

N°d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade

De Master en Sciences de la Terre

Option : **MAGMATISME, GEODYNAMIQUE ET TRANSFERTS LITHOSPHERIQUES**

Thème :

**Caractérisation géochimique du réseau filonien basique de
Laouni (Hoggar central). Etude comparative avec les intrusions
gabbroïques de Laouni**

Par :

M^{elle} MEKKI Kheira

M^{elle} METIBA Asma

Soutenu le ...octobre 2015, devant la commission d'examen :

M. R. BENDOUKA	Maître de conférences	Université d'Oran	Président
Mme N. REMACI	Maître de conférences	Université d'Oran	Rapporteur
M. A. SEDDIKI	Maître de conférences	Université d'Oran	Examineur

2014 / 2015

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années universitaires afin d'accomplir ce modeste travail de fin d'études.

*Nos sincères remerciements s'adressent à madame **N. Remaci**, pour avoir accepté de nous encadrer, pour son enseignement, ses conseils et remarques, son encouragement et l'aide qu'elle nous a apportée pour la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions **M. R. Bendoukha** de l'honneur qu'il nous fait en présidant le jury.*

*Nos remerciements s'adressent également à **M. A. Seddiki** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*Nous remercions tout le personnel de la bibliothèque, ainsi que le personnel administratif, plus particulièrement **Saliha** pour sa gentillesse.*

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes chers parents pour leur patience, leurs conseils, leurs assistance et leur présence dans ma vie, merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

Mes frères : Abdeslam et Yasser.

Mes grands parents et toute ma famille.

Toutes mes amies et tous mes amis pour leurs encouragements.

Dédicace

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie.

Je dédie ce travail à :

Mes chers Parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie, leur amour, leur patience et leurs encouragements.

*Mon unique chers frère **Benaouda** et mes deux sœurs **Zahra** et **Rania** à qui je souhaite beaucoup de réussite et de bonheur.*

*Que **Dieu** vous protège*

*Mes amis(es) à qui je souhaite une bonne continuation et je l'ai remerciés infiniment d'avoir été à mes côtés et très spécialement **Mustapha** pour son aide et son soutien.*

*Que **Dieu** le tout puissant vous préserve tous et vous procure la sagesse et le bonheur.*

Kheira

Table des Matières

Chapitre I : Etude géologique et géographique

I-1- Introduction	01
I-2- Structure et cadre géodynamique	01
I-3- Structuration en terranes	02
I-4- Cadre géographique et géologique du secteur d'étude	05
I-5- Les objectifs du mémoire	07

Chapitre II : Etude pétrologique

II-1- Introduction	08
II-2- Caractéristiques pétrologiques du réseau filonien	08

Chapitre III : Etude géochimique

III-1- Introduction	12
III-2- Géochimie des éléments majeurs et traces	12
III-2-1- Classification et caractérisation géochimique	12
III-2-2- Comportement des éléments majeurs et traces	16
III-2-3- Evolution des spectres des terres rares et des diagrammes multiélémentaires	18
III-3- Etude comparative entre les roches filoniennes étudiées et les roches gabbroïques en intrusion dans Laouni	21

<u>Conclusion Générale</u>	23
----------------------------	----

<u>Références Bibliographiques</u>	26
------------------------------------	----

<u>Liste des Tableaux</u>	28
---------------------------	----

<u>Liste des Figures</u>	29
--------------------------	----

<u>Liste des Photos</u>	30
-------------------------	----

Liste des tableaux

Tableau 1 :	Analyses chimiques des éléments majeurs des filons basiques de Louni (*). Sont également reportées quelques analyses des gabbros en intrusions. $\text{Mg\#} = (\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$	13
Tableau 2 :	Compositions normatives des roches basiques de Laouni. * Roches filoniennes	15
Tableau 3:	Analyses chimiques des éléments traces avec terres rares des filons basiques de Louni (*). Sont également reportées quelques analyses de gabbros en intrusions.	17

Listes des figures

Figure 1 :	Carte des principaux domaines structuraux du bouclier Touareg (d'après Caby et al.,1981 ; modifié par Boulier 1991).	02
Figure 2 :	Carte structurale du Bouclier Touareg avec représentation des différentes terranes (d'après Black et al.1994).	03
Figure 3 :	Carte géologique du microcontinent LATEA (Liégeois et al., 2003).	05
Figure 4 :	Secteur d'étude du réseau filonien encaissé dans les intrusions UB-B et les granites dans le terrane Laouni (d'après Cottin et al,1998)	06
Figure 5 :	Position des roches filoniennes de Laouni dans le diagramme de nomenclature de Cox et al. (1979) . Report de la courbe de Miyashiro (1978) séparant les séries alcalines de séries subalcalines. <i>Sont également reportées les analyses des plutonites gabbroïques en intrusions</i>	14
Figure 6 :	Diagramme de FeO/MgO en fonction de TiO ₂ de Miyashiro (1974) .	15
Figure 7 :	Position des roches dans le diagramme normatif de Thompson (1984)	16
Figure 8:	Spectres des terres rares de roches de Laouni normalisées aux chondrites de boynton,1984 .	18
Figure 9:	Spectres multiélémentaires des éléments en traces de Laouni normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995) .	19
Figure 10 a et b :	Position des roches de Laouni dans les diagrammes géotectoniques de Pearce et Cann (1973) .	20
Figure 11 :	Position des roches de Laouni dans le diagramme géotectonique pour roches basaltiques et andésito-basaltiques de Mullen (1983) .	21

Liste des photos

Photo 1-LN	Texture finement grenue à tendance porphyroïde.	08
Photo 2-LN	Faciès fin de bordure dans les filons de Laouni Ouest	09
Photo 3-LN	Grande tablette millimétrique d'amphibole et plages de chlorite.	09

I-1- Introduction

Le Hoggar constitue la partie centrale du bouclier Touareg qui se prolonge au Sud-Ouest par l'Adrar des Iforas (Mali) et au Sud par l'Air (Niger). Il offre à l'affleurement une grande diversité de roches essentiellement précambriennes. La couverture Tassilienne en position discordante, est formée de grès ordovicien, et ne subsiste que dans les parties Nord et Sud. Son décapage a été provoqué, à la fin du Jurassique, par une phase distensive liée à l'ouverture de l'Atlantique mais aussi par un bombement lithosphérique à grand rayon de courbure (**Girod, 1976 ; Dautria, 1988**). Ce dernier est accompagné par une grande activité volcanique tholéiitique à alcaline type " point chaud " d'âge cénozoïque à quaternaire.

La configuration structurale actuelle est héritée principalement de l'orogénèse panafricaine (750 – 525 Ma). Elle se termine avec un événement à conséquence métallogénique majeure qui est la formation de suites post-orogéniques d'affinité alcaline et/ou peralumineux. Ce sont les granites « Taourirt » qui se mettent en place le long de « shear zones » en régimes de transpression - transtension, plus ou moins contemporains de la pénéplation et du développement de bassins molassiques intracontinentaux contrôlés par les failles (**Bonin et al., 1998**).

I-2- Structure et cadre géodynamique

Dans sa structure d'ensemble, connue depuis les travaux de **Lelubre (1952)**, le Hoggar est classiquement divisé en trois grands domaines limités par les deux accidents majeurs du 4°50' et du 8°30'. (**Bertrand et Caby 1978**). Ce sont d'Ouest en Est (**Fig 1**) :

I-2-1- La chaîne pharusienne: elle correspond au Hoggar occidental et à l'Adrar des Iforas à l'Ouest de la grande faille 4°50'. Elle est formée de deux rameaux constitués par des terrains du Protérozoïque, séparée par un môle rigide granulitique.

I-2-2 -le Hoggar central polycyclique : est limité à l'Est et à l'Ouest par les cisaillements 8°30' et 4°50'. Les formations d'âge paléoprotérozoïque et prédominent dans ce domaine.

I-2-3-Le Hoggar oriental : situé à l'est de l'accident 8°30', il est composé de deux domaines structuraux : la chaîne linéaire de Tiririne et le bloc de Tafassasset-Djanet.

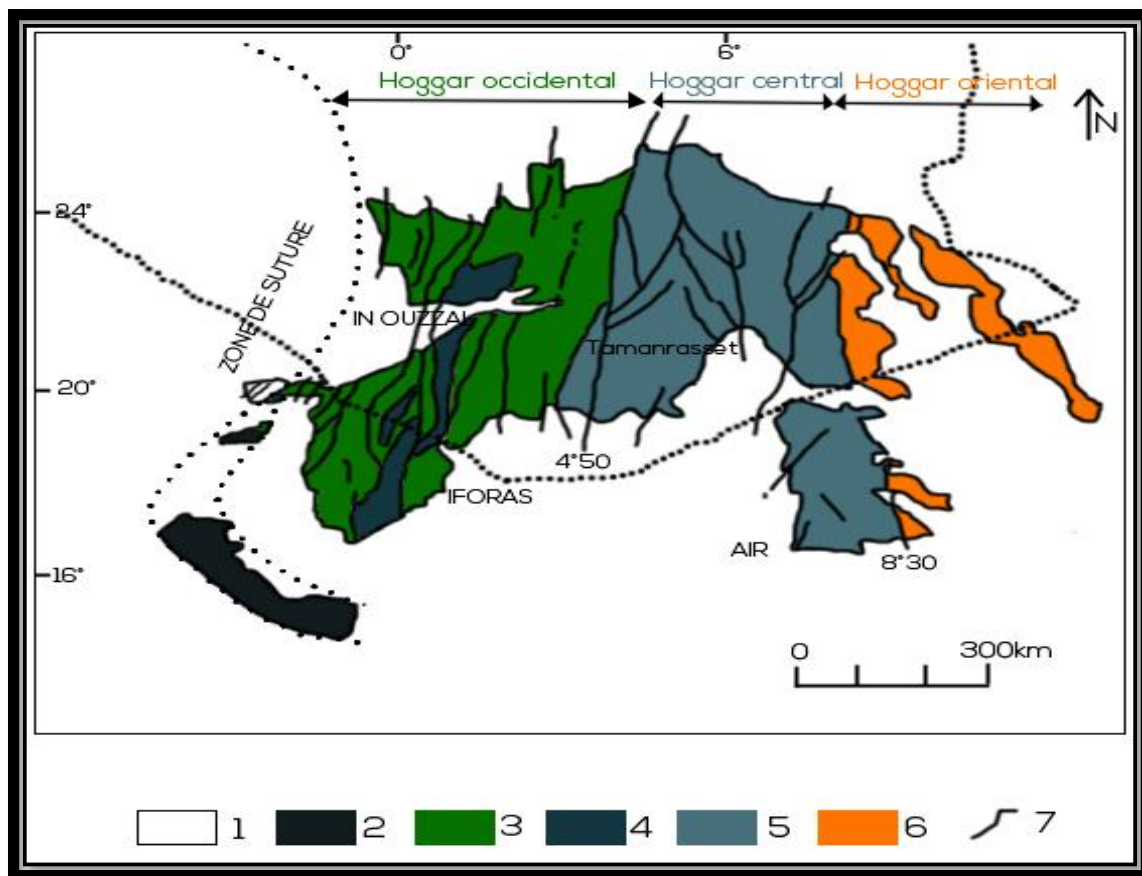


Figure 1 : Carte des principaux domaines structuraux du bouclier Touareg (d'après Caby et al., 1981 ; modifié par Boulier 1991).

