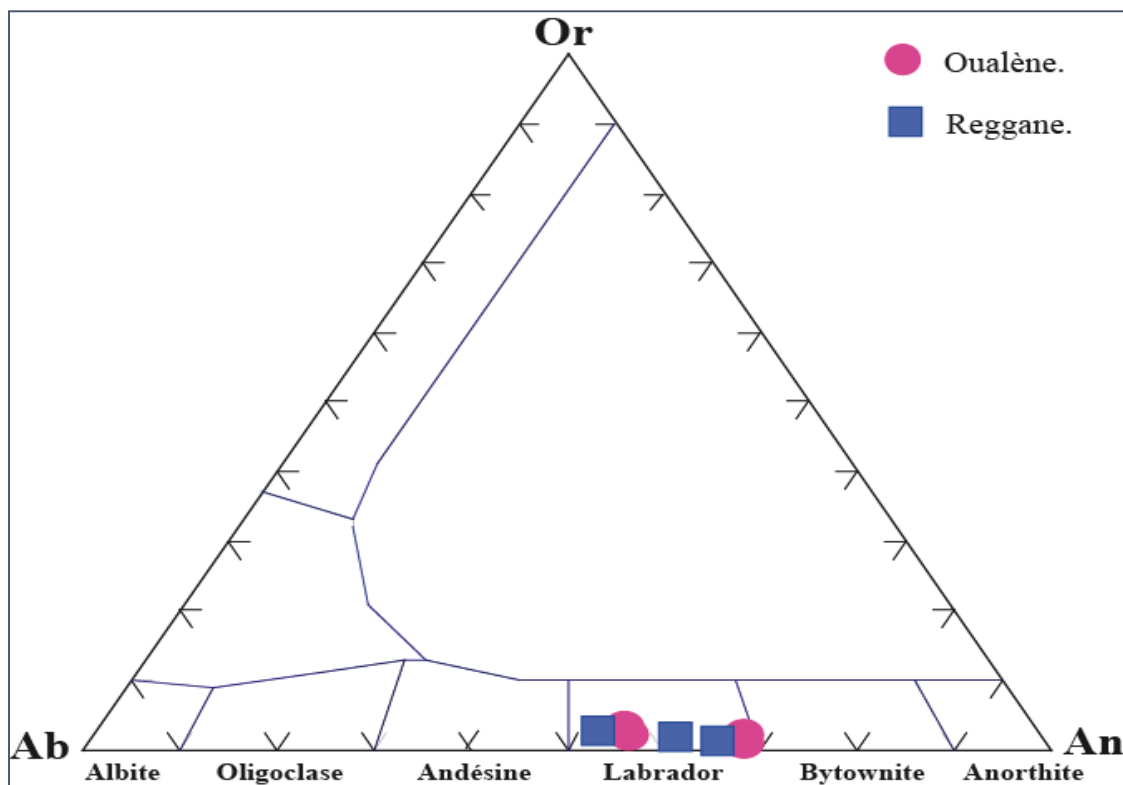
#### **II-3-2-Etude chimique des différentes phases minérales**

##### **- Le plagioclase**

Les analyses et les formules structurales sont consignées dans le tableau II-1. Elles donnent des compositions allant de An<sub>53.81</sub> à An<sub>67.92</sub>. Projetées dans le diagramme triangulaire An-Ab-Or, elles se placent dans le champ du labrador (**Fig. II-1**). Une zonation normale est décelée qui donne une composition de An<sub>68</sub> au cœur à An<sub>55</sub> en bordure.

Echantillon	E02				RG03		
	N° Anal	104c	105c	106b	110b	1c	5b
SiO <sub>2</sub>	51,13	51,56	54,90	53,80	52,01	55,45	52,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,60	30,08	28,01	28,70	29,97	27,81	28,79
FeO	0,77	0,86	0,91	0,87	0,93	0,85	0,94
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,09	0,06	0,05	0,08	0,00	0,09
MnO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
MgO	0,11	0,12	0,06	0,04	0,10	0,07	0,13
CaO	13,85	13,98	11,13	11,56	13,37	10,91	12,36
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	3,51	3,56	5,05	4,95	3,81	5,25	4,37
K <sub>2</sub> O	0,16	0,17	0,35	0,28	0,16	0,32	0,22
<b>Total</b>	99,24	100,44	100,47	100,25	100,44	100,65	99,81
Nb d'Oxy.	8						
Si	2,35	2,35	2,48	2,44	2,36	2,43	2,41
Al	1,61	1,61	1,49	1,53	1,60	1,47	1,55
Fe	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04
Ca	0,68	0,68	0,54	0,56	0,65	0,53	0,60
Na	0,31	0,31	0,44	0,43	0,34	0,46	0,38
K	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01
<b>%An</b>	<b>67,92</b>	<b>67,78</b>	<b>53,81</b>	<b>55,44</b>	<b>65,36</b>	<b>52,50</b>	<b>60,20</b>
<b>%Ab</b>	<b>31,15</b>	<b>31,24</b>	<b>44,18</b>	<b>42,96</b>	<b>33,71</b>	<b>45,67</b>	<b>38,52</b>
<b>%Or</b>	<b>0,93</b>	<b>0,98</b>	<b>2,01</b>	<b>1,60</b>	<b>0,93</b>	<b>1,83</b>	<b>1,28</b>

**Tableau-II-1** : Compositions chimiques et formules structurales des plagioclases des dolérites de la région d'Oualène.



**Figure-II-1** : Position des plagioclases des dolérites d'Oualène dans le diagramme An - Ab – Or. Egalement reportés les plagioclases de Reggane

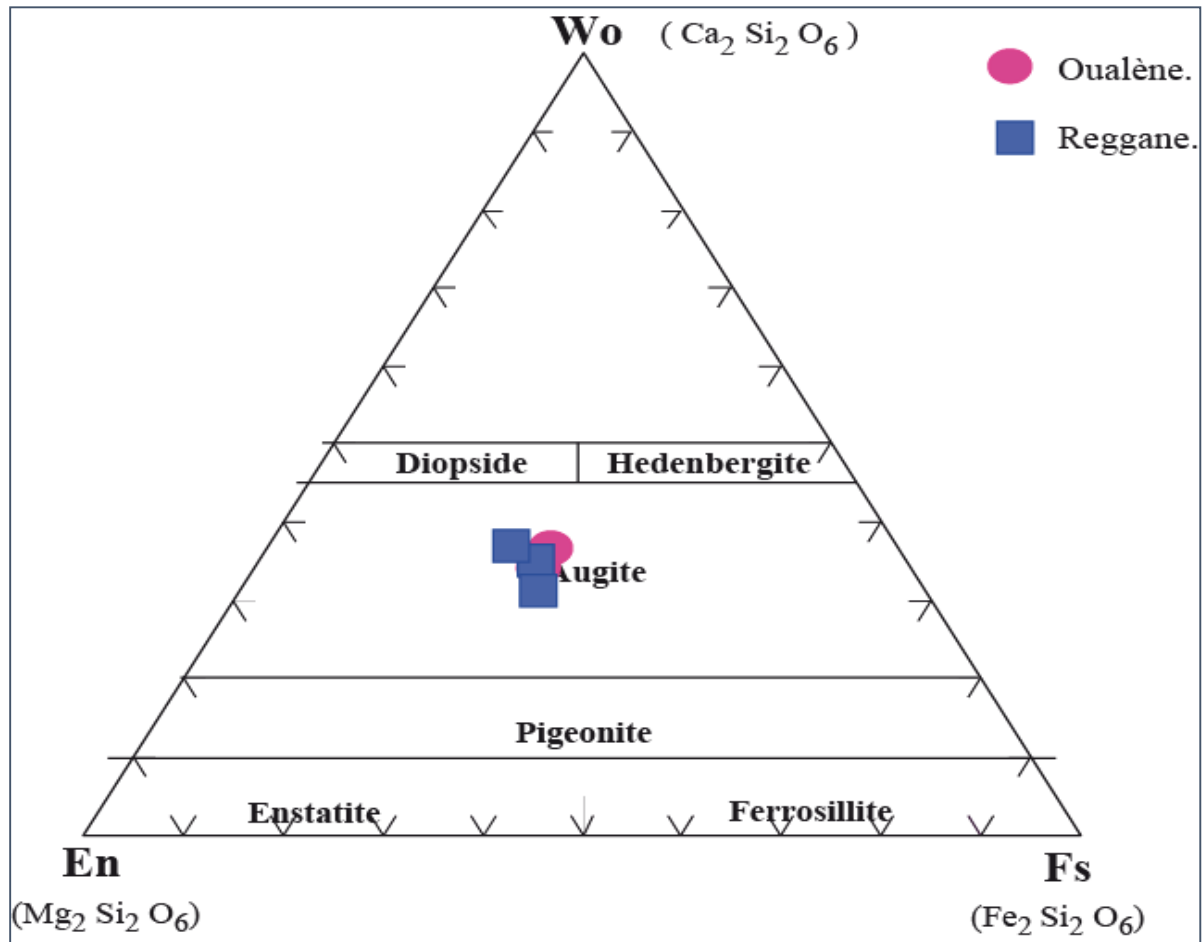
### - Le clinopyroxène

Les analyses et les formules structurales sont reportées dans le **tableau II-2**.

Les quelques analyses réalisées n'ont pu distinguer qu'un Cpx riche en CaO type augite avec des pourcentages allant de (En<sub>36.42</sub>-Fs<sub>27.53</sub>-Wo<sub>36.06</sub>) à (En<sub>37.08</sub>-Fs<sub>27.94</sub>-Wo<sub>34.98</sub>) (**Fig.II-2**). A titre comparatif, dans les dolérites de Reggane, en plus de l'augite, a été détectée de la pigeonite, pyroxène pauvre en CaO.

