

N°d'ordre :

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Oran

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire
Département de Géologie

Mémoire

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

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

Thème :

**Contribution à l'étude pétrologique et géochimique du
magmatisme basique de Zérigat (région d'Abadla, Sud-Ouest
Algérien)**

Présenté par :

Melle OULD-SLIMANE Louise

Melle AZZOUZ Sahla

Soutenu le 22 septembre 2013, devant la commission d'examen :

M. A. SEDDIKI	Maître de conférences	Université d'Oran	Président
M^{me}. N. REMACI	Maître de conférences	Université d'Oran	Rapporteur
M. I. ZEROUAL	Chargé de cours	Université d'Oran	Examineur

2012 / 2013

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide et la collaboration de nombreuses personnes. Qu'elles trouvent ici l'expression de toute notre gratitude.

*Nous tenons tout particulièrement à remercier **M^{me} N.REMACI**, pour avoir dirigé avec beaucoup d'attention et de soin ce travail. Nous sommes très reconnaissantes pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent. On lui doit beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives, ses conseils précieux, son aide et pour sa gentillesse et sa bonté.*

*Nos vifs remerciements vont à **M. A. MEKKAOUI** pour avoir mis à notre disposition ses coupes géologiques, ses lames minces et les analyses des roches totales.*

*Nous remercions vivement monsieur **M. A.SEDDIKI** d'avoir accepté de présider notre jury.*

*Nos sincères remerciements vont également à **M. I.ZEROUAL** qui nous fait un grand honneur d'examiner ce travail et participer à ce jury. Nous lui exprimons nos sincères reconnaissances pour ses encouragements permanents.*

*Nous remercions aussi tous les enseignants de la faculté des Sciences de la terre de l'Université d'Oran, en particulier ceux de la spécialité **MGTL**, ainsi que tout le personnel administratif.*

Enfin, à tous nos ami(e)s, pour leur soutien et leurs encouragements.

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail.

A mes défunts père et grand-père.

A mes familles : Ould-Slimane, Mahiout, Ait-Abdeslam, Bouchareb &

Ait-Ammar.

A Amine.

Enfin, à tous mes amis (es).

LOUISE.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail a :

Ma très chère mère ;

Mon père ;

Mes frères et ma sœur :

Toute ma famille ;

Et a tous mes ami(e)s pour les agréables moments passés en leur compagnie.

SAHLA

Liste des figures

Figure 01 : Situation géographique de la région d' Abadla	03
Figure 02 : Contexte géologique de la région de Béchar-Abadla	05
Figure 03 : Colonne stratigraphique synthétique du Namurien d' Abadla –Béchar	06
Figure 04 : Coupe schématique du 1 ^{er} pointement volcanique de Zérigat	07
Figure 05 : Coupe schématique du 2 ^{ème} pointement volcanique de Zérigat	08
Figure 06 : Position des plagioclases dans le diagramme Ab-An-Or	17
Figure 07 : Diagramme Wo-En-Fs. des pyroxènes de Zérigat	18
Figure 08 : Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al., (1992)	20
Figure 09 : Diagrammes SiO ₂ versus Al ₂ O ₃ pour les clinopyroxènes de Zérigat.....	22
Figure 10 : Position des clinopyroxènes des roches basique de Zérigat dans les diagrammes de Leterrier et <i>al.</i> (1982)	23
Figure 11 : Diagramme Na ₂ O+K ₂ O versus SiO ₂ des roches basiques de Zérigat	24
Figure 12 : Classification des dolérites de Zérigat dans le diagramme Zr/TiO ₂ – Nb/Y	28
Figure 13 : Diagramme Nb/Y vs Zr/P ₂ O ₅ montrant la limite entre le domaine alcalin et le domaine tholéïitique	30
Figure 14 : Position des roches dans le diagramme normatif de Thompson (1984).....	32
Figure 15 : Distribution des terres rares dans les roches basiques de Zérigat	33
Figure 16 : Spectres multiélémentaires des roches basiques de Zérigat, normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995)	34
Figure 17 : Diagramme géotectonique Zr/Y versus Zr des roches de Zérigat	35
Figure 18 : Diagramme géotectonique pour les roches basiques de Zérigat	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition chimiques et formules structurales des Plagioclases	16
Tableau 2 : Composition chimiques et formules structurales des Pyroxènes	19
Tableau 3 : Composition chimiques et formules structurales des Minéraux opaques	21
Tableau 4 : Composition chimiques des éléments majeurs et traces des roches basiques de Zérigat	29
Tableau 5: Composition normatives des roches basiques de Zérigat	31
Tableau 6 : Compositions chimiques des terres rares des roches basiques de Zérigat	33

I-1 Introduction

L'histoire géologique de l'Algérie s'inscrit dans une longue évolution géodynamique. Dans son état actuel, l'Afrique du Nord correspond à une zone ayant subi plusieurs phases de déformation et de sédimentation depuis le Précambrien. La géologie de la partie septentrionale de l'Algérie est marquée par l'empreinte de l'orogénèse alpine (domaines tellien et atlasique).

Le linéament majeur du pays correspond à la *flexure sud-atlasique* qui sépare l'Algérie alpine au Nord de la plate-forme saharienne au Sud, constituée pour l'essentiel de terrains du Précambrien et du Paléozoïque. Cette plate-forme a peu évolué depuis la fin du Paléozoïque et correspond *de facto* à un domaine cratonique relativement stable (Fabre, 1976).

On reconnaît dans cette plate-forme plusieurs zones subsidentes qui ont conduit au développement d'importants bassins sédimentaires qui se développent entre les boucliers.

Ils sont caractérisés par des subsidences et des déformations variables et sont limités par des môles. Dans la partie algérienne de la plate-forme, les bassins les plus importants sont ceux d'Illizi-Berkine à l'Est, d'Hassi Messaoud, d'Hassi R'mel et de l'Oued-Mya au centre, de Tindouf, de Béchar, de Reggane, d'Ahnet, Sbaâ, et de Timimoune à l'Ouest.

Les séries paléozoïques, discordantes sur le socle et qui forment le remplissage de ces bassins, ont des épaisseurs importantes, dépassant souvent les 8000 m (Beuf *et al*, 1971 ; Fabre, 1976, 1988 ; Legrand, 1985).

Dans le Sud-Ouest Algérien, on connaît principalement le vieux pays cristallin de Réguibat « la dorsale Réguibat », le bassin de Tindouf, les monts de l'Ougarta, les bassins de Béchar (bassin d'Abadla), de Reggane et de l'Ahnet. A leur sein, des dolérites sont réparties d'une façon très inégale ; elles représentent généralement le faciès le plus commun du magmatisme basique dans la plate-forme Saharienne.

Notre étude s'intéresse au massif volcanique de Zérigat au nord d'Abadla, dressé sur la rive gauche de l'oued Guir et représenté par des coulées et des dykes traversant les terrains marneux du Carbonifère supérieur et recouverts par des formations tertiaires.

I-2 L'intérêt d'étude

Le présent travail apporte une contribution pétrographique, minéralogique et géochimique à l'étude des roches basiques du massif volcanique de Zérigat de la région d'Abadla.

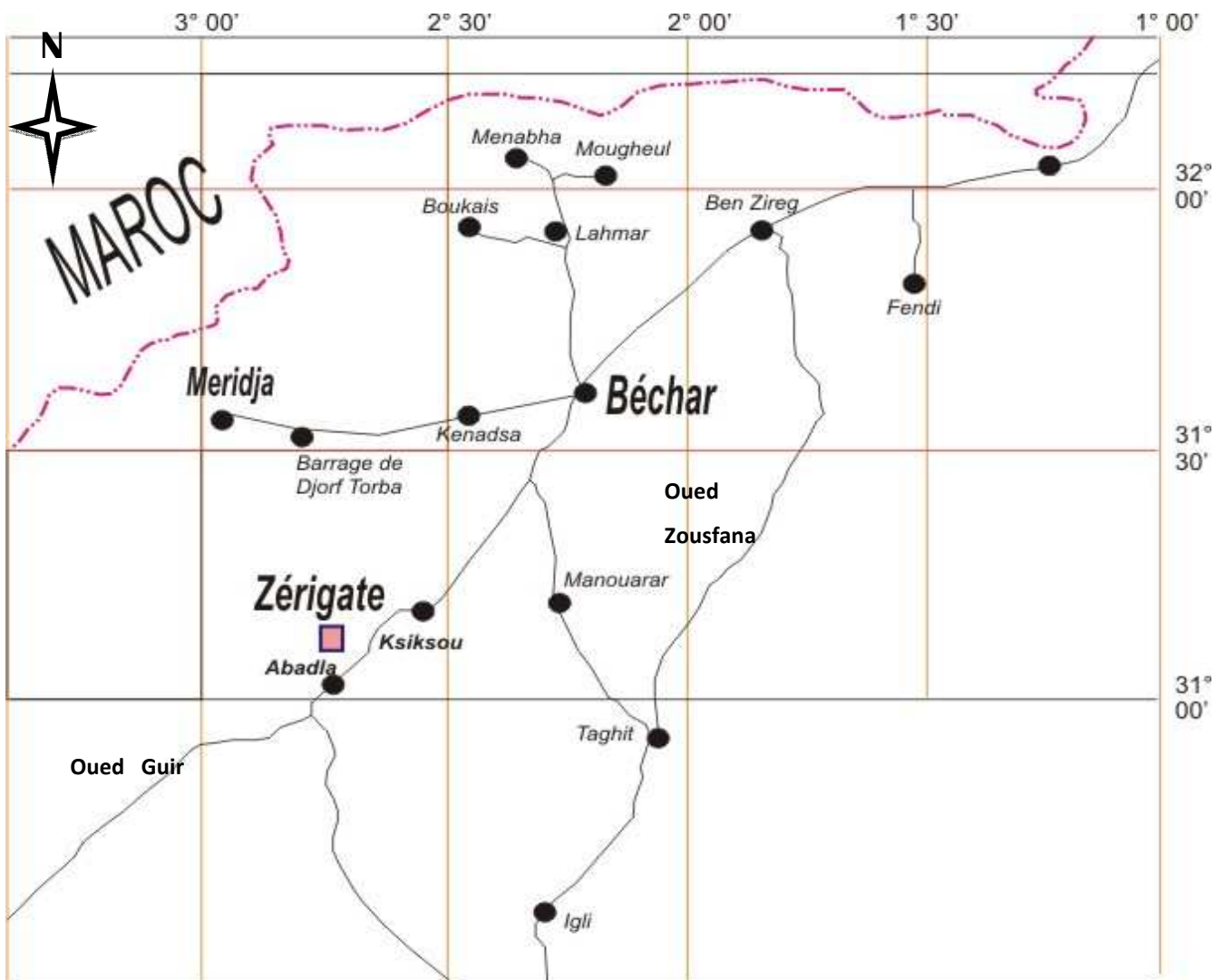
Les objectifs principaux tracés pour cette étude sont :

- Une étude géologique rappelant tous les caractères lithostratigraphiques et structuraux de la région de Zérigat à partir des travaux, en partie inédits de Mekkaoui ;
- Une étude pétrographique de ces roches basiques, elle sera basée sur la détermination des textures et des minéraux constitutifs de ces volcanites,
- Une étude chimique des différentes phases minérales rencontrées dans ces roches (plagioclase, clinopyroxène, opaques...). Cette étude minéralogique permettra de caractériser d'une part, l'affinité géochimique et géodynamique de ces roches par le biais de leurs clinopyroxènes et de proposer des conditions de cristallisation d'autre part.
- Enfin, à l'aide de la géochimie des éléments majeurs et traces, caractériser et confirmer l'affinité géochimique et le contexte géodynamiques de ces roches.

I-3 Cadre géographique de la région d'Abadla

Le bassin d'Abadla à 60 et 100 Km au Sud et au Sud-Ouest de Béchar, est séparé du bassin de Béchar-Kénadza par un anticlinal Est-Ouest, se détachant du Béchar : l'anticlinal du Guelb el-Aouda-Mennouna. Le centre de ce bassin se place à 8 Km au Nord d'Abadla.

Le bassin d'Abadla comprend, au Nord, les régions de Safia, de Zekakat-Dehab (bords de l'Oued Guir) et de Sekhrouna entre l'Oued Guir et la Hammada. Al'Ouest, des anticlinaux se détachent du Djebel Béchar : anticlinal de Menouarar et anticlinal du Djebel Arlal, compartimentent le bassin d'Abadla en plusieurs bassins secondaires du Nord-Est (Fig.1).



 Secteur d'étude.

Figure 1: Situation géographique de la région d'Abadla.

I-4 Contexte géologique

Dans la région de Béchar-Abadla tous les sédiments sont parfaitement concordants du Viséen au Stéphanien inférieur probable (**Fig.2**). La grande phase des plissements qui donne, dans la région de Béchar, les grands anticlinaux du Carbonifère, que H. Termier voit au Maroc postérieure au Westphalien C et antérieure à un niveau indéterminé du Stéphanien (Mekkaoui, travaux inédits) (**Fig.3**).

I-4-1 Le Westphalien

On connaît le Westphalien entre Djebel Horreit et Djebel Asfer, et à Kenadza. Il est composé de marnes verdâtres et de grès à plantes à patine noire. Le principal affleurement, que nous décrivons ici comprend de bas vers le haut :

- **Westphalien inférieur (1200m)**, connu sous le nom de la formation d'Abadla ;il s'agit des marnes rouges à gypse de 200m d'épaisseur, suivies d'une puissante alternance de marnes rouges et des grès (1000m).

- **Westphalien supérieur (1400m)**débuté par des marnes et schistes à veines de charbon, surmontés par un banc repère de conglomérats (80 à 180m). Une alternance de schistes et de grès se succèdent à l'empilement sous-jacent, des minces bancs ux de calcaires font leur apparition dans la partie supérieure de la coupe.

I-4-2 Le Stéphanien

Il affleure dans la plaine d'Abadla, son épaisseur totale est de l'ordre de 1250m, il comprend une alternance de marnes et de grès qui correspondent au Stéphanien inférieur (1000m).des marnes rouges gypsifères (250m), c'est le Stéphanien supérieur.

