

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 de l'Aménagement du Territoire

Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade :

Master en Magmatisme, Géodynamique et Transfer lithosphérique

Thème :

**Cartographie et volcanologie des produits éruptifs du volcan de
Douar El Hadjra (Souahlia - Oranie Nord-occidentale)**

Par :

BOUMEDIENE M'hamed

ZABOUR Brahim

Soutenance : 11/06/2015, devant la commission d'Examen.

Mme RAMACI N

Maître-de conférence

Présidente

Mr BENDOUKHA R

Maître-de conférence

Encadreur

Mr SEDDIKI A

Maître-de conférence

Examineur

Oran, 2015

Remerciements

Premièrement et avant tous, je remercie le Dieu le Tout puissant qui m'a aidé à réaliser ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, **Mr BENDOUKHA .R**. Je le remercie pour ces corrections, ses conseils éclairés et sa constante de disponibilité et sa grande qualité humaine.

J'exprime ma profonde gratitude à **M^m: RAMACI.N**, Maître de Conférences à l'Université d'Oran pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Sa participation me fait un grand honneur

Mes sincères remerciements vont également à **Mr. SEDDIKI. A**, Maître de Conférences à l'Université d'Oran qui a accepté d'examiner et juger ce mémoire.

Un grand merci à mes deux étoiles scintillantes (mes parents)-que le Bon Dieu me les garde aussi longtemps -pour leur dévouement et surtout pour leur amour et le sacrifice qu'ils m'ont accordés. A mes sœurs (Aicha, Malika et Sakina) qui m'ont accompagné, soutenu, supporté, et qui ont partagé mes moments de joies et de doute.

Il est également venu le temps de remercier tous les gens qui m'ont conseillé, m'ont aidé, m'ont encouragé et m'ont supporté (parfois dans les deux sens du terme), ces personnes irremplaçables et essentielles qui tendent à se fondre dans le décor de la vie quotidienne et sont parfois oubliées lorsque vient le moment d'exprimer officiellement sa reconnaissance. J'ai peur de commettre des impairs inexcusables. Dans l'éventualité où je me rendrais responsable d'un tel méfait, je prie par avance chacun de m'en excuser.

Enfin, que toutes les personnes qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre au cours de ces années et qui ne sont pas citées dans ces lignes, trouvent ici l'expression de ma plus sincère reconnaissance.

Sommaire

CHAPITRE I : Généralité

I.1.Introduction.....	1
I.2.Cadre Géographique.....	4
I.3.Cadre géologique et structural.....	4
I.3.1. l'allochtone métamorphique, de type rifain.....	5
I.3.2.L'allochtone non métamorphique.....	5
I.3.3.L'autochtone.....	5
I.4.Historique des travaux.....	7
I.5. But de travail.....	9

CHAPITRE II : Volcanologie

II.1.Introduction.....	10
II.2.Etude volcanologique du massif de Souahlia.....	11
II.2.1.Les volcans de la rive droite de l'oued El Marsa.....	12
II.2.2.Les volcans de la rive gauche d'Oued Marsa.....	19
II.2.3.Conclusion.....	26
II.3.le volcan de Douar El Hadjra.....	27
II.3.1. Cadre géographique.....	27
II.3.2.La morphologie du volcan.....	28
II.3.3.Etude volcanologique et cartographique du volcan de Douar El Hadjra.....	29
II.3.4.Géochronologie.....	35
II.3.5.Dynamisme du centre volcanique de Douar El Hadjra.....	36
II.3.6. Interprétation dynamique.....	37
II.3.7.Conclusion.....	37

CHAPITRE III : Pétrographie

III.1.Introduction.....	38
III.2.Pétrographie des laves de Souahlia.....	38
III.2.1.Le groupe pétrographique S1.....	

III.2.2. Les basaltes du groupe S2.....	40
III.2.3.Les basaltes du groupe S3.....	42
III.2.4.La mise en place des produits pétrographiques de chaque centre volcanique dans les différents ensembles de Souahlia.....	43
III.3.Pétrographie des laves du volcan de Douar El Hadjra.....	45
III.3.1. la coulée inférieure.....	45
III.3.2.La coulée supérieure.....	46
III.4.Conclusion.....	47

CHAPITRE IV : Géochimie

IV.1.Introduction.....	49
IV.2.Les éléments majeurs.....	49
IV.2.1.Distribution des éléments majeurs.....	49
IV.2.2.Classification et nomenclature des laves Souahlia.....	51
IV.2.2.1.Le Diagramme de Lemaître.....	51
IV.2.2.2.Diagramme alcalins- silice.....	52
IV.3.Les éléments en traces.....	53
IV.3.1.Les alcalins et alcalino-terreux.....	53
IV.3.2.Les éléments de transition.....	53
IV.4.Différenciation.....	55
IV.4.1.Comportement des éléments majeurs en fonction de l'indice de différenciation..	55
IV.4.2.Comportement des éléments en traces en fonction de l'indice de différenciation.	57
IV.5.Les terres rares.....	59
IV. 6.Conclusion.....	62

CHAPITRE V : Conclusion générale

LISTE DES FIGURES

Fig. 1: Répartition et âges du volcanisme néogène nord-occidentale (In Coulon et al 2002),.....	3
Fig. 2 : Situation géographique de la zone étudiée.....	4
Fig. 2: Contexte géologique de l'Oranie nord occidentale (in Bendoukha, 2008).....	6
Fig. 4 : Répartition géographique des volcans de Souahlia.....	11
Fig. 5 : Coupe du flanc NE d'El Arroussa.....	13
Fig. 6 : Coupe du flanc SW d'EL Bahri.....	15
Fig. 7 : Coupe du flanc NE de Ras El Kela.....	20
Fig. 8 : Coupe du Flanc Sud d'El Koudia.....	22
Fig. 9: Situation géographique du volcan de Douar El Hadjra.....	27
Fig. 10 : Les caractéristiques morphologiques du volcan de Douar El Hadjra.....	28
Fig. 11 : Formation rougeâtre du Permo-Trias.....	29
Fig. 12 : La formation des schistes.....	29
Fig. 13 : Coulée de basalte a olivine et pyroxène.....	30
Fig. 14 : Cartographie des produits éruptifs du volcan de Douar El Hadjra.....	31
Fig. 15 : Cartographie du volcan de Douar El Hadjra en 3D.....	32
Fig. 16 : Coupe longitudinal de volcan de Douar El Hadjra.....	34
Fig. 17: Le volcan de Douar El Hadja en forme de cône.....	34
Fig. 18 : Coupe du Flanc NE de volcan de Douar El Hadjra.....	35
Fig. 19 : Volcan de type strombolien.....	36
Fig. 20 : Coulée inférieure du groupe S1.....	39
Fig. 21 : Coulée inférieure du groupe S2.....	40
Fig. 22 : Coulée moyenne du groupe S2.....	41

Fig. 23: Coulée inférieure à xénocristaux d'amphibole.....	42
Fig. 24 : Coulée inférieure à olivine et pyroxène.....	45
Fig. 25 : Coulée supérieure à olivine et pyroxène.....	46
Fig. 26 : Position stratigraphique des produits éruptifs du volcan et leur corrélation...48	
Fig. 27 : Classification des laves alcalines selon le diagramme de Lemaître.....	51
Fig. 28 : Diagramme Na₂O + K₂O sur SiO₂ (Schwazer et Rogert 1974) des laves alcalines de Souahlia.....	52
Fig. 39 : Distribution des éléments majeurs en fonction de ID des laves alcalines plio-quaternaires de Souahlia.....	56
Fig. 30 : Distribution des éléments majeurs en fonction de ID des laves alcalines plio-quaternaires de Souahlia.....	59
Fig. 41 : Spectre de terres rares des laves alcalines plio-quaternaires de Souahlia.....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1: Tableau récapitulatif des centres d'émission et des coulées émises de Souahlia in (Bendoukha, 2008).....	26
Tableau.2: La mise en place des produits pétrographiques de chaque centre volcanique dans les différents ensembles de Souahlia.....	44
Tableau.3: Teneurs en éléments majeurs des coulées de l'ensemble de Souahlia.....	50
Tableau.4: Les Teneurs en éléments en traces des coulées des Souahlia.....	54
Tableau.5: Les Teneurs en terres rares des coulées des Souahlia (BENDOUKHA 2008).....	59

I.1.INTRODUCTION

L'Oranie nord occidentale, située à la jonction du tell algérien et du moyen atlas marocain, a été le siège d'une importante activité volcanique néogène à quaternaire.

Dans l'Oranie, le volcanisme mio-plio-quaternaire couvre de grandes surfaces depuis la région de Bouzedjar à l'ouest d'Oran et se poursuit jusqu'au Maroc à l'ouest.

D'après l'âge de mise en place des massifs volcaniques et selon leur localisation, on peut distinguer :

Dans le Sahel d'Oran (secteur de Tifaraouine- Bouzedjar) et les îles Habibas et les M'sirda le volcanisme essentiellement, représenté par des andésites, des dacites et des rhyolites est calco-alcalin d'âge miocène.

Dans le secteur de la Moyenne Tafna et des M'sirda, le volcanisme s'est installé au Miocène et s'est poursuivi au Pliocène.

Enfin, l'activité volcanique d'âge Plio-Quaternaire est représentée dans les secteurs de Souahlia (Ghazaouet), de la Basse Tafna (Beni-saf) et dans le secteur d'Aïn Témouchent.

Ce volcanisme montre un changement de composition au cours du temps : de calco-alcalin, au Miocène, il devient alcalin au Plio-quaternaires.

Cette évolution, qui apparaît généralisée à l'ensemble du pourtour de la Méditerranée occidentale, est attribuée :

- soit à un contexte particulier de subduction de la plaque Alboran sous la plaque Africaine et dont l'activité aurait été stoppée au Pliocène inférieur (Guardia, 1975, Bellon, 1976, Louni-Hacini et al. 1995, El-Azzouzi et al. 1999, Maury et al. 2000).
- soit à un contexte d'amincissement lithosphérique lié à la réactivation d'un vaste cisaillement parallèle à la marge nord-africaine (Hernandez et al. 1987, Piqué et al. 1998).
- soit à une combinaison complexe, dans l'espace et dans le temps, des deux processus (Zerka, 2004).

Le massif de Souahlia a été le siège d'importantes manifestations volcaniques de nature alcaline, d'âge Plio-Quaternaire (**Fig.1**).

Les dépôts rejetés par les centres d'émission dessinent des structures morphologiques variées : des dômes, des cônes stromboliens, et daya.

L'activité éruptive se caractérise par un seul type de dynamisme. Les émissions volcaniques se sont effectuées à des âges variés. à la faveur de dynamisme strombolien.

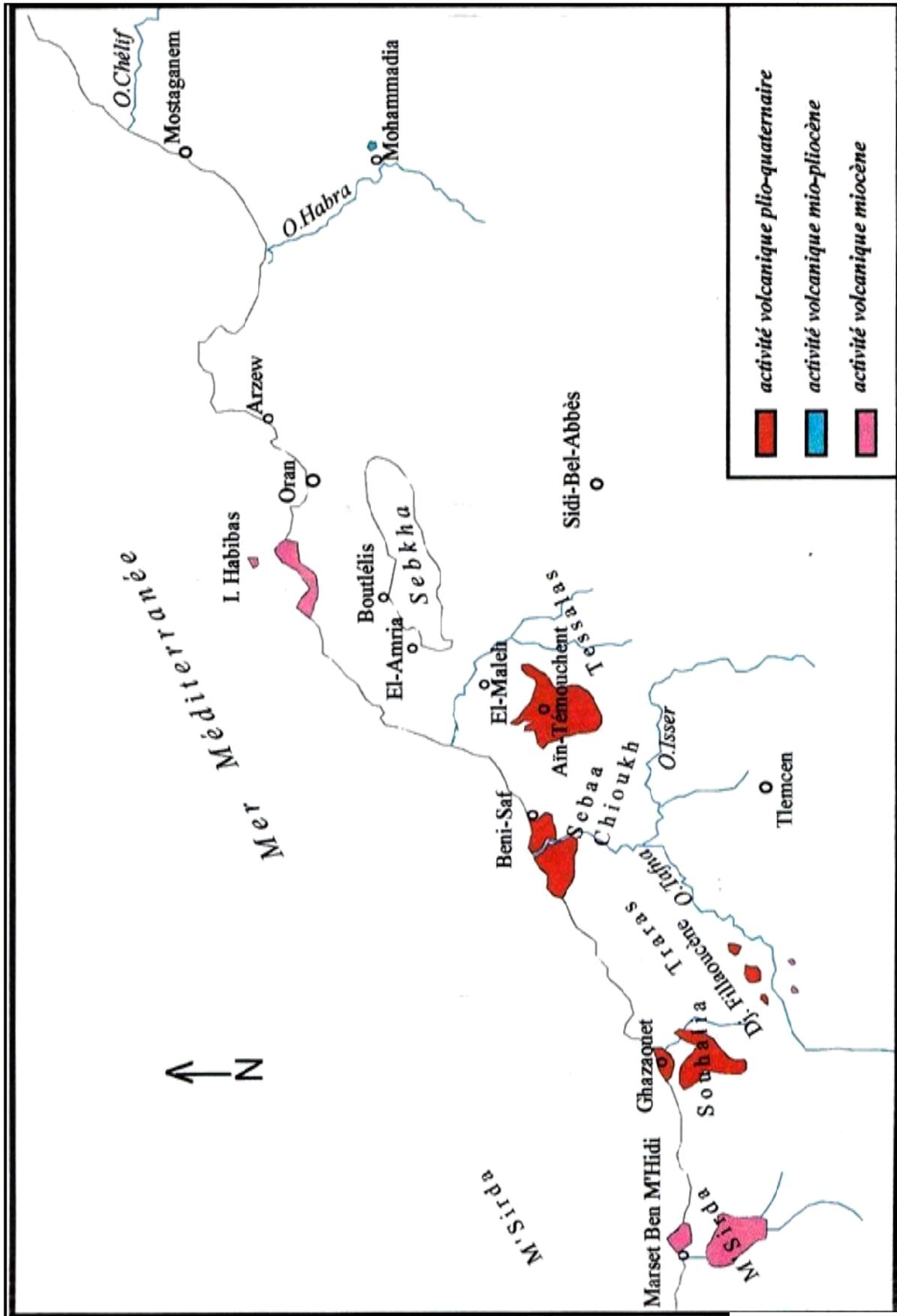


Fig. 1: Répartition et âges du volcanisme néogène nord-occidentale (In Coulon et al 2002.)

I.2.CADRE GEOGRAPHIQUE

Le massif éruptif de Souahlia est situé à une centaine de Km à l'ouest d'Oran. Il atteint au nord de la mer méditerranée, à l'Ouest par les massif des M'Sirda, au sud par la chaîne des Fillaoussène et à l'Est par le massif des Taras (**Fig.2**).

Ce massif volcanique est formé généralement de dômes de faible altitude (444 mètres pour le plus haut).

Les bouches d'émission au sommet de ces dômes, sont dans un état d'érosion plus au moins avancé. Elles surplombent de larges plateaux basaltiques qui offrent des sols très fertiles, d'ailleurs bien exploités par les agriculteurs.



 La zone d'étude

Fig. 2 : Situation géographique de la zone étudiée

I.3.CADRE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Les produits volcaniques de Souahlia représentés essentiellement par des dépôts effusifs et produits de projection resopent essentiellement tantôt :

- sur des formations d'affinité rifaine.
- sur des sédiments du Miocène synchro-nappes

- sur les assises marneuses du deuxième cycle post-nappes. (Fig.3)

Les formations géologiques, qui ont servi de substratum aux produits volcaniques de nature alcaline du massif de Souahlia s'intègrent dans la zone tellienne du domaine externe de la chaîne alpine, Cette dernière comprend des unités autochtones et allochtones :

I.3.1. L'allochtone métamorphique, de type rifain

L'allochtone métamorphique, de type rifain est Constitué de :

- *L'unité de Houariya : (Jurassique et Primaire).
- * L'unité de Skouna : (Jurassique et Crétacé inférieur).
- * L'unité Souahlia (Jurassique supérieur –Crétacé inférieur).