Echantillon	E02			RG03		
Analyses	103	98	91	2b	14	17
SiO <sub>2</sub>	51,03	50,85	50,57	50,87	51,36	50,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,48	1,56	1,62	1,66	1,40	1,57
TiO <sub>2</sub>	0,81	0,71	0,69	0,69	0,62	0,57
FeO	16,41	16,89	16,95	17,42	18,79	16,14
MnO	0,40	0,30	0,30	0,49	0,45	0,41
MgO	12,86	12,75	12,84	13,60	12,78	13,36
CaO	17,34	17,56	16,85	14,96	15,27	16,38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,17	0,19	0,16	0,19	0,21	0,21
K <sub>2</sub> O	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Total	100,55	100,84	100,02	99,89	100,87	99,67
Nombred'Oxy.	6					
Si	1,93	1,92	1,93	1,94	1,95	1,94
Alt	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07
AlIV	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06
AlVI	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ti	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe <sup>+2</sup>	0,49	0,47	0,49	0,53	0,58	0,49
Fe <sup>+3</sup>	0,03	0,06	0,05	0,02	0,02	0,03
Mn	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Mg	0,73	0,72	0,73	0,77	0,77	0,76
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,70	0,71	0,69	0,61	0,62	0,67
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg #(Mg/Mg+Fe)	0,58	0,57	0,57	0,58	0,55	0,60
%En	<b>37,00</b>	<b>36,42</b>	<b>37,08</b>	<b>39,52</b>	<b>36,99</b>	<b>38,81</b>
%Fs	<b>27,13</b>	<b>27,53</b>	<b>27,74</b>	<b>29,21</b>	<b>31,25</b>	<b>26,98</b>
%Wo	<b>35,87</b>	<b>36,06</b>	<b>34,98</b>	<b>31,26</b>	<b>31,76</b>	<b>34,21</b>

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



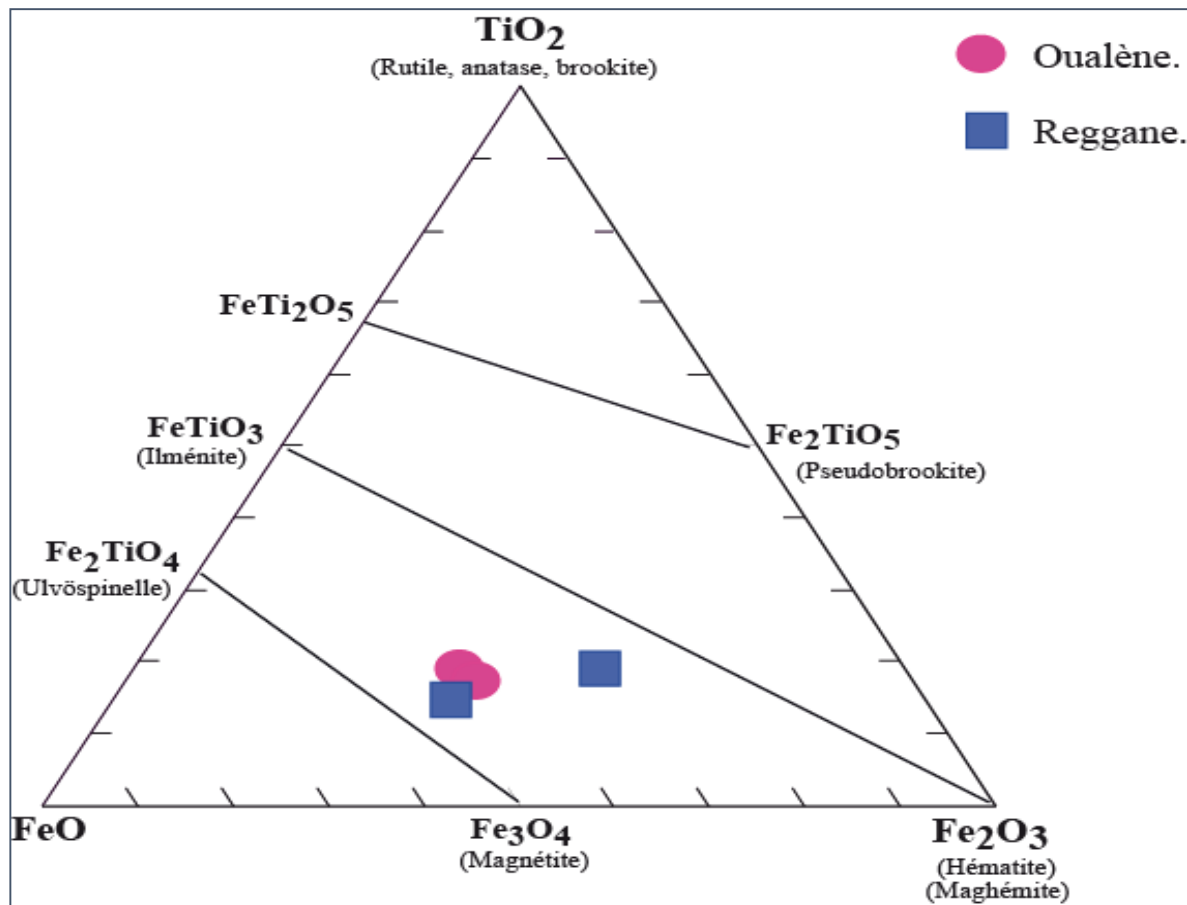
**Figure II-2 :** Position des pyroxènes dans le diagramme de Morimoto (1988).

#### - Les oxydes ferro-titanés

Les analyses chimiques et les formules structurales du **tableau II-3** traduisent des compositions de titanomagnétite au sens large, avec des teneurs élevées en fer total atteignant les 76% et en  $\text{TiO}_2$  (16%). Ces compositions situent le minéral sur la droite Magnétite-Ulvospinelle (**Fig.II-3**). Les teneurs en MgO et MnO sont inférieures à 2%

<b>Echantillon</b>	<b>E02</b>		<b>RG03</b>	
<b>Analyses</b>	<b>102</b>	<b>99</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,75	0,79	2,65	0,08
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,18	1,24	2,86	1,08
<b>TiO<sub>2</sub></b>	14,86	16,07	13,67	19,27
<b>FeO</b>	<b>42,29</b>	<b>44,03</b>	<b>46,80</b>	<b>30,16</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>33,67</b>	<b>32,42</b>	<b>31,64</b>	<b>48,32</b>
<b>MnO</b>	1,51	1,54	0,34	0,44
<b>MgO</b>	0,17	0,22	0,22	0,22
<b>CaO</b>	0,13	0,09	0,03	0,02
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,06	0,05	0,04	0,00
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,04	0,03		
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00		
<b>Total</b>	91,29	93,23	95,41	96,57
<b>Nb d'Oxy.</b>	32			
<b>Si</b>	0,24	0,25	0,79	0,02
<b>Al<sup>t</sup></b>	0,44	0,45	1,01	1,17
<b>Ti</b>	3,54	3,75	3,14	7,59
<b>Cr</b>	0,02	0,01	0,01	0,00
<b>Fe<sup>3+</sup></b>	8,02	7,57	7,12	0,61
<b>Mg</b>	0,80	0,10	0,10	0,08
<b>Fe<sup>2+</sup></b>	11,20	11,42	11,71	15,39
<b>Mn</b>	0,40	0,40	0,09	0,13
<b>Ca</b>	0,04	0,03	0,01	0,01

**Tableau-II-3** : Compositions chimiques et les formules structurales des oxydes ferrotitanés des dolérites d'Oualène



**Figure-II-3** : Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al. (1992).

#### II-4-Affinité géochimique et géotectonique à partir du chimisme du clinopyroxène

L'étude chimique du pyroxène présente un grand intérêt dans la mesure où, même s'il est en relique, il peut préserver la signature géochimique du magma originel (Nisbet et Pearce, 1977 ; Johan, 1980 ; Leterrier et *al.*, 1982)

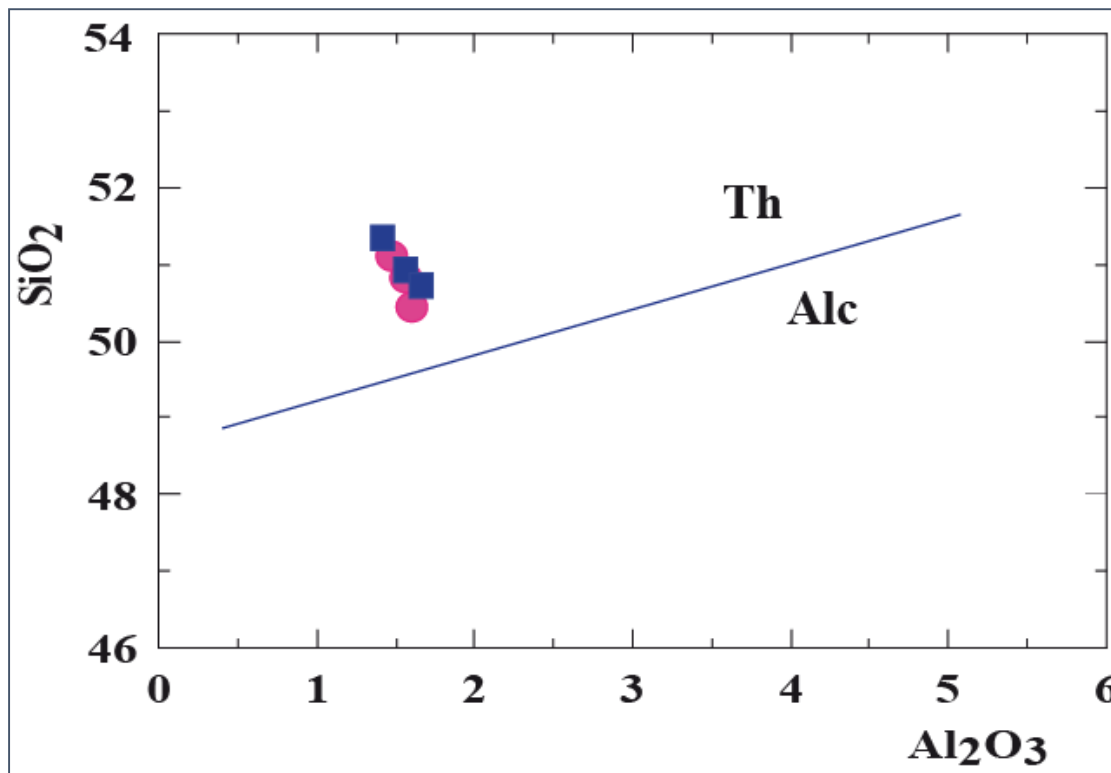
Les travaux de Kushiro (1960) et de Lebas (1962) ont montré la relation entre la composition des clinopyroxènes et la nature du magma à partir duquel ils prennent naissance. Ils ont montré que les teneurs en  $TiO_2$  et  $Al_2O_3$  des clinopyroxènes augmentent depuis les concentrations des magmas tholéïtiques vers celles des magmas alcalins.