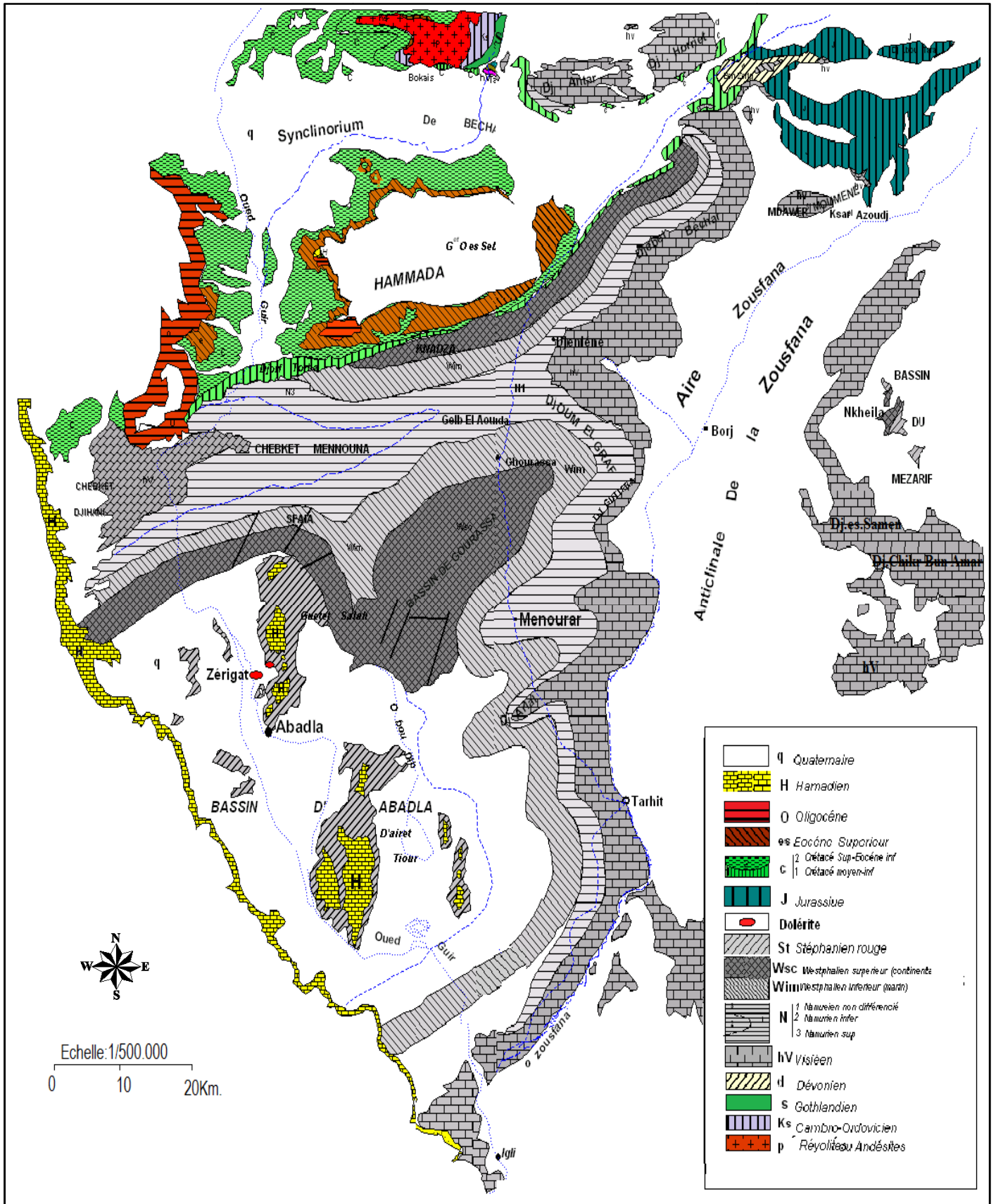


Figure 2: Contexte géologique de la région Béchar-Abadla. (Deleau, 1951, modifiée)

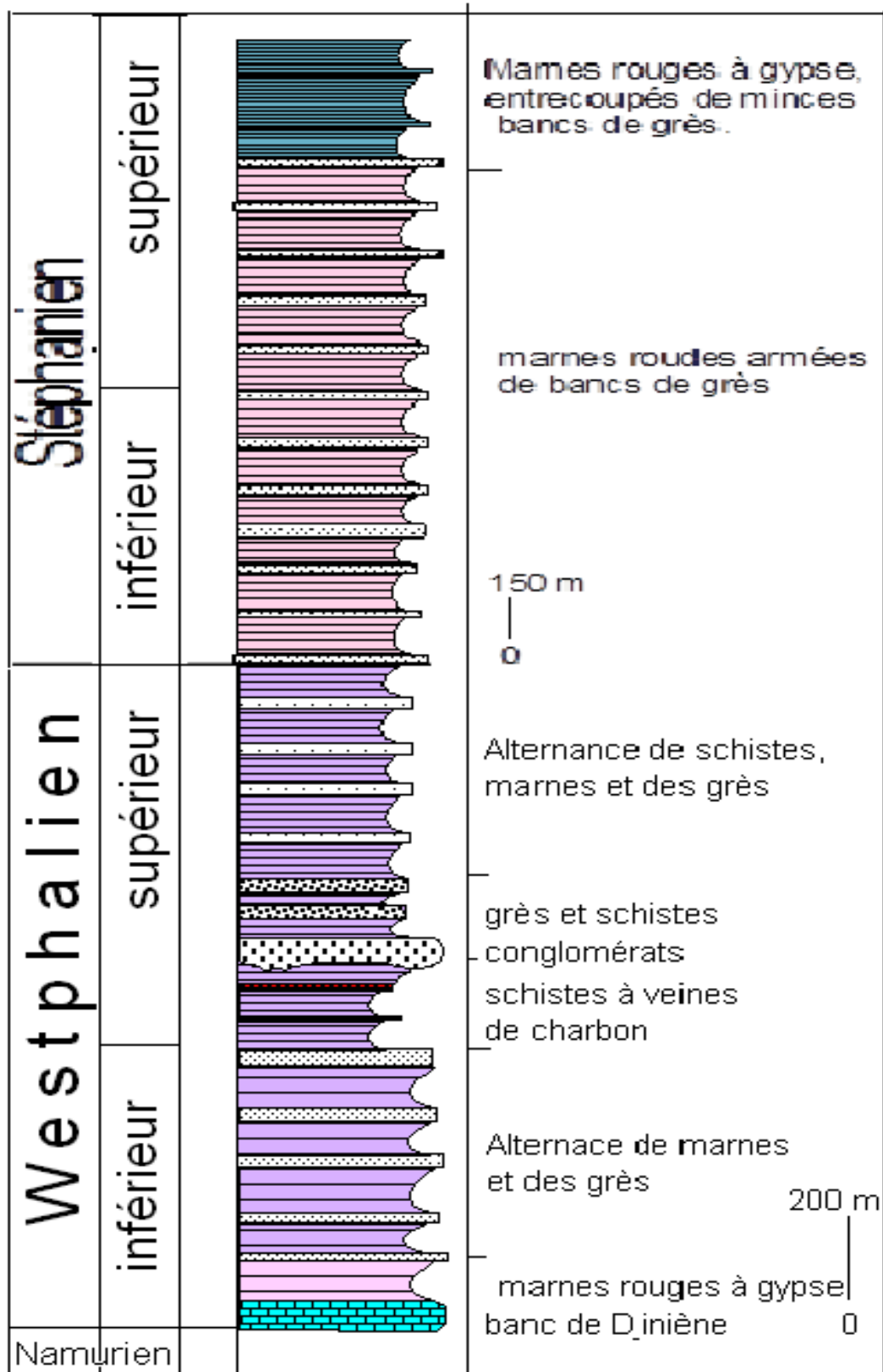


Figure 3 : Colonne stratigraphique synthétique du Namurien d'Abadla –Béchar (Mekkaoui, travaux inédits) .

I-5 Situation du massif volcanique de Zérigat

Ce massif comprend une petite montagne noire sur la rive gauche de l'Oued Guir et à l'Ouest du Megsen Sbia, il couvre une superficie de 1 km² 500 m environ (Deleau, 1951) (voir Fig.1).

I-6 La géologie du massif de Zérigat

Les travaux en cours de Mekkaoui ont synthétisé la géologie de cette région. Sous l'appellation de massif de Zerigat, il désigne deux pointements volcaniques situés de quelques kilomètres au Nord du village d'Abadla. Le premier est à 7 km au Nord d'Abadla, dit la *koudiat Zérigat* (Fig. 4) et qui doit son nom à la couleur bleuâtre des affleurements. Il s'agit d'une petite colline noire sur la rive gauche de l'Oued Guir et Meksem el Khadem, entourée des terrains hamadiens. Cette colline d'une superficie de 1.5 km² a été explorée en 1938, pour la première fois par P. Deleau, spécialiste du Carbonifère supérieur et décrite plus tard par Meyendroff(1941), comme une coulée d'ophite semblable à celles du Trias sud oranais.

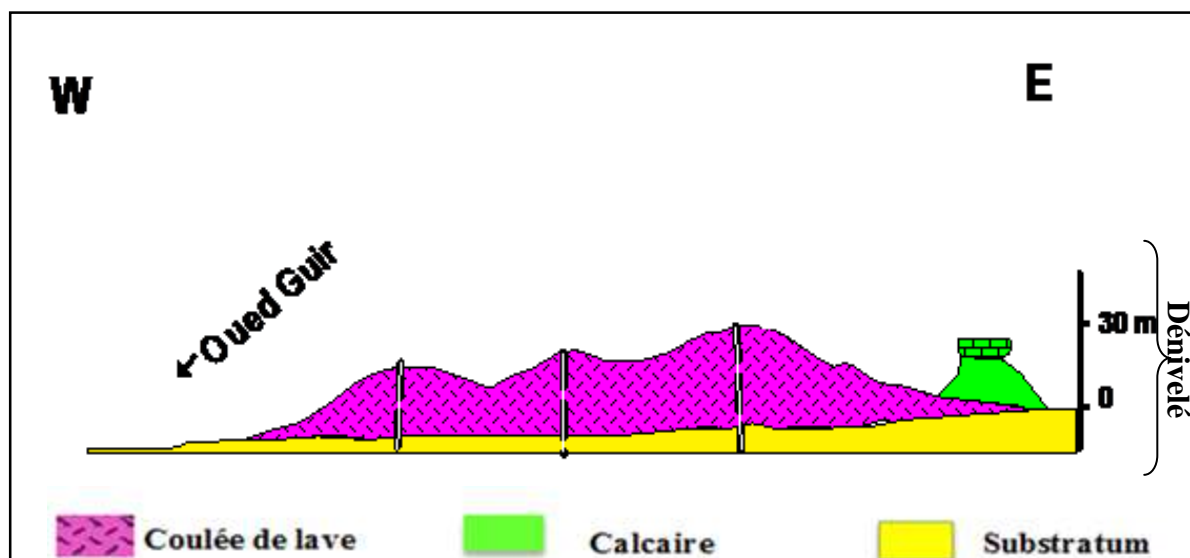


Figure 4 : coupe schématique du 1^{er} pointement volcanique de Zérigat (Mekkaoui, travaux inédits, modifiée)

Elle correspond à l'affleurement principal, c'est à dire à Koudiat Zerigat. Sur son bord oriental, se tient un précieux repère géologique, matérialisé par une butte tertiaire reposant

directement sur les volcanites. Par contre vers l'Ouest, le massif disparaît sous les atterrissements de l'Oued Guir.

A 3 km, au NNE, un second pointement affleure à mi-pente d'une gara, signalé également pour la première fois, en 1948, par M. Cornet.

Il s'agit d'un petit affleurement à mi-pente d'une butte tertiaire, offrant l'avantage de connaître la nature des formations sus-jacentes (Tertiaire) et sous-jacentes présumées permotriasiques (**Fig. 5**). Il montre parfaitement la superposition de deux coulées basaltiques : Inférieure d'épaisseur 5 m environ, dans laquelle on observe une zonalité caractéristique de coulée. Elle repose sur des argiles gypsifères, dont le contact est souligné par la transformation thermique de ces argiles sur quelques centimètres. La partie inférieure de la coulée est aphanitique, passant à une roche fortement altérée, puis à une roche massive peu vacuolaire, et vers son sommet, les vacuoles, remplies de produits secondaires, deviennent plus abondantes et soulignent une fluidalité horizontale.

La seconde coulée se superpose à la précédente par un horizon bréchifié sur 1m de puissance, matérialisant ainsi sa base. On passe progressivement à un faciès altéré, puis massif à prismes verticaux et vers le haut, il devient vacuolaire. Les terrains tertiaires, sous forme de buttes témoins, reposent tantôt sur la première coulée, tantôt sur la seconde, dont la base ravine et remanie des éléments basaltiques.

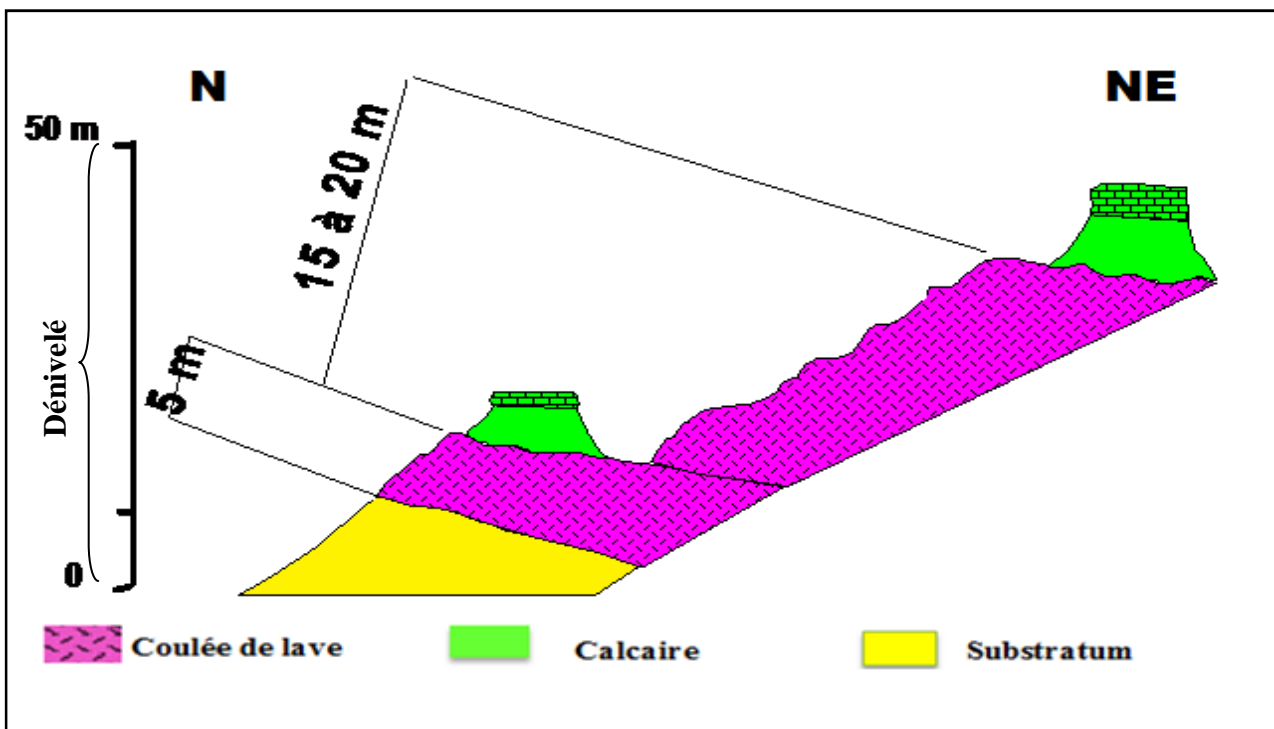


Figure 5 : Coupe schématique du 2^{ème} pointement volcanique dans la région d'étude (Mekkaoui, travaux inédits, modifiée)

I-7 Historique des travaux

Deleau (1938) et Meyendroff(1941) et Cornet (1948) ont été parmi les premiers à explorer le massif de Zerigat

Par la suite, les travaux dans le sud algérien ont en grande partie 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 grés 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.