I.3.2.L'allochtone non métamorphique

Cet allochtone constitue l'unité de Flysch nord-maghrébin.

I.3.3.L'autochtone

Il est représenté dans Souahlia par des formations d'âge miocène, pliocène et quaternaire.

-le **miocène** est subdivisé en (Guardia 1975) :

-miocène synchro-nappes bien représentée dans la partie SW il forme essentiellement les parties méridionales des djebels Ali Ben Saleh et Zandal, dans ce secteur les intercalations gréseuses dans les marnes sont peu nombreuses.

- miocène second cycle post nappe, retrouvée autour de djebel Rabta, est formé essentiellement de marnes.

-Le **pliocène** : Il apparaît à la base des coulées de Djebel Rabta, dans sa partie occidentale. Il y est représenté par des poudingues.

-Le **quaternaire** : Il est bien représenté dans le secteur septentrional des Souahlia. Il est formé :

De sables dunaires ocre d'âge villafranchien.

Des croutes calcaires anciennes viennent recouvrir sans distinction, les plateaux subhorizontaux de basse altitude.

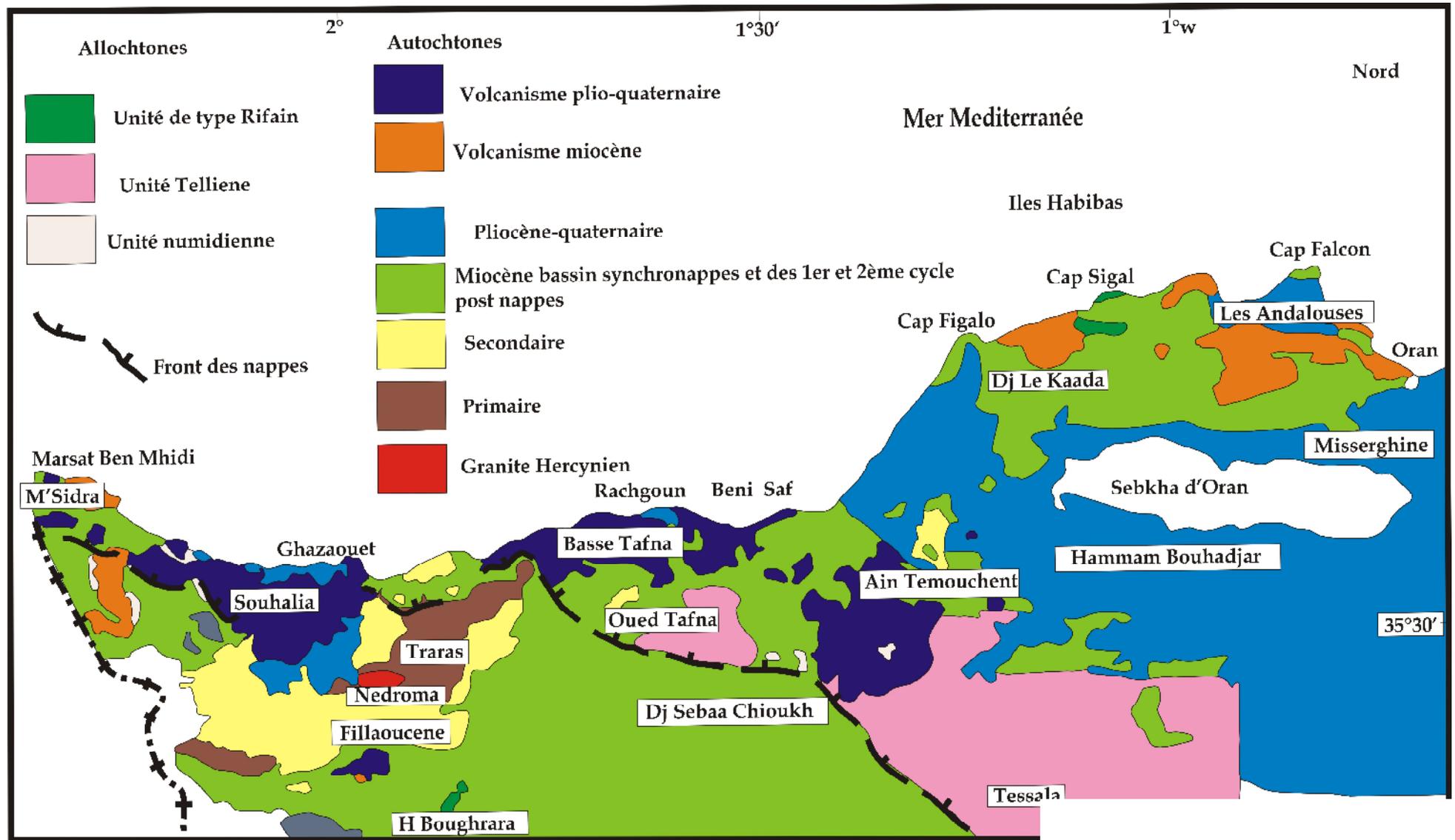


Fig. 3: Contexte géologique de l'Oranie nord occidentale (in Bendoukha, 2008)

I.4.HISTORIQUE DES TRAVAUX

Le magmatisme de l'Algérie du nord est représenté par des massifs plus ou moins éloignés les uns des autres selon les régions. Il dessine un liseré plus ou moins continu qui se poursuit au-delà des frontières orientales et occidentales.

Dans l'Ouest algérien, le magmatisme a aussi attiré l'attention de nombreux auteurs. Les roches volcaniques alcalines d'Oranie nord-occidentale ont fait l'objet de plusieurs travaux. Les plus anciens d'entre eux, datant de la fin du XIX^{ème} siècle, ont abouti à des notes succinctes portant sur l'étude de zones très limitées.

En effet, Velain (1874) donne une très courte description pétrographique du matériel éruptif. Il aborde la nature des riches volcaniques des îles Habibas et signale entre autre une néphéline à mélilite dans l'île de Rachgoun.

Lacroix (de 1893 à 1927), dans plusieurs de ses ouvrages, a apporté des précisions sur la minéralogie et la chimie des laves de la région. De nombreux échantillons, remis par Velain et Gentil, ont été cités dans ses publications sur « la minéralogie de la France et de ses colonies » et sur « les enclaves des roches volcaniques ».

Il fut le premier à qualifier les produits effusifs d'Aïn-Témouchent de basanitoïdes à analcime précisant ainsi, par la pétrographie, le caractère sous-saturé et alcalin de ce secteur.

Gentil (1903) présente une étude sommaire de quelques laves et rattache celles du plateau de Tadmaya à un basalte à olivine. D'autre part, il indique la présence de sanidine au Cap d'Acra et décrit des labradorites sans signaler leurs lieux.

Enfin, il entame une courte description des tufs à lapillis et présente une carte simplifiée de la région. Plus tard il publie des travaux sur les basaltes à analcime d'Ain Témouchent ainsi que le chimisme des laves.

Parallèlement à ces premières cartographies détaillées, Gentil (1903) présente une étude plus élaborée des massifs éruptifs de la Moyenne et Basse Tafna et du secteur d'Ain-Témouchent.

Sadran (1958) a focalisé ses travaux sur le volcanisme récent de l'Oranie et publie une thèse comportant une cartographie schématique des différents centres d'émission et des produits émis. Il donne une chronologie relative du volcanisme et précise la nature pétrographique des différentes coulées.

Bellon et Brousse (1977), Bellon et Guardia (1980) et Bellon et al (1984) de caractériser la position stratigraphique et l'âge de mise en place du volcanisme oranais.

Megartsi (1985) présente une synthèse géologique, pétrologique et géodynamique de tout le volcanisme mio-plio-quaternaire de l'Oranie nord-occidentale. Il différencie les manifestations volcaniques calco-alkalines, d'âge Miocène (secteur de Tifarouine-Bouzedjar), des éruptions alcalines mio-pliocènes (secteurs des M'sirda et de la Moyenne Tafna) et plio-quaternaires (massifs des Souhalia, de la Basse Tafna et d'Aïn-Témouchent).

Abbad (1993) présente une étude volcanologique de la partie septentrionale du massif éruptif de la Souhalia. Il met en évidence une série alcaline sodique pour les laves de Souhalia et un seul épisode volcanique majeur de type strombolien.

Louni-Hacini et al (1995) proposent de nouvelles datations radiométriques (40K-40Ar) de la transition du volcanisme calco-alkalin au volcanisme alcalin d'Oranie et obtienne des âges plus jeunes que ceux présentés par Bellon et Guardia (1980).

Louni-Hacini(2002), étudie la transition du magmatisme calco-alkalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie nord occidentale.

Bendoukha (2008) complète la cartographie du massif et précise les conditions de mise en place du magma rejeté par les centres de Souahlia. En outre il discute la source mantellique de ce massif.

Bendoukha et al (2009) présentent de nouvelles données sur le volcanisme et donnent une synthèse globale de la mise en place des coulées basaltiques de l'Oranie nord occidentale

Hassene Daouadji(2015) présente une étude comparative des produits éruptifs des massifs volcaniques de Mohammadien, de la Basse Tafna et du flanc sud de Djebel Fillaoucene.

I.5. BUT DE TRAVAIL

Le projet de notre travail avait pour objectif :

- De lever une cartographie détaillée du centre éruptif de Douar El Hadjra. a l'échelle 1 /25000.
- De lever une coupe géologique longitudinale du volcan de Douar El Hadjra.
- De présenter une corrélation entre les laves émises par le centre éruptif de Douar El Hadjra et celles rejetées par l'ensemble des volcans du massif de Souahlia.
- D'échantillonner toutes les coulées de laves rejetées par le volcan de Douar El Hadjra.
- De présenter une étude pétrographique des coulées basaltiques de Douar El Hadjra.
- De présenter un log litho- stratigraphique.
- D'étudier le dynamisme de volcan de Douar El Hadjra.
- De définir la nature magmatique du volcanisme Souahlia à l'aide de la géochimie (éléments majeurs, traces et terres rares).

II.1.INTRODUCTION

Le massif de Souahlia, situé 130km au Sud-ouest d'Oran, présente des reliefs plus ou moins élevés en forme de cône, dôme ou de daya comme celle de Tigraou. Des falaises entaillées par l'Oued Marsa depuis la ville de Ghazaouet jusqu'à Nedroma.

Les volcans de cette région ont tous une forme en cône ou en dôme aplati ou érodé à son sommet excepté celui de Tigraou qui présente une enceinte circulaire d'environ 800m de diamètre.

Les laves rejetées par les volcans de ce massif, se sont épanchées vers le sud-ouest et le sud-est et recouvrent de grande superficie.

La carte géologique de Souahlia, levée par Bendoukha (2008), dans laquelle ont été reportés les contours des formations volcaniques et sédimentaires. (**Fig. 3**) révèle l'importance en volume des produits éruptifs rejetés par l'ensemble des volcans du massif de Souahlia.

Les produits rejetés par les centres d'émission de l'ensemble des massifs reposent indifféremment :

- sur un matériel de nappes.
- sur les schistes de Dévonien.
- sur la formation Permo-triasique d'Ain Meftah.
- sur les grés ocre du Villafranchien.
- sur les assises marneuses du Miocène du 2^{eme} cycle post-nappes.

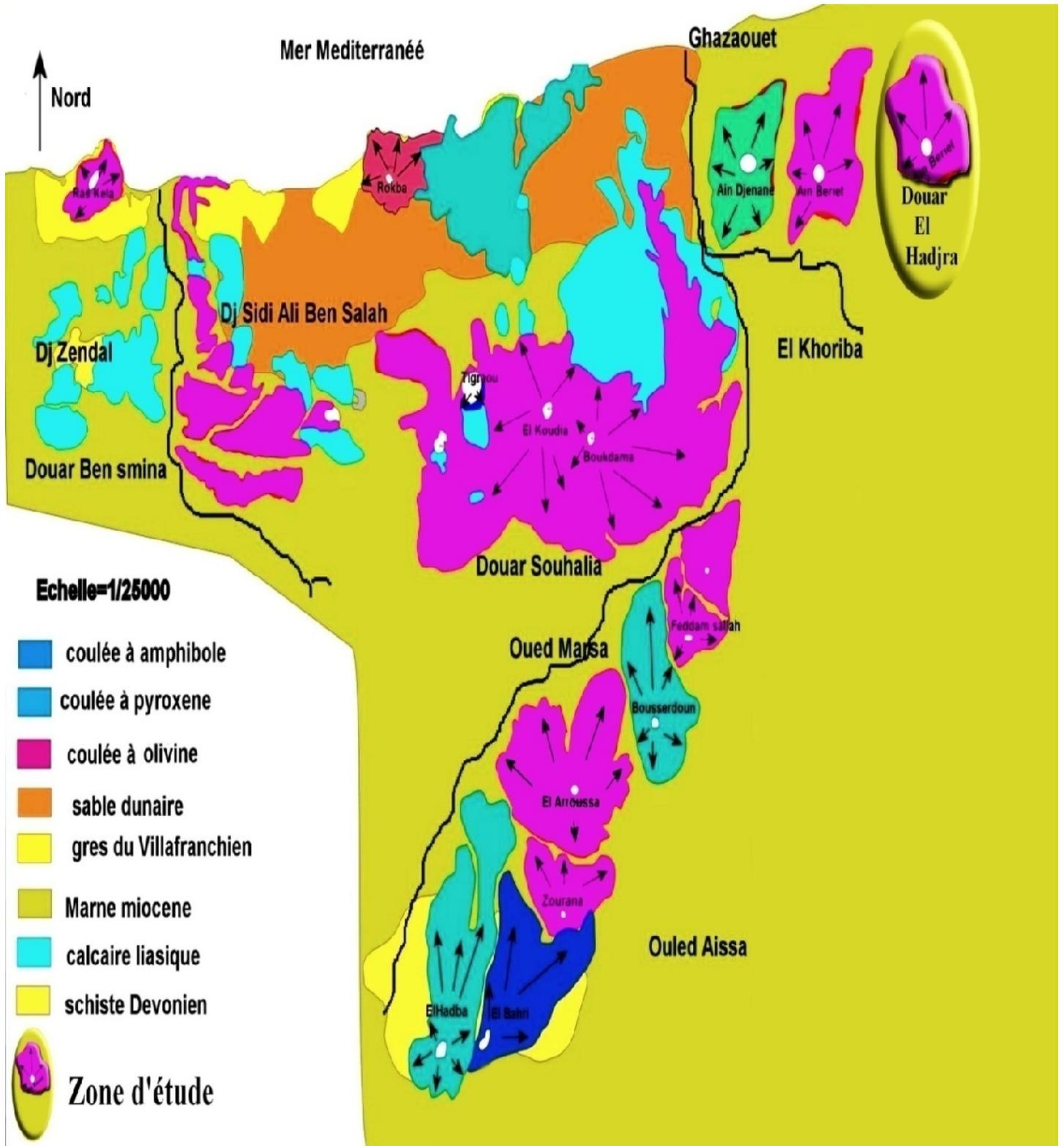


Fig. 4 : Répartition Géographique des centres d'émission de Souhalia (Bendoukha, 2008)

II.2.ETUDE VOLCANOLOGIQUE DU MASSIF DE SOUAHLIA

L'étude géologique du massif éruptif de souahlia a mis en évidence plus d'une vingtaine d'appareils éruptifs qui ont gardé leur forme originelle bien visible dans le paysage (Bendoukha, 1987 et 2008).

Ils ont rejeté une quantité importante de lave basaltique et de produit pyroclastique dessinant de petites collines en rive gauche et comme en rive droite (Mégartsis, 1985, Bendoukha, 1987 et 2008) (**Fig. 4**).