Pour Kushiro (1960), les magmas tholéiitiques sursaturés en silice ont des Cpx riches en  $\text{SiO}_2$  et pauvres en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Le clinopyroxène des dolérites d'Oualène montre des teneurs élevées en  $\text{SiO}_2$  ( $\text{Si} > 1.90$ ) et pauvres en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{Al} < 0.1$ ) (**Tableau II-2**), ce qui traduit un caractère sursaturé en silice et tholéiitique du magma (Kushiro, 1960 ; Lebas 1962).

Dans le diagramme de Lebas (1962), les Cpx étudiés se situent dans le domaine des roches tholéiitiques (**Fig. II-4**).



**Figure-II-4** : Position des clinopyroxènes des dolérites d'Oualène dans le diagramme  $\text{SiO}_2$  vs  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de Lebas (1962).

A partir de diagrammes binaires, Leterrier et *al.* (1982) ont proposé des sites géotectoniques.

Ces auteurs proposent les diagrammes  $\text{Ti}+\text{Cr}$  versus  $\text{Ca}$  et  $\text{Ti}$  versus  $\text{Ca}+\text{Na}$  (**Fig. II-5**) où les Cpx des dolérites d'Oualène tombent dans le champ des séries non orogéniques et le champ des basaltes tholéiitiques et calco-alcalins.

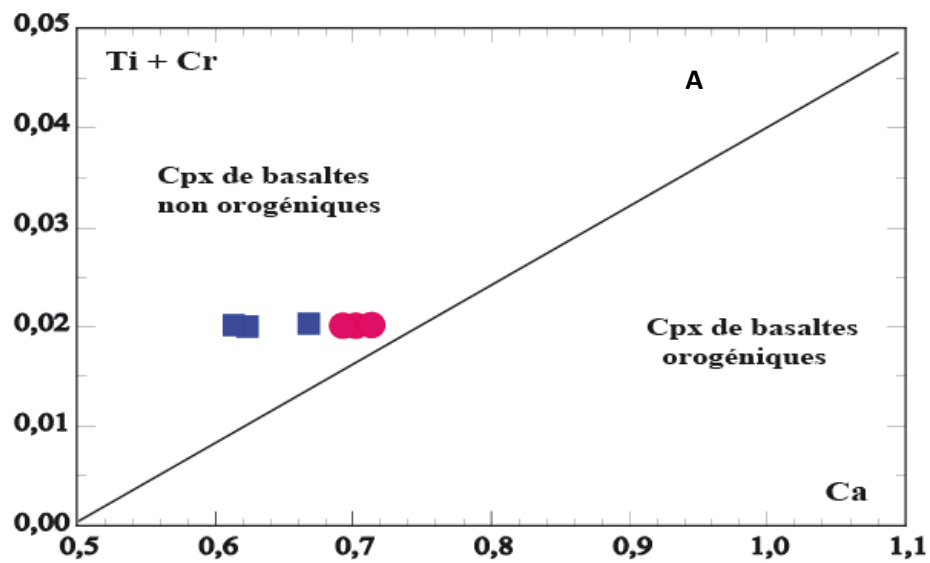
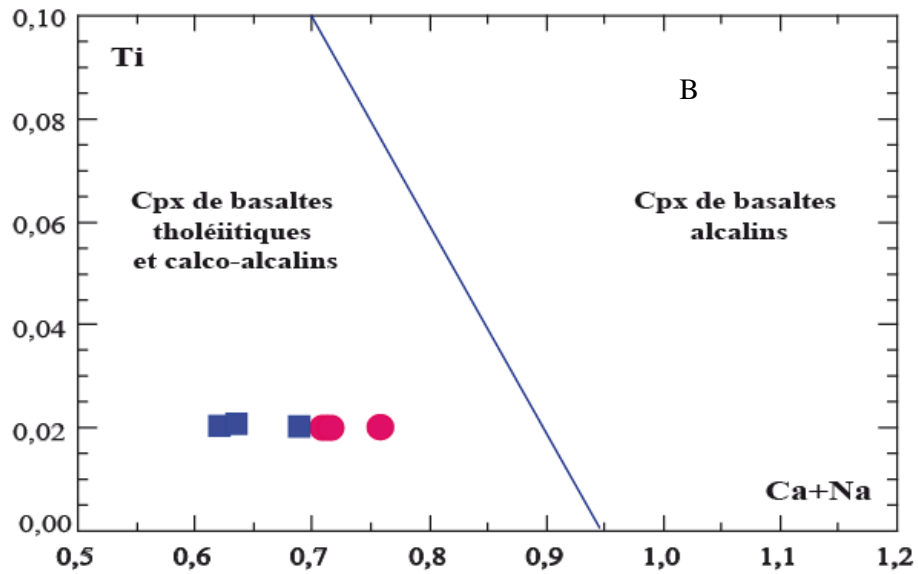


Figure II-5 A et B : Position des Cpx des dolérites d'Oualène dans les diagrammes de Leterrier et al. (1982).

De plus, la composition chimique du Cpx permet de proposer des conditions thermodynamiques de cristallisation pour ces roches hypovolcaniques :

-Les teneurs élevées en  $\text{SiO}_2$  et pauvres en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de ce minéral traduisent un caractère sursaturé en silice du magma à l'origine de ces dolérites,

- Les faibles teneurs en  $\text{Al}^{\text{IV}}$  et Ti du Cpx semblent traduire un magma relativement riche en eau et des températures modérées (Green, 1972 ; Heltz, 1973).

- Les rapports  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}} > 1$  supposent des pressions inférieures à 10 kb (Green, 1972), donc une profondeur du magma ne dépassant pas les 35 km.

Ce réseau filonien d'Oualène rejoint bien, au niveau de ses caractéristiques pétrologiques et géochimiques ceux qui se retrouvent à l'Ouest de la suture panafricaine, à savoir Kahel Tabelbala, Zerigat et Reggane. Il semble que Reggane rappelle le plus Oualène, surtout par sa proximité.

# CHAPITRE III

*LES CARACTERISTIQUES GEOCHIMIQUES*

### III-1- Introduction

Cette étude sur les dolérites d'Oualène pourrait apporter les premières informations géochimiques. Elle va permettre de :

- Préciser le comportement des éléments majeurs et en traces dans ces filoniennes,
- Caractériser leur affinité géochimique et leur contexte géotectonique de mise en place et éventuellement une source dans la genèse du magma à l'origine de ces dolérites.

Les analyses chimiques de roches totales mises à notre disposition par Mekkaoui (majeurs et traces) et Remaci (Terres rares) sont inédites et vont être dépouillées pour la première fois dans ce travail.

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

### III-2- Classification et caractérisation géochimique

Il est à rappeler que la caractérisation géochimique des roches magmatiques peut connaître des problèmes en raison des altérations métamorphiques et hydrothermales qu'elles peuvent subir (chloritisation, séricitisation, 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.

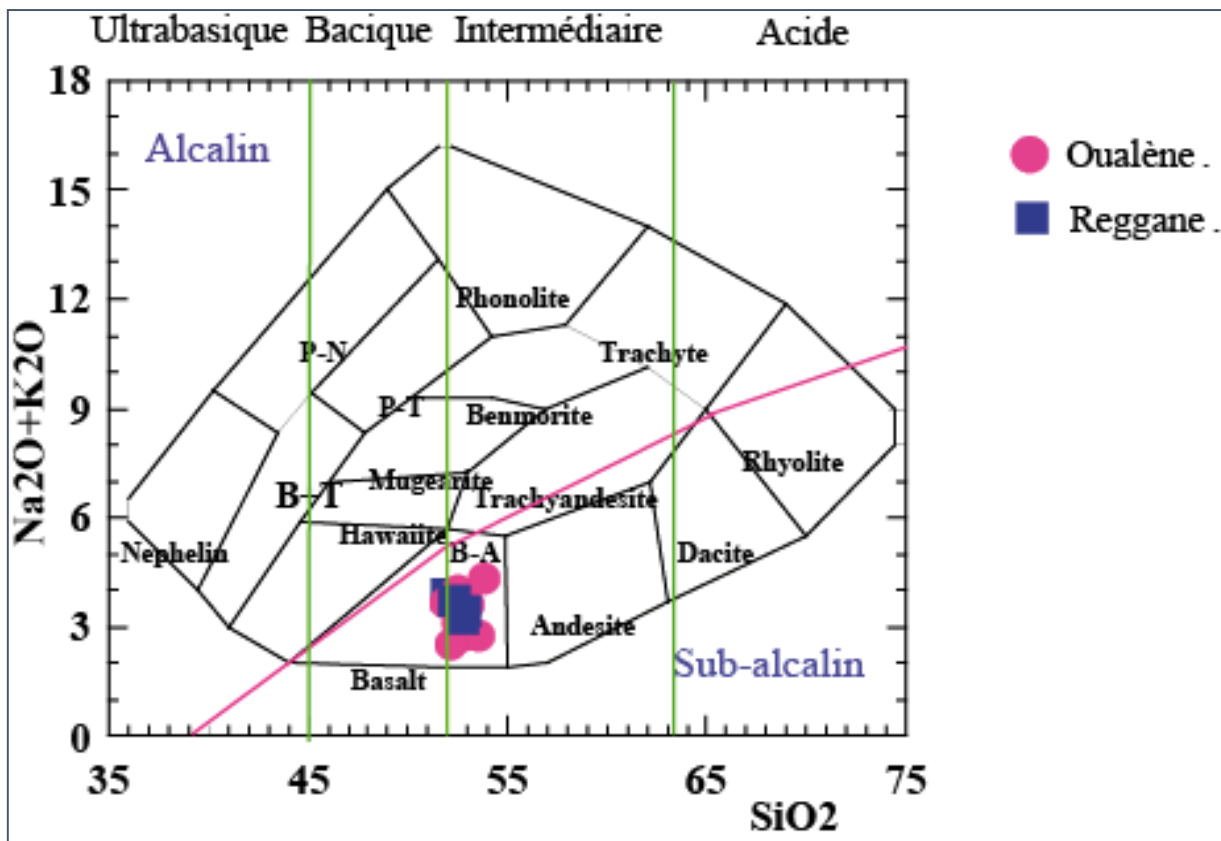
Dans le cas des dolérites d'Oualène, la perte au feu est faible ne dépassant pas 1%, ce qui traduit un état de fraîcheur de ces roches.