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.

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

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.

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 Béchar et de Tindouf.

Par la méthode de datation Ar/Ar sur les dolérites de Zérigat, Chabou et al (2007) viennent de préciser d'un âge $193,2 \pm 2,8$ Ma, concordant avec ceux de la province magmatique de l'Atlantique central.

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

Mekkaoui et al. (2010) présentent des données préliminaires pétrologiques et géochimiques sur le magmatisme basique de la région d'Abadla (Zerigat et Ksiksou).

Dans le cadre de son ingéniorat, Brahim contribue à l'étude pétrogaphique et minéralogique des dolérites de Hassi Taïbine dans la région de Reggane en évoquant une similitude avec celles de la provincemagmatique de l'Atlantique central.

Dans le cadre d'une thèse de doctorat, Mekkaoui (soutenance en cours), contribue largement à la connaissance du magmatisme basique de l'axe Damrane-Kahel Tabelbala de la Daoura dans les monts de l'Ougarta.

II-1 Introduction et données de terrain

L'étude pétrographique du massif de Zerigat va permettre d'actualiser et d'approfondir les connaissances sur ces roches basiques.

Les données de terrain établies par Hilly in Deleau (1951) soulignent l'aspect doléritique de ces roches avec des altérations secondaires importantes modifiant sensiblement le faciès, particulièrement en bordure du massif. Meyendroff (1941) les décrit comme une coulée. Les descriptions de Fabre (1976) rejoignent celles de ce dernier, à savoir un épanchement volcanique qui serait d'âge au moins permien.

Les données inédites de terrain de Mekkaoui montrent les deux types de gisement :

- sous forme de coulée à Koudiat Zérigat correspondant à l'affleurement principal. Ces faciès sont recoupés par trois filons de quartz, de direction N30°, dits les *agates de Zérigat*. Leur épaisseur varie de 1 à 1.5 m. A première vue, la roche basaltique est altérée, se débitant en boules, toutefois, la partie orientale est mieux conservée, où, elle montre localement des prismes verticaux de 40 cm de hauteur. Dans la partie supérieure de la coulée, de nombreuses vacuoles remplies d'épidotes et de zéolites sont observées.

- sous forme de roche massive à aspect plutôt doléritique.

Les lames minces, mises à notre disposition, nous ont permis de mener une étude microscopique qui confirme les deux faciès : volcanique et hypovolcanique.

II-2 Aspect microscopique

Comme nous venons de l'évoquer, l'étude microscopique a permis de distinguer deux types texturaux.

La lame mince **Zr03** révèle une texture intergranulaire, subophitique. Elle se caractérise par l'agencement des lattes de plagioclases, laissant des espaces interstitiels qui sont comblés par des clinopyroxènes (**Photo 1**) et subsidiairement par de la silice sphérolitique type calcédoine. La présence de certains clinopyroxènes englobant entièrement ou partiellement des baguettes de plagioclases traduit alors ce caractère subophitique (**Photo 2**).

Ce faciès hypovolcanique montre une paragenèse primaire comprenant essentiellement du plagioclase, du clinopyroxène, des oxydes ferro-titanés.

L'altération post-magmatique est discrète, elle se traduit par une légère chloritisation des minéraux précoces. Notons la présence de plages interstitielles secondaires de silice à texture sphérolitique (**Photo 2**) qui pourrait représenter la calcédoine.

La présence de ce minéral a été décrite également dans les filons de quartz, dits agates de Zérigat, recoupant ces roches basiques.

Le plagioclase, largement prédominant, se présente en lattes automorphes à sub-automorphes de taille variable, à macle polysynthétique fréquente, englobé partiellement ou totalement par des cristaux de pyroxènes (**Photo 1**). Les cristaux, relativement bien conservés, sont de compositions de labrador au cœur et d'andésine à la périphérie. Le zonage n'est pas vraiment observable au microscope, mais il a été décelé à la microsonde électronique.

Le clinopyroxène est également abondant. Les cristaux forment des prismes allongés ou trapus à contours parfois irréguliers. Parfois, il montre la macle h^1 ou en sablier. Ils peuvent présenter une certaine zonation chimique décelable optiquement.

Les minéraux opaques peuvent être abondants, ils se présentent en grains épars dans la lame et en inclusions.

De belles plages interstitielles de silice se développent dans la roche, la texture sphérolitique est assez représentative du type calcédoine ou agate.

La lame mince **Zr01** représente le faciès volcanique avec une texture microlitique porphyrique. La paragenèse minérale est similaire au premier faciès, à savoir des phénocristaux de plagioclase, de clinopyroxène et d'oxydes ferro-titanés baignant dans une mésostase dans laquelle on peut déceler des microcristaux de plagioclase et de clinopyroxène (**Photos 3 et 4**)

II-3 Ordre de cristallisation

L'ordre d'apparition des minéraux est déterminé à partir de l'agencement des différentes phases minérales. La texture intergranulaire à subophitique permet de proposer que les oxydes ferro-titanés auraient cristallisé en premier (inclusions dans les cristaux de plagioclase), puis le plagioclase constituant la charpente. Il délimite des espaces qui sont occupés par le clinopyroxène et aurait tendance parfois à l'englober. La phase tardive tardimagmatique est caractérisée par l'apparition de grandes plages de silice sphérolitique, puis de chlorite provenant de la transformation des minéraux principaux.

Quant à la texture microlitique porphyrique, elle montre les deux stades de cristallisation : le stade précoce des phénocristaux (plagioclase, clinopyroxène et opaques) et le stade des microcristaux et de la mésostase.

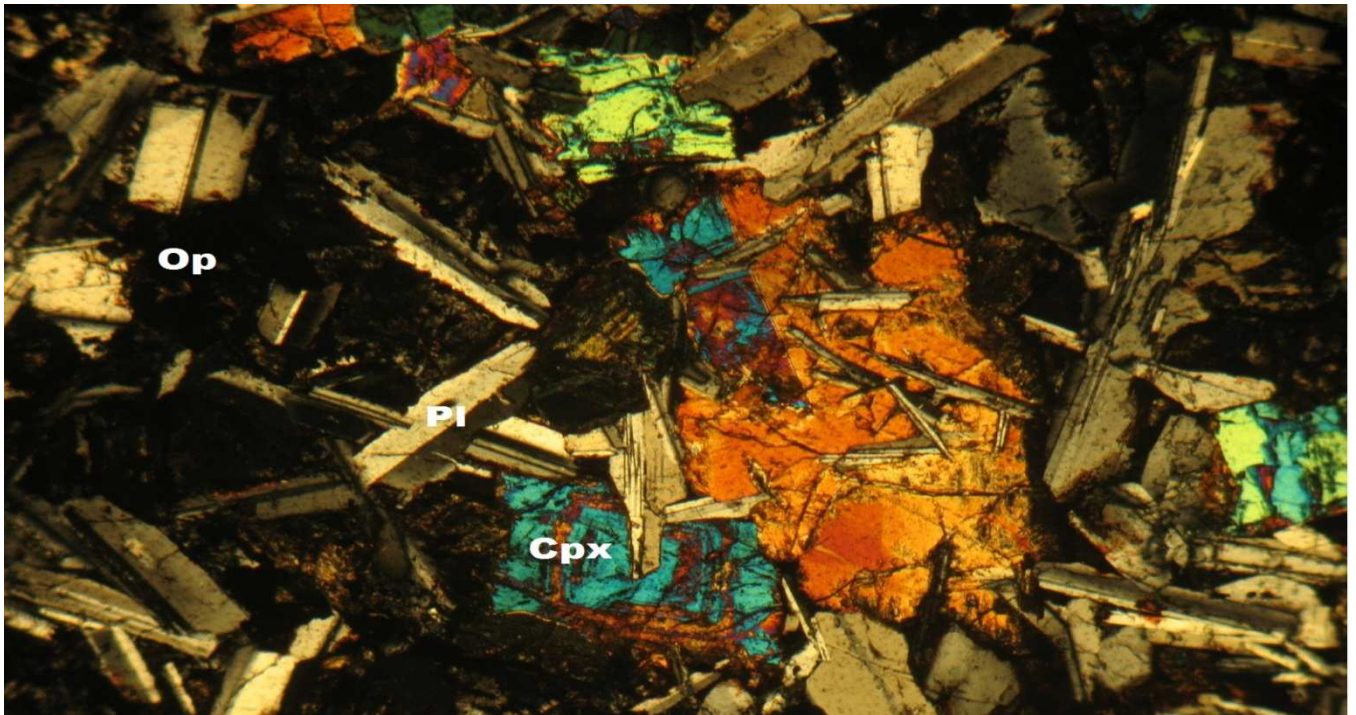


Photo 1- LPA-50x



Photo 2- LPA-50x

Calcéd. : Cacédoine.