1-Craton ouest africain, 2- Nappe du Gourma et du Timetrine, 3- Hoggar occidental (chaîne pharusienne), 4- Moles granulitiques d'In Ouzzal et des Iforas, 5- Hoggar central polycyclique et Air, 6- Hoggar oriental, 7- faille.

I-3- Structuration en terranes

Les résultats obtenus ces dernières années ainsi que la difficulté à établir des corrélations entre les différentes régions ont amené les auteurs à revoir le modèle géodynamique et à introduire la notion de " terrane " (**Black et al., 1994**). Ces auteurs ont montré que le bouclier Touareg était constitué de 23 terranes déplacés ou charriés pendant l'orogénèse panafricaine, le long de grandes zones de cisaillement ou " megashear zones " (**Fig 2**). Ces terranes ont leurs propres lithologies et caractéristiques tant du point de vue du métamorphisme que du magmatisme ou de la tectonique.

Ils ont été assemblés au cours de deux phases principales (Liégeois et al., 1994) marquées par deux collisions majeures :

- La première entre le craton Est Africain, qui se comporte en marge passive, et les plus orientaux des terranes du bouclier Touareg à environ 700 Ma.

- La deuxième, plus oblique, avec le craton ouest africain à l'ouest. Elle débute à environ 630 Ma mais ses ultimes mouvements et magmatismes de post-collision se sont poursuivis jusqu'à approximativement 525 Ma. Cette période longue de 100 Ma est principalement matérialisée par des megashear-zones subverticales, la mise en place de plutons calco-alcalins hautement potassiques suivis localement par un magmatisme alcalin à peralcalin et enfin un métamorphisme dans le faciès schistes verts de haut degré et dans le faciès amphibolite de bas degré.

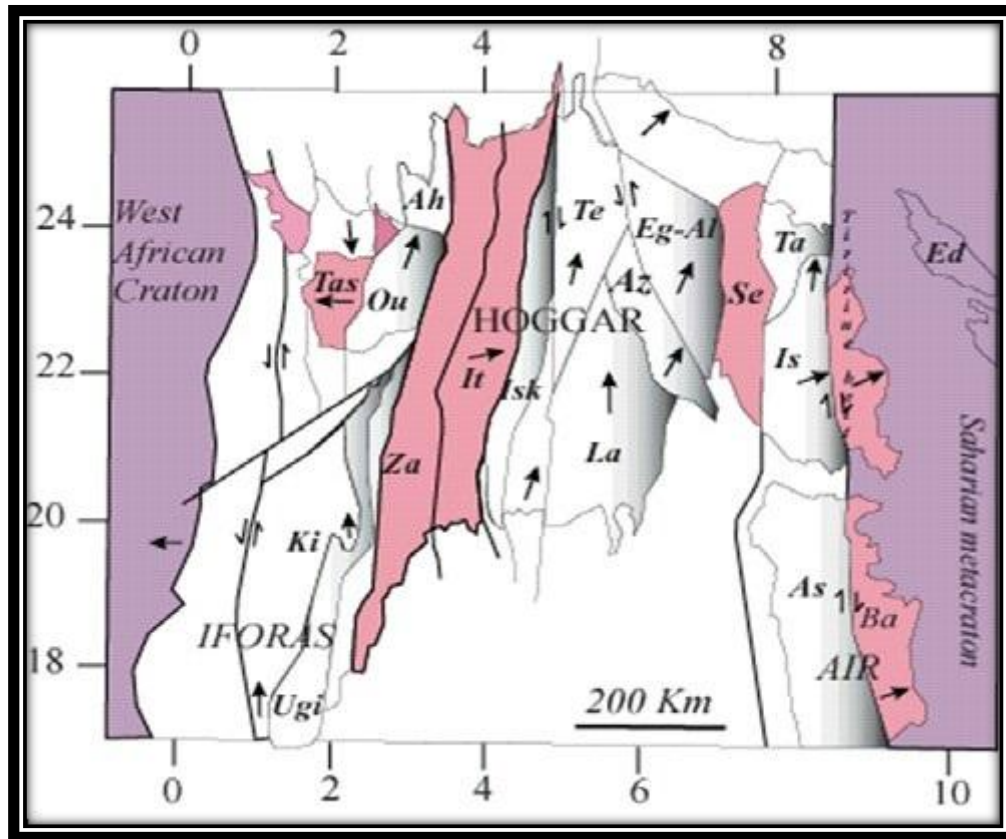


Figure 2 : Carte structurale du Bouclier Touareg avec représentation des différentes terranes (d'après Black et al.1994).

Flèches pleines: direction du mouvement de l'Est vers l'Ouest.

Les 23 terranes sont :Djanet (Dj), Edembo(Ed), Aouzegueur(Ao), Barghot(Ba), Assodé-Issalane(As-Is), Tchilit(Tch), Tazat(Ta), Sérouénout(Se), Egéré-Aleksod(Eg-Al), Azrou-n-Fad (Az), Tefedest(Te), Laouni(La), Iskel(Isk), In Teidini(It), Tin Zaouatene(Za), Tirek(Tir), Ahnet(Ah), In Ouzzal(Ou), Unité granulitique des Iforas(Ugi), Tassendjanet(Tas), Kidal(Ki), Tilemsi(Til), Timétrine(Tim).

- Les terranes du Hoggar central

La plus grande surface du Hoggar central est occupée par quatre terranes ayant les mêmes caractéristiques, regroupés sous l'acronyme de « LATEA ». L'autre partie est constituée du terrane d'Issalane-Assodé, séparé de la LATEA par un terrane juvénile à ophiolites, le Serouenout, et du terrane très peu connu de Tazat (**Fig 2**).

La **LATEA** désigne l'ensemble formé des terranes de Laouni, d'Azrou n'fad, de la Tefedest et de l'Egeré-Aleksod. Ces derniers ont en commun un socle archéen et éburnéen (**Latouche et Vidal, 1974 ; Bertrand et al., 2003**). Ils constituent un bloc qui s'est comporté en petit craton au cours de la première phase de l'orogénèse panafricaine (**Fig 3**). Un craton est une partie stable d'un continent n'ayant subi qu'une légère déformation au cours d'une période assez longue (**Bates et Jackson, 1980**).

Cependant, au cours de la période de post-collision de l'orogénèse panafricaine (620-580 Ma mais qui s'est poursuivi jusqu'à 520 Ma), ce craton fut en partie déstabilisé et démembré (**Liégeois et al., 2003**) jusqu'à correspondre à un métacraton dont **Abdeslam et al., (2002)** le définissent comme un craton remobilisé au cours d'un événement orogénique mais encore reconnaissable en grande partie à cause de ses caractères rhéologiques, géochronologiques et isotopiques. Le préfixe méta est une abréviation du terme métamorphose dans son sens général et non seulement dans le sens géologique très restrictif de métamorphisme.

Dans le cas de la LATEA, la collision n'est pas accompagnée d'un épaissement de croûte majeur et les effets d'un métamorphisme de haut degré restent très limités. Elle acquiert un caractère intermédiaire entre un craton et une chaîne mobile totalement affectée par un orogène. Ceci indique que le socle archéen et paléoproterozoïque est bien préservé (**Liégeois et al., 2003**). Elle conserve un épais manteau lithosphérique de craton mais ce dernier a subi une importante délamination le long des méga-shear zones. La réaction de celles-ci (539-523 Ma), dans un mouvement en transtension dextre, a permis la mise en place des granites " Taourirt " (**Azzouni-Sekkal et al., 2003**).

I-4-Cadre géographique et géologique du secteur d'étude

La région de Laoui est localisée dans le Sud-Ouest du Hoggar central dans le terrane du même nom. Elle est caractérisée par l'abondance de granites qui constituent plus de 70% de la surface des affleurements (**Cottin et al., 1990**). Ces granites sont, dans leur majorité, rapportés au magmatisme syn-tectonique panafricain qui a permis la mise en place de grands batholites granitiques calco-alcalins datés entre 630 et 600 Ma (**Bertrand et al., 1986**).