Nous avons utilisé la classification chimique proposée par Cox et al. (1979), elle est basée sur les teneurs en alcalins et en silice des roches (TAS). Placées dans ce diagramme (**Fig.III-1**), les roches filoniennes d'Oualène ont une composition basique à intermédiaire ( $51.74 < \text{SiO}_2 < 53.79$ ) et se répartissent entre les champs des basaltes et des andésito-basaltes, tout comme les roches de Reggane.

Dans ce même diagramme, est reportée la courbe de Miyashiro (1978) séparant les séries alcalines des séries subalcalines. Les roches étudiées confirment leur affinité subalcaline.

ECH.	E04	E012	E014	E015	E016	E0-11	E013	E017	E018	E019	RG01	RG02	RG04	RG03
<b>SiO<sub>2</sub></b>	52.5	52.52	51.74	52.39	52.52	52.16	52.91	52.83	53.04	53.79	53.42	53.13	53.13	53.55
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	15.12	15.33	15.7	14.62	14.94	15.26	15.52	14.45	14.41	14.35	13.63	13.91	13.77	19.59
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9.53	8.97	8.71	9.37	9.59	9.26	8.92	10.43	10.73	10.05	12.39	11.76	12.41	12.59
<b>MnO</b>	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.17	0.15	0.20	0.19	0.17	0.17	0.2
<b>MgO</b>	7.02	7.32	7,00	7.26	6.97	7.52	7.13	6.97	6.19	6.36	5.46	6.07	5.56	5.76
<b>CaO</b>	11.04	11.63	11.31	11.08	10.98	10.91	11.36	10.15	9.95	9.75	9.69	8.87	9.33	9.24
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	2.03	1.97	2.03	2.02	2.01	1.97	2.09	2.09	2.45	2.25	2.39	2.79	2.48	2.35
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0.65	0.63	0.62	0.67	0.67	1.47	0.66	0.75	0.80	0.91	0.84	0.84	1.11	0.9
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.98	0.84	0.91	0.93	0.96	0.85	0.89	1.09	1.21	1.21	1.29	1.3	1.29	1.32
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.11	0.12	0.14	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15
<b>PF</b>	0.34	0.11	0.81	0.43	0.58	0.29	0.31	0.66	0.63	0.27	0.92	1.04	0.78	0.83
<b>Total</b>	99.48	99.31	99.09	99.04	99.5	99.95	100.1	97.89	99.72	99.3	100.0	101.0	99.9	106.4
<b>Mg #</b>	63	62	59	54	55	60	62	63	62	61	48	52	48	49
<b>Q</b>	6,17	5,54	5,22	6,02	6,48	3,00	5,73	7,11	8,28	8,41	6,32	4,28	6,36	4,86
<b>Or</b>	3,84	3,72	3,66	3,96	3,96	8,69	3,90	4,43	4,73	5,38	5,05	5,07	5,4	6,68
<b>Ab</b>	17,18	16,67	17,18	17,10	17,01	16,50	17,68	17,68	20,73	19,04	20,53	24,07	20,15	21,32
<b>An</b>	30,44	31,13	31,90	28,85	29,76	28,54	31,02	27,83	25,96	26,37	24,34	23,39	24,19	23,52
<b>Di</b>	18,97	20,78	18,89	20,40	19,29	19,90	19,80	17,35	12,56	16,94	19,55	16,96	17,74	18,79
<b>Hy</b>	15,66	15,20	15,04	15,52	15,47	16,45	15,15	16,97	17,36	15,15	18,88	20,98	20,73	19,52
<b>Ol</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Mt</b>	4,15	3,86	3,78	4,07	4,18	4,03	3,89	4,54	4,67	4,38	2,49	2,37	2,52	2,49
<b>He</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Il</b>	1,86	1,60	1,73	1,77	1,28	1,61	1,70	2,07	2,30	2,30	2,49	2,52	2,55	2,49
<b>Ap</b>	0,28	0,25	0,25	0,28	0,28	0,30	0,25	0,37	0,37	0,37	0,36	0,36	0,33	0,33
<b>Total</b>	98,55	98,84	97,66	97,95	98,24	98,99	99,12	98,36	98,34	98,33	100,0	100	99,99	100

**Tableau-III-1** : Compositions chimiques des roches totales et normes CIPW d'Oualène et de Reggane



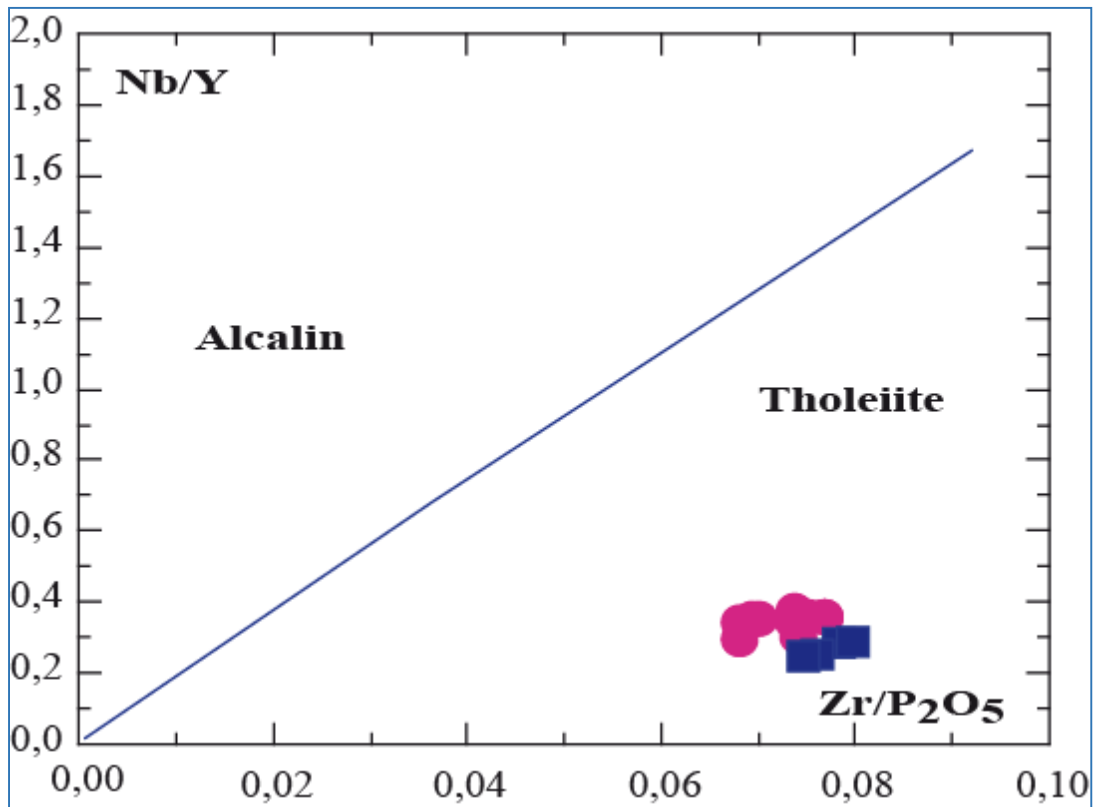
**Figure-III-1** : Position des dolérites dans le diagramme de nomenclature de Cox et al. (1979). Le trend (rose), défini par Miyashiro (1978), sépare le domaine alcalin du domaine

Par ailleurs, la projection des analyses représentatives dans le diagramme Nb/Y versus Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de Winchester et Floyd (1977) (Fig.III-2) montre le caractère tholéiitique de ces roches.