II.2.1.Les volcans de la rive droite de l'oued El Marsa

Sur la rive droite de l'Oued El Marsa, onze centres éruptifs éloignés les uns des autres ont été identifiés. La plupart ont gardé leur forme originelle bien visible de loin. Ils ont émis une quantité assez importante de lave basaltique qui s'est épanchée sur une grande distance et recouvrent une grande superficie. Certains dessinent de véritables plateaux basaltiques.

Le volcan d'El Arroussa (468 m)

Le volcan d'El Arroussa, situé au sud-ouest du massif, a gardé sa forme conique originelle. Le haut du cône est marqué par la présence de scorie de taille variant entre 10 et 30cm de diamètre de couleur rouille.

Son flanc sud est recouvert, par endroit, de croûte calcaire. Les trois coulées émises par cet appareil ont une couleur gris clair et se sont épanchées sur plusieurs Km vers le nord-ouest.

La coupe levée dans son flanc nord-est (**Fig.5**) montre de bas en haut :

- Une formation marneuse de couleur jaunâtre du Miocène du 2^{ème} cycle post-nappes, surmonté d'un niveau de paléosol de 2m d'épaisseur suivi d'un mince niveau de brèche scoriacée.
- La coulée inférieure (50m d'épaisseur) est très vésiculée à son sommet et présente une structure en plaquette. Elle renferme des phénocristaux d'olivine iddingsitisée de taille comprise entre 1 et 2cm de long et des pyroxènes de 1cm de long. A la cassure, la roche montre une couleur gris-bleu.
- Un mince niveau de brèche scoriacée, surmonté d'un paléosol de 2m d'épaisseur, qui lui-même est recouvert de brèche de base de coulée de couleur rouille.
- La coulée moyenne d'épaisseur 30m, est parsemée de « tâches de soleil ». Elle montre une couleur gris clair à la patine et gris sombre à la cassure et contient des cristaux d'olivine iddingsitisée de couleur rouille. La roche est affectée par un réseau de fractures remplies de calcite.

- Un mince niveau de tufs de couleur jaune rougeâtre renfermant des fragments de lave, de scories et de calcaire.
- La coulée supérieure, d'épaisseur estimée à 20m renferme des cristaux de pyroxène et d'olivine de taille millimétrique. Elle montre une couleur grisâtre à la patine et gris-bleu à la cassure.
- Un niveau de brèche scoriacée termine la coupe.

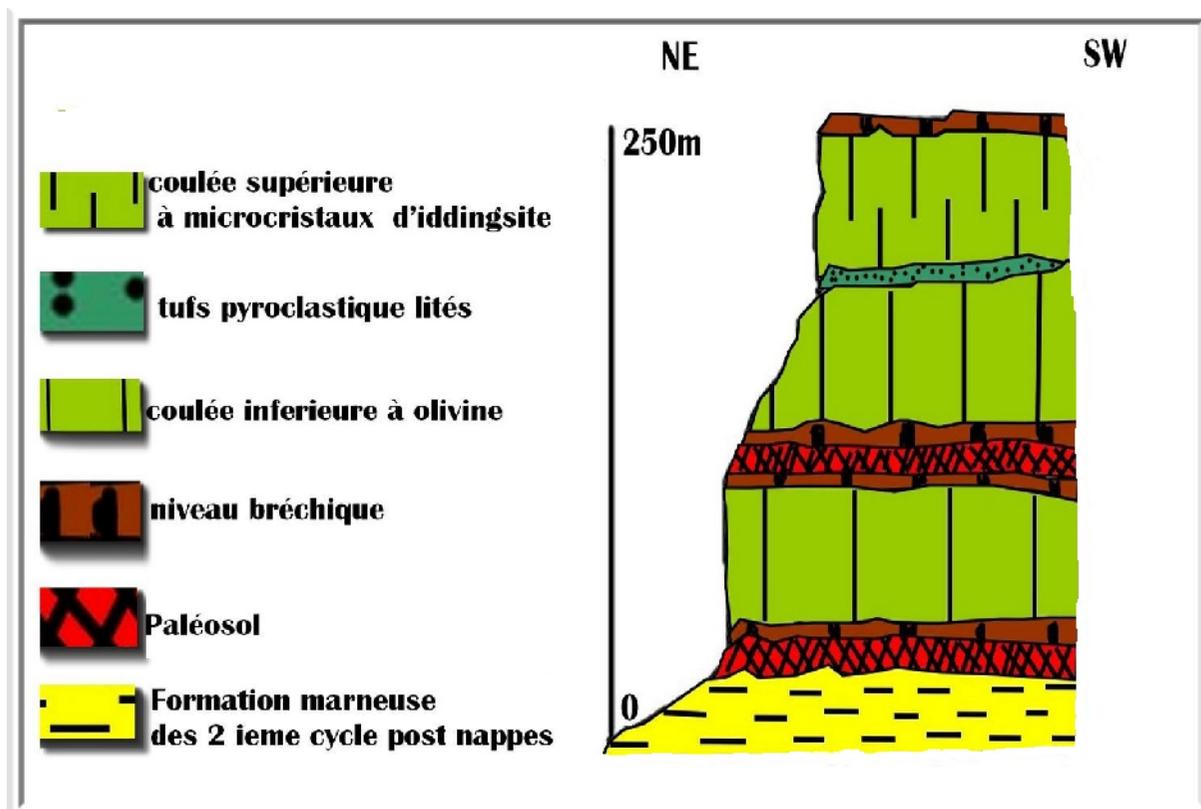


Fig. 5 : Coupe du flanc NE d'El Arroussa

Le volcan de Zourana (492m)

Le centre éruptif de Zourana, situé à environ 1 Km au Sud d'El Arroussa, possède un cône qui a subi une intense érosion et n'est reconnu que par la présence de scories brunes et de bombes scoriacées de taille moyenne comprise entre 40 et 60cm de long. La seule coulée émise par ce centre, possède une épaisseur d'environ 40m.

Elle s'est épanchée de façon centrifuge sur une faible distance.

Par endroit, la lave est parsemée de « tâches de soleil » de taille millimétrique. Elle est de couleur grise et présente une structure en boules. Ces dernières atteignent parfois jusqu'à 1m de diamètre.

La roche renferme parfois des cristaux de pyroxène de taille moyenne allant de 0,2 à 0,5 cm de long et quelques olivines altérées de 0,5cm de long. La coulée repose au sud-ouest sur la coulée supérieure émise par le centre éruptif d'El Bahri.

Le volcan d'El Bahri (614m)

Le volcan d'El Bahri, situé à 2 Km au sud-ouest du centre éruptif de Zourana a gardé sa forme originelle en dôme.

La présence de scories brunes, de taille centimétrique souligne le haut du dôme. Il a émis deux coulées basaltiques qui se sont épanchées sur une grande distance vers le nord-est et le nord-ouest, dessinant un plateau basaltique.

La coupe levée dans son flanc sud-est (**Fig.6**) montre de bas en haut :

- Un substratum marno-calcaire de couleur jaune verdâtre montrant un litage horizontal, d'âge Miocène du 2^{ème} cycle post-nappes. La coulée inférieure d'épaisseur estimée à 70m, présente une structure en plaquettes et est parsemée de « tâches de soleil ». La roche est de couleur gris-bleu à la patine et gris-sombre à la cassure. Elle renferme de nombreux cristaux de pyroxène de taille moyenne comprise entre 0,5 et 2cm de long ainsi que des cristaux d'olivine de 1 à 1,5cm de long.
- Un niveau de brèche scoriacée brune de 1m d'épaisseur.
- La coulée supérieure, 50m d'épaisseur de couleur gris sombre à la patine et gris-bleu à la cassure présente une structure chaotique. Les vésicules qu'elle renferme sont remplies de calcite. Elle est parsemée par endroit de petites tâches millimétriques de couleur gris clair.

Elle renferme des cristaux de pyroxène de 0,1 à 0,2cm de long, des cristaux d'olivine iddingsitisée ainsi que de nombreux phénocristaux d'amphibole de couleur noire de taille moyenne comprise entre 1 et 2,5cm de long. Un niveau béchique de couleur brun-rouge termine la coupe.

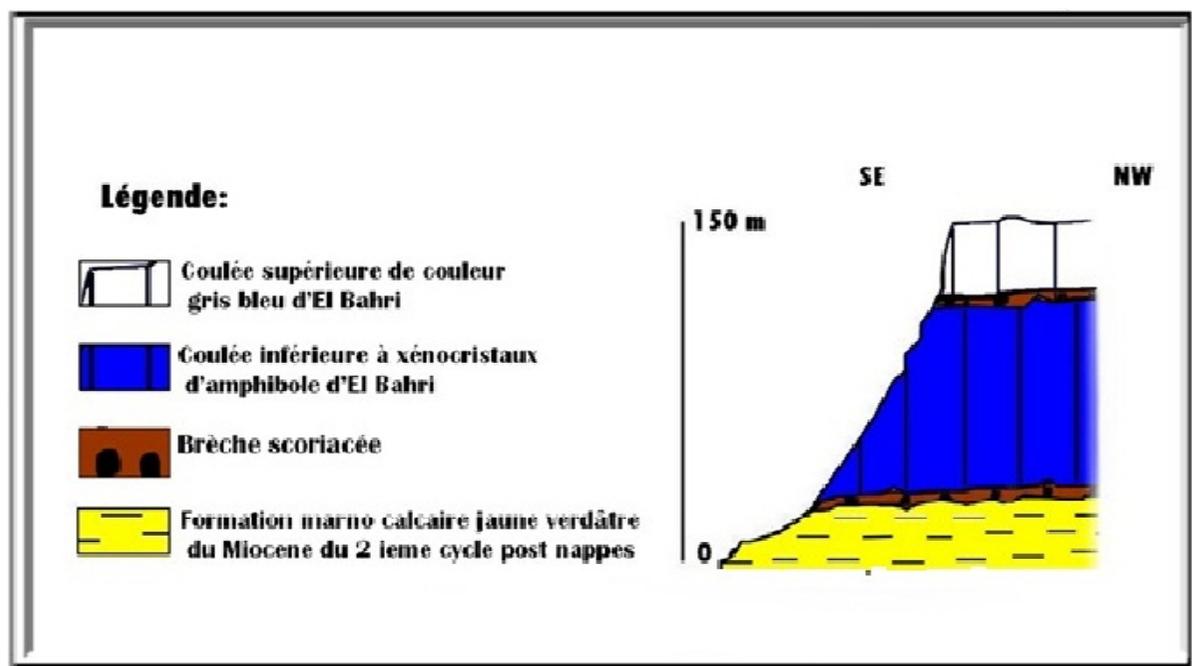


Fig. 6 : Coupe du flanc SW d'EL Bahri

Le volcan de Bousserdoun (360m)

Le volcan de Bousserdoun, situé à environ 4 à 5 Km au nord-est de Zourana, est l'un des plus importants appareils de Souahlia. Il présente une forme conique, dont le sommet a subi une intense érosion et les nombreuses scories brunes indiquent sa présence. Les trois coulées qui lui sont rattachées, se sont épanchées sur une grande distance vers le nord-est et constituent le plateau de Bousserdoun.

Dans sa partie nord-est, les trois coulées ont comblé la vallée de l'oued Laayoun entaillée dans les marnes jaune verdâtre du Miocène du 2^{ème} cycle post-nappes. Là, elles se sont accumulées sur une épaisseur de plus de 100m et reposent sur un paléosol.

La coulée inférieure, atteint 30m d'épaisseur. Elle est de couleur grise et parsemée de "tâches de soleil". Elle montre une structure en plaquettes. La largeur des bancs est comprise entre 0,30 et 0,60m. A la cassure, la roche présente du pyroxène de taille variant entre 0,5 et 1cm de long et de l'iddingsite de 1cm de diamètre. Les vésicules sont souvent remplies de calcite. Un paléosol d'environ 2,5m d'épaisseur vient s'intercaler entre les coulées moyenne et supérieure. Nous notons dans la coulée moyenne la présence de quelques cristaux de plagioclases de 1 à 3mm de long, de pyroxène et une nette direction de fluidalité horizontale de la roche

La partie sommitale de la coulée supérieure (5m d'épaisseur) est affectée par quelques filons de calcite. La roche ne montre aucun minéral, visible à l'œil nu. Elle est aphanitique.

- Une autre coulée rejetée par le volcan Ali Ben Ayad situé plus au nord vient recouvrir les 3 précédentes. Elle a une épaisseur d'environ 5 à 10m et une couleur bleue. La lave renferme de nombreux xénocristaux de péridotite altérée dont la taille varie de 2 à 15cm de diamètre, des phénocristaux de pyroxène de 0,5 à 1cm de long.

La roche montre quelques filons de calcite. Elle présente une La couleur gris clair à la patine et gris sombre à la cassure. Les minéraux ne sont pas visibles à l'œil nu. Elle est totalement aphanitique. Une brèche scoriacée de couleur brune occupe le haut de la falaise.

Le volcan de Feddam Sallah (334m)

L'appareil volcanique de Feddam Sallah, situé à environ 3 Km au nord-est de Bousserdoun a une forme conique. Le haut du cône est marqué par la présence de scories brunes de taille variable, de brèches scoriacées et de bombes volcaniques de 0,40 à 0,60m de diamètre. Il a émis trois coulées basaltiques qui se sont épanchées en, grande quantité vers l'ouest.

Le volcan d'Ain Beriet (265m)

Cet appareil de forme conique est situé à environ 500m au sud-est du centre éruptif d'Ain Djenane. Son sommet est occupé par des scories brunes de taille variant entre 20 et 30cm de diamètre. Il a rejeté trois coulées basaltiques de couleur gris clair à al patine et gris sombre à la cassure. Par endroit, ces laves dessinent des structures en "pelures d'oignons" et parfois, elles montrent de petits lits soulignant la fluidalité de la roche. Elles renferment des cristaux d'iddingsite et de pyroxène de 1 à 2cm de long.

La coulée inférieure atteint 15m d'épaisseur et repose sur un substratum marneux d'âge Miocène du 2^{ème} cycle post-nappes. Ce dernier est surmonté par un paléosol de couleur rougeâtre de 1,5 m d'épaisseur. La roche est parfois recouverte par endroit de croûte calcaire.

La coulée moyenne d'épaisseur estimée à 15 m est de couleur gris bleuté. Elle est très vésiculée et renferme des cristaux de pyroxène de 1,5 mm de long et d'olivine altérée sont la taille atteint 1 mm. Les vésicules sont souvent remplies de zéolite parfois de calcite.

La coulée supérieure, de 10m d'épaisseur, montre une couleur gris sombre à la patine et gris clair à la cassure. Elle renferme quelques microcristaux de taille millimétrique de pyroxène et d'iddingsite, parfois d'olivine fraîche.

Le volcan d'Ain Djenane (277 m)

Le centre éruptif d'Ain Djenane, de faible altitude a une forme en dôme aplati. Il est situé à 4,5 Km au sud-est de la ville de Ghazaouet. Son sommet est reconnu par la présence de scories brunes de taille variable. Cet appareil a rejeté deux coulées basaltiques qui se sont épanchées vers l'est et vers le nord-est. Il a également émis une quantité importante de cendre volcanique de couleur grise et de tufs lites dus tout simplement à des retombées de fines particules lors des explosions volcaniques.

Ces produits pyroclastiques renferment des fragments de lave, de scorie brune ainsi que des fragments de roche sédimentaire notamment des calcaires d'âge Liasique.

Le volcan de Dar Ali Ben Ayed (314m)

Le centre éruptif de Dar Ali Ben Ayed, de forme en dôme aplati est situé à environ 10 Km au sud de la ville de Ghazaouet. Son sommet est occupé par des scories brunes et des bombes scoriacées de taille allant de 30 à 40cm de diamètre. Son flanc nord, laisse apparaître une falaise qui montre la succession de trois coulées basaltiques, séparées par des niveaux de brèches scoriacées. Les laves émises se sont épanchées sur une grande distance vers le nord est et le nord-ouest où elle recouvre les laves inférieures rejetées par le centre éruptif d'El Koudia.