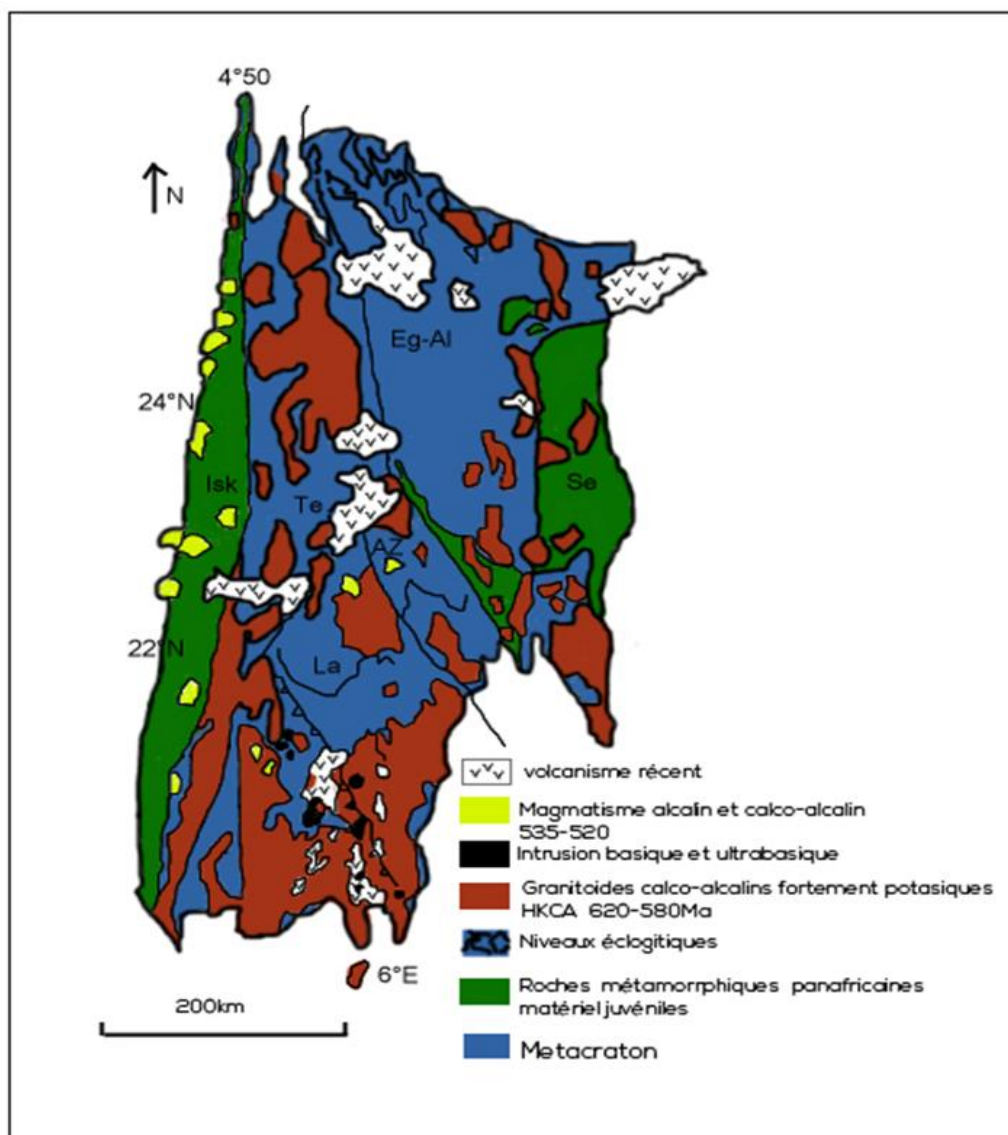


Figure 3 : Carte géologique du microcontinent LATEA (Liégeois et al., 2003).

Des panneaux reliques de roches métamorphiques, plurikilométriques à métriques, affleurent dans la masse granitique. Elles sont datées du Protérozoïque et comprennent des granulites à grenat et à cordiérite, des métagraywackes, des roches à silicates calcique, des amphibolites et des marbres. Ces granites sont recoupés par des intrusions ultrabasiques-basiques interprétés comme étant un magmatisme post-collisionnel (Cottin et al., 1998). (fig4)

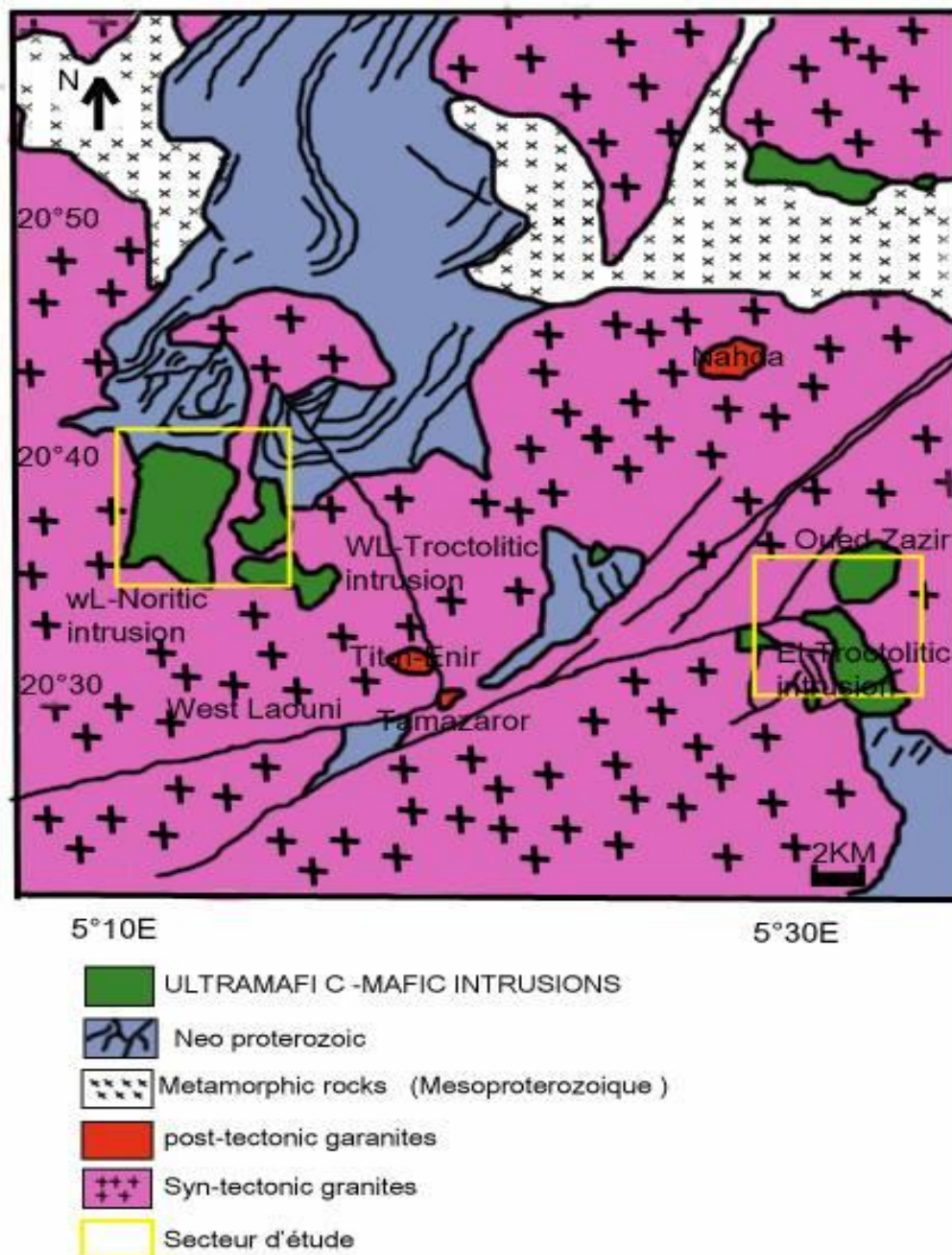


Figure 4 : Secteur d'étude du réseau filonien encaissé dans les intrusions UB-B et les granites dans le terrane Laouni (d'après Cottin et al., 1998 ; modifié par Benharrat et Benlaoubi, 2010)

I-5-Les objectifs du mémoire

Le présent travail contribue à une caractérisation géochimique du réseau filonien basique du terrane de Laouni dans le Hoggar central.

Après une étude pétrographique et minéralogique menée, dans le cadre du mémoire d'ingénieur, par Ezzine (2014), les objectifs principaux tracés pour ce travail sont :

- Une présentation générale sur la géologie du Hoggar central avec le modèle des terranes et plus particulièrement celui de LATEA,
- Une synthèse pétrologique sur le réseau filonien basique de Laouni Est (Oued Zazir) et Laouni Ouest,
- Une étude géochimique des éléments majeurs, traces avec Terres Rares pour la nomenclature et l'affinité géochimique de ces différentes roches,
- Une identification du contexte géodynamique par le biais des éléments majeurs et traces,
- Enfin une étude comparative entre ces roches filoniennes et les gabbros en intrusions de Laouni.

I-1- Introduction

Dans la région du Hoggar central, plus précisément dans le terrane de Laouni, un réseau filonien de direction et nature diverses traversent les intrusions ultrabasiques-basiques et leur granite encaissant. Nous nous sommes donc intéressés aux filons à tendance basique ayant l'aspect de dolérites. D'aspect massif et de couleur sombre, elles peuvent présenter des variations texturales allant d'un faciès fin et frais en bordure à un faciès plus grossier au cœur.

Dans le cadre de son ingénierat, **Ezzine (2014)** a mené une étude pétrographique et minéralogique de ces roches filoniennes. Cette dernière va être complétée par une étude géochimique détaillée de ces roches ainsi que leur comparaison avec les gabbros en intrusions de Laouni.

Avant d'aborder aisément l'étude géochimique de ces roches Laouni Est et Laouni Ouest, nous rappelons donc ces travaux par une synthèse pétrologique.

II-2- Caractéristiques pétrologiques du réseau filonien

Riche en minéraux mafiques, la roche est mésocrate à mélanocrate. Les caractères microscopiques révèlent, dans Laouni Est, une texture finement grenue, souvent à tendance porphyroïde où de grandes lattes de plagioclase se détachent (**Photo 1**).

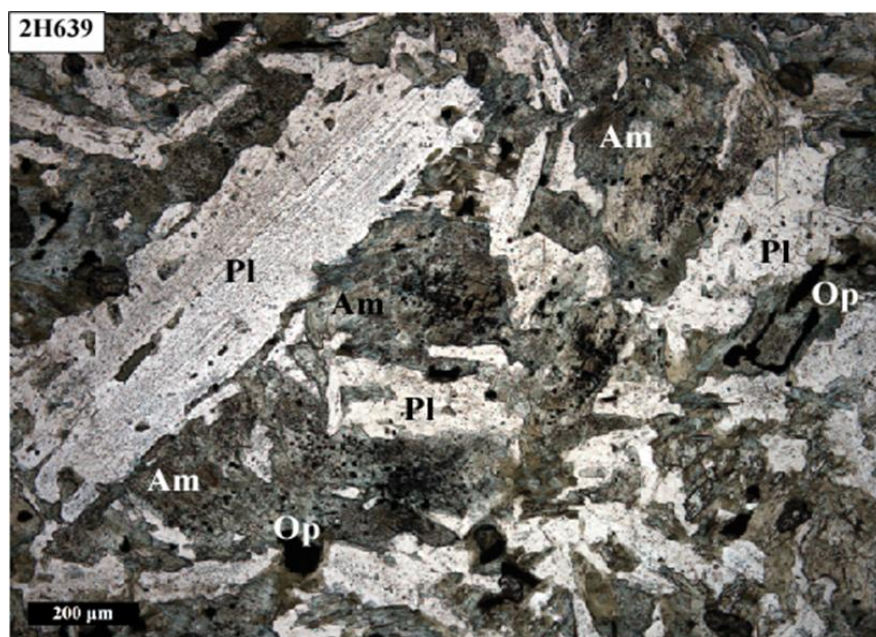


Photo 1-LN- Texture finement grenue à tendance porphyroïde.