	E04	E012	E014	E015	E016	E011	E013	E017	E018	E019	RG01	RG02	RG04	RG03
<b>Y</b>	20,20	19,00	20,70	21,00	21,90	19,9	20,50	24,90	26,60	25,90	28,60	26,30	28,50	28,20
<b>Sr</b>	205,60	200,80	216,40	202,60	211,20	230,90	202,90	206,10	210,20	209,90	192,00	191,00	227,00	191,20
<b>Rb</b>	21,20	19,10	18,50	20,20	19,50	27,30	21,70	25,30	27,00	30,90	28,10	25,60	29,80	28,80
<b>Zr</b>	85,70	81,00	83,70	89,10	90,70	86,70	90,20	106,70	118,20	114,80	118,30	120,20	114,20	119,00
<b>Nb</b>	6,60	6,70	6,30	6,30	6,90	7,40	7,50	8,70	10,10	8,80	7,20	7,60	7,20	7,80
<b>Ga</b>	17,40	16,60	17,60	17,20	16,70	16,60	17,20	17,90	19,50	18,20	18,50	17,90	18,90	18,80
<b>Pb</b>	0,00	4,30	1,60	6,10	4,20	8,00	6,70	6,40	7,40	8,80	9,30	6,50	7,90	8,20
<b>Cu</b>	86,70	77,30	87,00	83,90	95,70	84,40	80,20	102,80	120,40	127,60	137,90	133,30	158,80	143,30
<b>Ni</b>	70,70	75,90	79,30	77,10	74,30	83,50	80,80	71,90	65,70	59,90	45,40	48,00	43,80	44,90
<b>Co</b>	39,80	38,50	39,20	39,30	41,60	39,70	37,90	40,40	42,00	43,10	43,20	41,60	42,90	41,90
<b>Cr</b>	378,40	482,30	408,50	404,60	299,20	484,70	447,30	395,60	206,90	193,40	22,90	32,60	23,10	21,30
<b>V</b>	235,30	214,30	217,30	229,60	234,40	215,70	212,70	230,10	251,00	227,50	304,00	300,00	265,80	301,60
<b>Ba</b>	177,80	170,50	161,80	193,50	191,20	198,70	184,00	225,40	209,10	315,30	214,30	189,90	225,30	285,20
<b>Sc</b>	34,10	35,10	41,20	38,00	34,60	34,20	31,80	38,40	36,40	28,20	36,20	34,70	30,00	31,50

**Tableau-III-2** : Compositions chimiques des éléments traces des dolérites d'Oualène et Reggane



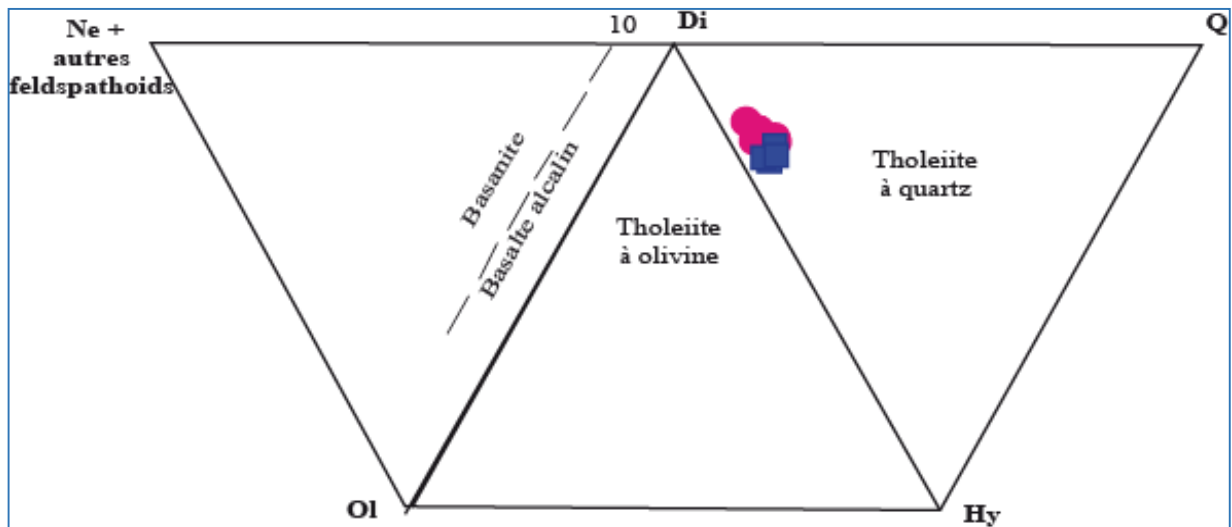


**Figure-III-2** : Diagramme Nb/Y versus Zr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de Winchester et Floyd (1977)

Le calcul de la norme CIPW (**tableau III-1**) montre la sursaturation en SiO<sub>2</sub> des dolérites d'Oualène qui se traduit par la présence de :

- Quartz normatif compris entre 3.00 et 8.41%,
- Hypersthène normatif avec des pourcentages assez importants, atteignant les 17%,
- Diopside normatif entre 12.56 et 19.90%.

Projetées dans le diagramme de Thompson (1984) (**Fig. III-3**), les roches étudiées traduisent des compositions de tholéïtes à quartz, tout comme celles de Reggane. Un magma sursaturé en silice serait à l'origine des dolérites d'Oualène.



**Figure-III-3** : Position des roches dans le diagramme normatif de Thompson (1984).

### III-3- Comportement des éléments majeurs et traces

Les roches filoniennes d'Oualène, dont la paragenèse primaire est dominée par le plagioclase, le clinopyroxène et les opaques, sont de composition basique à intermédiaire ( $\text{SiO}_2$  compris entre 51.74 et 53.79%) avec des teneurs faibles à modérées en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (8.71-10.73%),  $\text{TiO}_2$  (0.84-1.21%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.11-0.16%), Zr (81-118.20ppm), Y (19-26.60 ppm) et Nb (6.30-10.10 ppm). Ces caractères géochimiques rappellent les caractéristiques des LPT tholéiites (low  $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{TiO}_2$  tholéiites) (Cox, 1983; Fodor, 1987 ; Bellieni et al., 1990) tout comme les roches de Zérigat (Abadla), celles de Kahel Tabelbala (Ougarta) et de Reggane (Azzouz et Ould Slimane, 2013 ; t Mekkaoui et Remaci-Bénaouda 2014 ; Mekkaoui, 2015 ; Nadri et Teggat, 2016, Séda, 2017).

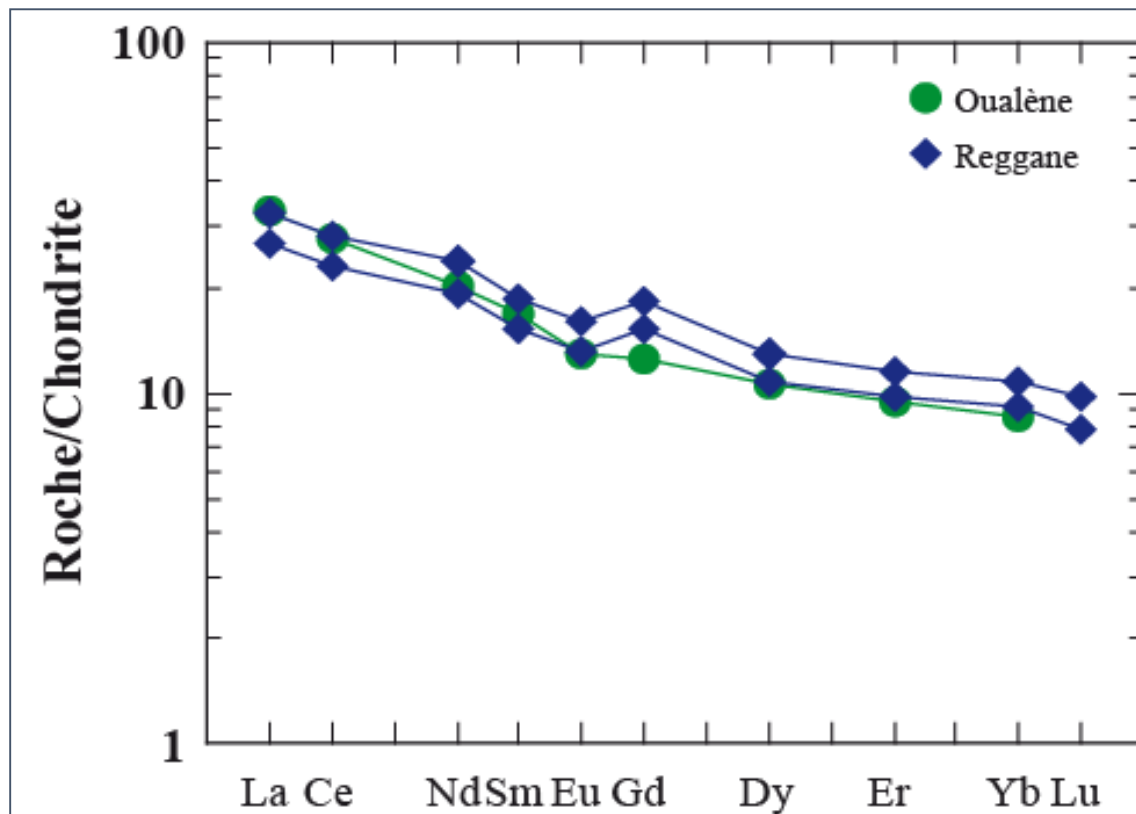
Par ailleurs, les dolérites d'Oualène montrent des rapports  $\text{Mg}\#$  ( $100 \text{ Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$ ) allant de 55 à 63 et des teneurs en  $\text{MgO}$  (6.19-7.32%), Ni (59.90-83.50ppm) et Cr (193.40-378.40ppm) sont également faibles traduisant un magma qui a subi un début de cristallisation fractionnée (basalte évolué), car ces valeurs s'éloignent des valeurs élevées de magma primitif (8 %  $\text{MgO}$  < 12% ) et  $\text{Mg}\#$  proche de 70.

Pour ce qui est des lanthanides (**tableau III-3**), elles sont normalisées aux chondrites de Nakamura (1974) et présentent les spectres suivants (**Fig.III-4**) :

- Un enrichissement en terres rares légères (LREE) (~35 fois les chondrites) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) (~9 fois les chondrites),
- Une légère anomalie négative en Eu traduisant la cristallisation précoce du plagioclase que nous pouvons voir en pétrographie,
- Un fractionnement très modéré des spectres ((La/Yb<sub>N</sub> ~ 4) ; de ce fait, la source pourrait être un manteau à spinelle à l'origine des dolérites d'Oualène.