La coulée inférieure, d'épaisseur 15m, repose sur un substratum constitué de marne jaune - verdâtre du Miocène de 2^{ème} cycle post-nappes. Elle montre une structure en plaquettes et une couleur gris sombre à la patine et gris clair à la cassure. La roche renferme de nombreux cristaux d'olivine de couleur rouille de 0,5cm de long ainsi que des cristaux de pyroxène de taille comprise entre 0,5 et 1cm de long. Elle est affectée par de nombreuses fissures.

La coulée moyenne d'épaisseur 10m, de couleur gris noir à la patine et gris bleu à la cassure, montre par endroit des prismes de 30 à 40cm de large sur 1 m de hauteur. Elle est recouverte par endroit de petites taches rondes, de couleur grise et de taille millimétrique.

Les cristaux de pyroxène, qu'elle renferme sont plus gros et nombreux, tandis que les phénocristaux d'olivine sont moins nombreux et de petite taille. A son sommet, la coulée devient plus vacuolaire. Certaines vésicules sont remplies de calcite.

La coulée supérieure, possède une couleur gris clair et une épaisseur d'environ 15m. Elle est plus ou moins prismée et montre une direction de fluidalité horizontale. La lave montre à la cassure une couleur gris-bleu et renferme des microcristaux d'iddingsite, des cristaux de pyroxène de taille millimétrique et quelques feldspaths de 0,5cm de long.

Le volcan d'El Hadba

Le centre éruptif d'El Hadba, situé à 800m au sud-ouest d'El Bahri, possède une forme aplatie. Son sommet est occupé par des scories brunes et surtout de bombes volcaniques de 0,40 à 0,80m de diamètre.

La seule lave rejetée par cet appareil s'est épanchée vers le nord et le nord-est. Elle montre une structure feuilletée et présente une fluidalité plus ou moins horizontale. A la patine, la roche est de couleur gris-bleu et est affectée par quelques filons de calcite. La lave renferme de nombreux microcristaux d'iddingsite, de plagioclase, de quelques phénocristaux de pyroxène de 0,5 à 1cm de diamètre.

La partie sommitale de la coulée est très vésiculée. La lave repose sur un paléosol de 2,5m d'épaisseur, qui surmonte les marnes jaune-verdâtre du Miocène du 2ème cycle post-nappes.

Le volcan de Sidi Amar (146m)

Le centre éruptif de Sidi Amar, situé à 2,5 Km au sud-est de Ghazaouet, présente une forme de dôme aplati au sommet. Le haut de cet appareil est souligné par des scories brunes de taille variable, et de brèches scoriacées.

Ce volcan a émis une seule coulée basaltique qui apparaît à la faveur d'entailles de petits ravins creusés sur son flanc ouest. Elle s'est épanchée sur une grande distance vers le nord-ouest. Ce centre a également rejeté des produits pyroclastiques et en particulier des cendres volcaniques de couleur grise et des tufs à lapillis à éléments grossiers à la base, moyens et fins au sommet.

II.2.2. Les volcans de la rive gauche d'Oued Marsa

La rive gauche compte huit appareils volcaniques éloignés les uns des autres. Ils reposent indifféremment sur les assises du Miocène du 2^{ème} cycle post-nappes ainsi que sur le matériel de

nappe de type rifain .La plupart de ces centres d'émission, ont gardé leur forme originelle de dôme, de cône ou d'enceinte circulaire.

L'ensemble de ces appareils laisse souvent apparaître une superstructure formant le plus souvent de grands plateaux basaltiques sub-horizontaux.

La majorité des volcans de Souahlia ont été émis une, deux, trois ou quatre coulées basaltique.

Le volcan de Ras EL Kela

Situé à environ 25 km à l'Ouest de Ghazaouet, cet appareil volcanique forme une importante avancée triangulaire dans la mer. Il n'est reconnu actuellement que par la présence de nombreuses brèches scoriacées et scories de couleur brun-noir.

Sadran (1958) pensait qu'il n'y avait qu'une seule coulée basaltique à épanchement fissural. En fait, il s'agit de deux coulées provenant essentiellement de deux cheminées volcaniques: l'une occupant le sommet de l'édifice et l'autre plus au Nord, partiellement détruite et démantelée par les vagues.

Le démantèlement de son flanc nord-est, laisse apparaître une falaise d'environ 60m. Une coupe a été levée au niveau de celle-ci (**Fig.7**). Elle montre de bas en haut:

- Un substratum sédimentaire formé de poudingues d'âge Pliocène (Guardia, 1975).
- Une formation épaisse de 5m, constituée de tufs pyroclastiques remaniés, associés à des fragments de roches sédimentaires. Cette formation montre un litage fin et régulier ainsi que quelques blocs fichés.
- Ces blocs basaltiques de taille pouvant atteindre jusqu'à 40cm de diamètre sont des indices de phases explosives qui précèdent l'épanchement des coulées.
- La coulée inférieure, prismée de 8m d'épaisseur, de couleur gris-noir repose sur la formation sous-jacente. Elle renferme de nombreuses enclaves de péridotite altérée de taille variant entre 5 et 15cm de diamètre, ainsi que des cristaux de pyroxène de 1 à 3cm de long.
- Un niveau de brèche scoriacée de couleur rouille.
- La coulée supérieure, prismée dessine le haut de la falaise. Elle a une couleur gris-noir à la patine et gris clair à la cassure. La roche est parsemée par endroit de petites tâches grises de taille millimétrique. Elle renferme des phénocristaux de pyroxène de 1 à 2cm de long, ainsi que des

cristaux d'olivine iddingsitisée de taille moyenne allant de 0,5 à 1cm de diamètre. Les enclaves de péridotite altérée ont une taille moyenne comprise entre 1 et 5cm de diamètre. Les orgues que montre la lave sont verticaux et bien visibles de loin.

La roche est affectée de filon de calcite. Une brèche sommitale scoriacée, surmontée par une mince croûte calcaire.

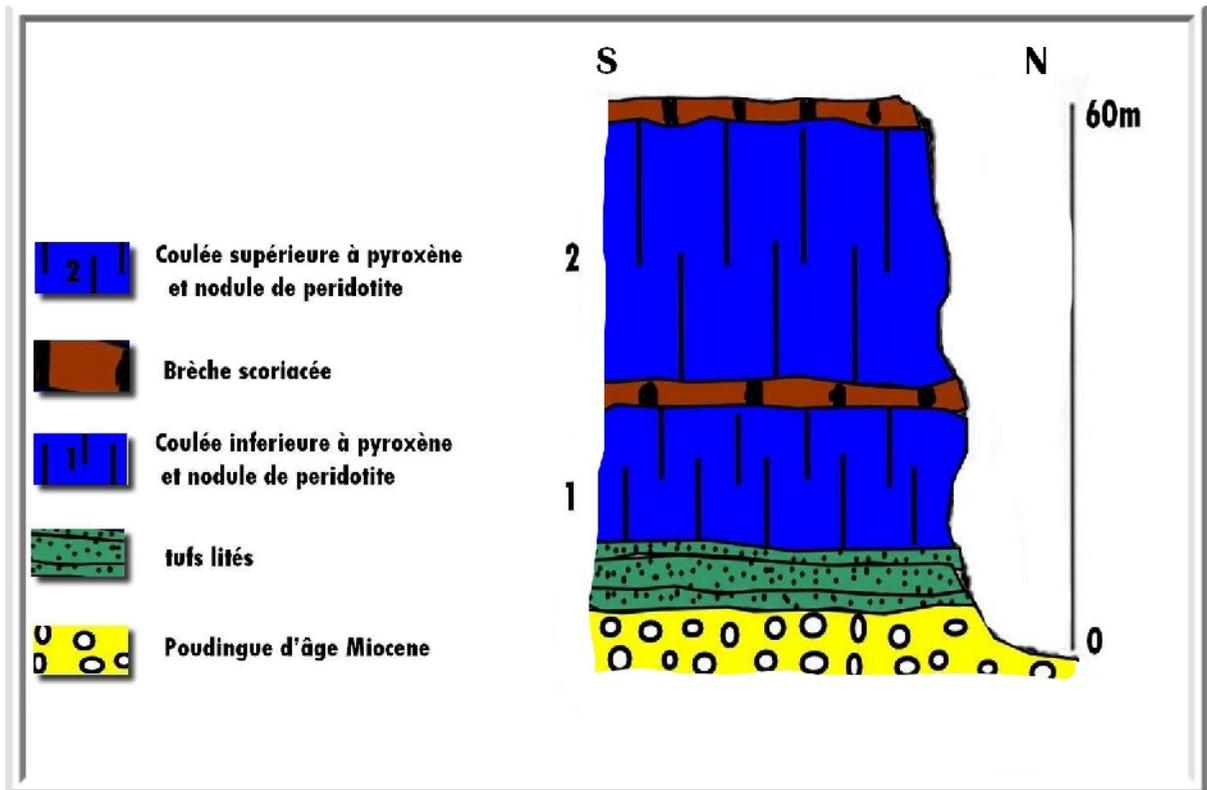


Fig. 7 : Coupe du flanc NE de Ras El Kela

Le volcan de Tigraou

Le volcan de Tigraou, situé à 3,5 Km à l'est du centre éruptif d'El Koudia, possède morphologiquement tous les caractères d'une "daya". Il est représenté par une dépression circulaire d'environ 800m de diamètre, avec des pentes internes de 35°.

La seule coulée émise est de couleur gris sombre. Elle renferme des cristaux d'amphibole et d'olivine. Au cœur de la dépression jonchent des enclaves d'amphibolite de 7 à 10cm de diamètre. La lave repose sur un matériel de nappes, constitué de calcaire métamorphique de "l'unité de Tedjera".

Le volcan de Boukdama (373m)

Le centre éruptif de Boukdama, situé à environ 2 Km de Djemâa Es-Sakhra, présente une structure en dôme, dont le cœur est occupé par des scories brunes.

Cet appareil a rejeté deux coulées basaltiques de couleur gris-bleu à la patine et gris clair à la cassure, contenant des cristaux de pyroxène de taille millimétrique (1 à 3mm) et d'olivine plus ou moins iddingsitisée de 2mm de long et de plagioclase (1mm).

Ces coulées sont disposées en dalles de taille comprise en 5 et 10m d'épaisseur.

Le Volcan d'El Koudia (444m)

Le volcan d'El Koudia, situé à environ 2 Km à l'ouest de Boukdama, constitue l'un des appareils les plus importants de la région de Souahlia. Il est constitué de deux édifices en forme de cône bien visibles de loin. Ils sont distants l'un de l'autre de 200m. Le sommet de ces édifices est occupé par des scories brunes et de bombes scoriacées de 20 à 40cm de diamètre.

Les cinq coulées émises par le centre éruptif d'El Koudia (trois provenant du grand édifice et deux du petit édifice) se sont épanchées sur une grande distance vers le sud-est et le sud-ouest. Elles dessinent un plateau basaltique subhorizontal. Les laves rattachées à cet appareil ont une couleur gris claire à la patine et montrent le faciès " brûlures de soleil".

Les coulées basales sont prismées et contiennent des nodules de péridotite altérée, ainsi des phénocristaux de pyroxène de taille comprise entre 1 et 2cm de long. La falaise creusée par l'oued Taïma, montre la succession de cinq coulées basaltiques qui se sont épanchées sur une distance et se sont accumulées sur une épaisseur de 250m.

La coupe levée au niveau de cette falaise (**Fig.8**) montre de bas en haut:

- Un substratum gréseux d'âge Pliocène.
- Un paléosol à deux horizons, surmonté par une brèche scoriacée, ravine la formation sous-jacente.
- La coulée inférieure, d'épaisseur 10m, montre une prismation grossière. Elle renferme des phénocristaux d'olivine altérée de 1 à 3cm de long et des cristaux de pyroxène de 0,5mm de long.

-Deux coulées moyennes de 20 et 40m d'épaisseur, se débitent en plaquettes, surmonte un niveau de paléosol rougeâtre à un seul horizon.

Ces laves renferment des nodules de péridotite de couleur vert-rouille de taille allant de 5 à 10cm de diamètre ainsi que des cristaux d'olivine de 1 à 2cm de long et des pyroxènes de 1 à 2cm de diamètre.

Ces deux coulées sont séparées par un ensemble de tufs pyroclastiques alternant avec des niveaux de cendre volcanique de couleur grisâtre.

-Un niveau de brèche scoriacée, surmonte par deux coulées (inférieure et supérieure) à pyroxène, olivine altérée et plagioclase provenant du centre éruptif de Boukdama. L'épaisseur de chacune de ces laves est estimée à 30m.

-Un niveau bréchiqye scoriacé surmonté par une croûte calcaire terminent la coupe.

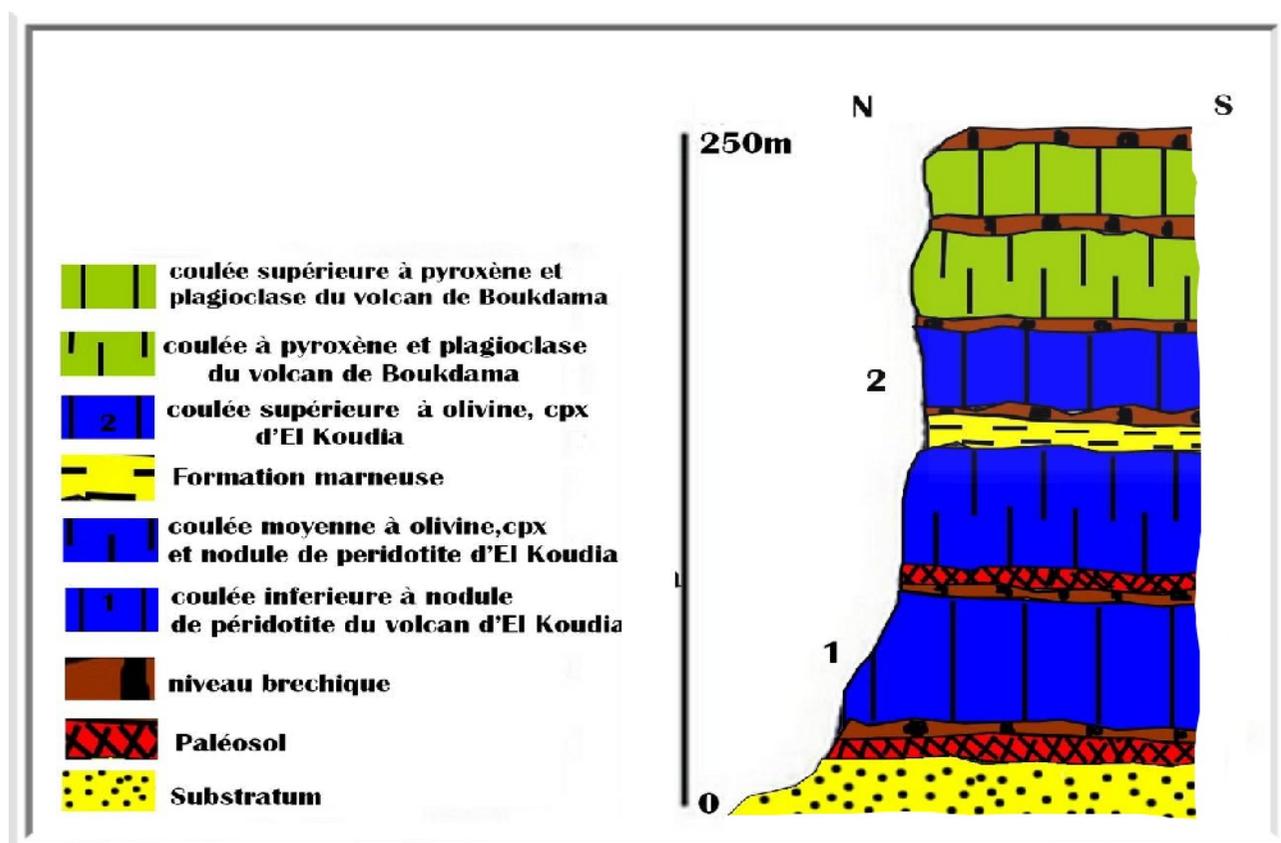


Fig. 8 : Coupe du Flanc Sud d'El Koudia

Le volcan de Dar Ali Ben Salah (233m)

Le centre éruptif de Dar Ali Ben Salah, situé à environ 8 Km à l'ouest de Tigradou, possède un cône qui a subi une intense érosion. Il n'est reconnu que par la présence de scories brunes de taille centimétrique, ainsi que par des brèches scoriacées et bombes volcaniques dont la taille peut atteindre jusqu'à 40cm de diamètre.