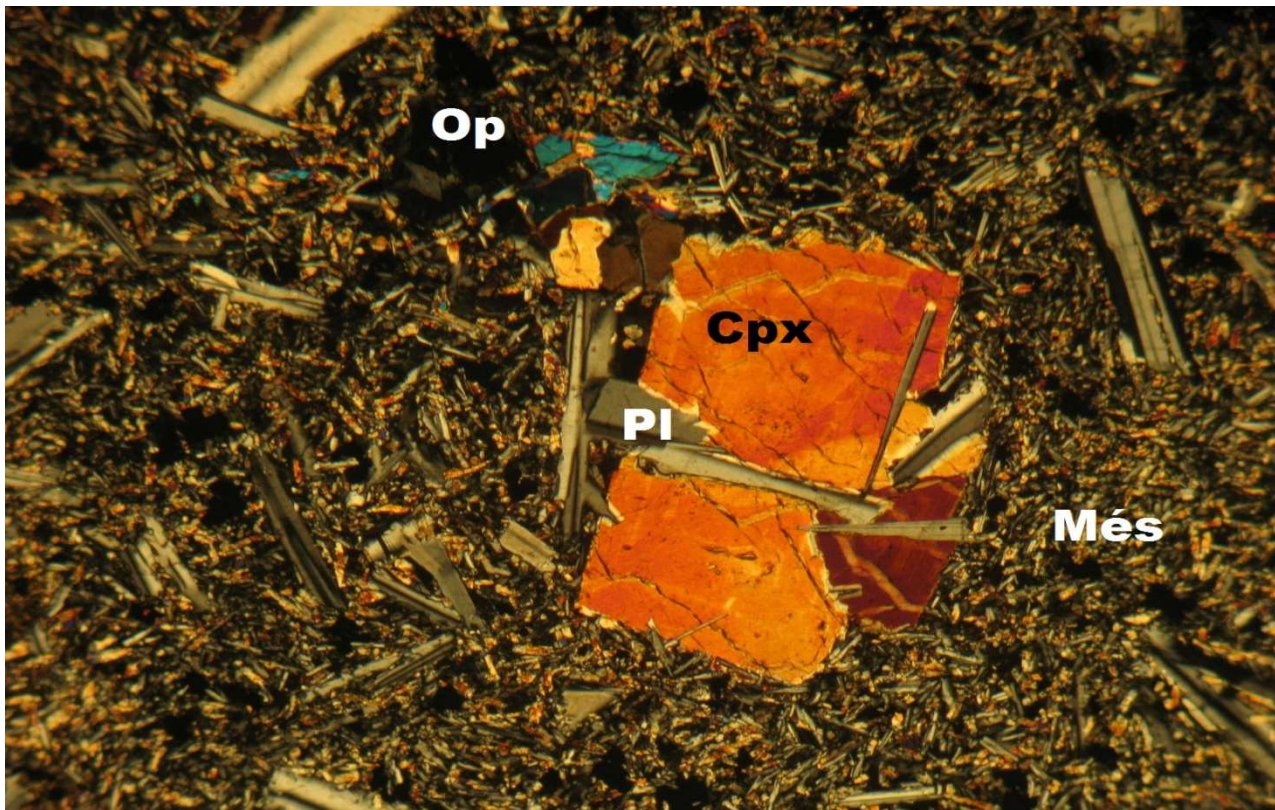


Photo 3- LPA- 25x

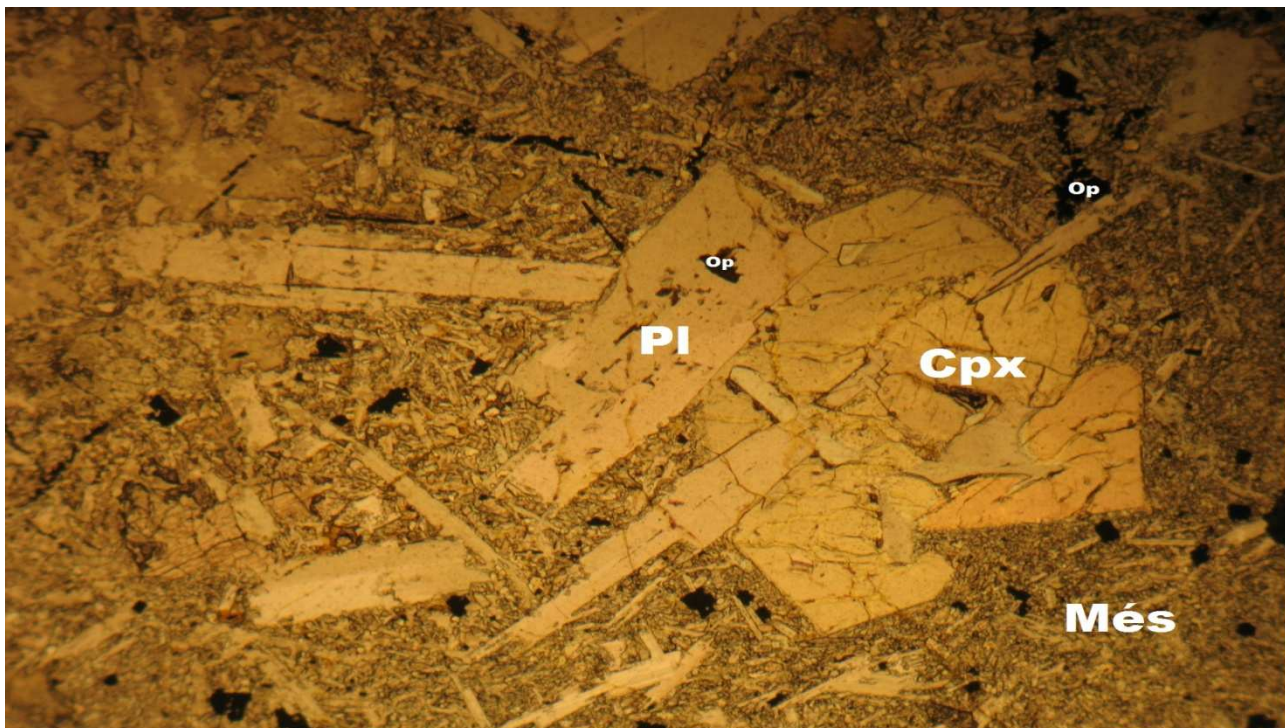


Photo 4- LN- 50x

Cpx. : Clinopyroxène ; **Pl.** : Plagioclase ; **Op.** : Opaque ; **Més.** : Mésostase.

III-1 Introduction

L'étude minéralogique va permettre de mener une étude chimique détaillée des phases minérales principales de ce magmatisme basique en précisant la nature et éventuellement la variation de compositions de chaque phase minérale : plagioclase, clinopyroxène et oxydes ferro-titanés.

Elle va également permettre de mener une caractérisation géochimique et géodynamique de ces coulées à partir du chimisme de leur clinopyroxène.

Par ailleurs, une estimation des conditions thermodynamiques pourrait en être déduite.

Les analyses ont été réalisées par M^{me} Remaci à la microsonde électronique CAMEBAX de l'université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand.

III-2 Etude chimique des phases minérales

Après l'étude pétrographique, nous savons maintenant que la paragenèse minérale primaire de ces roches à texture doléritique et microlitique est constituée essentiellement de plagioclase, de clinopyroxène et d'oxydes ferro-titanés.

III-2-1 -Les Plagioclases

Les formules structurales ont été calculées sur la base de 8 oxygènes, les analyses chimiques et les formules structurales sont consignées dans le **tableau 1**.

C'est l'un des minéraux les plus abondants dans les roches étudiées. La composition des grandes lattes de plagioclase varie largement entre An₅₃₋₇₁ au cœur et entre An₄₂₋₄₈ à la bordure (**Fig.6**), ce qui traduit une zonation normale avec un cœur à composition bytownite-labrador et une bordure andésinitique.

Il est à remarquer que la teneur en K₂O ne dépasse pas 1%, ce qui donne alors un composant orthose faible, excepté dans les dolérites ZR03 où il peut atteindre jusqu'à 4% Or.

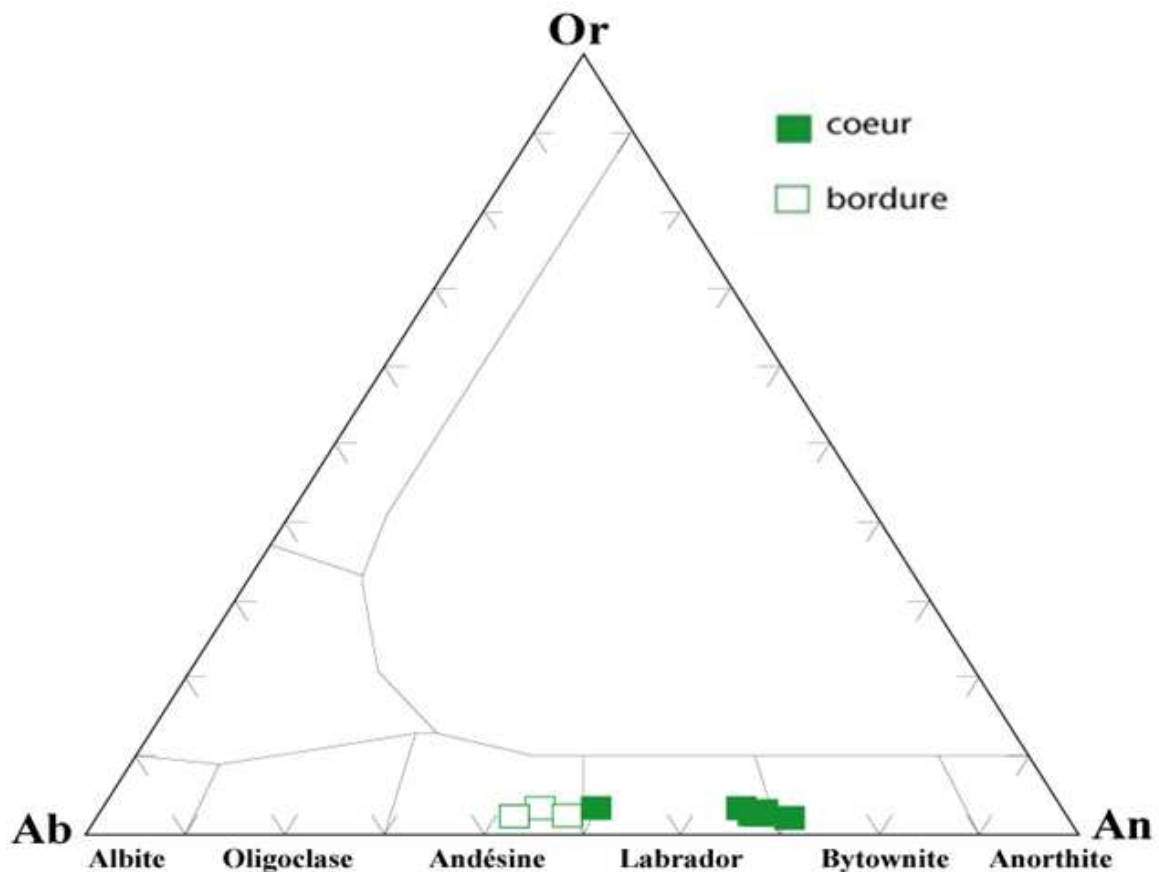


Figure 6: Position des plagioclases dans le diagramme Ab-An-Or.

III-2-2-Le clinopyroxène

Les analyses chimiques et les formules structurales de cette phase minérale (calculées sur la base de 6 oxygènes) sont consignées dans le **tableau 2**.

Le clinopyroxène, faisant partie de la paragenèse précoce, est le minéral le mieux conservé et sa composition apparaît représentative de celle acquise au cours de la cristallisation des magmas.

La position des analyses dans le diagramme de Morimoto (1988) (**Fig.7**) montre que ces volcanites et roches doléritiques se caractérisent par la présence d'un seul pyroxène qui est un clinopyroxène de type augite. Dans les faciès doléritique, les pourcentages sont de (En_{49-51} , Fs_{13-15} , Wo_{35-37}) alors que dans les coulées porphyriques, les teneurs en CaO (wollastonite) sont légèrement plus élevées.

Dans ces roches, le clinopyroxène présente des teneurs faibles à modérées en titane variant entre 0,34 et 0,68%, en alumine oscillant entre 1,53 et 3,13%, en sodium comprises entre 0,14 et 0,6. Dans les cristaux de Cpx des coulées le chrome n'est pas négligeable, jusqu'à 0,87%.

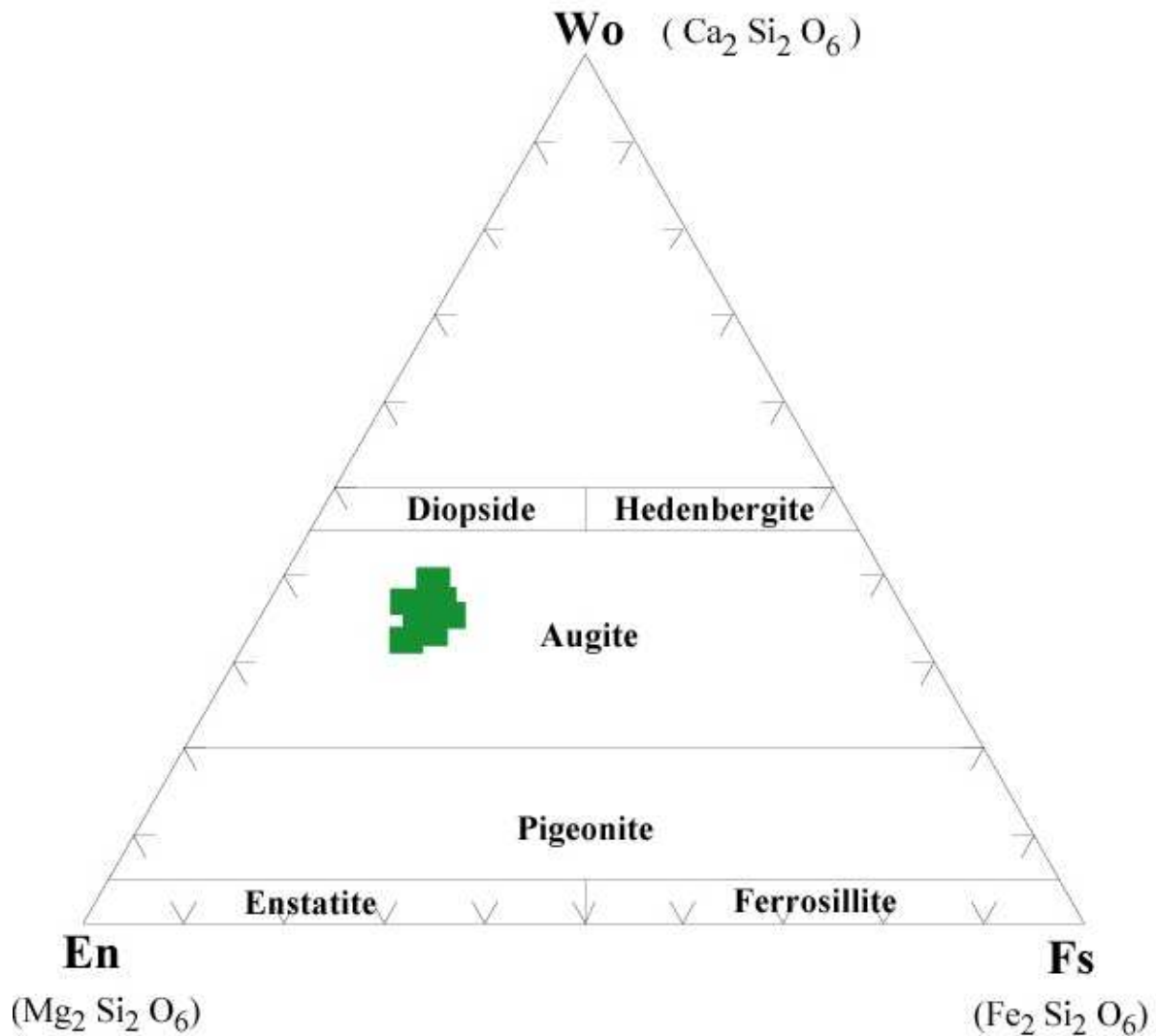


Figure 7 : Diagramme Wo-En-Fs. des pyroxènes de Zérigat, d'après la nomenclature de Morimoto (1988).

III-2-3-Les oxydes ferro-titanés

Les formules structurales ont été calculées sur la base de 32 oxygènes, les analyses et les formules structurales sont consignées dans le **tableau 3**.

Ce sont des opaques riches en fer avec un pourcentage en TiO_2 atteignant les 28%.

Dans le diagramme (**Fig.8**), les concentrations s'alignent sur la droite Magnétite-Ulvospinelle. Le composant hématite (Fe_2O_3) n'est pas négligeable, alors que le composant geikielite (MgO) et les teneurs en MnO sont faibles.