<b>Eléments</b>	<b>E013</b>	<b>S37a*</b>	<b>Rg2*</b>
<b>Ce</b>	23.84	19.82	24.30
<b>Dy</b>	3.61	0.53	0.64
<b>Er</b>	2.12	0.68	0.81
<b>Eu</b>	0.99	1.01	1.23
<b>Gd</b>	3.47	4.23	5.02
<b>La</b>	10.89	8.75	10.73
<b>Nd</b>	12.66	12,00	14.95
<b>Sm</b>	3.44	3.08	3.76
<b>Tb</b>	0.56		
<b>Tm</b>	0.33		
<b>Yb</b>	1.87	2.19	2.59

**Tableau-III-3** : Teneurs en ppm des Terres Rares des roches d'Oualène et de Reggane. \* Chabou et al. (2010).

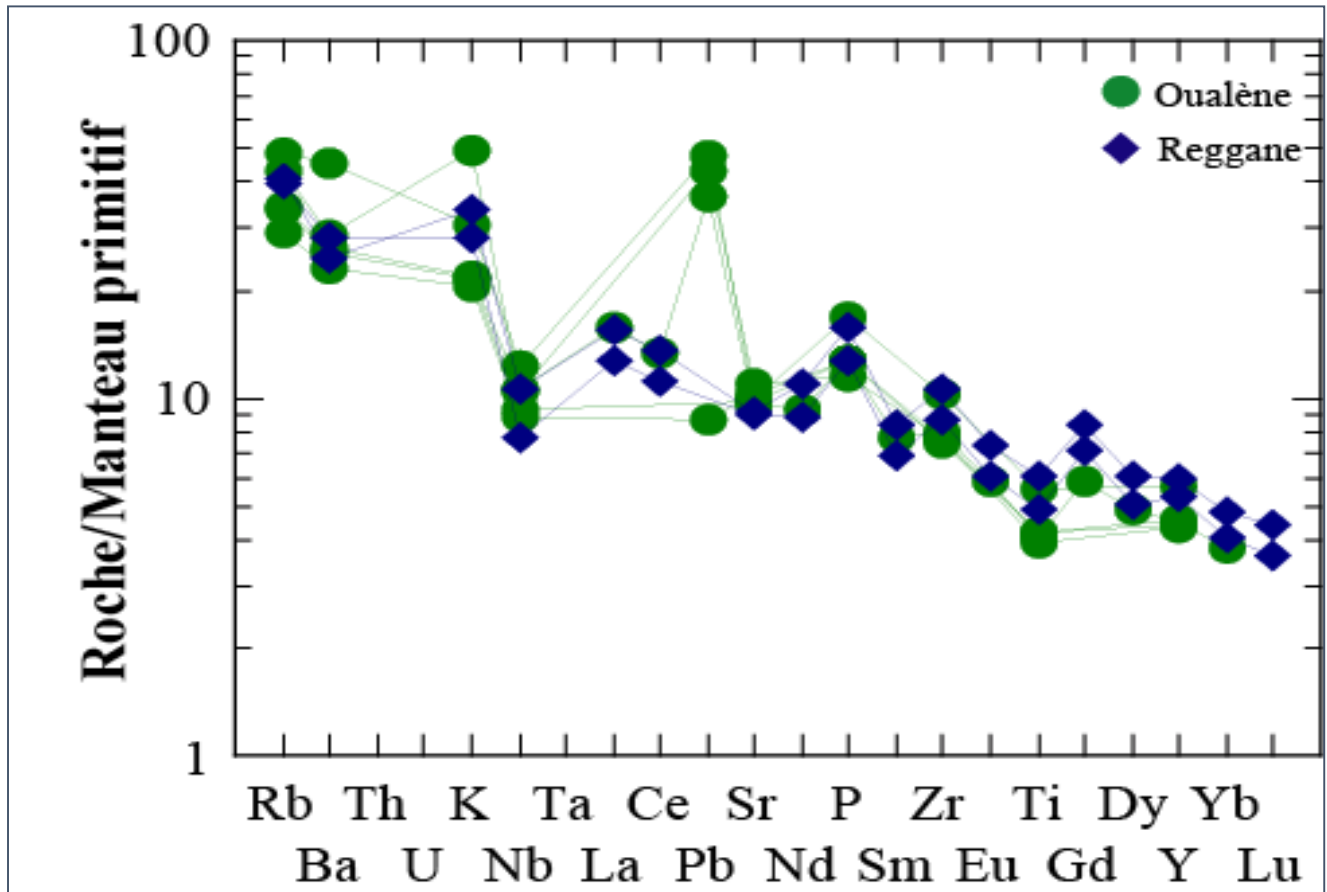


**Figure-III-4** : Spectres de terres rares des roches d'Oualène et de Reggane (Normalisation par rapport aux chondrites de Nakamura, 1974).

Tout comme pour les dolérites de Reggane, dans le cas d'Oualène, les diagrammes multi-élémentaires (ou spidergrams) normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995) (**Fig.III-5**) montrent :

- Un enrichissement en LILE (jusqu'à 50 fois le manteau primitif), par rapport aux HFSE (7 à 15 fois le manteau primitif),
- Une anomalie négative en Nb bien accentuée traduisant le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches,
- De légères anomalies négatives en Sr et Eu qui confirment la cristallisation précoce du plagioclase,
- Une anomalie négative en Ti reflétant le fractionnement des opaques,
- Une anomalie positive en P traduisant normalement l'accumulation de l'apatite.

- Une anomalie positive en Pb confirmant la participation des matériaux crustaux,

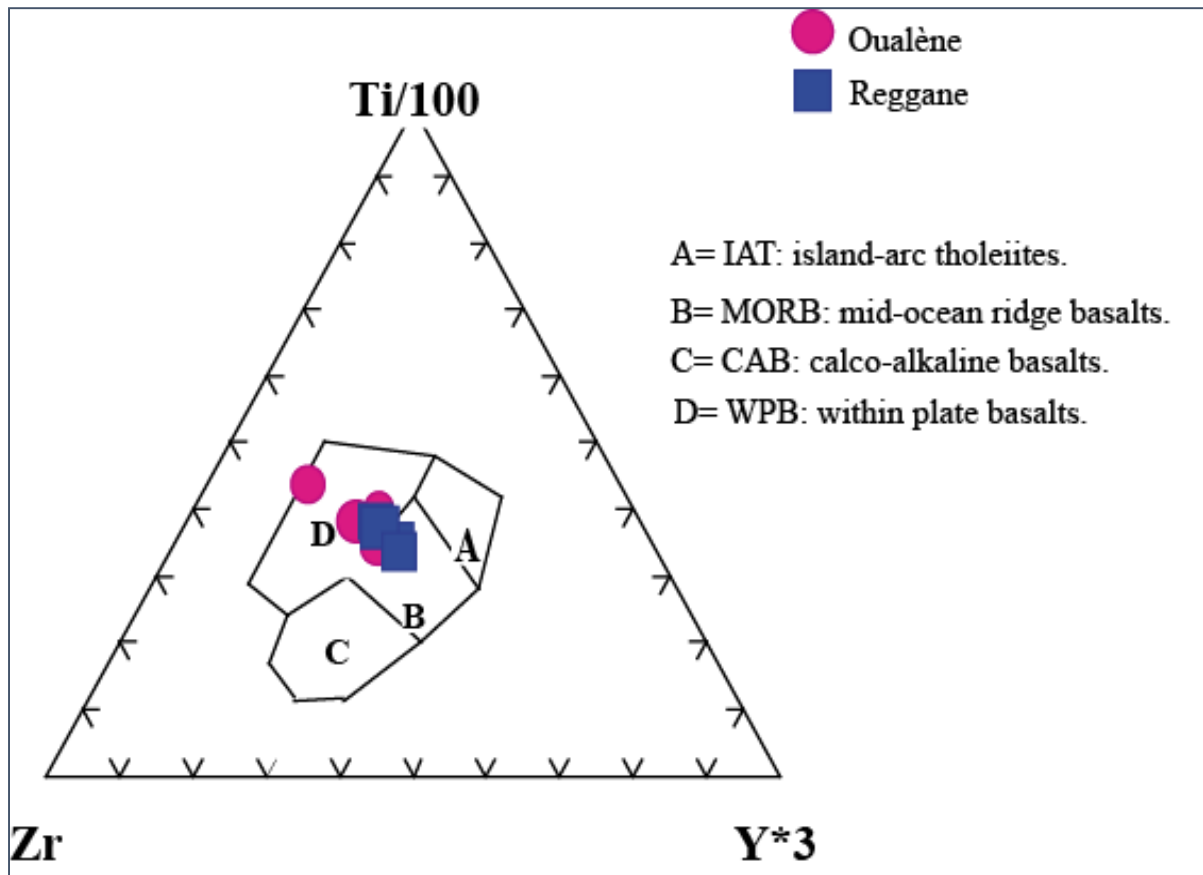


**Figure-III-5 :** Spectres multi-élémentaires des roches d'Oualène, normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995).

#### III-4. Le contexte géodynamique

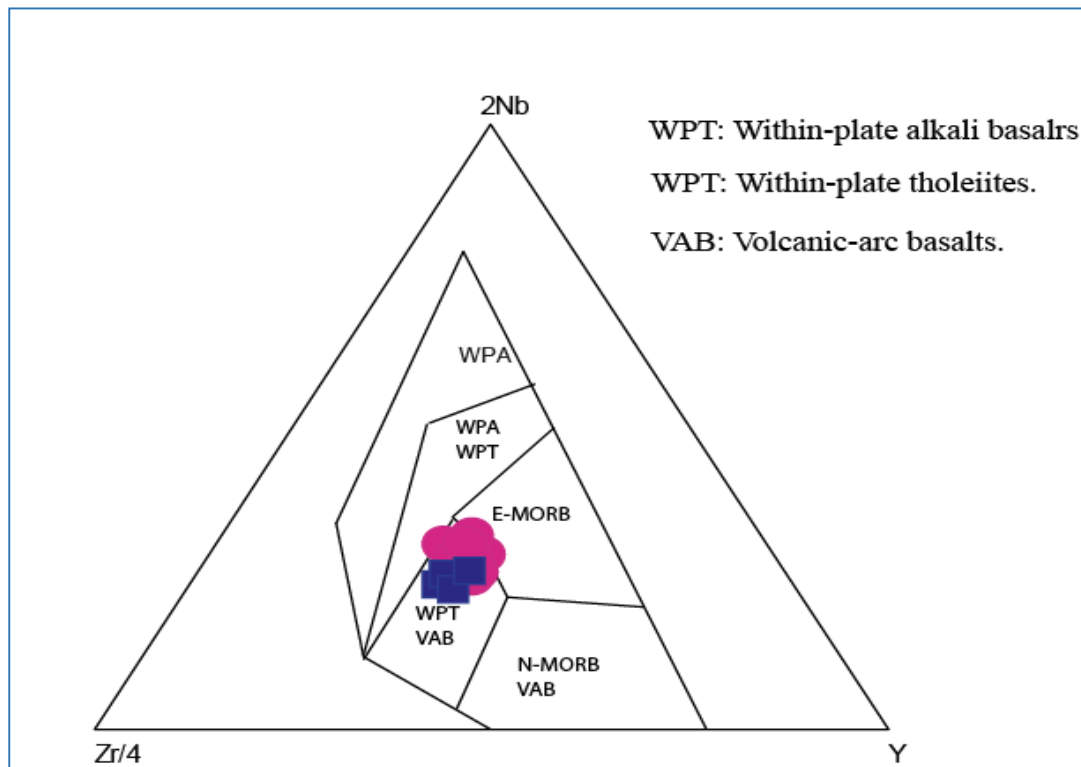
Dans les dolérites d'Oualène, l'étude chimique des Cpx, puis celle des éléments majeurs et traces ont montré leurs caractéristiques de tholéiites continentales avec de grandes similitudes avec les LPT tholéiites décrites dans le monde.