Dans Laouni Ouest, des variations texturales apparaissent avec un faciès très fin et frais en bordure passant à un faciès plus grossier et plus altéré au cœur (**Photos 2 et 3**).

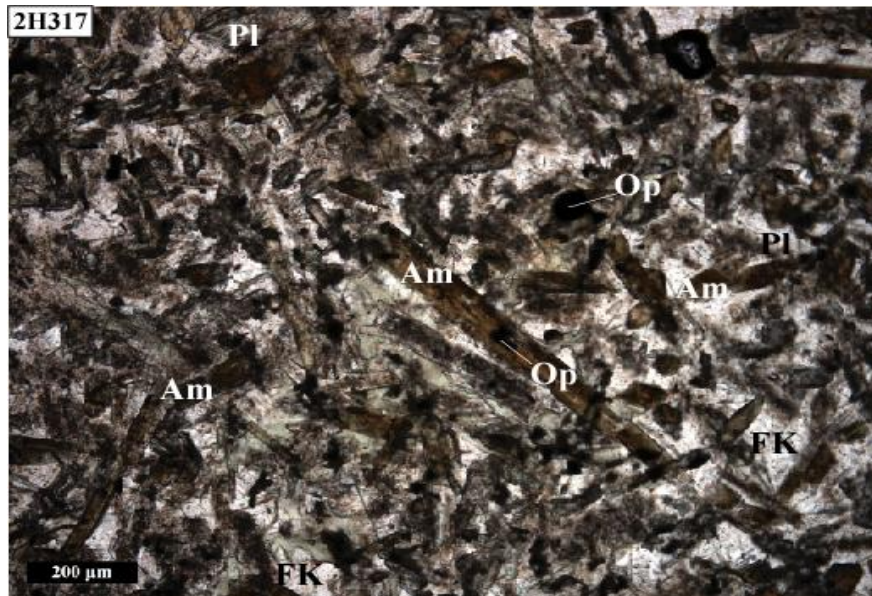


Photo 2-LN- Faciès fin de bordure dans les filons de Laouni Ouest.

Il apparaît clairement un enrichissement en minéraux ferromagnésiens en bordure. L'amphibole prend de l'ampleur et devient la phase minérale prépondérante. Au cœur de ces filons, une altération des cristaux d'amphibole en chlorite (**Photo 3**) et une séricitisation des plagioclases peut se voir.

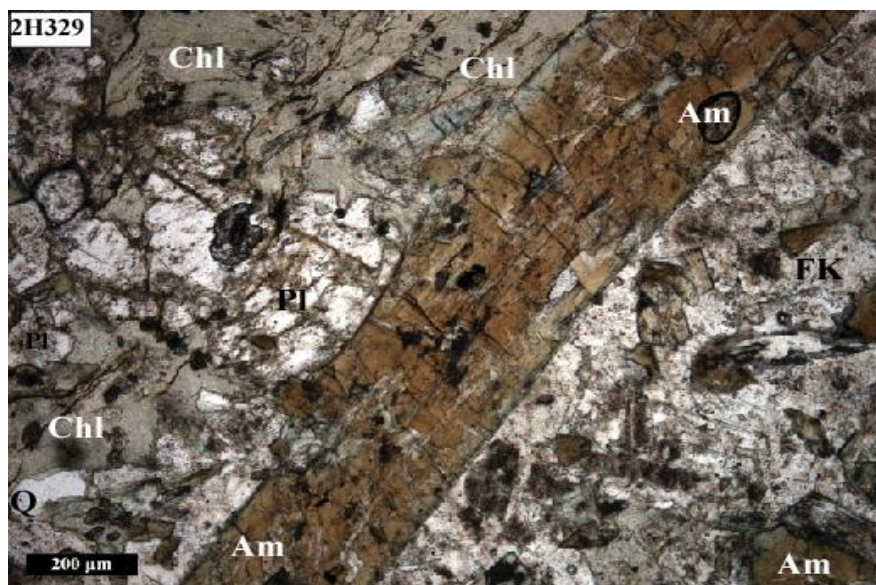


Photo 3-LN- Grande tablette millimétrique d'amphibole et plages de chlorite.

La paragenèse minérale primaire comprend essentiellement de l'amphibole, du plagioclase, des minéraux opaques et très peu de quartz et feldspath potassique. Aucun cristal de pyroxène n'a été rencontré. Des aiguilles d'apatite sont présentes dans les faciès de Laouni Ouest.

Par leur paragenèse minérale (abondance d'amphibole et de plagioclase et absence de pyroxène), tous les faciès de Laouni traduisent une composition de roche à tendance dioritique.

Pour ces roches filoniennes de Laouni, un ordre de cristallisation peut être présenté à partir des relations entre les différentes phases minérales. Les phases les plus précoces sont celles représentées par la cristallisation des oxydes ferro-titanés et des aiguilles d'apatite. La phase principale se traduit essentiellement par le plagioclase et l'amphibole où les grandes tablettes de plagioclase semblent avoir débuté la course de cristallisation un peu avant celle de l'amphibole. Le feldspath potassique et le quartz clôturent cette séquence de cristallisation.

La phase tardive tardi-magmatique est caractérisée par l'apparition de minéraux secondaires tels que la séricite, le feldspath potassique (microclinisation) et la chlorite.

L'étude chimique des phases minérales a permis de montrer quelques différences entre les roches filoniennes de Laouni Est et celles de Laouni Ouest. Les faciès de Laouni Est montre :

- ✓ Un plagioclase de composition basique allant jusqu'au labrador (An_{67}). Certains de ces cristaux sont affectés d'une microclinisation qui se traduit par un envahissement de feldspath potassique sur le plagioclase.

- ✓ Une amphibole abondante, appartenant au groupe des amphiboles calciques. Les analyses la situent majoritairement dans le domaine tschermakitique, rarement magnésio-hornblende traduisant donc une composition magnésienne avec un $0.50 < Mg^* < 0.66$. Une amphibole secondaire de type actinote est à signaler.

- ✓ Des cristaux d'oxyde ferro-titané révèlent surtout des compositions d'ilménite avec un composant pyrophanite assez élevé (jusqu'à 3.22% MnO).

Dans les faciès filoniens de Laouni Ouest, la composition chimique des minéraux est la suivante :

✓ Un plagioclase rare avec une composition anormalement sodique allant de l'oligoclase à l'albite, ce qui pourrait traduire une albitisation de ces minéraux, processus d'altération secondaire.

✓ Une amphibole qui présente une même composition que dans les roches de Laouni est, à savoir tschermakite et subsidiairement magnésio-hornblende.

✓ Des cristaux d'opaque de composition de magnétite et accessoirement rutilé,

✓ De l'apatite bien représentée dans ces faciès. Leur habitus en aiguilles traduit bien le refroidissement brutal caractéristique des roches hypovolcaniques filoniennes.

✓ Une chlorite d'origine secondaire de type pycnochlorite.

Les estimations des conditions thermodynamiques de ce magmatisme basique filonien de Laouni révèlent :

✓ Des températures relativement élevées atteignant les 1000°C,

✓ Des pressions comprises entre 5.56 et 4.94 Kb pour les faciès Laouni Est et entre 6.84 et 5.80 Kb pour les faciès Laouni Ouest, ce qui traduit des profondeurs maximales de 18 km et 23 km respectivement pour la cristallisation des magmas à l'origine de ces filons,

✓ La présence d'ilménite dans les roches de Laouni Est permet de proposer des conditions réductrices (fugacité d'oxygène faible) lors de la cristallisation de leur magma.

III-1-Introduction

La géochimie est l'étude du comportement chimique des éléments, en particulier dans les roches magmatiques, métamorphiques et sédimentaires, elle est l'une des études les plus importantes dans la géologie. Elle utilise les principes de la chimie pour expliquer les différents mécanismes qu'a subit la Terre au cours de son histoire et qui sont les causes des mécanismes des grands systèmes géologiques tels que le manteau, la croûte, l'océan ou l'atmosphère.

La géochimie a pour objectifs de caractériser à l'aide de traceurs naturels les grands réservoirs chimiques de la terre ; de détecter d'éventuelles anomalies et de suivre les transferts d'éléments dans le processus pétrogénétique (fusion partielle, cristallisation fractionnée...). Ces traceurs naturels sont classés selon leurs comportements chimiques et leurs concentrations en éléments majeurs, éléments en traces avec terres rares.

Notre étude géochimique a pour but de :

- Caractériser les affinités géochimiques des roches filoniennes de Laouni et les comparer aux intrusions gabbroïques de la même région,
- Evaluer le comportement des éléments majeurs et traces avec terres rares,
- Aborder l'origine des magmas et essayer d'identifier le contexte géodynamique de mise en place de ces roches.

III-2-Géochimie des éléments majeurs et traces

III-2-1-Classification et caractérisation géochimique

Les analyses chimiques des roches totales des roches filoniennes (éléments majeurs, traces et compositions normatives) sont consignées dans les **tableaux 1, 2 et 3**. Il est à rappeler que sont également reportées quelques analyses des gabbros en intrusions.

La perte au feu (PF) des roches filoniennes étudiées est modérée, elle ne dépasse pas 1.77%, reflétant alors l'état de fraîcheur de ces roches.

La classification chimique proposée par **Cox et al. (1979)** pour les roches plutoniques est basée sur les teneurs en alcalins et en silice des roches (TAS).

Avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 45.82 et 48.17%, les roches filoniennes, d'aspect dioritique, ont finalement une composition basique et se répartissent dans le champ des gabbros (**Fig.5**), tout comme les plutonites gabbroïques étudiées par **Bensaad et Bensehila (2014)**.