Les quatre laves émises par cet appareil se sont prismées et se sont épanchées sur une grande distance vers le nord-est et le nord-ouest. Elles atteignent la mer le long de la rive droite de l'oued Kouarda.

Les produits rejetés par ce volcan reposent sur les marnes de couleur verte du Miocène synchronappes au sud et sur les calcaires de l'unité de Tedjera au nord. Une formation marneuse de couleur verdâtre du Miocène synchronappes.

La coulée inférieure, prismée d'épaisseur 20m, montre une couleur gris-noir et renferme des phénocristaux d'olivine de taille moyenne comprise entre 0,5 et 1cm de long. Les prismes sont verticaux et atteignent 30 à 40cm de long. Elle est surmontée d'un niveau bréchi que constitué de scories brunes et fragments de lave vésiculée d'une coulée moyenne prismée de couleur gris sombre. Celle ci renferme des enclaves de péridotite de taille variant de 1 à 10cm de diamètre ainsi que des cristaux d'olivine de 0,5cm de long.

La seconde coulée moyenne de couleur grisâtre est massive et fracturée. Son épaisseur est d'environ 10m. Elle est parsemée de petites tâches millimétriques de couleur grisâtre. Elle renferme des cristaux d'olivine de pyroxène dont la taille varie de 0,1 à 0,5cm de long.

Un niveau constitué de brèche scoriacée de couleur brun-violacé, la sépare de la coulée supérieure qui fait 5 à 8m d'épaisseur et qui montre une texture aphanitique.

Le volcan de Ben Alloul

Ce centre éruptif de Ben Alloul, situé à 25 Km au sud de oued Tigradou, possède une forme en dôme. Il a émis quatre coulées basaltiques qui se sont épanchées en grosse partie vers le nord-est et le sud-ouest. La coulée inférieure, d'épaisseur estimée à 5m montre une couleur grise à la patine et gris-bleu à la cassure. Elle est très altérée par endroit et devient friable.

La roche renferme des cristaux d'olivine de 1cm de long et de pyroxène dont la taille atteint jusqu'à 0,5 de long. Elle est affectée de filon de calcite.

La seconde coulée, d'épaisseur 4m, de couleur grise et friable, renferme des phénocristaux d'olivine et de pyroxène. Ces derniers sont moins abondants que dans la coulée inférieure. Une formation pyroclastique litée de 5m d'épaisseur, de couleur gris-verdâtre surmonte la coulée sous-jacente. Elle est constituée par une alternance de tufs à éléments grossiers à la base, moyens et fins au sommet ainsi que par de minces niveaux de cendre volcanique, de cinérite et calcaire provenant probablement de l'unité allochtone de Tedjera.

La troisième coulée, d'épaisseur 3m, parsemée de petites taches millimétriques présente une structure en dalles.

La roche montre une couleur gris-clair à la patine et gris-bleu à la cassure et renferme des cristaux de pyroxène de taille moyenne comprise entre 0,2 et 0,5cm de long ainsi que l'olivine iddingsitisée de taille moyenne allant de 0,1 à 0,5mm de long.

La coulée supérieure de couleur gris-bleu et d'épaisseur 3m, présente elle aussi une structure en dalles de 30cm de large. Elle renferme des phénocristaux de feldspath de taille moyenne comprise entre 0,5 et 1cm de long ainsi que des cristaux de pyroxène dont la taille varie de 0,1 à 0,5cm et des microcristaux d'olivine iddingsitisée.

La roche est fracturée, affectée de filons de calcite et vésiculée par endroit.

Le volcan de Rokba (221m)

Le centre éruptif de Rokba, se présente en forme conique. Il est situé à environ 7 Km à l'est de Ras El Kela. Le haut du cône est marqué par la présence de scories brunes et de brèches scoriacées. Ce volcan formé d'une bouche d'émission principale (221m) et d'un conduit secondaire (160 m) a donné naissance à deux coulées basaltiques qui se sont épanchées vers le nord et vers le nord-est. Dans son flanc ouest une falaise entaillée par l'oued laisse voir de bas en haut:

- Un substratum schisteux. Surmonté d'un paléosol de 2,5m d'épaisseur et d'un niveau de brèche scoriacée de couleur brun-violacé.
- Une coulée inférieure, de 50m d'épaisseur renfermant de nombreux cristaux de pyroxène de taille allant de 0,2 à 0,5cm de long et des cristaux d'olivine altérée de couleur vert rouille de 0,5cm de long.

La roche est vésiculée et soulignée par la direction de fluidalité horizontale. Les vésicules sont souvent repliés de calcite. Un niveau bréchiq ue constitué de scorie de taille variable et de bombe scoriacée de couleur rouille surmonté d'une coulée supérieure de 30m d'épaisseur, de couleur grise. Elle montre les mêmes caractères pétrographiques que la coulée sous jacente, sauf que les minéraux sont plus petits.

Le volcan de Bouhabiba

Le centre éruptif de Bouhabiba, en forme de dôme est situé à 3 Km à l'est du volcan de Rokba. Son sommet souligné par des scories de taille variable. Les trois coulées émises par ce centre, se sont épanchées vers le nord. Le démantèlement de son flanc nord-ouest laisse voir de bas en haut:

- Une formation dunaire jaunâtre consolidée d'âge Calabrien Guardia, (1975).
- Un paléosol surmonté de brèche scoriacée de couleur brune.
 - La coulée inférieure, de couleur gris-bleu à la patine et gris clair à la cassure, d'épaisseur 10m, montre de nombreuses fractures remplies de calcite. Elle renferme des phénocristaux de pyroxène de 1cm de long et des cristaux de plagioclase.
 - La formation pyroclastique de couleur gris-blanchâtre, composée d'une alternance de tufs lités à éléments grossiers à la base, moyens et fins un sommet et de niveaux de cinérite.
- Un niveau de brèche scoriacée.
- La coulée moyenne d'épaisseur estimée à 8m présente des vacuoles ainsi qu'une structure en "pelure d'oignon". Elle est de couleur gris-bleu et renferme quelques enclaves de péridotite altérée, ainsi que des cristaux d'olivine iddingsitisée de taille allant de 0,2 à 0,5cm de long et de pyroxène de taille moyenne comprise entre 0,1 et 0,6cm de long.
- Un niveau bréchiq ue surmonté par un banc rouge-orangé de 30cm de haut constitué de tufs à éléments grossiers et moyens.
- La coulée supérieure est prismée et possède une épaisseur d'environ 25m. Elle montre une couleur gris-bleu à la patine et gris sombre à la cassure.

Elle renferme des microcristaux d'olivine iddingsitisée de taille millimétrique. La coulée est vésiculée à son sommet. Les vésicules sont parfois remplies de calcite.

II .2.3.Conclusion

Les principaux résultats de l'étude géologique du massif éruptif de Souhalia sont portés (**Tableau. 1**) des centres d'émission et des laves émises.

Les volcans de la rive droite	Nombre de coulées émises	Les volcans de la rive gauche	Nombre de coulées émises
El Arroussa	3	Ras El Kela	2
Zourana	1	Tigraou	1
El Bahri	2	Boukdama	2
Bousserdoun	3	El Koudia	3
Feddam Sallah	3	Dar Ali Ben Salah	4
Aïn Bériet	3	Ben Alloul	4
Aïn Djenane	2	Rokba	3
Dar Ali Ben Ayed	3	Bou Habiba	3
El Hadba	1	—	—
Douar El Hadjra	2	—	—
Sidi Amar	1	—	—

Tableau 1 :Tableau récapitulatif des centres d'émission et des coulées émises de Souhalia in (Bendoukha, 2008)

II.3.LE VOLCAN DE DOUAR EL HADJRA

II.3.1. Cadre géographique

Le centre éruptif de Douar El Hadjra, situé à environ 25 Km au sud-est de Ghazaouet, juste a côté de la route national N^o.98 , Il est limité au nord –ouest par le douar de Ouled Daoud, à l’Ouest par la ville de Khoriba et au sud-ouest par ville de Nadrouma , et à l’ Est par le douar de Ouled Hasna(Fig.9) .



Fig. 9: Situation géographique du volcan de Douar El Hadjra

II.3.2.La morphologie du volcan

Le profil d'élévation montre que le volcan de Douar El Hadjra est caractérisée par :

- une forme conique.
- une altitude de (433 m).
- un diamètre de (938m).
- une falaise avec une pente moyenne (53°).
- Le haut du cône est marqué par la présence de scories brunes de taille variable(Fig.17).

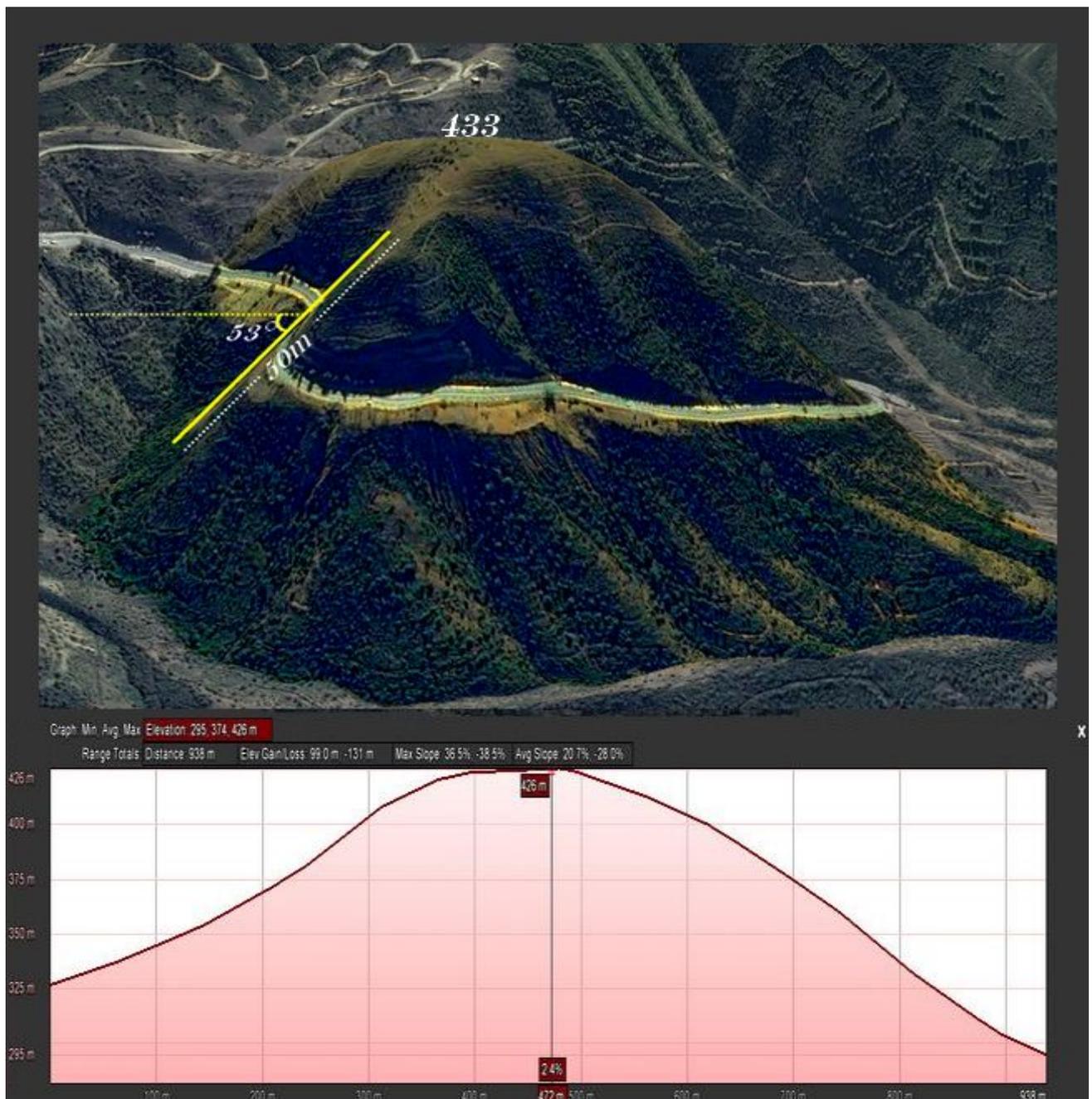


Fig. 10 : Les caractéristiques morphologiques du volcan de Douar El Hadjra

II.3.3. Etude volcanologique et cartographique du volcan de Douar El Hadjra

Cet appareil a émis deux coulées basaltiques de couleur gris clair à la patine et gris sombre à la cassure, qui se sont épanchées de façon centrifuge sur une très faible distance.

Elles reposent au nord et à l'est sur la formation rougeâtre du Permo-Trias (**Fig.11**)



Fig. 11 : Formation rougeâtre du Permo-Trias

Et à l'ouest et au sud sur la formation schisteuse du Dévonien (Guardia, 1975) (**Fig.12**) .

Ces schistes sont caractérisés par un débit plus ou moins facile en feuillet. Et une schistosité sous l'influence de contraintes tectoniques.



Fig. 12 : La formation des schistes

Les laves sont parsemées de taches grisâtres de taille millimétrique rappelant le faciès "taches de soleil" gris clair .

Elles présentent localement une structure en plaquettes ou en boules de taille décimétrique.

La coulée du volcan de Douar El Hadjra est caractérisée par une abondance de phénocristaux de clinopyroxène et d'olivine), de plagioclase et nodule de péridotite altérée de taille comprise entre 1 et 5cm de diamètre.



Fig. 13 : Coulée de basalte a olivine et pyroxène

Le flanc nord-est de cet appareil montre une falaise d'environ 50m qui laisse voir deux coulées basaltiques séparées par un niveau bréchi que scoriacé de couleur brun violacé.

La coulée inférieure se présente en coussin, quant à la supérieure, elle est prismée. Les orgues atteignent 40 à 50cm de diamètre et de 5 à 10m de haut.