Dans le diagramme triangulaire Ti/100-Zr-Y\*3 de Pearce et Cann (1973) les points représentatifs des échantillons analysés se placent dans le domaine des basaltes intraplaques (Fig.III-6).



**Figure-III-6 :** Position des dolérites d’Oualène dans le diagramme géotectonique de Pearce et Cann (1973).

Dans le diagramme triangulaire  $2\text{Nb-Zr}/4\text{-Y}$  de Meschede (1986), utilisé également pour la discrimination des contextes géodynamiques, les dolérites d’Oualène s’inscrivent dans le domaine des basaltes intraplaques et des basaltes des arcs volcaniques (**Fig.III-7**). Etant des tholéiites avec un environnement continental, le magma à l’origine des dolérites d’Oualène, tout comme celles de Reggane, auraient pris naissance dans un contexte intraplaque.



**Figure-III-7 :** Position des dolérites d'Oualène dans le diagramme discriminant de Meschede (1986).

## CONCLUSION GENERALE

---

### - Conclusion

A travers l'exemple des dolérites d'Oualène, nous avons contribué à la connaissance du magmatisme de cette région. Cette dernière a connu un intérêt certain suite aux travaux effectués liés à la récolte de quelques grains de diamant à Bled El Mass, Reggane.

L'intérêt de l'étude de ce magmatisme de la région d'Oualène est de le relier aux tholéiites continentales datés à la limite Trias-Lias et de pouvoir le rattacher à la grande province magmatique de l'Atlantique Central (CAMP). Grâce à des datations radiométriques réalisées sur des dykes et sills doléritiques (Hank, Fersiga, Kahel Tabelbala, Zerigat, Ksi-Ksou, Reggane...), nous avons pu confirmer que la CAMP s'étend à l'intérieur de la plaque africaine et que sa limite orientale coïncide avec la suture panafricaine.

Par ce présent travail, nous avons donc présenté les premières données pétrologiques et géochimiques d'Oualène.

Cette étude a débuté par une étude géologique en rappelant tous les caractères lithostratigraphiques et structuraux de la région d'Oualène.

Ces dolérites, de mauvaise qualité en affleurements, ont pu être étudiées à partir de sondages carottés. Nous les retrouvons en sills, épais de plus de 10 m et encaissés dans les argiles dévono-carbonifères. Il montre des variations texturales avec un passage progressif (zonation normale) d'une dolérite à grains grossiers, puis à dolérite à grains moyens et enfin dolérite à grains fins.

L'étude microscopique révèle la texture doléritique, à savoir une texture intergranulaire, subophitique qui se caractérise par l'agencement de lattes de plagioclase laissant des espaces interstitiels comblés essentiellement par des cristaux de pyroxène. La paragenèse magmatique primaire comprend essentiellement du plagioclase, du clinopyroxène et des oxydes ferro-titanés. La présence de plages interstitielles granophyriques faites de la syn-cristallisation de quartz et de feldspath potassique termine la séquence de cristallisation.

L'étude chimique des phases minérales a permis de déterminer leur composition et d'appréhender une caractérisation géochimique et géodynamique :

- ✓ Un plagioclase légèrement zoné, de type labrador,
- ✓ Un clinopyroxène riche en CaO de type augite,

Des oxydes ferro-titanés, type titanomagnétite, faisant partie de la paragenèse primaire mais tardive par rapport au plagioclase et au pyroxène. La paragenèse magmatique primaire



## CONCLUSION GENERALE

---

ainsi que la composition chimique des phases minérales rappelle énormément celle des dolérites de Reggane.

De plus, le minéral clinopyroxène joue un rôle important. Dans le cas des roches d'Oualène, il traduit un caractère sursaturé en silice du magma à l'origine de ces dolérites et un contexte non orogénique et tholéitique. Ce minéral a permis également d'appréhender les conditions thermodynamiques pour ces roches hypovolcaniques :

- ✓ Un caractère sursaturé en silice du magma à l'origine de ces roches,
- ✓ Des teneurs en H<sub>2</sub>O non négligeables dans le magma,
- ✓ Des températures relativement faibles,
- ✓ Des pressions relativement modérées, inférieures à 10 kb, ce qui traduirait une profondeur maximale du magma ne dépassant pas les 35 km.

L'étude géochimique des dolérites d'Oualène révèle les caractères suivants :

- ✓ Des compositions basiques à intermédiaires allant des basaltes à des andésito-basaltes, avec une affinité tholéitique. Leurs compositions rappellent les caractéristiques des LPT tholéites (low P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub> tholéites),
  - ✓ Des compositions de tholéites à quartz confirmant un magma sursaturé en silice,
  - ✓ Des caractères de basaltes plutôt évolués avec des teneurs faibles en MgO, en Ni et en Cr, ce qui traduirait un magma ayant subi un début de cristallisation fractionnée,
  - ✓ Un enrichissement en terres rares légères (LREE) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) avec une légère anomalie négative en Eu traduisant la cristallisation précoce du plagioclase. Le fractionnement très modéré des spectres ((La/Yb<sub>N</sub>~ 4) pourrait traduire une source mantellique à spinelle à l'origine des dolérites d'Oualène,
  - ✓ Un enrichissement en LILE (~50 fois le manteau primitif), en LREE (~10 fois) et appauvrissement en HFSE,
  - ✓ Une anomalie négative en Nb bien accentuée traduisant le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches,
  - ✓ Une anomalie positive en Pb confirmant la participation des matériaux crustaux,
  - ✓ Des anomalies négatives en Sr et Eu confirmant le fractionnement du plagioclase,
  - ✓ Une anomalie positive en Ti reflétant la cristallisation tardive des oxydes ferro-titanés.

## CONCLUSION GENERALE

---

✓ Etant des tholéïtes avec un environnement continental, le magma à l'origine des dolérites d'Oualène, tout comme celles de Reggane, auraient pris naissance dans un contexte intraplaque.

Bien que n'ayant aucune datation radiométrique sur la région d'Oualène, les caractéristiques pétrologiques et géochimiques de ce présent travail rejoignent celles du réseau filonien de Kahel Tabelbala, Zerigat et surtout Reggane par sa proximité. Ces régions, coïncident avec la suture panafricaine et sont situées à l'Est du craton Ouest africain.

L'analyse géochronologique, par la méthode  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , des dolérites de Reggane fournit des âges convenables compris entre 197 Ma et 195 Ma et permet de les rattacher à la période Mésozoïque, à la fin du Trias-début Jurassique, tout comme l'analyse géochronologique, par la méthode  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  qui donne un âge de 208 Ma pour le complexe de Zérigat (Abadla).

En attendant des propositions de datations analogues pour la région d'Oualène, tout comme pour les régions sus-citées, nous proposons donc un âge mésozoïque à la fin du Trias-début Jurassique et des dolérites appartenant bien à la Province Magmatique de l'Atlantique Central (CAMP).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

### - Références bibliographiques

**Azzouz S. et Ould-Slimane L. (2013).** Contribution à l'étude pétrologique et géochimique du magmatisme basique de Zérigat (région d'Abadla, Sud-Ouest Algérien). Mémoire de Master. Université d'Oran 2, Oran.

**Ben karroum A. (2010):** Hydrogéologie de la nappe du continental intercalaire de la région d'In Salah .mémoire d'ingénieur Université d'Oran Es Sénia p .34.

**Bertrand H., 1987 -** Le magmatisme tholeitique continental de la marge Ibérique, précurseur de l'ouverture de l'Atlantique central: Les dolerites du dyke de Messejana-Plasencia (Portugal- Espagne): C.R. Acad. Sci. Paris 304, 215-220.

**Bertrand, H., (1991).** The Mesozoic tholeiitic province of northwest Africa: a volcanotectonic record of the early opening of Central Atlantic. In: Kampuzu, A. B., Lubala, R. T. (Eds.) Magmatism in Extensional Structural Setting. The Phanerozoic African Plate. Springer, Berlin, 147–188.

**Beuf S. Biji-Duval B. Rogonon R. Bennacef A. (1971).** Les grés du paléozoïque inférieur au Sahara. Sédimentation et discontinuité : évolution structurale d'un craton. Institut Français du pétrole. Collection Sciences Techniques pétrole 18, p, 464.

**Bleeker, W. & Ernst, R. (2006)** Short-lived mantle generated magmatic events and their dyke swarms: The key unlocking Earth's paleogeographic record back to 2.6 Ga. In: Dyke Swarms-Time Markers of Crustal Evolution, edited by E. Hanski, S. Mertanen, T. Rämö & J. Vuollo, Taylor & Francis/Balkema, the Netherlands, pp. 3-26.