N° Ech	Oued Zazir (Laouni Est)			Laouni Ouest			
	2H639*	2H669	832926	2H379*	2H256	2H297	2H258
SiO ₂	48,17	47,45	51,85	45,82	48	47,72	48,51
Al ₂ O ₃	16,5	17,45	16,5	15,86	16,32	13,63	16,17
Fe ₂ O ₃ t	9,75	7,84	7,11	12,05	11,24	8,96	10,57
MnO	0,15	0,13	0,14	0,19	0,17	0,19	0,17
MgO	8,44	10,2	9,01	7,53	9,03	13,93	7,63
CaO	11,24	11,68	11,05	9,69	11,58	11,58	9,92
Na ₂ O	2,25	2,05	2,76	2,7	1,35	1,2	3,16
K ₂ O	1,04	0,04	0,32	0,52	0,05	0,06	0,35
TiO ₂	1,22	0,4	0,47	1,87	1,33	0,32	1,38
P ₂ O ₅	0,28	0,02	Tr	0,51	0,27	0,06	0,32
PF	1,38	1,36	0,57	1,77	0,45	1,97	0,77
Tot	100,42	98,71	99,78	98	99,79	99,72	98,95
Mg#	65	73	73	57	63	77	61

Tableau 1 : Analyses chimiques des éléments majeurs des filons basiques de Louni (*). *Sont également reportées quelques analyses des gabbros en intrusions.*

$$\text{Mg\#} = (\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$$

La courbe de **Miyashiro (1978)** séparant les séries alcalines des séries subalcalines dans le diagramme de **Cox et al. (1979)** montrent l'affinité subalcaline (calco-alcaline ou tholéiitique) des roches filoniennes de Laouni.

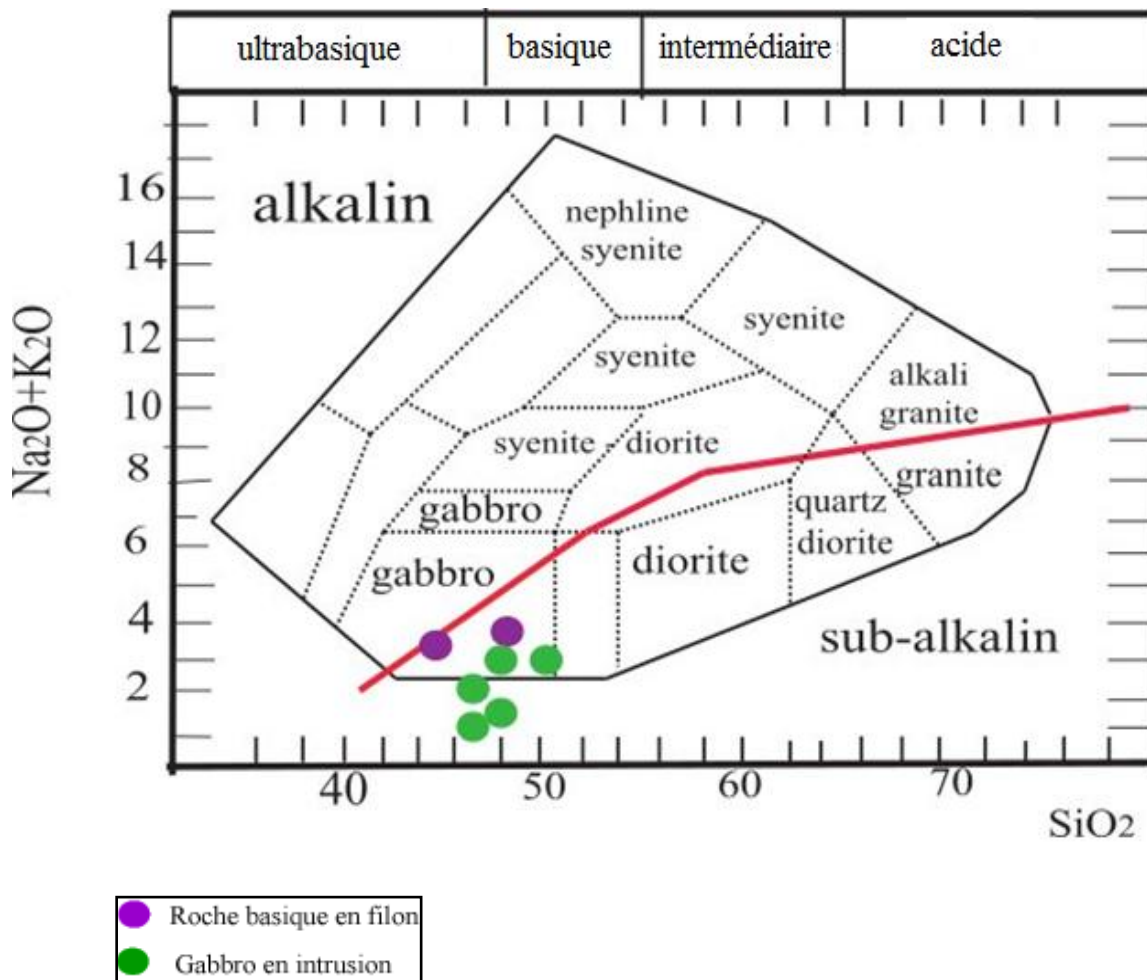


Figure 5 : Position des roches filoniennes de Laouni dans le diagramme de nomenclature de **Cox et al. (1979)**. Report de la courbe de **Miyashiro (1978)** séparant les séries alcalines de séries subalcalines. Sont également reportées les analyses des plutonites gabbroïques en intrusions.

Dans le diagramme FeO/MgO versus TiO₂ de **Miyashiro (1974)**, la projection des deux analyses de roches filoniennes (**Fig. 6**) se situent dans le domaine calco-alcalin et confirme donc leur caractère subalcalin.

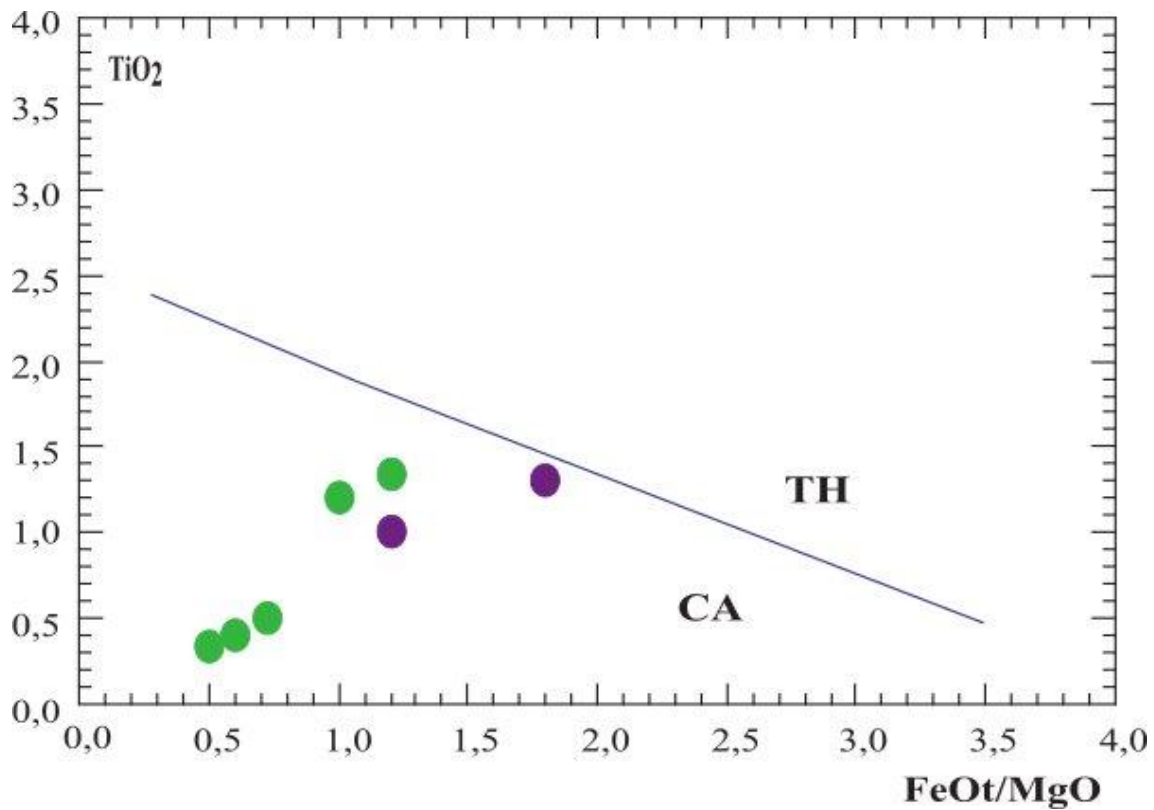


Figure 6 : Diagramme FeO/MgO versus TiO₂ de Miyashiro (1974).

	Oued Zazir (LE)			Laouni ouest			
N° Ech	2H639*	2H669	832926	2H379*	2H256	2H297	2H258
Quartz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
Orthoclase	6,15	0,24	1,89	3,07	0,30	0,36	2,07
Albite	19,04	17,35	23,35	22,85	11,42	10,15	26,74
Anorthite	31,85	38,29	31,68	29,62	38,32	31,62	28,90
Diopside	17,91	15,71	18,62	12,37	14,12	20,37	14,86
Hypersthene	4,92	9,43	16,65	6,68	28,68	20,03	7,25
Olivine	13,52	13,28	4,52	14,10	0,00	11,70	12,09
Magnetite	1,84	1,48	1,35	2,28	2,13	1,64	2,00
Ilmenite	2,32	0,76	0,89	3,55	2,53	0,61	2,62
Apatite	0,69	0,05	0,00	1,27	0,67	0,15	0,80
Nepheline	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 2 : Compositions normatives des roches basiques de Laouni. * Roches filoniennes

Les roches filoniennes étudiées montrent, à partir du calcul de la norme CIPW (**Tableau 2**), une saturation en SiO_2 qui se traduit par la présence:

- d'hypersthène normatif avec des pourcentages allant de 4.92 % pour Laouni Est à 6.68% pour Laouni Ouest,
- d'olivine normative atteignant jusqu'à 14.10%.

Il est à noter l'absence de quartz et de néphéline dans ces roches filoniennes.

Dans le diagramme de **Thompson (1984)** (**Fig. 7**), les deux analyses normatives se retrouvent dans le triangle (Di-Ol-Hy), traduisant donc des compositions de tholeiite à olivine. Ces roches basiques filoniennes proviendraient donc d'un magma saturé en silice.