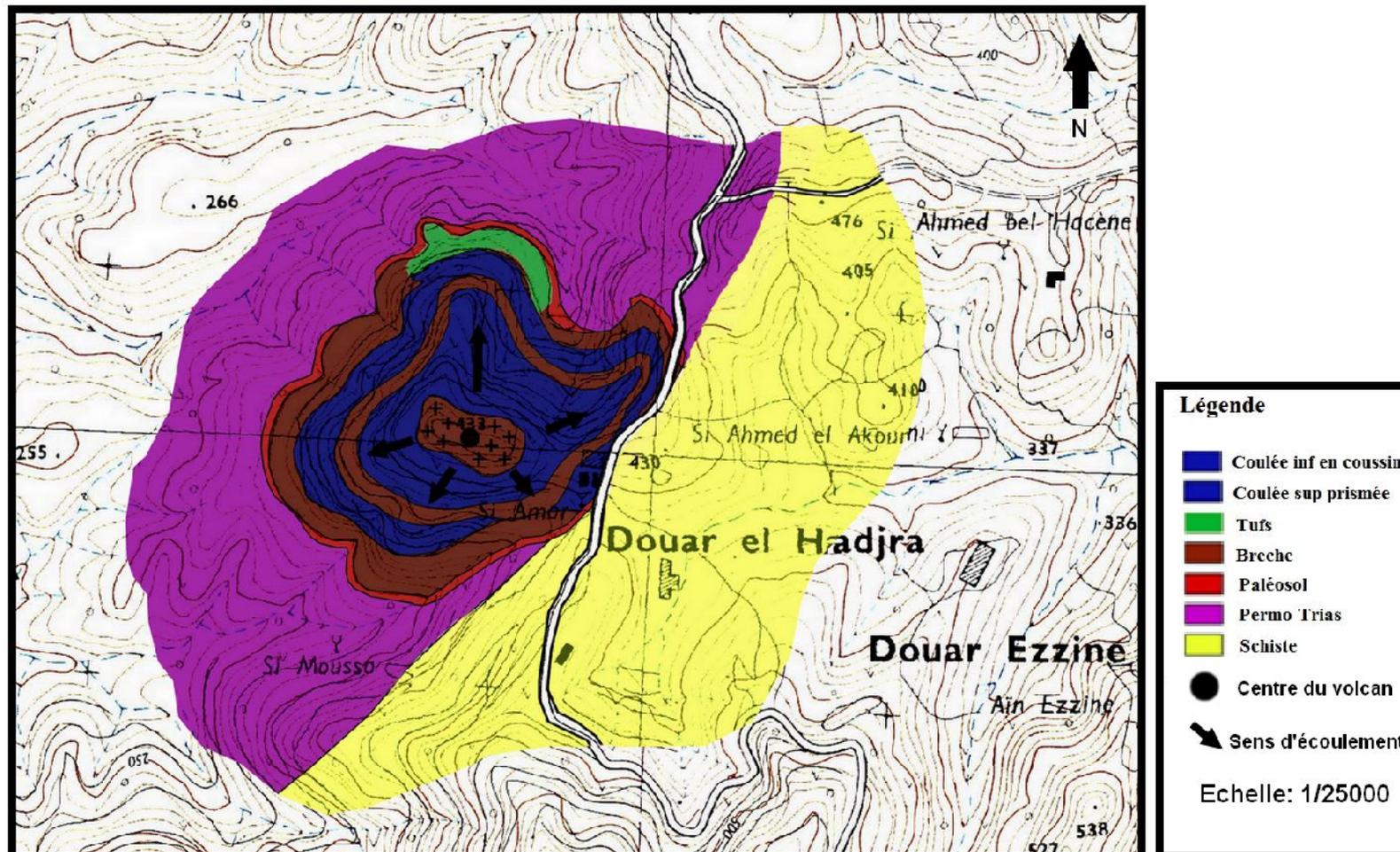


Fig. 14 : Cartographie des produits éruptifs du volcan de Douar El Hadjra

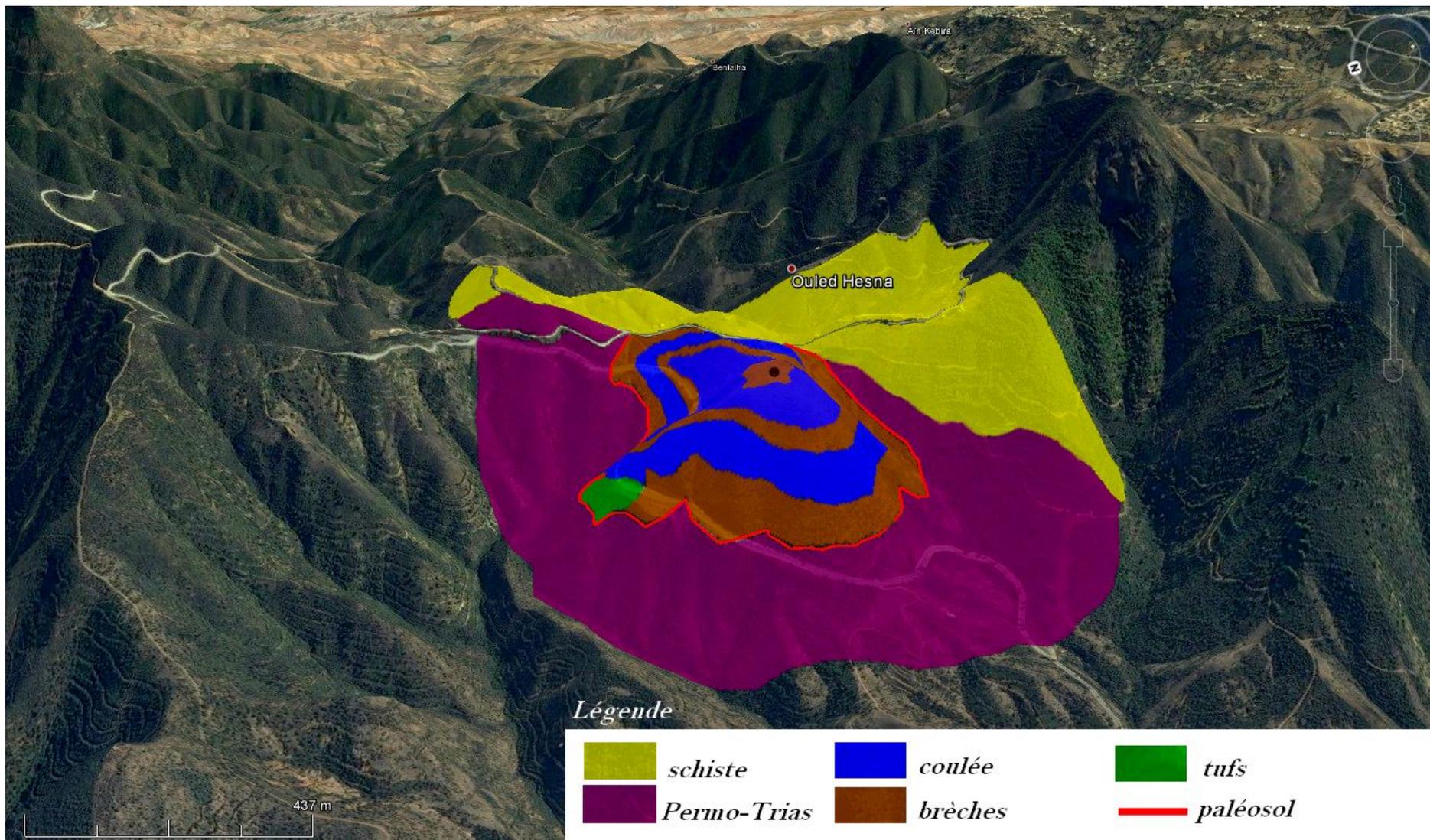


Fig. 15 : Cartographie du volcan de Douar El Hadjra en 3D

La coupe levée au niveau du flanc nord-est de ce centre éruptif (**Fig.16**) montre de bas en haut:

- La formation rougeâtre d'âge Permo-Trias de Aïn Meftah.
- Un ensemble stratifié, de couleur gris-verdâtre, d'épaisseur 15m, présentant un litage net et régulier, constitué de cendre volcanique et de tuf, montre un granoclassement positif, marqué par une alternance de niveaux grossiers riches en éléments détritiques, de schiste, de fragments de scorie, de lave basaltique et de granite.

Les niveaux jaune-verdâtre de cet ensemble pourront être des fumeroles indiquant un dégagement de gaz lors de l'explosion volcanique et les produits rejetés se sont déposés dans un milieu aquatique localisé au niveau du chenal. Ceci étant souligné par l'alternance de niveaux grossiers et fins ainsi que par un litage régulier observé dans cet ensemble.

- De niveaux fins riches en fragments de lave basaltique. En outre, cette formation renferme des blocs de granite pouvant atteindre une taille de 50cm de diamètre.
- Un paléosol de 40cm d'épaisseur, formé d'un seul horizon, surmonté par une brèche scoriacée contenant des scories brunes et de bombes scoriacées de couleur brun violacé.
- La coulée inférieure d'épaisseur 30m, montre une couleur gris clair à la patine et gris-bleu à la cassure. Elle présente une structure en coussin et est affectée par de nombreux filons de calcite. La roche montre une direction de fluidalité horizontale.
- Elle est parsemée de petites tâches grises de taille millimétrique, rappelant le faciès "brûlures de soleil". La coulée renferme de nombreux phénocristaux d'olivine altérée de 0,5 cm de long ainsi que des nodules de péridotite altérée de taille moyenne comprise entre 1 et 2,5cm de diamètre. Le haut de la lave est vésiculée.
- Un niveau bréchiqque scoriacé, surmonté par un mince niveau de paléosol.

La coulée supérieure, prismée, de couleur grise à la patine et bleue à la cassure, renferme des microcristaux d'olivine de 0,2 à 0,5cm de long, des microcristaux de pyroxène de taille allant de 0,3 à 0,5cm de long, ainsi que des cristaux de plagioclase de 0,3cm de long .

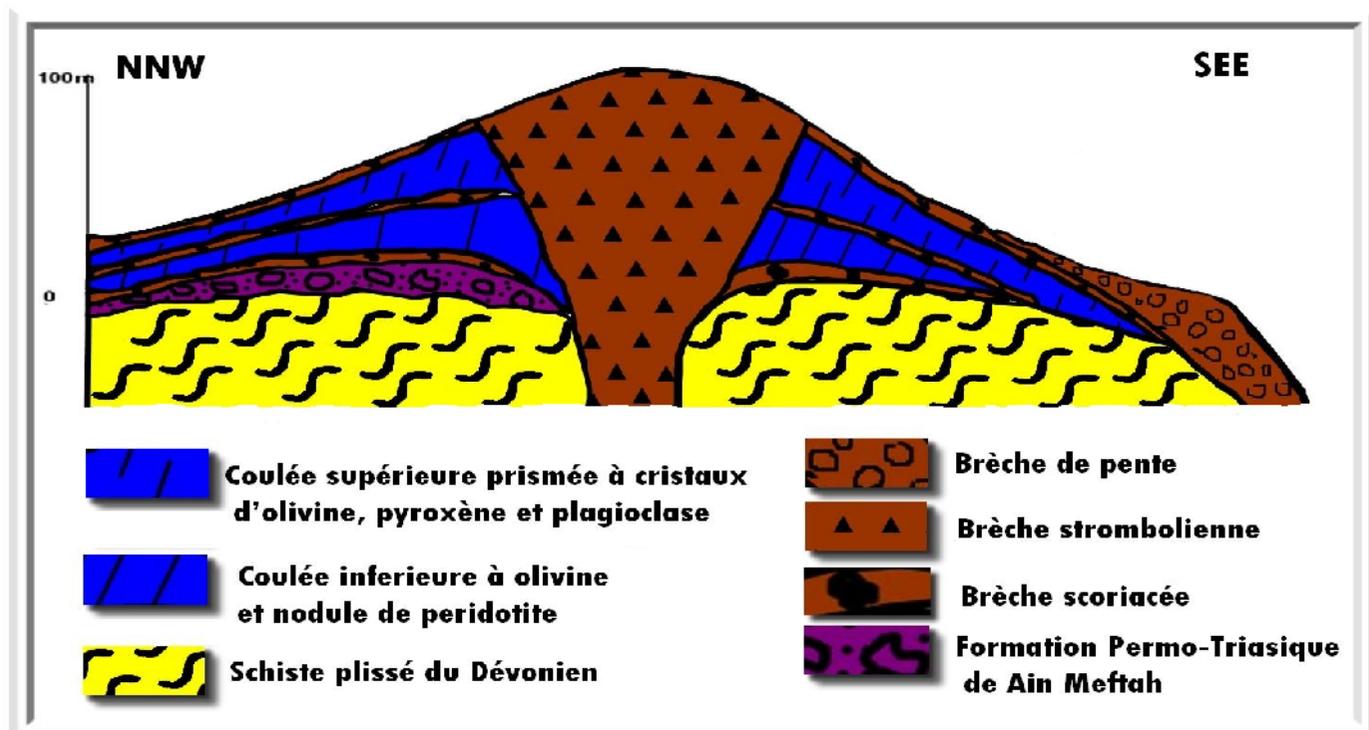


Fig. 16 : Coupe longitudinale de volcan de Douar El Hadjra



Fig. 17: le volcan de Douar El Hadja en forme de cône

La seconde coupe longitudinale de cet appareil (**Fig.18**) révèle un substratum schisteux. La formation litée, constituée de cendre volcanique et de tufs à lapillis n'apparaît pas.

Cette dernière s'est disposée dans un chenal orienté est-ouest. Elle reflète que l'appareil volcanique de Douar El Hadjra étant explosif et riche en gaz.

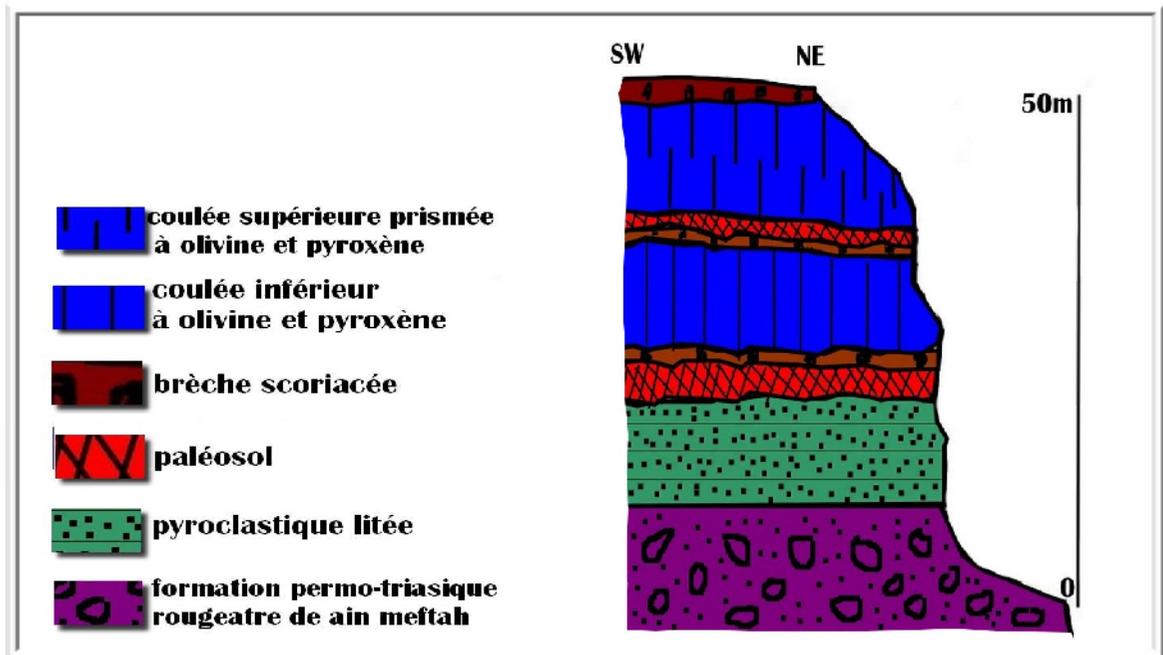


Fig. 18 : Coupe du Flanc NE de volcan de Douar El Hadjra

II.3.4.Géochronologie

Avant d’entamer notre étude volcanologique du volcan de Douar El Hadjra, nous présenterons les datations du volcanisme alcalin de Souahlia qui ont été effectuées par différents auteurs.

Les datations radiométriques sur roches totales obtenues par Bellon et Guardia (1980), Louni et al (1995) et Coulon et al (2002) révèlent pour les basaltes alcalins attribués au plio-quadernaire un âge compris entre-4.9Ma et -2.12Ma.

Cependant et d’après nos propres observations de terrain, ces âges ne paraissent représentatifs que des toutes dernières manifestations stromboliennes de ce massif.

II.3.5. Dynamisme du centre volcanique de Douar El Hadjra

L'observation des formations géologiques faite sur le terrain, ainsi que les différentes coupes réalisées au niveau du volcan de Douar El Hadjra, confirment la présence d'un seul épisode volcanique majeur de type strombolien (Fig.19).

Ce dernier est marqué par la mise en place de produits de projection (bombes scoriacées, scories brunes, cendres volcaniques et des blocs basaltiques) et par l'épanchement de coulées des groupes pétrographiques S1.