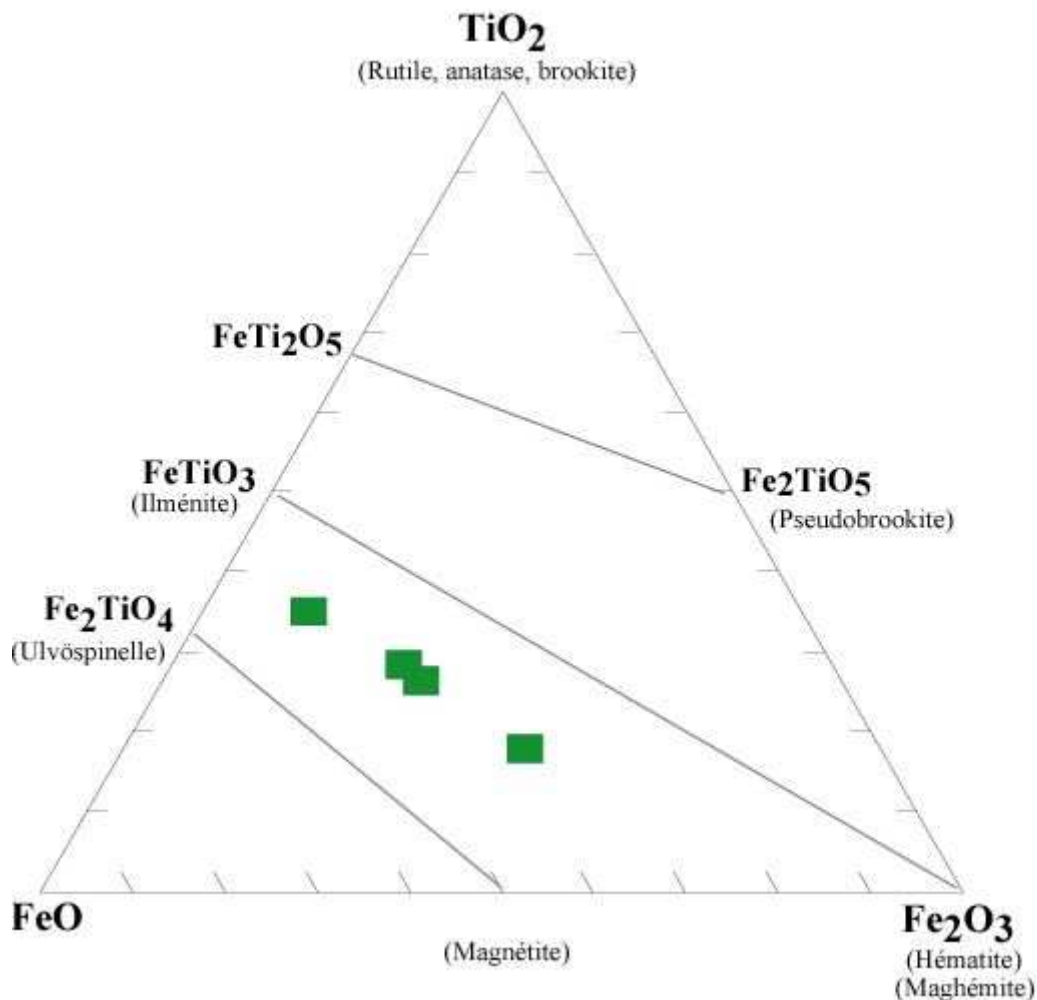


Figure 8: Projection des oxydes ferro-titanés dans le diagramme de Deer et al., (1992).

III-3 Affinité géochimique et géotectonique à partir du chimisme du clinopyroxène

Les travaux de Lebas (1962) ont montré la relation entre la composition des clinopyroxènes et la nature du magma à partir duquel ils prennent naissance.

Les clinopyroxènes des roches étudiées présentent des cations $Si \geq 1,90$ et $Al \leq 0,13$ (**tableau 2**), ce qui traduit un caractère sursaturé en silice.

Dans les diagrammes de Lebas (1962) mettant en relation la teneur en alumine et le degré d'alcalinité, les Cpx étudiés se situent dans le domaine des roches subalcalines et traduisent leur caractère tholéïitique (**Fig.9**).

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

Les analyses de Cpx, prises en compte pour ces diagrammes, doivent obligatoirement avoir des cations de Ca supérieurs à 0,60.

Leterrier et *al.* (1982) proposent les diagrammes Ti + Cr versus Ca et Ti versus Ca+Na. Les Cpx des roches étudiées tombent dans le domaine des séries non orogéniques et confirment leur position dans le champ des basaltes tholéïitiques et calco-alcalins (**Fig.10**).

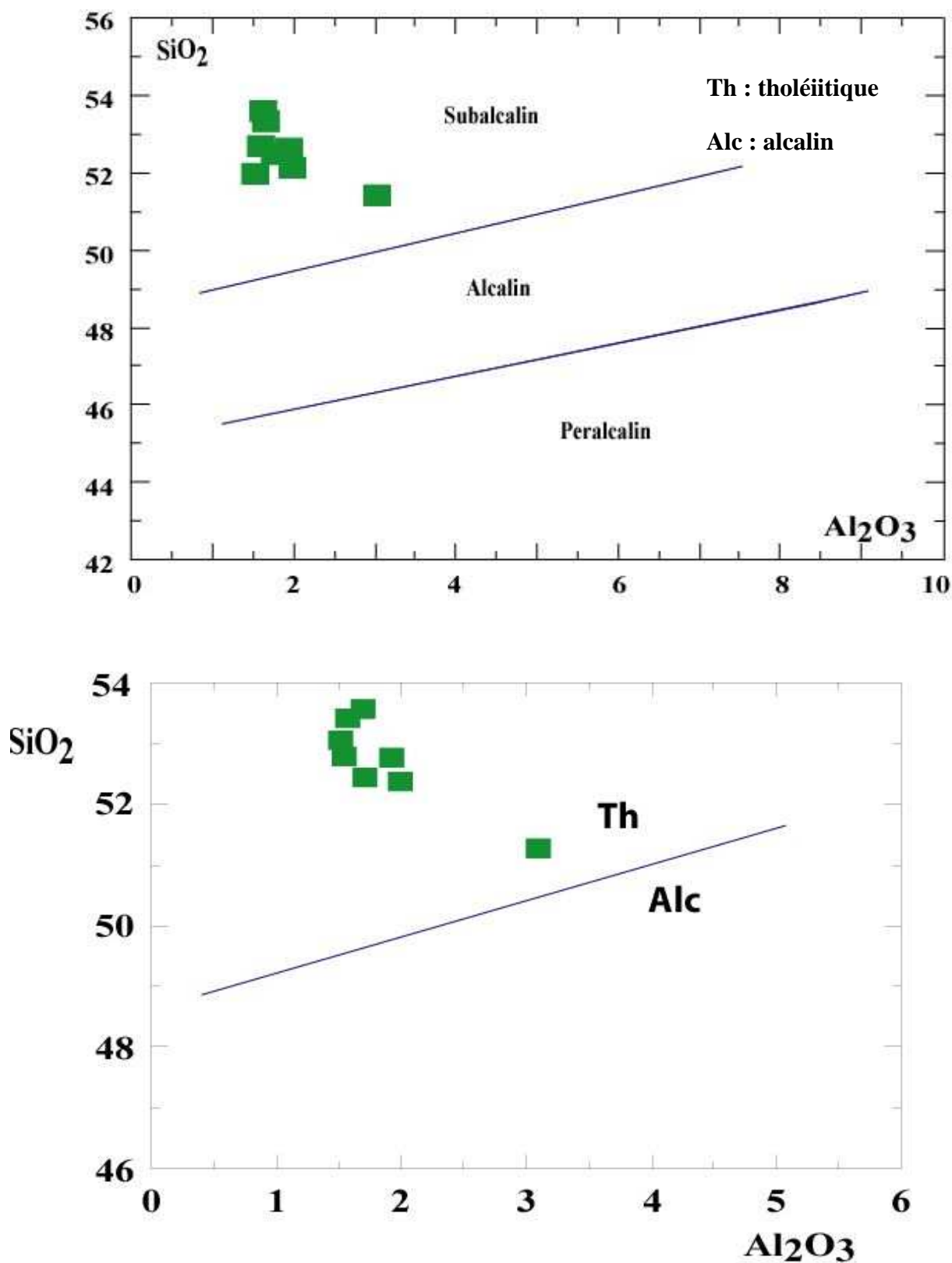


Figure 9: Diagrammes SiO₂ versus Al₂O₃ pour les clinopyroxènes de Zérigat (Lebas, 1962).

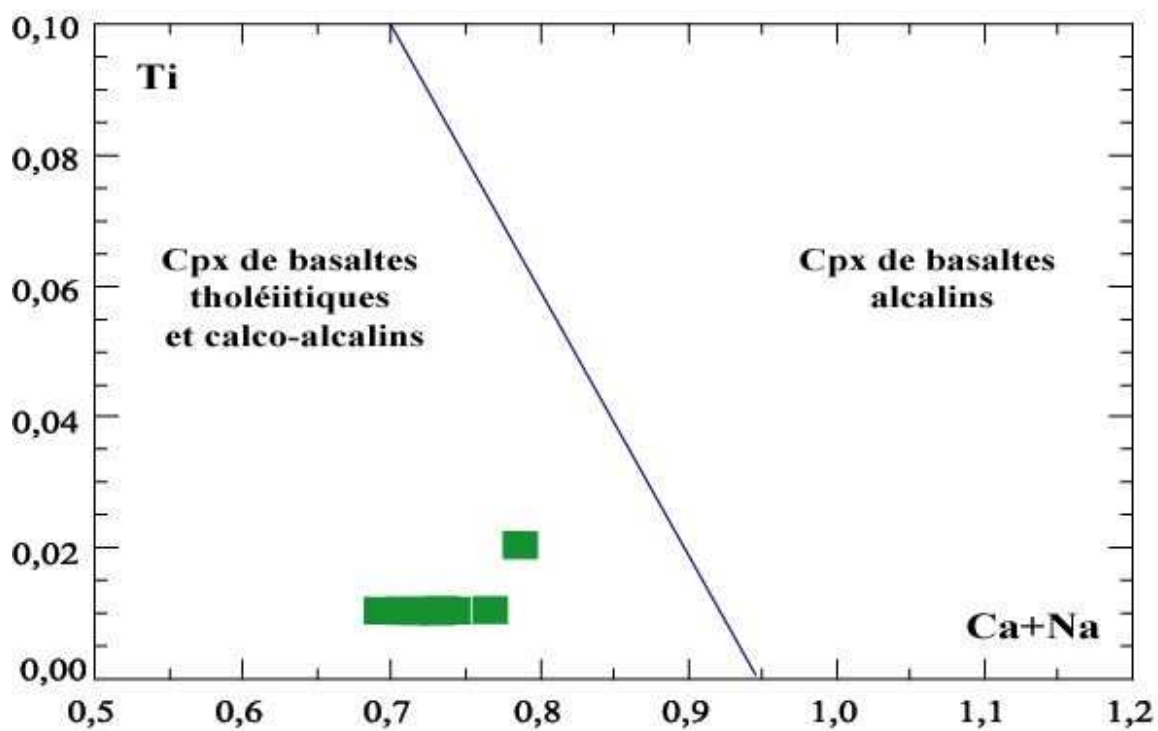
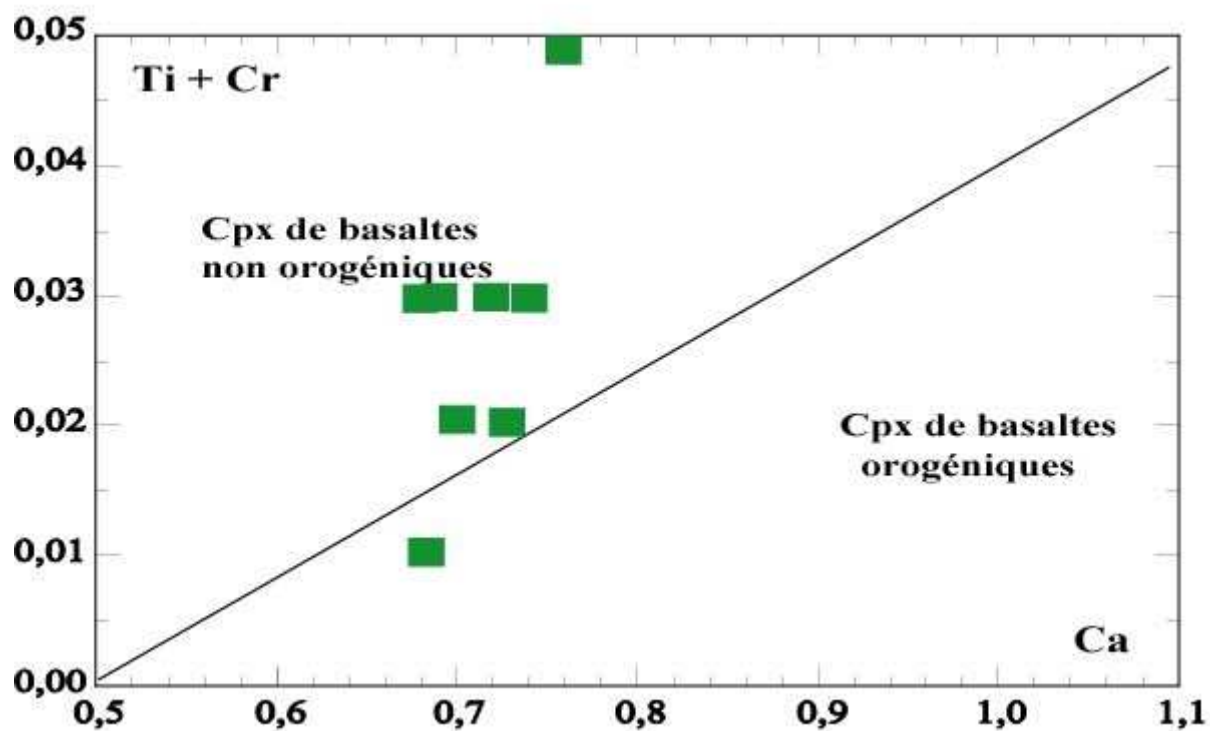


Figure 10: Position des clinopyroxènes des roches basiques de Zérigat dans les diagrammes de Leterrier et al. (1982).

III-4 Essai d'estimation des conditions thermodynamiques et conclusion

Il est établi que la composition chimique des clinopyroxènes est régie par la composition chimique du magma.

A partir des travaux expérimentaux de Green et Ringwood (1968), Green (1972) et Helz (1973), Graviou (1984) a montré que les teneurs en Al^{IV} du Cpx augmentaient quand la teneur en H_2O du magma diminuait. Les rapports Al^{IV}/Al^{VI} supérieurs à 1 seraient caractéristiques d'une cristallisation sous des pressions inférieures à 10 kb (Green, 1972).

Dans les faciès de Zérigat, les faibles teneurs en Al^{IV} des Cpx résulteraient d'une quantité de H_2O non négligeable dans le magma. De plus, les rapports Al^{IV}/Al^{VI} supérieurs à 1 semblent traduire des pressions modérées ne dépassant pas 10 kb.

Par ailleurs, la teneur en Ti des Cpx dépend de la température de cristallisation, elle est corrélée positivement avec la teneur en Al^{IV} (Kushiro, 1960 ; Lebas, 1962). Ces deux auteurs 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.

Dans le cas de nos roches, les teneurs en Ti sont faibles, tout comme celles de Al^{IV} , ce qui traduirait des températures de cristallisation faibles à modérées.

En conclusion de cette étude minéralogique, nous pouvons dire que les roches étudiées présentent une paragenèse primaire composée essentiellement de plagioclase, de clinopyroxène et d'opacques reflétant bien des faciès doléritiques dans les termes grenus.