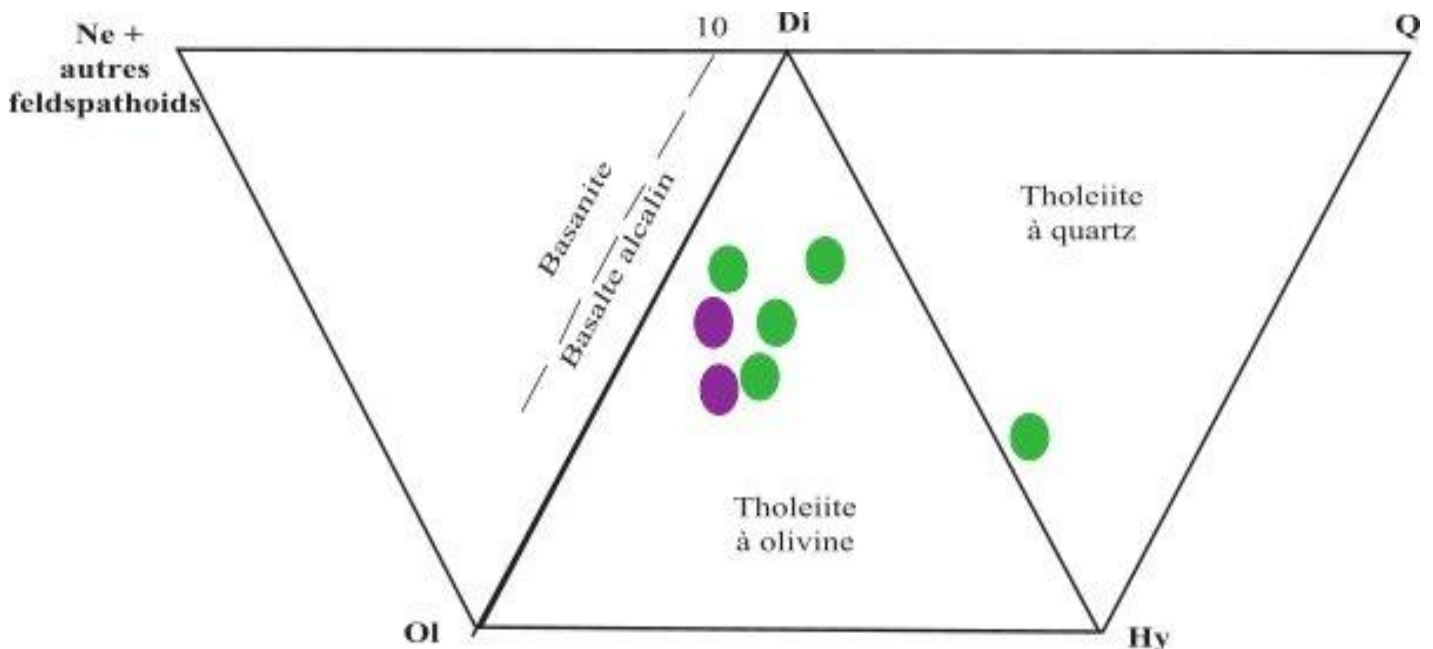


Figure 7 : Position des roches de Laouni dans le diagramme normatif de **Thompson (1984)**

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

Les roches filoniennes étudiées sont de composition mafique avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 45.82 et 48.17%. Ce sont des roches modérément riches en Al_2O_3

	Oued Zazir (LE)			Laouni Ouest			
N° Ech	2H639*	2H669	832926	2H379*	2H256	2H297	2H258
Ba (ppm)	330	40	82	1095	73	108	236
Rb	16	<10	<10	15	5	6	12
Sr	359	290	416	459	321	524	572
Co	45	101	73	46	60	55	53
Cr	467	355	447	178	524	575	269
Ni	101	168	469	92	159	193	96
V	236	138	171	274	271	177	243
Cu	50	79	27	56	59	99	89
Y	19	6.22	7.86	29	19.63	9.26	22.34
Nb	5	10.1	10.92	6	7	5	7
Zr	84	20.49	17.83	131	42	18	37
La	7.88	1.65	1.58	18.33	4	2.84	7.89
Ce	23.73	8.97	6.79	32.85	10.5	12.51	25.59
Nd	12.73	2.6	3.7	20.11	7.77	3.99	13.49
Sm	3.43	1.46	1.31	5.09	2.21	1.4	3.71
Eu	1.19	0.72	0.74	1.91	1	0.56	1.43
Gd	3.74	1.53	1.44	5.14	2.87	1.69	3.71
Dy	3.6	1.21	1.34	5.19	2.92	1.47	3.62
Er	1.94	0.72	0.71	2.77	1.68	0.82	1.94
Yb	1.66	0.57	0.66	2.41	1.47	0.77	1.72
Lu	0.19	0.22	0.14	0.2	0.22	0.1	0.24
Sc	41.5			37.9			
∑REE	59.9	19.65	18.41	93.8	34.64	26.15	59.72
La/Yb _N	3.12	1.95	1.61	5	1.83	3.09	2.49

Tableau 3 : Analyses chimiques des éléments traces avec terres rares des filons basiques de Louni (*). *Sont également reportées quelques analyses de gabbros en intrusions.*

(entre 15.86 et 16.5%), CaO (9.69 et 11.24%), MgO (7.53 et 8.44%) et riches en Fe₂O₃ (jusqu'à 12%). Les teneurs en K₂O ne dépassent pas 1%.

Par ailleurs, ces roches filoniennes s'éloignent des caractères de magma primitif. Avec des rapports Mg# compris entre 57 (Laouni Ouest) et 65 (Laouni Est), des teneurs modérées à faibles en éléments compatibles tels que le Ni (101-92 ppm) et le Cr (467-178 ppm) (**Tableau 3**), elles présentent alors des caractères de magma ayant donc subi une cristallisation fractionnée.

III-2-3- Evolution des spectres des terres rares et des diagrammes multiélémentaires

En ce qui concerne les lanthanides (**Tableau 3**), les roches basiques filoniennes de Laouni ont des concentrations modérées, avec un total compris $59.9 \text{ ppm} > \Sigma \text{ REE} > 93.8 \text{ ppm}$. Il est à remarquer que la roche filonienne de Laouni Ouest est plus enrichie en terres rares ($\Sigma \text{ REE} = 93.8 \text{ ppm}$), donc plus évoluée.

Les deux roches filoniennes présentent des spectres de terres rares normalisés aux chondrites de **Boynton (1984)** montrant (**Fig. 8**) :

- Un enrichissement en terres rares légères (LREE) (jusqu'à 60 fois les chondrites) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) (8 à 10 fois les chondrites),
- Une absence à légère anomalie positive en Eu traduisant une accumulation de plagioclase,
- Un fractionnement modéré des spectres ($\text{La}/\text{Yb}_N \sim 3 \text{ à } 5$), indiquant une source mantellique probablement à spinelle.

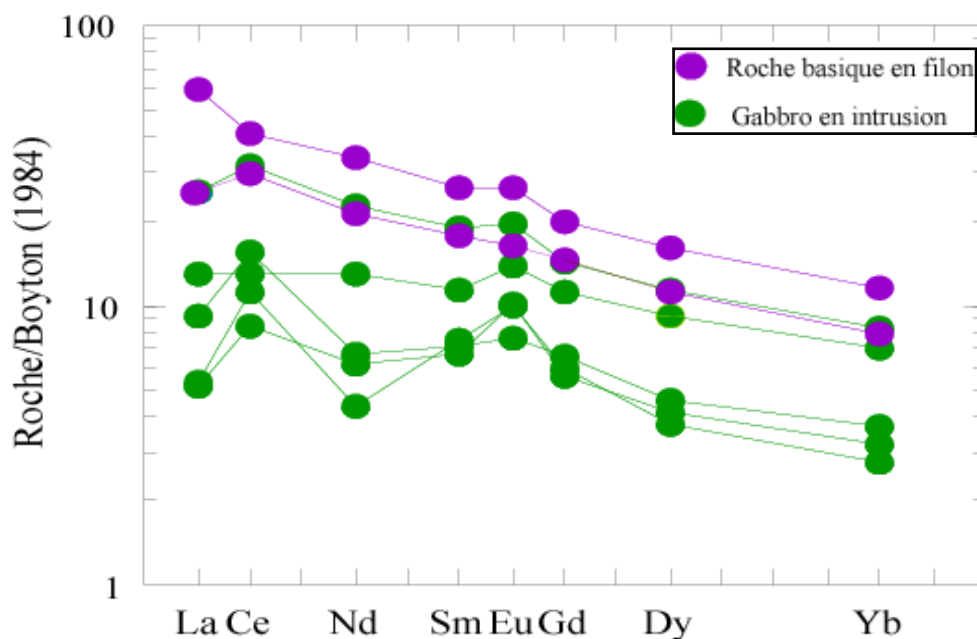


Figure 8: Spectres des terres rares normalisées aux chondrites de **Boynton, 1984.**

Les diagrammes multiélémentaires (ou arachnogrammes) normalisés au manteau primitif de **Mc Donough et Sun (1995)** présentent, pour les deux roches filoniennes, les caractéristiques suivantes (**Fig.9**) :

- Un enrichissement en éléments lithophiles à grand rayon ionique (LILE) tels que le Rb, Ba, Sr....) par rapport aux LREE et HFSE (high field strength elements),
- Des anomalies positives en Ba, Sr et Eu reflétant l'importance du plagioclase dans ces roches,
- Des anomalies négatives en Nb typique des magmas orogéniques en relation avec des processus de subduction ou traduisant le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches (**Briqueu et al. 1984**).

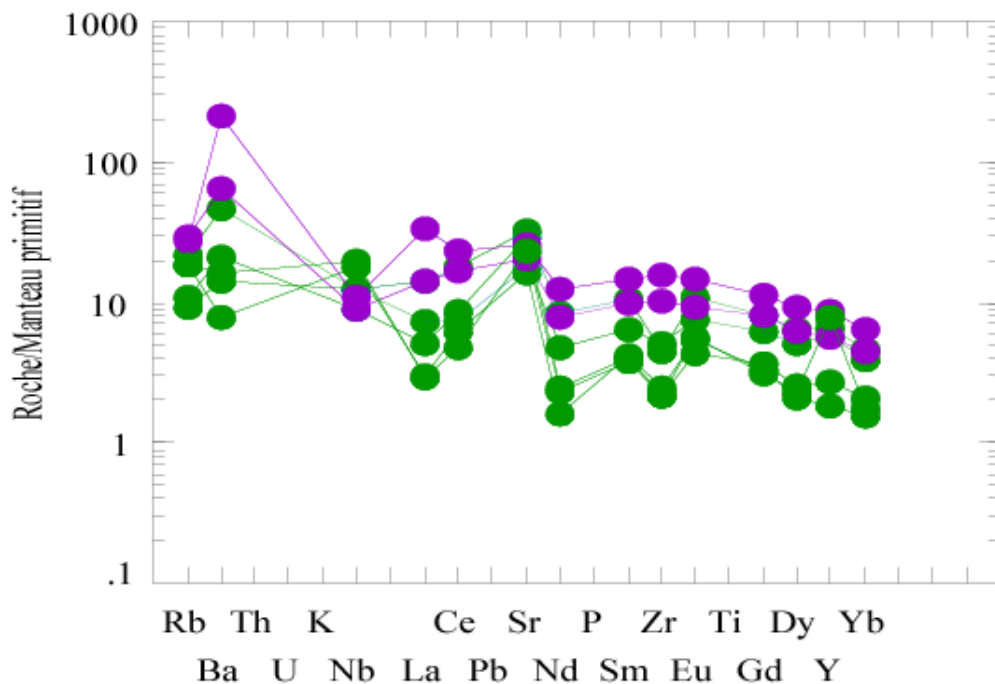


Figure 9: Spectres multi élémentaires des éléments en traces normalisés au manteau primitif de **Mc Donough et Sun (1995)**.