**Brahim M., (2010).** Contribution à l'étude pétrographique et minéralogique des dolérites de HassiTaïbine (Région de Reggane), Université d'Oran 2 (Mémoire).

**Caby R., Mousine-Pouchkine A., et Aït Kaci A., 2010 –** Les séries volcano-sédimentaires orogéniques néoprotérozoïques de la basse Saoura (Algérie) : Signification géodynamique dans la chaîne panafricaine.

**J. Conrad,** Les séries carbonifères du Sahara central algérien : stratigraphie, sédimentation, et évolution structurale, Thèse de Doctorat ès sciences, Université d'Aix Marseille, 1984, 178 p.

**Chabou M. C., Bertrand H. et Sebaï A., (2010).** Geochemistry of the Central Atlantic Magmatic Province (CAMP) in south-western Algeria, Journal of African Earth Sciences, Journal of African Earth Sciences 58 211–219.

**Chabou M. C., Sebaï A., Feraud G. Et Bertrand H. (2007).** Datation  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de la province magmatique de l'Atlantique central dans le Sud-Ouest algérien. C.R. Geoscience 339 (2007) 970–978.

**Conrad J. (1972).** Distension Jurassique et tectonique eocrétaçé sur le nord-ouest de la plate-forme africaine (Bassin de Reggane, Sahara Central): C. R. Acad. Sci. Paris, t.274,

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

série D, 2423-2426.

**Cox K. G., BELL J.D. et PANHURST R. J (1979).**The interpretation of igneous rocks. George Allen et Unwin., London.450p.

**Deer et al. 1992** - An Introduction to the Rock-Forming Minerals (2<sup>nd</sup> edition). Longman, Harlow.

**Fabre J. (1976).** Introduction à la géologie du Sahara Algérien et de régions voisines. Société National Edition, SNED. Alger p, 142.

**Fabre J. (1988).** La série paléozoïque d'Afrique : une approche. Journal. African Earth Sciences. P 1-40.

**Fabre J. (2005) :** Géologie du Sahara occidentale et centrale. Musée royal de l'Afrique centrale (Ed), Tervuren, Belgique. Edition N34,84p.

**Fethi, M. ; (2016) :** Apport de la géologie dans l'exploitation des gisements de granulats (cas d'une carrière dans la région d'Adrar), Mémoire Master, Univ ABOU BEKR BELKAID-Tlemcen

**Flamand G .(1911)** .Recherche géologique et géographique sur le haut pays de l'Oranie et sur le Sahara (Algérie et Tunisie su Sud) Thèse Es- Sciences, LyonA , 1001p.

**Green T.H. (1972).** Crystallization of calc-alkaline andesite under controlled high pressure hydrous conditions. Contrib. Mineral. Petrol., 34, 150-166.

**Haddoum H. (1997)** . Le Sahara central dans les régions de l'Ahnet et de Bled El Mass: une zone mobile hercynienne. Résumé,3<sup>ème</sup> Séminaire de Géologie Pétrolière, Algérie pp.82-83.

**Helz R.T (1973).** Phase relations of basalts, in their melting range of  $P_{H_2O} = 5$  kb as a function of oxygen fugacity. Part I: mafic phases. *J.Petrol.*, **14** : 249-302 .

**Kushiro I. (1960).** Si-Al relations in clinopyroxenes from igneous rocks. Am. J. Sci. , 258, p. 548-554.

**Lebas N.J (1962).** The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relations to their parentage. Am. J. Sci., 260, p. 267-281.

**Legrand P. (1967).** Nouvelles connaissances acquises sur les limites des systèmes Silurien et Dévonien au Sahara Algérien, Mém.BRGM ,33. P, 119-137.

**Legrand P.(1985).**Lower Paleozoic rock of Algeria.In Hollard C.H (ed) Lower paleozoic of western and west –central Africa ,John WileySons,p,5-89.,

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Leterrier J. Maury R. Thomson P. Girard D. Marchel M., (1982).** Clinopyroxenecomposition as a method of the magmatic affinity of paleovolcanicserie. Earth.Plan.Scie.Lett. Amsterdam. 59-139.

**Lys M. et Serre B. (1957).** Etude des conodontes du Dévonien et du Carbonifère de la région d'Adrar - Tanezrouft( Sahara), Rev.Inst.Français Petrol.vol2 n°10,p,63-99.

**Lys M. (1979)** .Micropaléontologie(Foraminifères) des formations marines du Carbonifère Saharien .8ème Congr. Intern.Strat. Géol. Carbonifère ;Moscou (1975),vol2,p 37-47

**Marzoli A., Renne P., Piccirillo E., Ernesto M., Bellieni G., And De Min, A., 1999 -** Extensive 200- million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic Magmatic Province: Science, v. 284, p. 616–618.

**McDonough et Sun S. (1995).**The Composition of the Earth, Chemical Geology volume 120, pp.223-253

**Meddah, A., Bertrand, H., Elmi, S., (2007).** La province magmatique de l'Atlantique Central dans le bassin des Ksour (Atlas saharien, Algérie). C. R. Geoscience 339, 24-30.

**Meddah A., 2010 -** La province magmatique de l'atlantique central dans le bassin des ksour (atlas saharien occidental, algérie), thèse de doctorat, université d'Oran, p. 139.

**Mekkaoui, A., (2015).** Le magmatisme basique de l'axe Damrane-KahelTabelbala (Daoura, Monts de l'Ougarta, Sud-Ouest Algérie) : géologie, pétrologie, géochimie et contexte géodynamique. Université d'Oran 2 (Thèse).

**Mekkaoui, A., Remaci-Bénaouda, N., (2014).** Doleritedikes of KahelTabelbala (Daoura, Ougarta Range, Southwestern Algeria): petrological, geochemical and Sr-Nd isotopicconstraints. 24ème Réunion des Sciences de la Terre, Pau, France.

**Mekkaoui A., Remaci-Benaouda N. et L. Mekahli, 2009 :** Nouvelles Données Pétrologiques Et geochimiques du magmatisme basique de l'axe Damrane – Kahal tabelbala (monts d'Ougarta, sudouest algérien) , Les 2ème journées d'études sur la géologie algérienne, Oran, le 14 et 15 décembre 2009.

**Menchikoff N., 1930 –** Recherches géologiques et morphologiques dans le Nord du Sahara occidental. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., VII, 2, p.139.

**Meschede, M., (1986).**A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts andcontinentaltholeiites with the Nb–Zr–Y diagram. Chemical Geology 56, pp. 207–218.

**Miyashiro A. (1974).** Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. J. Sci., 274, 321-355.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Morimoto N.**, 1988 - Nomenclature of Pyroxenes. *Bull. Mineral.*, 111, 535 - 550.

**Nadri A. et Teggat H.**, (2016). Géochronologie et traçage isotopique (Sr/Nd) de la source du complexe volcanique de Zérigat (région d'Abadla, Sud-Ouest Algérien), Mémoire de Master, Université d'Oran 2, Oran.

**Nakamura N.**, (1974). Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 757-775.

**Nasreddine Youbi**<sup>1, 2 &3</sup>, **Richard Ernst**<sup>4,5</sup>, **Ulf Söderlund**<sup>6</sup>, **Hervé Bertrand**<sup>7</sup>, **Miguel Doblas**<sup>8</sup>, **Hind El Hachimi**<sup>1</sup>, **Djiky Kouyaté**<sup>1</sup>, **Abderrahmane Soulaïmani**<sup>1</sup>, **Ahmid Hafid**<sup>9</sup>, **Moha Ikenne**<sup>10</sup>, and **Khalid Rkha Chaham**: Large igneous provinces of the West African Craton: The record preserved in regional dyke swarms.

**Nedjari A.** (1994). Images et événements fini-hercyniens de l'Ouest du Maghreb (Algérie, Maroc). *Mém. Serv. Geol. Algérie*. N° 2. p 195-209.

**Nisbet E. G. et Pearce J.A.** (1977). Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contrib. Liner. Petrol.*, 63, p. 149-160 ; Springer-Verlag.

**Nomade S., K.B. Knight, E. Beutel, P.R. Renne, C. Vérati, G. Féraud, A. Marzoli, N. Youbi, H. Bertrand**, Chronology of the Central Atlantic Magmatic Province: Implications for the Central Atlantic rifting processes and the Triassic–Jurassic biotic crisis, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 244 (1-4) (2007) 326-344.

**Pearce J.A. et Cann J.R.** (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, pp. 290-300.

**Polonio I. Eschard R. Ferrandor R. Chambres A. Figari E.** (2005). Stratigraphic analyses of the lower Devonian Sequences, Reggane Basin, South Eastern Algeria. 2<sup>nd</sup> North African Mediterranean Petroleum Geosciences Conference, Exhibition, Alger, 10-13-April 2005.

**Sebbar A.** (1998). Foraminifères et Algues calcaires du Carbonifère du bassin de Reggane Sahara Central-Algerie. *Bull. Serv. Geol. Algérie*, vol 9, n°2, p. 123-147.

**Seddiki A.** (1997). Etude pétrologique et géochimique des roches magmatiques de Boukaïs (Nord-Ouest de Béchart, Algérie sud-occidentale). Contribution à une étude géodynamique de la région à l'Infracambrien. Thèse de Magister. USTHB, Alger.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Seda, H.R ; (2017) :** Caractéristiques pétrologiques, géochimiques et géochronologiques du magmatisme filonien de la région de Reggane (Algérie sudoccidentale). Comparaison avec le complexe de Zérigat, Mémoire Master, Univ d'Oran(2).

**Sonatrach division exploration.,**2001, Rapport de fin de sondage des puits Timimoun nord

**Thompson R.N. (1984).** Dispatches from the basalt front.1.Experiments.Proc.Geol..Asso.,

**Winchester J.A. et Floyd P.A., (1977):** Geochemical discrimination of different magmaseries and their differentiation products using immobile elements.Chem.Geol. 20, 325-343.