L'étude chimique des phases minérales a permis de déterminer :

- Un plagioclase, souvent zoné, qui se caractérise par un cœur à composition bytownite-labrador et une bordure andésinitique,
- Un clinopyroxène riche en CaO de type augite,
- Des oxydes ferro-titanés riches en fer avec des teneurs en titane non négligeables, ce qui les rapproche des titanomagnétites.

Par ailleurs, la composition chimique du clinopyroxène reflète l'affinité géochimique et le caractère géodynamique qui se traduisent par une tendance tholéïtique et un contexte non orogénique.

Les estimations des conditions thermodynamiques du magmatisme basique de Zérigat révèlent :

- Un caractère sursaturé en silice du magma à l'origine de ces roches,
- Des teneurs en H_2O non négligeables dans le magma,
- Des températures relativement faibles,

- Des pressions relativement modérées inférieures à 10 kb, ce qui traduit une profondeur maximale de 35 km.

IV-1 Introduction

La géochimie utilise les principes de la chimie pour expliquer les mécanismes qui règlent le fonctionnement et l'histoire des grands systèmes géologiques tels que le manteau, la croûte, l'océan ou l'atmosphère.

A l'aide des traceurs naturels, elle permet de caractériser les grands réservoirs chimiques de la terre, de détecter d'éventuelles anomalies et de suivre les transferts d'éléments dans les processus pétrogénétiques.

Parmi les analyses effectuées dans le cadre des travaux de Mekkaoui (travaux en cours), nous en avons sélectionné les plus représentatives du magmatisme basique de Zérigat.

Ces analyses d'éléments majeurs et traces (avec Terres Rares) vont nous permettre d'établir une classification et une caractérisation géochimique, d'évaluer le comportement des éléments majeurs et traces lors de la différenciation et de proposer un contexte géodynamique et une source dans la genèse des magmas.

Les analyses des éléments majeurs et traces sont consignées dans le **tableau 4**

Il est à remarquer que la perte au feu des roches étudiées est faible, ne dépassant pas 1.70%, reflétant bien l'état de fraîcheur de ces roches.

IV-2 Classification et caractérisation géochimique

Dans la classification chimique proposée par la commission IUGS pour les roches volcaniques (Lebas et al., 1986 in Le Maître et al., 2002), les roches du complexe volcanique de Zerigat se répartissent entre les champs des basaltes et des andésito-basaltes (**Fig.11**).

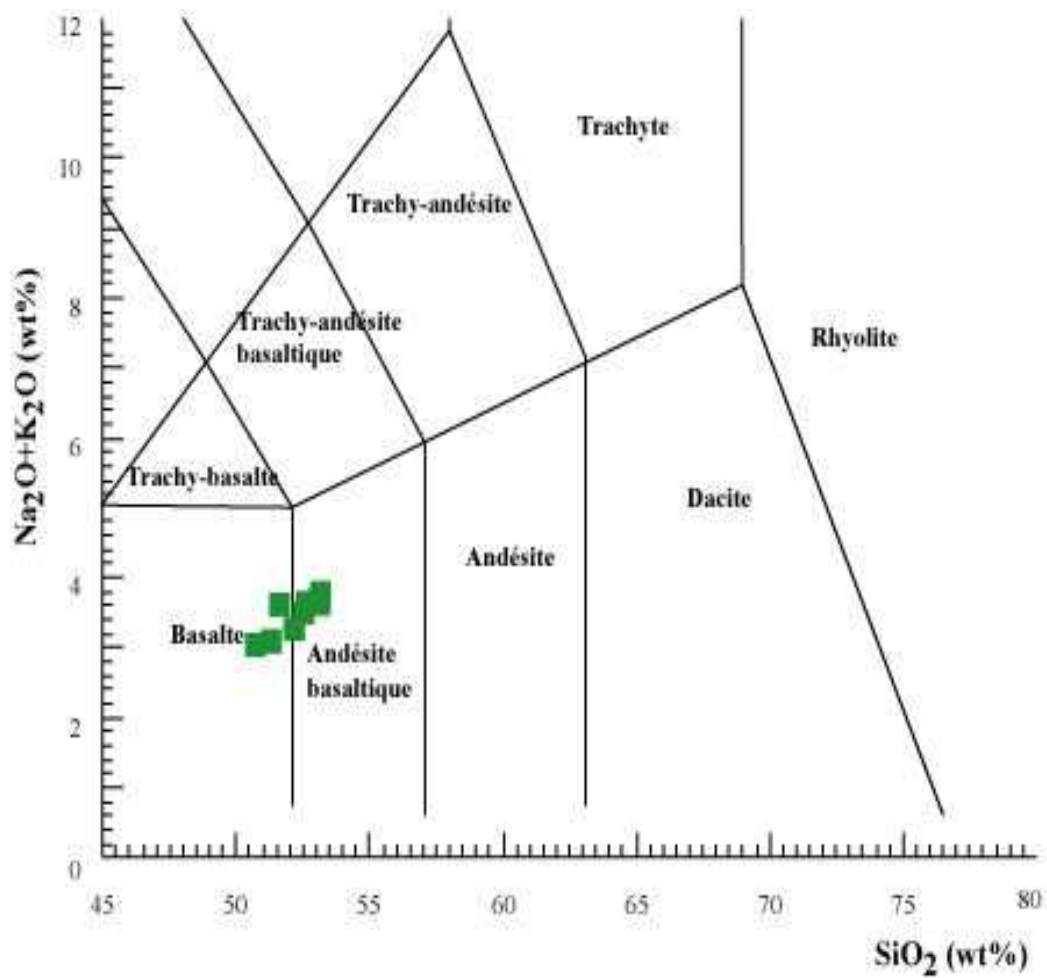


Figure 11 : Diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 des roches basiques de Zérigat. (Lebas et al., 1986 in Le Maître et al., 2002)

	Zr 01	Zr 03	Zr 04	Zr 05	Zr 06	Zr 07	Zr 08	Zr 09
SiO₂	53,38	53,36	51,75	52,32	50,75	51,45	52,65	52,8
Al₂O₃	14,61	14,53	14,02	13,54	13,51	13,82	14,42	13,85
Fe₂O₃	10,19	10,56	10,87	10,55	10,56	10,8	10,53	10,76
MnO	0,1	0,11	0,17	0,15	0,13	0,14	0,11	0,11
MgO	5,09	5,10	7,01	6,95	7,73	7,16	5,28	6,24
CaO	8,59	8,60	10,32	9,81	10,07	10,09	8,9	8,78
Na₂O	2,41	2,45	2,86	2,19	2,04	2,12	2,39	2,29
K₂O	1,37	1,28	0,77	1,14	0,97	1	1,25	1,26
TiO₂	1,59	1,61	1,36	1,43	1,37	1,41	1,54	1,37
P₂O₅	0,21	0,20	0,17	0,2	0,17	0,16	0,2	0,18
P.F	1,24	1,70	0,37	0,9	1,45	0,98	1,6	1,24
Total	99,85	99,5	100,16	99,99	99,91	99,78	100,02	99,73
Y (ppm)	26,1	27,1	25,4	28,5	24,8	23,9	23,8	26,8
Sr	266,7	268,1	252,9	244,6	235,8	246	251,8	262,6
Rb	31,3	34,7	13,1	36,3	31,4	31,9	31	34
Zr	147,5	158,2	128,3	155,4	129,9	127,6	130,4	152,5
Nb	12,7	13,6	9,7	12,4	11,2	12,4	10,9	12,6
Ga	19,5	20,1	19,2	19,9	18,5	19,3	18	20,4
Pb	5,5	7,3	5,4	5,5	3,9	6	5,5	4,7
Cu	59,1	66,4	79,1	15,7	76,4	30	58,8	60,7
Ni	47,5	51,8	99	89,6	106,5	94,5	78,8	51,7
Co	30,3	32,2	43,3	43,5	44,7	44,5	35,3	35,1
Cr	181	189,1	296,6	331,4	372,3	338,9	292,8	216,9
V	236,3	246,8	269	240,4	243,4	247	217,2	276,7
Ba	246,6	285,8	229,9	287,3	259,6	252,9	220,4	264,7
Sc	39,6	36,5	32	32,5	31,5	30,6	31,2	35,3

Tableau 4 : Compositions chimiques des éléments majeurs et traces des roches basiques de Zérigat.

Le diagramme discriminant Zr/P_2O_5 vs Nb/Y de Winchester et Floyd (1976) permet de situer les roches de Zérigat dans le champ des basaltes subalcalins (Fig.12).

Quant au diagramme Nb/Y vs Zr/P_2O_5 de Winchester et Floyd (1977), il confirme l'affinité tholéiitique des roches étudiées. (Fig.13).

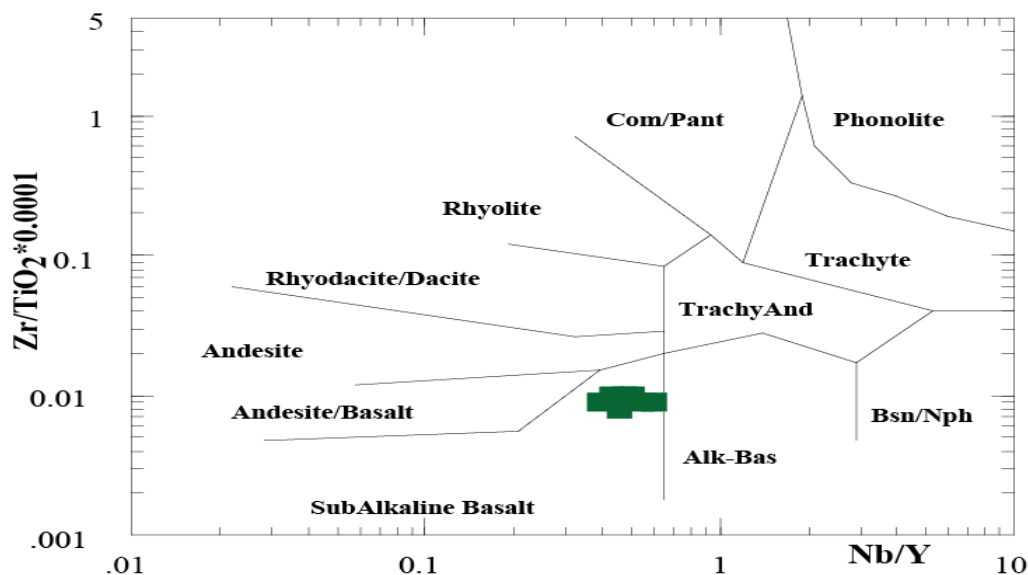


Figure 12 : Classification des dolérites de Zerigat dans le diagramme $Zr/TiO_2 - Nb/Y$ de Winchester et Floyd 1976.

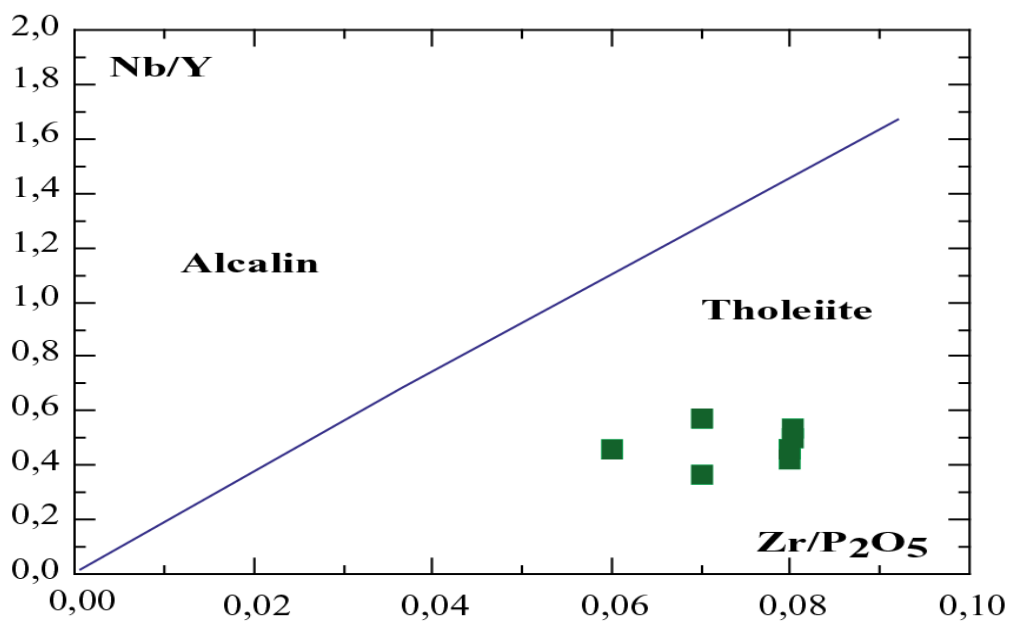


Figure 13 : Diagramme Nb/Y vs Zr/P_2O_5 montrant la limite entre le domaine alcalin et le domaine tholéiitique d'après Winchester et Floyd (1977).

	Zr 01	Zr 03	Zr 04	Zr 06
Q	7,47	7,32	0,26	2,38
Or	8,38	7,82	4,63	5,95
Ab	21,08	21,38	24,58	17,89
An	25,83	25,63	23,50	25,74
Lc	0,00	0,00	0,00	0,00
Ne	0,00	0,00	0,00	0,00
C	0,00	0,00	0,00	0,00
Ac	0,00	0,00	0,00	0,00
Ns	0,00	0,00	0,00	0,00
Di	13,99	14,19	22,53	20,41
Hy	17,57	17,92	19,32	22,37
Ol	0,00	0,00	0,00	0,00
Mt	2,08	2,15	2,18	2,16
He	0,00	0,00	0,00	0,00
Il	3,13	3,16	2,63	2,70
Ap	0,47	0,45	0,38	0,39
	100,00	100,00	100,00	100,00

Tableau 5 : Composition normales des roches basiques de Zérigat.

Le calcul de la norme CIPW (**tableau 5**) et son utilisation dans le diagramme de Thompson (1984) (**Fig.14**) montrent la sursaturation en SiO_2 de toutes ces roches qui se traduit par la présence :

- de quartz normatif atteignant les 7%,
- d'hypersthène normatif avec des pourcentages assez importants (jusqu'à 22%).

Les roches de Zérigat ont donc des compositions de tholéïtes à quartz, traduisant des magmas sursaturés en silice.