L'étude des éléments majeurs et traces montrent que les roches étudiées présentent des caractéristiques de magmas orogéniques calco-alkalins liés probablement à l'orogène panafricain. L'utilisation des diagrammes géotectoniques permet de distinguer les différents types de magmas.

Dans les diagrammes triangulaires $Ti/100-Zr-Y.3$ et $Ti/100-Zr-Sr/2$ de **Pearce et Cann (1973)** (**Fig. 10 a et b**), les roches étudiées s'inscrivent dans les domaines IAT (island-arc-tholeiites) et MORB (mid-ocean-ridge-basalts). Le caractère de magmas orogéniques et subalcalin traduit par la géochimie des éléments majeurs et traces nous permet de retenir le domaine IAT pour ces roches filoniennes de Laouni.

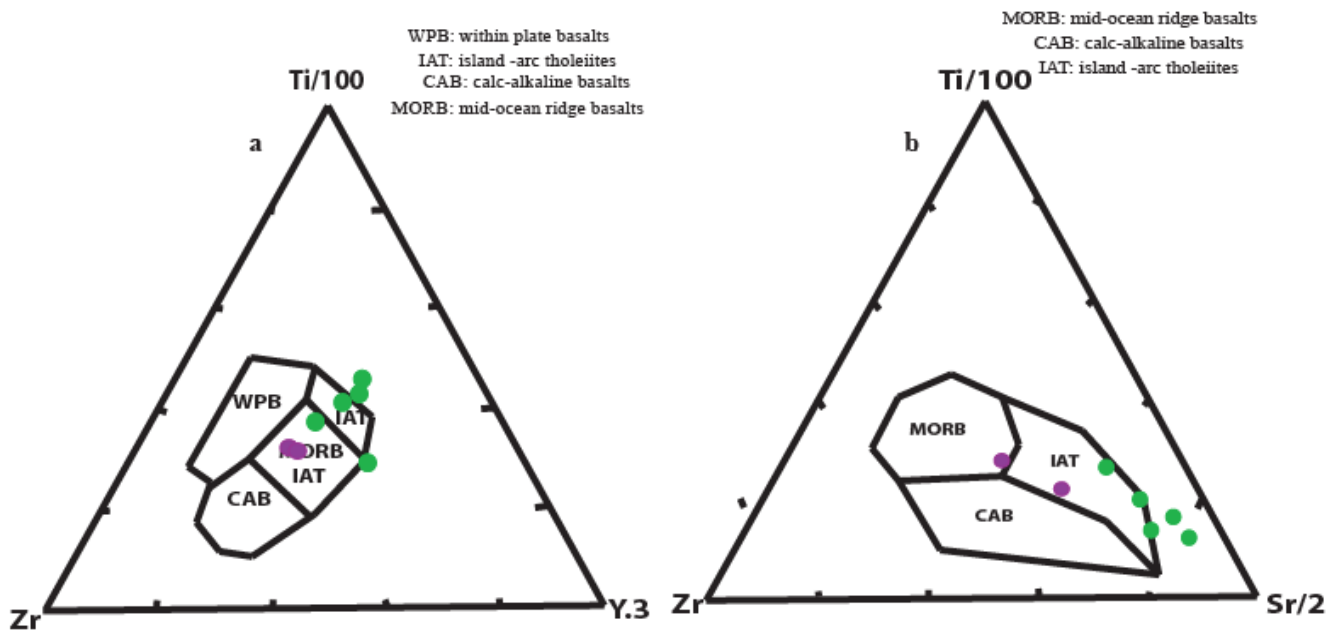


Figure 10 a et b : Position des roches de Laouni dans les diagrammes géotectoniques de **Pearce et Cann (1973)**.

De plus, l'utilisation du diagramme géotectonique TiO_2 - $\text{MnO} \cdot 10$ - $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 10$ de **Mullen (1983)** établi pour les roches de composition basaltique et andésito-basaltique (**Fig.11**) permet de voir que les roches filoniennes étudiées confirment leur domaine orogénique et subalcalin (IAT).

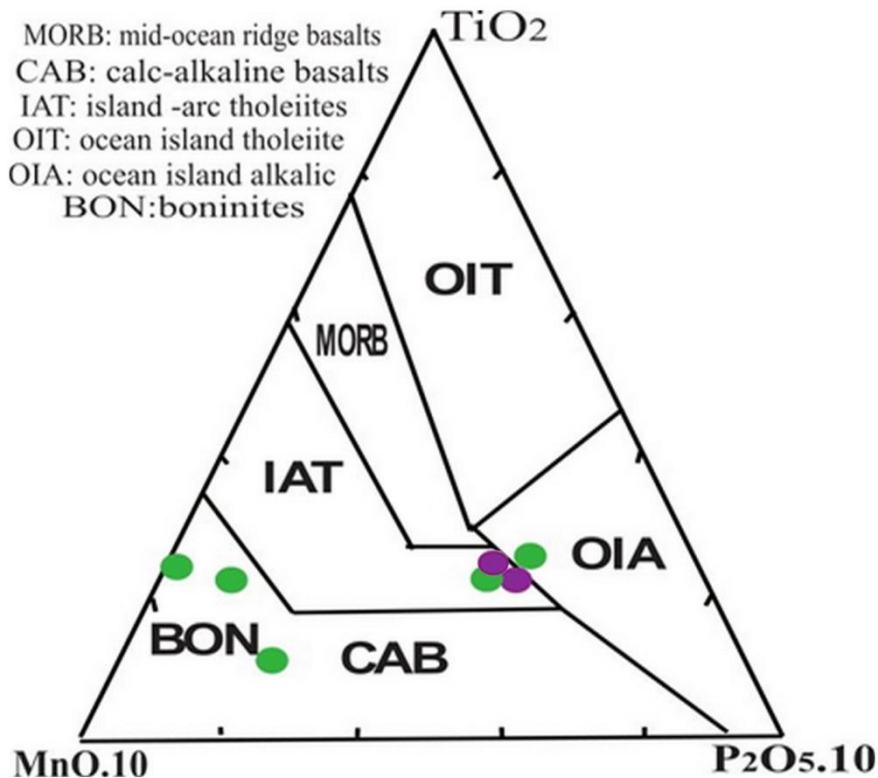


Figure 11 : Position des roches de Laouni dans le diagramme géotectonique pour roches basaltiques et andésito-basaltiques de **Mullen (1983)**.

III-3- Etude comparative entre les roches filoniennes étudiées et les roches gabbroïques en intrusions dans Laouni

L'étude géochimique des roches basiques filoniennes étudiées présentent beaucoup d'analogies avec les intrusions gabbroïques qu'elles recoupent. Les deux types ont les caractéristiques suivantes :

✓ Des compositions de roches gabbroïques, bien que les roches filoniennes aient une paragenèse minérale à plagioclase, amphibole et oxydes ferro-titanés. Aucun pyroxène n'a été retrouvé.

✓ Des compositions de tholéïtes à olivine traduisant un magma saturé en silice,

✓ une affinité subalcaline avec une tendance essentiellement calco-alcaline,

✓ Un enrichissement en LILE par rapport aux LREE et HFSE, caractéristiques des magmas orogéniques,

✓ Le fractionnement très modérée des spectres de terres rares ($La/Yb_N < 6$.) indique probablement une péridotite à spinelle,

✓ Des anomalies positives en Sr et Eu reflétant l'accumulation du plagioclase dans ces roches filoniennes et le caractère cumulatif dans les intrusions gabbroïques,

✓ Une anomalie négative en Nb traduit le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches basiques,

✓ Un contexte géodynamique confirmant le caractère de magmas orogéniques et l'affinité subalcaline de ces roches. Tout comme les intrusions gabbroïques de Laouni, les roches étudiées sont également liées à l'orogénèse panafricaine et sont également post-collisionnelles.

La seule grande différence entre ces deux types de roches et d'affleurements se situe dans l'évolution du magma. La majorité des roches des intrusions gabbroïques a des caractères de magmas primitifs avec des rapports $Mg\#$ atteignant 77 et des teneurs en MgO élevées (jusqu'à 14%), elles se rapprochent donc de la source mantellique (**Bensaad et Bensehila, 2014**). Par contre, les roches filoniennes étudiées présentent des caractères de magma évolué, ayant subi une cristallisation fractionnée, avec des rapports $Mg\#$ compris entre 65 et 57, MgO compris entre 7.44 et 7.53% et des teneurs modérées à faibles en éléments compatibles tels que le Ni et le Cr.

Nous pourrions émettre l'hypothèse suivante : vu les caractéristiques géochimiques très analogues pour les deux types de roches, ces dernières pourraient avoir pris naissance à partir d'un même magma, saturé en silice, ayant des caractères de magma primaire pour les gabbros en intrusions et qui aurait évolué par cristallisation fractionnée pour aboutir à la cristallisation des roches filoniennes.

Par ailleurs, les données isotopiques Sr-Nd des gabbros en intrusions pourraient être appliquées aux roches filoniennes. Ces roches montreraient au moins deux composants : un manteau asthénosphérique de type depleted mantle (DM) et la participation d'une croûte continentale dans la genèse de ces roches (**Bensaad et Bensehila, 2014**).

Conclusion générale

Nous nous sommes intéressées à la caractérisation du magmatisme filonien basique à travers l'exemple de Laouni, dans le Hoggar central. Ce magmatisme filonien a une direction NE-SW et recoupe le plus souvent le toit des massifs gabbroïques de Laouni Ouest et Laouni Est.