Cette période est terminée par une importante phase de repos soulignée par la présence de paléosols.

Ce type de volcan se caractérise par des laves un peu moins fluides, cette viscosité plus élevée cause l'accumulation de gaz sous pression.

Des explosions parfois assez violentes projettent divers matériaux solides dans les couches alternent avec quelques coulées de lave solidifiée.

Le cône volcanique, dont la pente atteint 30 à 45° s'exhausse et se trouve sillonné de ravines ou s'épanche le magma en fusion.



Fig. 19 : volcan de type strombolien (Site web)

II.3.6. Interprétation dynamique

L'interprétation dynamique peut se résumer ainsi :

Les compressions qui ont affecté la marge nord africaine et sud européenne durant le Miocène inférieur et moyen, ont été d'abord caractérisées au Miocène supérieur par une période de calme où la mer recouvrait une majorité de Souahlia.

Puis au Pliocène inférieur, une régression marine et un réajustement isostatique ont permis l'installation de paléosol. Pendant cette période, des phases distensives profondes et importantes se sont déroulées.

Les éruptions volcaniques de type strombolien ont permis l'édification des différents centres éruptifs et l'installation de tous les produits volcaniques de Souahlia.

II.3.7. Conclusion

L'étude volcanologique du volcan de Douar El Hadjra résulte que cet appareil a émis deux coulées basaltiques de couleur grise claire à la patine et gris sombre à la cassure.

Elles reposent au nord et à l'est sur la formation rougeâtre du Permo- Trias et à l'ouest et au sud sur les schistes du Dévonien.

Les deux coulées basaltiques sont séparées par un niveau bréchique scoriacé de couleur brun violacé, la coulée inférieure se présente en coussin, quant à la supérieure, elle est prismée.

Les différentes coupes réalisées au niveau du volcan de Douar El Hadjra, confirment la présence d'un seul épisode volcanique majeur de type strombolien.

III.1.Introduction

L'étude pétrographique des produits éruptifs du massif de souahlia permettent de reconnaître, pour chacun des complexes volcaniques, deux à quatre groupes de coulées basaltiques.

Ces différents groupes pétrographiques se distinguent entre eux par la nature et les caractéristiques des produits émis.

Elles ont permis également d'établir d'une part une corrélation entre les différentes émissions de massif de Souahlia et le centre volcanique de Douar El Hadjra et d'autre part leur chronologie de mise en place.

Notre étude pétrographique se fera depuis les produits éruptifs les plus anciens rejetés par le volcan du Douar El Hadjra jusqu'aux plus récents.

III.2.Pétrographie des laves de Souahlia

Les manifestations volcaniques du complexe de Souahlia peuvent être rassemblées en quatre groupes de basaltes, désignés S1 à S4, et pouvant comprendre chacun une à quatre coulées représentées par leurs propres caractères pétrographiques.

III.2.1.Le groupe pétrographique S1

Ce groupe comporte trois coulées basaltiques. Les laves sont gris clair et présentent assez souvent le faciès 'taches de soleil'.

Elles montrent également une structure en plaquettes ou en boules.

La coulée inférieure est caractérisée par une texture microlitique porphyrique. Les phénocristaux d'olivine (20%), de clinopyroxène (15%) et de plagioclase(2%) baignent dans une mésostase qui comprend la même constitution minéralogique.

Les phénocristaux d'olivine, de 1 à 2,5mm de long, montrent des bordures plus ou moins iddingsitisés et des contours irréguliers

Les clinopyroxène apparaissent en cristaux automorphes de 1 à 2mm de long. ils sont parfois maclés ou zonés (**Fig.20**) et peuvent s'agencer souvent en agrégats, en particulier dans les laves rejetées par les centres éruptifs de Ras El Kela . Les plagioclases, plus rares en phénocristaux, se présentent en lattes rectangulaires.

La mésostase est composée essentiellement par de nombreux microcristaux orientés suivant la direction de la fluidalité de la roche.

Dans la coulée rejetée par le volcan de Ras El Kela, la mésostase comprend des microcristaux de calcite, colmatant des cavités, ainsi que des microcristaux de néphéline (1%),

automorphes, de couleur gris-blanchâtre de taille moyenne comprise entre 0,1 et 0,3mm. Le reste de la roche est constitué de microcristaux d'iddingsite, de clinopyroxène, de plagioclase, d'opacques et de verre volcanique.

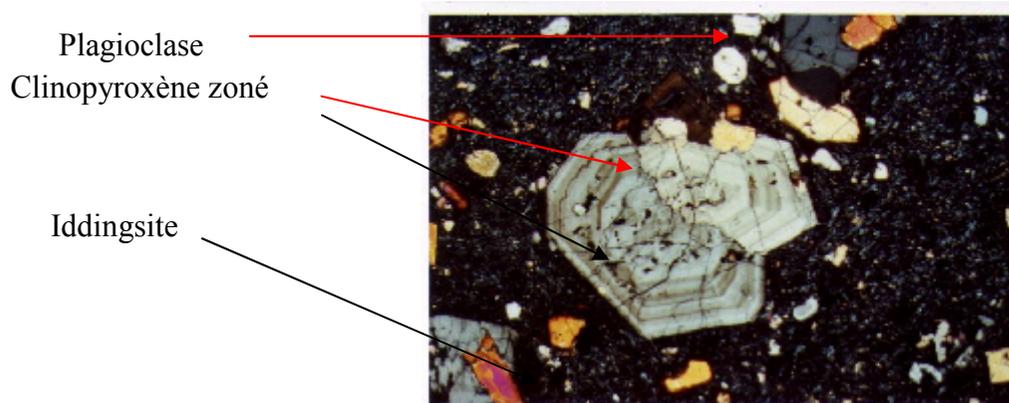


Fig. 20 : Coulée inférieure du groupe S1

LP :Gr x 10

La coulée moyenne du groupe S1 montre une texture microlitique légèrement porphyrique. Les phénocristaux sont représentés par de l'olivine partiellement iddingsitisée (8- 10%) de 0,6 à 0, 8 mm de long, du clinopyroxène à bordures corrodées et renfermant souvent des inclusions d'opacques, ainsi que du plagioclase (1%) formant des enchevêtrements de très fines aiguilles autour des phénocristaux.

La mésostase est constituée des mêmes espèces minérales apparaissant en microcristaux et associées à des granules d'opacques. Un verre gris sombre lie l'ensemble des minéraux.

La coulée supérieure du groupe S1 montre une texture microlitique et renferme des microcristaux de clinopyroxène (15%), d'olivine (10%) et de plagioclase (2%).

Les microlites de clinopyroxène sont de taille moyenne de 0,2mm de long. Les microcristaux d'olivine sont iddingsitisés et craquelés.

Les plagioclases sont représentés par des lattes de 0,3mm de long. Les grains de titanomagnétite sont nombreux et interstitiels. L'ensemble de cette association minéralogique baigne dans un verre gris sombre.

III.2.2. Les basaltes du groupe S2

Le groupe S2 est représenté dans le massif de Souhalia par quatre coulées basaltiques à structure grossièrement prismée. La coulée inférieure montre une texture microlitique porphyrique.

Les phénocristaux sont constitués de clinopyroxène (10-15%) et de plagioclase (5-10%) baignant dans une mésostase renfermant ces mêmes minéraux en microlites (**Fig.21**).

Les phénocristaux de clinopyroxène, de 1 à 5mm de long, se présentent en fuseaux plus ou moins arrondis à leurs sommets. Certains individus sont zonés et renferment souvent des grains d'opacités.

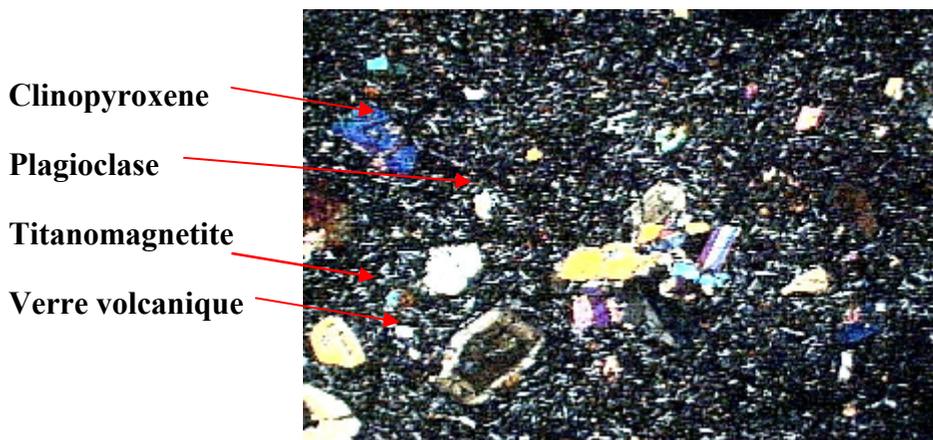


Fig. 21 : Coulée inférieure du groupe S2

LP : Gr x 10

Les phénocristaux de plagioclase, 0,8 à 1,5mm de long, sont plus ou moins orientés suivant la direction de fluidalité de la roche. Les macles sont omniprésentes et les zonages apparaissent quelques fois.

La mésostase est formée essentiellement par des lattes de plagioclase de moins de 0,3mm de long. Elle renferme des inclusions de grains d'opacités.

L'olivine se présente en microcristaux iddingsitisés. Des zéolites, en très faible pourcentage, peuvent être observées dans certaines roches.

L'orthose, maclée Carlsbad, peut également faire partie de cette association minéralogique mais en faible quantité.

De nombreux grains d'opacités parsèment le fond de la roche. Un verre gris sombre lie l'ensemble des minéraux.

La coulée moyenne du groupe S2 présente une texture microlitique.

Les microcristaux de clinopyroxène, légèrement teintés en vert pâle, sont automorphes. Les olivines sont iddingsitisés.

Le plagioclase se présente en petites lattes plus ou moins orienté suivant la direction de fluidalité de la roche.

Dans certains échantillons, nous notons la présence de xénocristaux de quartz bordés de clinopyroxène (**Fig.22**).

Ces xénocristaux, rencontrés dans les basaltes de Souhalia, proviendraient d'un socle profond. Les grains d'opacés sont parsemés dans la roche. Un verre pigmenté lie les phases minérales.

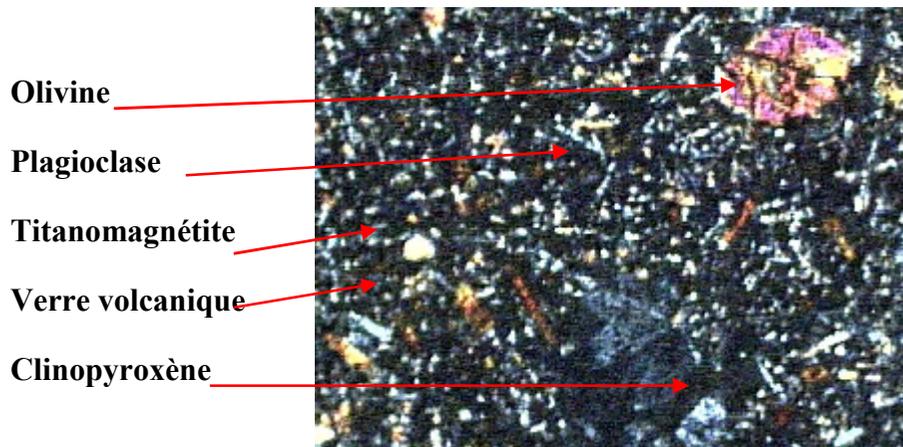


Fig. 22 :Coulée moyenne du groupe S2

LP : Gr x 10

La coulée supérieure présente également une texture microlitique et renferme des microlites de plagioclase (10 à 15%), de clinopyroxène (5 à 10%) et d'olivine (1 à 3%).

Les microcristaux de clinopyroxène, de 0,3mm de long en moyenne, sont marron clair et sont isolés ou en agrégats. Ils sont souvent zonés. Certains individus sont plus ou moins arrondis ou même rectangulaires.

Les fines baguettes de plagioclase, 0,1 et 0,2mm, sont maclées et entourées d'une mince couronne réactionnelle. Les microcristaux d'olivine sont totalement iddingsitisés. Les grains d'opacés sont très nombreux. L'ensemble de cette association minérale baigne dans un verre gris sombre.

III.2.3. Les basaltes du groupe S3

Le groupe pétrographique S3 comprend trois coulées.

La coulée inférieure est à texture microlitique porphyrique dans laquelle nous distinguons des phénocristaux de clinopyroxène (2-5%), d'olivine (5%) ainsi que des xénocristaux d'amphibole (5%).

Les phénocristaux de clinopyroxène, à cœur coloré en brun-clair, peuvent être zonés ou montrer parfois la macle en sablier.

Les xénocristaux d'amphibole, de 1 à 2 mm de long, sont colorés en brun et sont très pléochroïque. Ils correspondent à de l'hornblende basaltique (**Fig.23**) Certains d'entre eux sont entourés d'une bordure opaque d'oxydes.

Les phénocristaux d'olivine, de 0,5 à 0,8 de long, sont corrodés et présentent à la périphérie une couronne iddingsitisée.

La mésostase est constituée par de fines baguettes de plagioclase (10%) limpides et montrant des bordures plus ou moins corrodées, des microcristaux d'olivine (2 à 3%) totalement iddingsitisés ainsi que des microlites de clinopyroxène colorés en jaune clair (1 à 2%) auxquels s'ajoutent des grains d'opacques. Un verre grisâtre lie l'ensemble des espèces minérales.

Amphibole

Plagioclase

Titanomagnétite

Verre volcaniq



Fig. 23: Coulée inférieure à xénocristaux d'amphibole

LP : Gr x 10

La coulée moyenne, à texture microlitique, présente des microcristaux d'olivine (1 à 2%), de clinopyroxène (3 à 4%) et de plagioclase (1 à 2%). Les cristaux d'olivine, 0,5 et 1 mm de long, sont automorphes, craquelés et iddingsitisés. Certaines sections de clinopyroxène montrent un zonage net. Le reste de la mésostase est occupé par des lattes de plagioclase et des grains d'opacités. Un verre gris constitue le reste de la roche des coulées moyennes du groupe pétrographique S3.

La coulée supérieure représente la dernière émission basaltique du complexe éruptif des Souahlia. Elle est de texture aphyrique. La roche est constituée uniquement de microcristaux de petite taille. Elle comprend du plagioclase (50%), du clinopyroxène (2%), d'olivine altérée (1%) et des grains d'opacités.

L'ensemble de ces phases minérales est lié par un verre de couleur gris sombre.

III.2.4. La mise en place des produits pétrographiques de chaque centre volcanique dans les différents ensembles de Souahlia

L'étude pétrographique des différents produits éruptifs de Souahlia a mis en évidence quatre ensembles pétrographiques (**Tableau. 2**).

L'ensemble S1 est représenté par une à trois coulées gris bleu à gris sombre qui ont été émises par Ras Kela, Rokba, El Koudia, Bouhabiba, Dar Ali Ben Saleh dans la rive gauche et Douar Elhadjra, Sidi Amar, Zourana, Feddam Sallah, El Bahri, Dar Ali Ben Ayed dans la rive droite. Ce sont des roches microlitiques porphyriques ou porphyriques à phénocristaux de clinopyroxène, d'olivine, renferme des enclaves de péridotite.

L'ensemble S2 regroupe au plus trois coulées gris clair à gris bleu émises par différents centres volcaniques de Souahlia (ex : les appareils volcaniques El Hadba, Ain Djenane, El Arroussa, Bousserdoun, Dar Ali Ben Ayed dans la rive gauche et Rokba, Boukdama, et Ben Alloul dans la rive droite). Ce sont des roches microlitiques porphyriques à gros cristaux de clinopyroxène et petits cristaux d'olivine. La mésostase est constituée de microlites de plagioclase, de clinopyroxène, d'olivine, de l'analcime, minéraux opaques, verre volcanique et des enclaves en allogène de quartz peut apparaître dans certaines de ces laves.