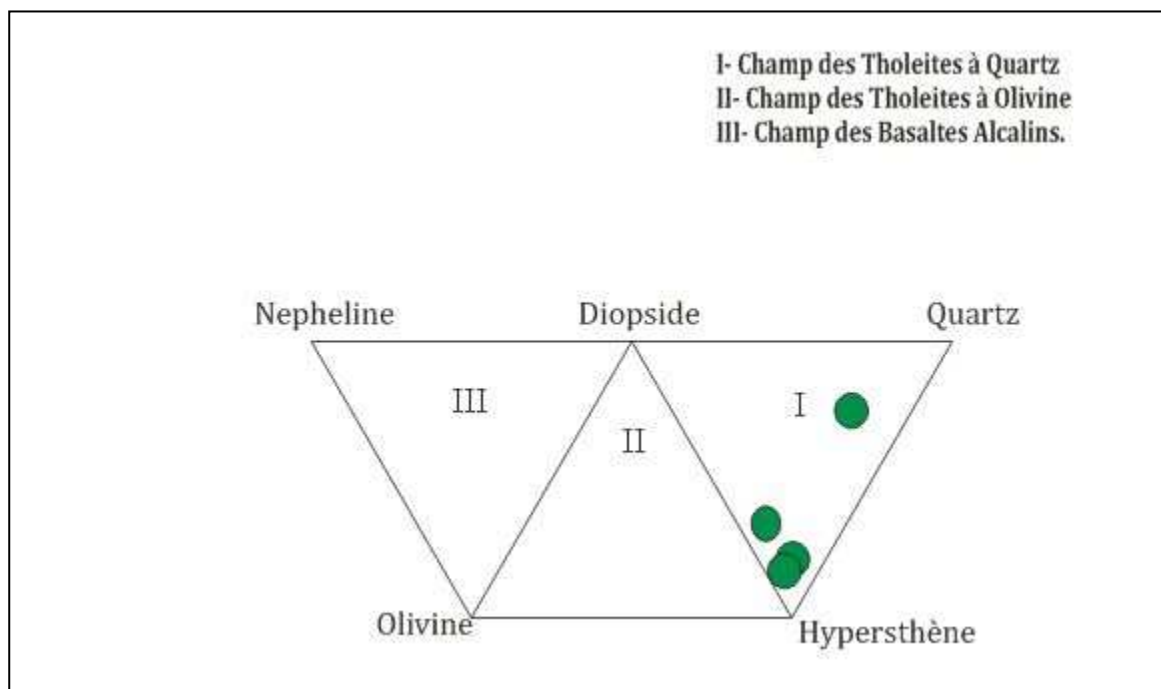


Figure 14 : Position des roches dans le diagramme normatif de Thompson (1984).

IV-3 Comportement des éléments majeurs et traces

Ces volcanites doléritiques, dont la paragenèse est dominée par le plagioclase, le clinopyroxène et les opaques, sont de composition basique à intermédiaire (SiO_2 compris entre 50.75 et 53.38%) avec des teneurs faibles à modérées en Fe_2O_3 (10.19-10.87%), TiO_2 (1.36-1.61), P_2O_5 (0.16-0.21) Y (23.8-28.5%), Zr (127.6-158.2%) et V (217.2-276.7%).

Ces caractères géochimiques rappellent les caractéristiques des LPT et (low P_2O_5 - TiO_2 tholéiites) (Mekkaoui et al., 2010).

Par ailleurs, les teneurs en MgO sont également faibles à modérées (5.09-7.73%) traduisant des caractères de basaltes évolués où le magma a déjà subi une cristallisation fractionnée à partir d'un magma parental.

IV-3-1 Evolution des spectres des Terres Rares et des arachnogrammes

Les faciès de Zérigat présentent des spectres de terres rares dans lesquels apparaît (Fig.15) :

- Un enrichissement en terres rares légères (LREE) (40 à 70 fois les chondrites) par rapport aux terres rares lourdes (HREE) (10 fois les chondrites),
- Une légère anomalie négative en Eu traduisant le fractionnement du plagioclase.
- Un fractionnement modéré des spectres ($(\text{La}/\text{Yb}_N \sim 4 \text{ à } 5)$), indiquant une source mantellique probablement à spinelle.

		ZR03	ZR04	ZR06	ZR10
Ce(ppm)	395,25	43,65	31,94	34,65	48,91
Dy	353,17	5,20	4,76	4,88	5,66
Er	390,63	2,91	2,32	2,83	2,99
Eu	412,97	1,63	1,34	1,45	1,78
Gd	342,24	5,61	5,22	5,12	7,21
La	408,67	21,06	13,98	17,28	20,33
Nd	401,22	22,46	17,38	19,86	25,35
Sm	356,82	5,76	4,94	5,27	6,81
Tm	346,22	0,43	0,42	0,44	0,54
Y	324,20	25,14	23,49	23,44	30,58
Yb	369,42	2,62	2,31	2,32	3,07

Tableau 6 : Compositions chimiques des Terres Rares des roches basiques de Zérigat.

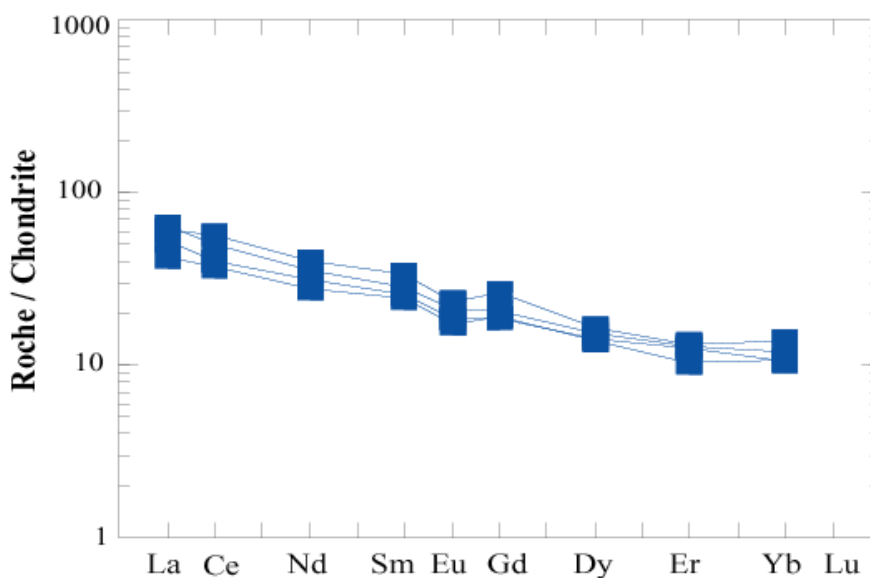


Figure 15 : Distribution des terres rares dans les roches basiques de Zérigat.
(Normalisation par rapport aux chondrites de Nakamura, 1974)

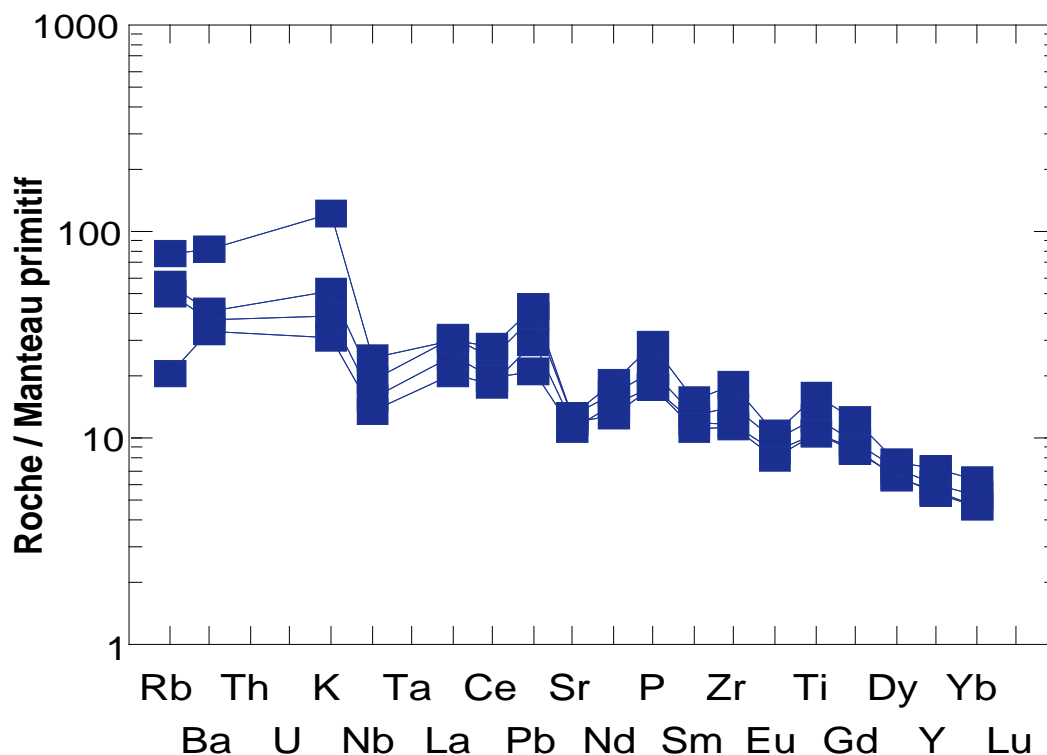


Figure 16 : Spectres multiélémentaires des roches basiques de Zerigat, normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995).

Les diagrammes multiélémentaires (arachnogrammes) normalisés au manteau primitif de Mc Donough et Sun (1995) (**Fig.16**) montrent, comme la plupart des tholéiites continentales :

- Un enrichissement en LILE (20 à 100 fois le manteau primitif), LREE (20 à 30 fois) et appauvrissement en HFSE,

- Une anomalie négative en Nb bien marquée traduisant le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches. L'anomalie positive en Pb confirme l'implication de cette croûte.

- Les anomalies négatives en Sr et Eu confirment le fractionnement du plagioclase, c'est-à-dire sa cristallisation précoce.

IV-4 Le contexte géodynamique

L'étude des éléments majeurs et traces a montré que les roches étudiées présentaient des caractéristiques de tholéiites continentales. L'utilisation de diagrammes géotectoniques permettra de confirmer ce caractère.

Dans le diagramme binaire Zr/Y vs Zr de Pearce et Norry (1979), utilisé pour la discrimination des contextes géodynamiques, les roches étudiées s'inscrivent dans le domaine des basaltes intraplaques caractérisés par des valeurs assez élevées du rapport Zr/Y par rapport aux basaltes des autres environnements (**Fig.17**).

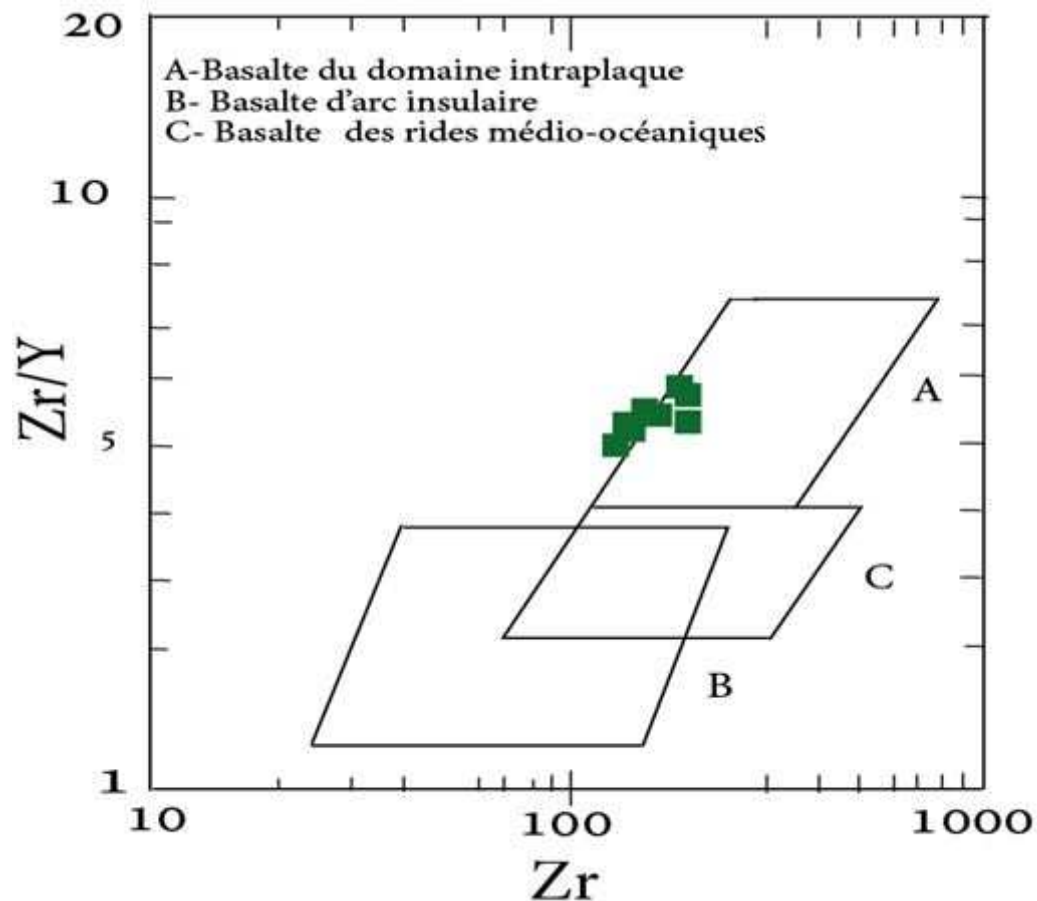


Figure 17: Diagramme géotectonique Zr/Y versus Zr (Pearce et al., 1979) des roches de Zérigat

Dans le diagramme triangulaire de Meschede (1986), les points représentatifs des échantillons analysés se placent, pour la plupart, dans le champ des magmas intraplaques. (**Fig.18**).