Dans ce travail, l'étude pétrologique a été rappelée afin de bien mener la géochimie de ces roches filoniennes. Riche en minéraux mafiques, la roche est mésocrate à mélanocrate. Les caractères microscopiques révèlent (i) dans Laouni Est, une texture finement grenue, à tendance porphyroïde et (ii) un faciès très fin et frais en bordure passant à un faciès plus grossier et plus altéré au cœur dans Laouni Ouest.

La paragenèse minérale primaire comprend essentiellement de l'amphibole, du plagioclase, des minéraux opaques et très peu de quartz et feldspath potassique. Aucun cristal de pyroxène n'a été rencontré. Des aiguilles d'apatite sont présentes dans les faciès de Laouni Ouest. L'ordre de cristallisation montre une phase accessoire précoce (apatite et oxydes ferro-titanés) suivie d'une phase principale constituée de plagioclase et amphibole. Le feldspath potassique et le quartz clôturent cette séquence de cristallisation.

L'étude chimique des phases minérales a permis de montrer quelques différences entre les roches filoniennes de Laouni Est et celles de Laouni Ouest. Les faciès de Laouni Est montrent :

- ✓ Un plagioclase de composition basique allant jusqu'au labrador (An_{67}),
- ✓ Une amphibole abondante, de composition tschermakitique, rarement magnésio-hornblende,
- ✓ Des cristaux d'ilménite avec un composant pyrophanite assez élevé (jusqu'à 3.22% MnO).

Dans les faciès filoniens de Laouni Ouest, la composition chimique des minéraux est la suivante :

- ✓ Un plagioclase rare avec une composition anormalement sodique allant de l'oligoclase à l'albite, ce qui pourrait traduire une albitisation de ces minéraux,
- ✓ Une amphibole identique à celle de Laouni Est,
- ✓ Des cristaux d'opaque de composition de magnétite et accessoirement rutile,

Conclusion générale

✓ De l'apatite bien représentée dans ces faciès. Leur habitus en aiguilles traduit bien le refroidissement brutal caractéristique des roches hypovolcaniques filoniennes.

✓ Une chlorite d'origine secondaire de type pycnochlorite.

Les estimations des conditions thermodynamiques de ce magmatisme basique filonien de Laouni révèlent :

✓ Des températures relativement élevées atteignant les 1000°C,

✓ Des pressions comprises entre 5.56 et 4.94 Kb pour les faciès Laouni Est et entre 6.84 et 5.80 Kb pour les faciès Laouni Ouest, ce qui traduit des profondeurs maximales de 18 km et 23 km respectivement pour la cristallisation des magmas à l'origine de ces filons,

✓ La présence d'ilménite dans les roches de Laouni Est permet de proposer des conditions réductrices (fugacité d'oxygène faible) lors de la cristallisation de leur magma.

L'étude géochimique (éléments majeurs et traces) des roches basiques filoniennes étudiées présentent beaucoup d'analogies avec les intrusions gabbroïques qu'elles recourent. Les deux types ont les caractéristiques suivantes :

✓ Des compositions de roches gabbroïques, bien que les roches filoniennes aient une paragenèse minérale à plagioclase, amphibole et oxydes ferro-titanés. Aucun pyroxène n'a été retrouvé.

✓ Des compositions de tholéiites à olivine traduisant un magma saturé en silice, une affinité subalcaline avec une tendance essentiellement calco-alcaline,

✓ Un enrichissement en LILE par rapport aux LREE et HFSE, caractéristiques des magmas orogéniques,

✓ Le fractionnement très modérée des spectres de terres rares ($La/Yb_N < 6$) indique probablement la fusion partielle d'une péridotite à spinelle,

✓ Des anomalies positives en Sr et Eu reflétant l'accumulation du plagioclase dans ces roches filoniennes,

✓ Une anomalie négative en Nb typique des magmas orogéniques et traduisant le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches basiques,

✓ Un contexte géodynamique confirmant le caractère de magmas orogéniques et l'affinité subalcaline de ces roches.

Conclusion générale

Tout comme les intrusions gabbroïques de Laouni, les roches étudiées sont également liées à l'orogénèse panafricaine et sont également post-collisionnelles.

Alors que les intrusions gabbroïques ont des caractères de magmas primitifs avec des rapports $mg\#$ atteignant 77 et des teneurs en MgO élevées (jusqu'à 14%), se rapprochant donc de la source mantellique, les roches filoniennes étudiées présentent des caractères de magma évolué, ayant subi un début de cristallisation fractionnée, avec des rapports $Mg\#$ compris entre 65 et 57, MgO compris entre 7.44 et 7.53% et des teneurs modérées à faibles en éléments compatibles (Ni et Cr). C'est véritablement la seule différence significative entre les deux types de roches.

Nous pourrions penser que toutes ces roches pourraient avoir pris naissance à partir d'un même magma, saturé en silice, ayant des caractères de magma primaire pour les gabbros en intrusions et qui aurait évolué par cristallisation fractionnée pour aboutir à la cristallisation des roches filoniennes. Des données isotopiques pourraient conforter cette hypothèse.

Avec prudence, les données isotopiques Sr-Nd des gabbros en intrusions sont appliquées aux roches filoniennes. Ces roches montreraient alors au moins deux composants : un manteau asthénosphérique de type depleted mantle ou manteau appauvri (DM) et la participation d'une croûte continentale dans la genèse de ces roches (**Cottin et al, 1998 ; Bensaad et Bensehila, 2014**).

Références Bibliographiques

A

Aït-Hamou, F., 2000. Un exemple de “point chaud” intra-continentale en contexte de plaque quasi-stationnaire: Étude pétrologique et géochimique du Djebel Taharaq et évolution du volcanisme Cénozoïque de l’Ahaggar (Sahara Algérien). *Thèse de doctorat. Université Montpellier II.* 250p.

Azzouni-Sekkal, A., Liegeois, J.P., Bechiri-Benmerzoug, F., Belaidi Zinet, S., Bonin, B., 2003. The « Taourirt » magmatic province, a marker of the closing stage of the Pan-African orogeny in the Tuareg Shield : review of available data and Sr-Nd isotope evidence. *JOURNAL OF African Earth Sciences* 37, 331-350.

B

Bates, R.L., Jackson J.A., 1980. Glossary of geology. American Geological Institute, Falls Church, VA, USA, 750p.

Benharrat et Belaoubi, 2010 .Contribution à l’étude pétrographique et minéralogique d’un pointement granitique de la région de Tit-n-Enir (Laouni, Hoggar central). Mémoire Ingénieur d’Etat. Université d’Oran. 53p.

Bensaad F. et Bensehila F. 2014. Caractérisation géochimique et isotopique des plutonites basiques de Laouni (Hoggar central, Algérie). Mémoire Master Université Oran 2.

Bertrand J.M.L., Caby, R., 1978. Geodynamic evolution of the Pan-african orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield. *Geologische Rundschau* 67, 2, 357-388.

Bertrand J.M.L., Michard, A., Boulier, A.M., Dautel, D., 1986. Structure and U-Pb geochronology of the Central Hoggar (Algeria). A reappraisal of its Pan-African evolution. *Tectonics*. 5, 955-972.

Black, R., Caby, R., Moussine-Pouchkine, A., Bayer, R., Bertrand, J.M.L., Boulier, A.M., Fabre, J., Lesquer, A., 1979. Evidence for late Precambrian plate tectonics in West Africa. *Nature*, 278, 223-227.

Black, R., Latouche, L., Liégeois, J.P., Caby, R., Bertrand, J.M., 1994. Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). *Geology*. 22, 641-644.

Références Bibliographiques

Boullier, A.M., Liégeois, J.P., Black, R., Fabre, J., Sauvage, M., Bertrand, J.M., 1986 : Late Pan-African tectonics marking the transition from subduction-related calc-alkaline magmatism to within-plate alkaline granitoids (Adrar des Iforas, Mali). Tectonophysics.

Boynnton W.V.1984. Geochemistry of the rare earth elements : meteorite studies. In : Henderson P.(ed), Rare elements geochemistry.Elsevier , pp.63-114.

Briqueu L; Bougault H. et Joron J.L. 1984. Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones, petrogenetic implications. Earth Planet.Sci. Letters,68, p297-308.

C

Caby R., Bertrand, J.M.L., Black, R., 1981 : Oceanic closure and continental collision in the Hoggar-Iforas Pan-African segment. In:A. Kröner, (Ed.), Precambrian Plate Tectonics. Elsevier, pp. 407-434.

Cottin, J.Y., Lorand, J.P. 1990. Nouvelles données pétrologiques sur les massifs ultramafiques- mafiques de la region de Laouni (Hoggar central, Algérie). Bull. Soc. Geol. France, t VI, n°3, pp. 525-536.

Cottin, J.Y., Lorand, J.P., Agrinier, P., Bodinier, J.L., Liégeois, J.P., 1998. Isotopic (O, Sr, Nd) and trace element geochemistry of the Laouni layered intrusions (Pan-African belt, Hoggar, Algeria). Evidence for post collisional continental tholeiitic magmas variably contaminated by continental crust. *Lithos.* 45, 197-222.

Cox, K. G.,Bell, J.D. et Pankhurst, R.J.1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen et Unwin., London.450p

D

Dautria, J.M. 1988. Relations entre les hétérogénéités du manteau supérieur et le magmatisme en domaine continental distensif: exemple des basaltes alcalins du Hoggar (Sahara central, Algérie). Thèse Doct. d'Etat, Univ. Montpellier, 239p.

E

Références Bibliographiques

Ezzine F. 2014. Etude pétrographique, minéralogique et géo-thermo-barométrique du réseau filonien basique de Laouni (Hoggar central). Mémoire d'ingénieur. Université Oran 2.

Liegeois, J.P., Latouche, L., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M., 2003 : The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg Shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. *Journal of African Earth Sciences*, 37,161-190.

M

McDonough , W.F.et Sun S.S.(1995). Composition of the Earth .*Chemical Geology* 120,p.

Miyashiro A. 1974. Volcanic rocks series in Island arc and actives margins. *Amer. J Sci*,274,321-355.

Miyashiro, A.1978- Nature of Alkali volcanic rock series.*Contrib. Mineral. Ptol.* 66,91-104.

Mullen, E. D. 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅ : a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environnements and its implications for petrogneiss. *EarthPlanetry Science Letters* 62,53-62

P

Pearce J.A et Cann J.R. 1973.Tectonic setttings of basic volcanic rocks determinated using Ti, Zr and Y. *Ertha. Planet. Sci. Letter*, 12,339-349.

T

Thompson R.N (1984). Dispatches from the basalt front. *Experiments Proc.Geol.Ass*,95,249-262.

Références Bibliographiques