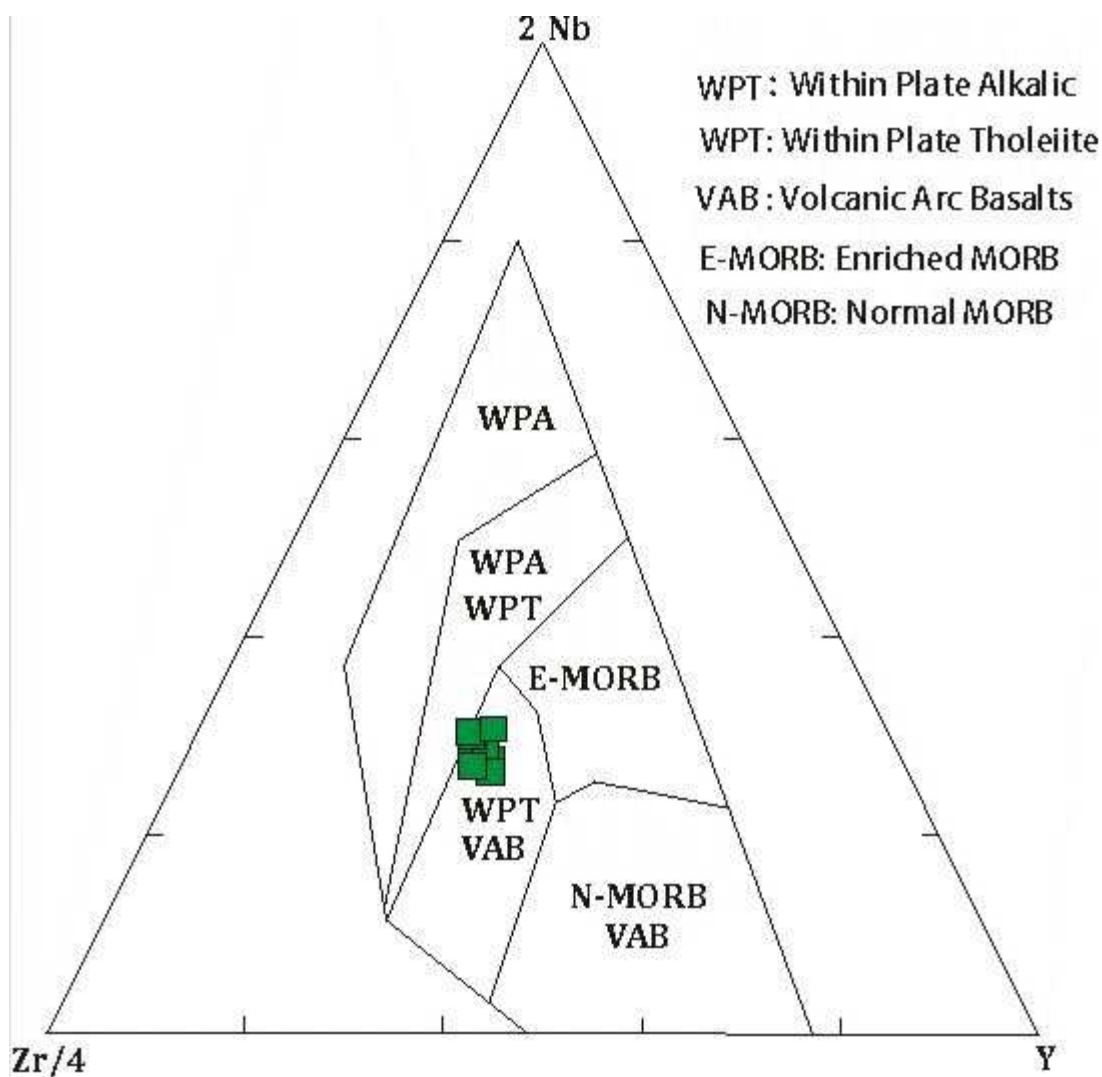


Figure 18 : Diagramme géotectonique pour les roches basiques de Zérigat. (Meschede, 1986)

IV-5 Conclusion

L'étude géochimique des roches étudiées de Zerigat révèle les caractères suivants :

- des compositions de roches basaltiques à andésito-basaltiques,
- Une affinité subalcaline à tendance tholéiitique,
- des compositions de tholéiites à quartz, traduisant des magmas sursaturés en silice,
- Un caractère de tholéiites continentales type LPT (low P₂O₅-TiO₂ tholéiites) démontré par la composition minéralogique et le comportement des éléments majeurs et en

traces : Un enrichissement en LILE, LREE et appauvrissement en HFSE. Les anomalies négative en Nb et positive en Pb traduisent le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches.

➤ Un fractionnement modéré des spectres de terres rares ($La/Yb_N \sim 4$ à 5), indiquant une source mantellique probablement à spinelle,

➤ Un contexte géotectonique typique de magmas intraplaques

Par ailleurs, les roches de Zérigat sont probablement générées à partir d'un magma qui a subi un début de cristallisation fractionné (fractionnement du plagioclase surtout démontré par les anomalies négatives du Sr et Eu) et une contamination crustale.

Conclusions générales

Au terme de ce travail, les objectifs fixés ont été atteints. Notre contribution à l'étude pétrographique, minéralogique et géochimique des roches de Zerigat, dans la région d'Abadla a permis de caractériser le magmatisme basique de cette région.

Situé au nord d'Abadla, le complexe de Zérigat est constitué de coulées reposant sur un substratum permo-triasique et recouvertes de formations tertiaires.

L'étude pétrographique a montré la présence de deux types texturaux : hypovolcanique à volcanique.

La microscopie révèle une texture intergranulaire, subophitique (doléritique) qui se caractérise par l'agencement des lattes de plagioclases, laissant des espaces interstitiels qui sont comblés par des clinopyroxènes et subsidiairement par de la silice type calcédoine. Ce faciès hypovolcanique montre une paragenèse primaire comprenant essentiellement du plagioclase, du clinopyroxène et des oxydes ferro-titanés. De belles plages de silice (calcédoine ou agate) se développent tardivement.

Le faciès volcanique présente une texture microlitique porphyrique avec une paragenèse minérale similaire au premier faciès, à savoir des phénocristaux de plagioclase, de clinopyroxène et d'oxydes ferro-titanés baignant dans une mésostase.

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

- Un plagioclase zoné de composition bytownite-labrador au cœur et andésine en bordure,

- Un seul pyroxène de type augite,

- Des opaques de type magnétite riche en TiO_2 (titanomagnétite au sens large).

Dans les roches de Zérigat, le clinopyroxène montre des teneurs élevées en SiO_2 et pauvres en Al_2O_3 , ce qui traduit un caractère sursaturé en silice du magma. La composition chimique de cette phase minérale traduit également un contexte non orogénique et tholéiitique.

Les estimations des conditions thermodynamiques de ce magmatisme traduisent :

- Un caractère sursaturé en silice du magma à l'origine de ces roches,

- Des teneurs en H_2O non négligeables dans le magma,

- Des températures relativement faibles,

- Des pressions relativement modérées inférieures à 10 kb, ce qui traduit une profondeur maximale de 35 km.

Conclusions générales

L'étude géochimique des roches étudiées de Zerigat révèle des compositions de roches basaltiques à andésito-basaltiques, confirmant l'affinité subalcaline à tendance tholéiitique.

Le caractère de tholéiites continentales type LPT (low P₂O₅-TiO₂ tholéiites) est démontré par le comportement des éléments majeurs et en traces : un enrichissement en LILE, LREE et appauvrissement en HFSE. Les anomalies négative en Nb et positive en Pb traduisent le rôle joué par la croûte continentale dans la genèse de ces roches.

De plus, le fractionnement modéré des spectres de terres rares (La/Yb_N ~ 4 à 5), indique une source mantellique probablement à spinelle.

Les roches de Zérigat présente un contexte géodynamique typique de magmas intraplaques.

Le magma à l'origine de ces roches doléritiques a probablement pris naissance à une profondeur maximale de 35 km. Entre cette profondeur et la surface, le magma aurait subi la cristallisation fractionnée et la contamination par la croûte continentale.

Enfin, la géologie et les données radiométriques ³⁹Ar/⁴⁰Ar sur les roches de Zérigat établies par Chabou et al (2007) et précisant un âge de 193 Ma, permettent de mettre ces tholéiites continentales en relation avec celles de la province magmatique de l'Atlantique central (CAMP).

N°Ech	Zr 03							Zr 01		
N°Anal.	68. b	69. c	70. c	71. in	72. b	110. c	111. b	70 c	35 c	36 c
SiO ₂	57,61	55,67	51,98	52,15	57,65	51,74	57,38	51,98	51,56	50,27
Al ₂ O ₃	25,68	27,61	29,82	28,92	26,73	30,04	26,35	29,82	30,84	30,8
TiO ₂	0,05	0,15	0,01	0,08	0,11	0,03	0,14	0,01	0,05	0,09
FeO	0,66	0,63	0,57	0,65	0,68	0,64	0,61	0,57	0,6	0,72
MnO	0,07	0	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03
MgO	0,03	0,09	0,19	0,13	0,05	0,12	0,05	0,19	0,22	0,15
CaO	8,64	10,87	14,2	12,92	9,38	14,06	9,69	14,2	14,31	14,39
Cr ₂ O ₃	0	0	0,01	0	0	0	0,01	0,01	0	0
Na ₂ O	6,21	5,12	3,39	3,99	5,96	3,39	5,47	3,39	3,42	3,16
K ₂ O	0,63	0,42	0,19	0,26	0,56	0,19	0,58	0,19	0,18	0,17
TOTAL	99,58	100,56	100,37	99,13	101,14	100,23	100,3	100,37	101,21	99,78
Si	2,6	2,5	2,36	2,4	2,57	2,35	2,58	2,36	2,33	2,30
Al	1,37	1,46	1,6	1,57	1,4	1,61	1,39	1,60	1,64	1,66
Fe	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
Ca	0,42	0,52	0,69	0,64	0,45	0,69	0,47	0,69	0,69	0,71
Na	0,54	0,45	0,3	0,36	0,51	0,3	0,48	0,30	0,30	0,28
K	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
% An	41,89	52,68	69,06	63,18	45,03	68,85	47,78	69,06	69,09	70,85
% Ab	54,48	44,9	29,84	35,31	51,77	30,04	48,81	29,84	29,88	28,15
% Or	3,64	2,42	1,1	1,51	3,2	1,11	3,41	1,10	1,03	1,00

Tableau 1: compositions chimiques et formules structurales des plagioclases

C : cœur ; b : bordure ; in : intermédiaire

N°Ech	Zr 03					Zr 01		
N°Anal.	77	73. b	74. c	112	113	29	31 c	32 b
SiO ₂	52,75	53,46	52,21	53,08	52,79	51,42	53,52	52,47
Al ₂ O ₃	1,53	1,54	2	1,51	1,93	3,13	1,66	1,77
TiO ₂	0,34	0,39	0,43	0,48	0,48	0,68	0,35	0,43
FeO	8,05	8,21	7,99	9,35	8,53	7,42	7,13	7,29
MnO	0,2	0,22	0,17	0,3	0,28	0,21	0,21	0,17
MgO	17,28	17,98	17,44	17,28	17,36	16,66	18,41	17,66
CaO	17,4	17,94	17,11	17,27	18,5	19,11	18,61	18,72
Cr ₂ O ₃	0,62	0,24	0,59	0,07	0,25	0,87	0,62	0,57
Na ₂ O	0,6	0,19	0,47	0,14	0,18	0,21	0,16	0,21
K ₂ O	0	0	0,04	0,01	0	0,05	0	0,03
TOTAL	98,77	100,17	98,45	99,49	100,3	99,76	100,67	99,32
Si	1,96	1,96	1,94	1,96	1,94	1,90	1,95	1,94
Al ^{IV}	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,10	0,05	0,06
Al ^{VI}	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01
Fe ³⁺	0,02	0	0,02	0	0,02	0,03	0,01	0,03
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Cr	0,02	0,01	0,02	0	0,01	0,03	0,02	0,02
Mg	0,96	0,98	0,97	0,95	0,95	0,92	1,00	0,97
Fe ²⁺	0,23	0,25	0,23	0,29	0,24	0,20	0,20	0,20
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,69	0,7	0,68	0,68	0,73	0,76	0,72	0,74
Na	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
% Wo	36,34	36,22	35,84	35,36	37,36	39,62	37,26	38,12
% En	50,21	50,5	50,82	49,22	48,77	48,05	51,27	50,03
% Fs	13,44	13,29	13,33	15,43	13,88	12,34	11,47	11,85

Tableau 2 : Compositions chimiques et formules structurales des pyroxènes.

N°Ech	Zr 03		Zr 01	
N°Anal.	108	75	61	40
SiO ₂	0,12	0,1	0,14	0,78
Al ₂ O ₃	1,46	1,05	1,3	1,75
TiO ₂	27,79	17,01	24,26	20,08
FeO	65,35	75,24	67,54	70,3
MnO	0,36	0,53	1,37	0,23
MgO	0,07	0,35	0	0,68
CaO	0,05	0,1	0,17	0,08
Cr ₂ O ₃	0,01	0,05	0,01	0,1
K ₂ O	0,03	0,02	0,01	0,07
TOTAL	95,24	94,45	94,8	94,07
FeO	55,54	45,23	51,31	48,40
Fe ₂ O ₃	10,9	33,35	18,04	24,34
Al	0,53	0,38	0,47	0,63
Ti	6,44	3,93	5,63	4,63
Fe ³⁺	2,53	7,7	4,18	5,62
Cr	0	0,01	0,00	0,02
Fe ²⁺	14,31	11,61	13,25	12,42
Mg	0,03	0,16	0	0,31
Mn	0,09	0,14	0,36	0,06

Tableau 3 : Composition chimique et formules structurales des minéraux opaques.

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Introduction & Généralités

I-1	Introduction	01
I-2	L'intérêt d'étude	02
I-3	Cadre géographique de la région d'Abadla	03
I-4	Contexte géologique	04
	I-4-1-Le Westphalien	04
	I-4-2- Le Stéphaniens	04
I-5	Situation du massif volcanique de Zériga	07
I-6	La géologie du massif de Zérigat	07
I-7	Historique des travaux	09

Chapitre II : Etude pétrographique

II-1	Introduction et données de terrain	11
II-2	Aspect microscopique	11
II-3	Ordre de cristallisation	12

Chapitre III : Etude minéralogique

III-1	Introduction	15
III-2	Etude chimique des phases minérales	15
	III-2-1- Les Plagioclases	15
	III-2-2- Le clinopyroxène	17
	III-2-3- Les oxydes ferro-titanés	20
III-3	Affinité géochimique et géotectonique à partir du chimisme du clinopyroxène ..	22
III-4	Essai d'estimation des conditions thermodynamiques et conclusion	25

CHAPITRE IV : Etude géochimique

IV-1	Introduction	27
IV-2	Classification et caractérisation géochimique	27

IV-3 Comportement des éléments majeurs et traces	32
IV-3-1 Evolution des spectres des Terres Rares et des arachnogramme	32
IV-4 Le contexte géodynamique	34
IV-5 Conclusion	36
CONCLUSION GENERALE	38

Références bibliographique.