L'ensemble S3 regroupe Tigraou dans la rive droite et El Bahri dans la rive gauche, la coulée caractérisée par des xénocristaux d'amphibole et une mésostase constituée les (Cpx, Ol, Amph, Plagio, et le verre volcanique)

L'ensemble S4 regroupe Bouhabiba dans la rive droite et El Bahri dans la rive gauche, la coulée est aphanitique de couleur grise. La mésostase est constituée les (Cpx, Plagio, iddingsite, l'oxyde et le verre volcanique)

Ensemble Pétro	Centres éruptifs de la rive droite	Nombre de coulées	Centres éruptifs de la rive gauche	Nombre de coulées	Nature pétrographique	Dynamisme
S4	Bouhabiba	-	El Bahri	2	la coulée est aphanitique de couleur grise . La mésostase est constituée les (Cpx , Plagio , iddingsite , l'oxyde et le verre volcanique)	Strombolien
S3	Tigraou	1	El Bahri	2	la coulée a des xénocristaux d'amphibole et une mésostase constituée les (Cpx , Ol , Amph , Plagio , et le verre volcanique)	
S2	Rokba	3	El Hadba	-	Coulées gris claire a gris bleu roches microlitiques porphyriques a + de Cpx et - de Ol	
	Boukdama	2	Ain Djnane	-		
	Ben Alloul	4	El Aroussa	3		
			4	Bousserdoun		3
S1	Douar Elhadjra , Sidi Amar	2	Ras Kela	2	Coulées gris bleu a gris sombre , roches microlitiques porphyriques ou porphyriques à phénocristaux de Cpx, Ol, renferme des enclaves des périclase	
	Zourana ,	1	Rokba	3		
	Feddam Sallah	1	El koudia	3		
	El Bahri	3	Bouhabiba	-		
	Dar Ali Ben Ayed	2	Dar Ali Ben Saleh	4		

Tableau 2: La mise en place des produits pétrographiques de chaque centre volcanique dans les différents ensembles de Souahlia

III.3. Pétrographie des laves du volcan de Douar El Hadjra

La cartographie ainsi que l'étude pétrographique des divers produits volcaniques du volcan de Douar El Hadjra ont mis en évidence le groupe pétrographique, noté S1 présente ses propres caractères pétrographiques et minéralogiques.

Les deux coulées basaltiques émises par le volcan du Douar El Hadjra peuvent être rattachées à ce groupe pétrographique S1.

Les coulées sont massives et plus ou moins véhiculées, montrent assez souvent une structure en plaquettes ou en boules.

III.3.1. la coulée inférieure

En lame mince, la lave montre une texture porphyrique. Les phénocristaux sont constitués d'olivine (20 à 25%) apparaît sous forme de grands cristaux subautomorphes de taille comprise entre 1 et 2,5 mm.

Elle est fréquemment altérée en iddingsite et présente des craquelures. Les cristaux frais polarisent dans les teintes vives 2^{em} ordre et présentent une extinction droite.

Les phénocristaux de clinopyroxène (15 à 20%) sont automorphes. Leur taille moyenne varie de 1 à 2 mm de long. Certains individus montrent un zonage net marqué en lumière naturelle par un cœur vert, très pléochroïque, ceci signifie que le pyroxène est sodique.

Le plagioclase (1 à 2%) se présente sous forme de sections automorphes à subautomorphes.

Les phénocristaux baignent dans une mésostase renfermant de 50 % des microlites de même nature que les phénocristaux (olivine, clinopyroxène, plagioclase et des opaques) et de 15 % de verre volcanique. (Fig.24)

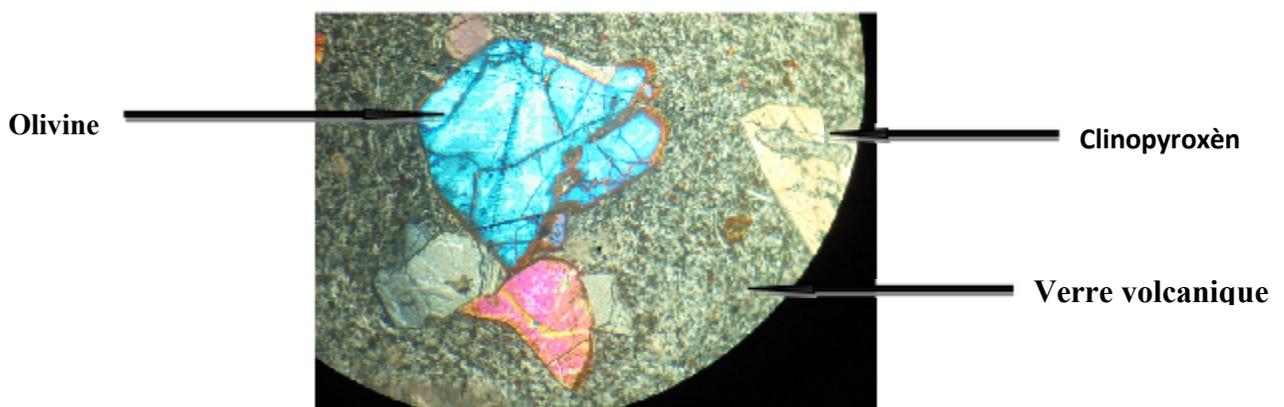


Fig. 24 : Coulée inférieure à olivine et pyroxène

III.3.2. La coulée supérieure

Elle montre une texture microlitique à légèrement porphyrique. Les phénocristaux sont composés **d'olivine** en proportion (8 à 14%) , **de clinopyroxène** (10%) et **de plagioclase** (5%).

Les phénocristaux **d'olivine** sont craquelés, à bordures altérées , légèrement iddingsitisés , de taille de 0,6 à 0,8 mm de long , en forme de baguette , à une couleur beige claire en LN et teinte de 2^{em} ordre, et à extinction droite et totalement iddingsitisés

Le clinopyroxène de taille moyenne de 0,2mm à bordures corrodées et renfermant souvent des inclusions d'opaques et sont totalement épigénisés.

Le plagioclase est en plus faible quantité formant des enchevêtrements de très fines aiguilles autour des phénocristaux.

Les cristaux sont automorphes à subautomorphe, Par endroit, les plagioclases renferment des facules de verre brun et de petits granules de minéraux opaques.

La mésostase est essentiellement composée de microlites de plagioclase, clinopyroxène d'olivine et de minéraux opaques (10 %) même des oxydes , les enclaves de quartz et le verre volcanique .(Fig.25)

Les minéraux accessoires dont les principaux représentants sont les minéraux opaques, apparaissent rarement libres mais souvent en inclusions dans les clinopyroxène et les plagioclases.

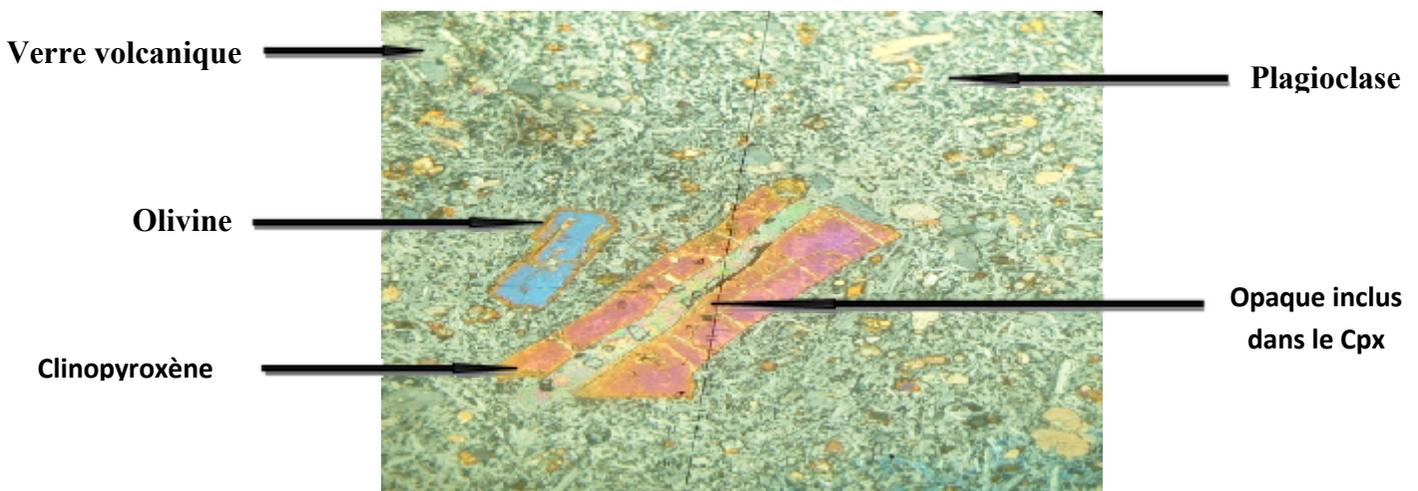


Fig. 25 : Coulée supérieure à olivine et pyroxène

III.4. Conclusion

L'étude pétrographique des laves de Souahlia révèle quatre grands groupes de laves basaltiques notés S1 à S4. Ces groupes peuvent comprendre jusqu'à quatre coulées.

Depuis les roches du groupe S1 jusqu'à celles du groupe S4 nous pouvons observer une évolution des caractères texturaux minéralogiques et pétrographique se traduisant par une diminution des proportions et de la taille des cristaux d'olivine et de clinopyroxène et avec l'apparition de xénocristaux d'amphibole dans les coulées les plus récentes du groupe S4

L'ordre de cristallisation global des diverses phases minérales pourrait s'établir comme suit : Opaques → olivine → clinopyroxène → amphibole → orthose → analcime

L'étude pétrographique débute depuis les produits éruptifs les plus anciens rejetés par le volcan du Douar El hadjra .

Finalement on résulte cette étude par une corrélation entre les différentes émissions de Douar El Hadjra avec les différentes émissions de Souahlia chronologie de mise en place (Fig.26).

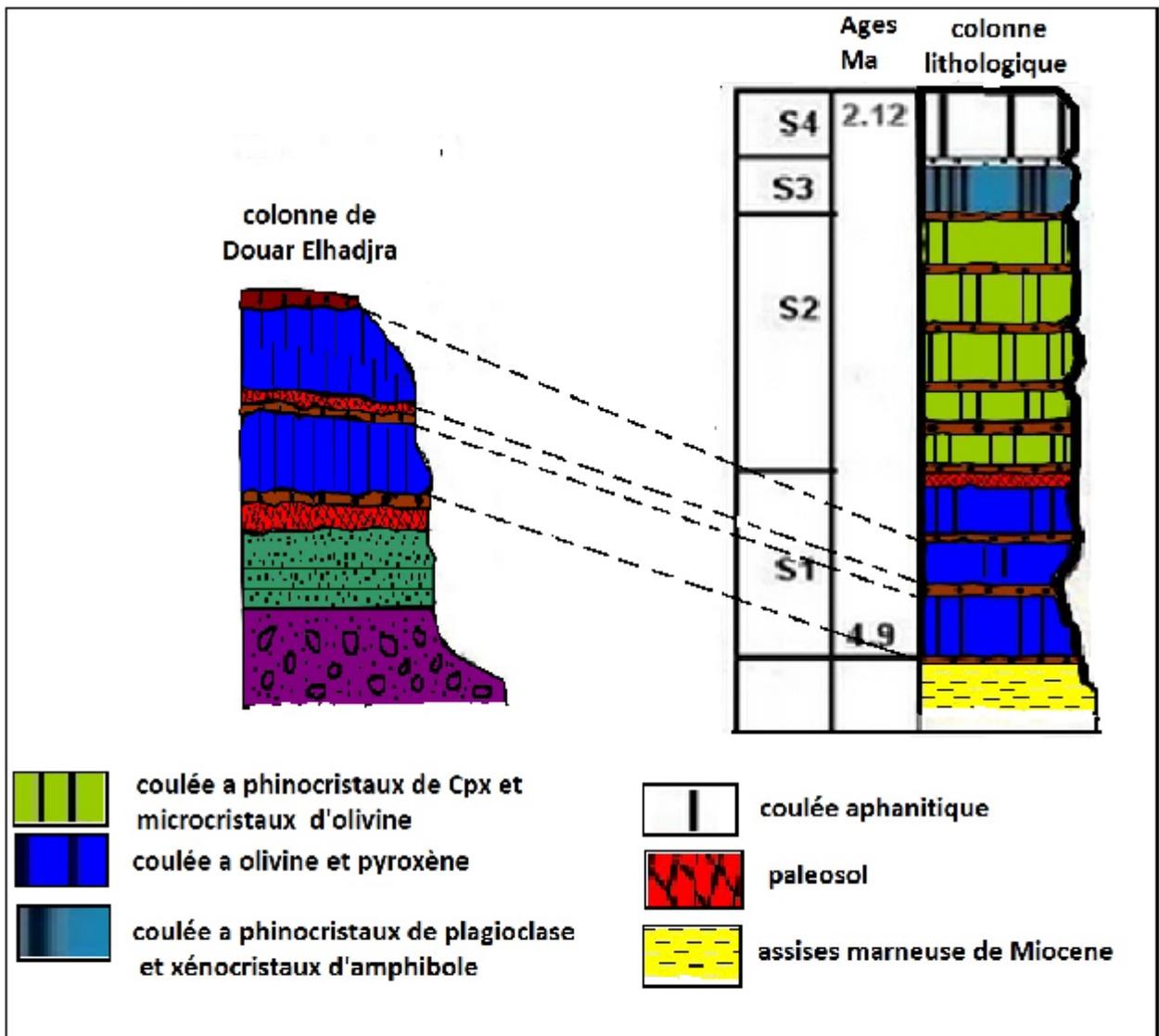


Fig. 26 : Position stratigraphique des produits éruptifs du volcan et leur corrélation

IV.1.Introduction

L'étude des caractéristiques géochimiques des basaltes de Souahlia nécessite l'utilisation des données de roches totales de Megartsi (1985), de Bendoukha (1987 et 2008). Près d'une trentaine d'analyses chimiques (éléments majeurs, traces et terres rares) ont été effectuées sur les diverses coulées basaltiques de massif de Souahlia. Ces analyses (Bendoukha, 2008) ont été obtenues auprès du Laboratoire de Pétrologie Magmatique de la Faculté St-Jérôme de Marseille, au C.R.P.G. ainsi qu'à l'Ecole des Mines de Saint-Étienne.

Les coulées de lave rejetées par le centre d'émission Douar El Hadjra notées respectivement S1 et correspondent dans le massif de Souahlia.

IV.2.Les éléments majeurs

Toutes les données analytiques des éléments majeurs qui ont été dosés par absorption atomique sont consignées dans le **(tableau.3)**.

IV.2.1.Distribution des éléments majeurs

Le traitement des compositions chimiques globales de l'ensemble de complexe éruptif Souahlia permet la distinction des variations des principaux éléments majeurs.

La distribution des éléments majeurs dans ces roches volcaniques révèle une nette évolution de leur chimisme. Ainsi, les teneurs en MgO, CaO, FeO et TiO₂ décroissent progressivement depuis les coulées les plus anciennes aux plus récentes.

Parallèlement, la silice, l'aluminium et le sodium augmentent dans les termes les plus différenciés. Ainsi, les teneurs en silice dans les laves plio-quadernaires des Souahlia ($42,7 < \text{SiO}_2 < 48,09$),

Les proportions d'alumine varient globalement, dans les basaltes plio-quadernaires, de 14 à 18,8 %. Elles sont, en revanche, plus faibles dans les laves des Souahlia ($13,78 \% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 17,45 \%$).

Le magnésium présente également des différences de concentrations parmi les roches basaltiques plio-quadernaires. Les teneurs oscillent ainsi entre 4,76 et 8,52% dans les coulées des Souahlia. Les teneurs en calcium varient entre 8,47 et 13,48 % dans les Souahlia.

Les proportions de fer total oscillent autour de 2,39 à 6,48% dans l'ensemble des coulées plio-quadernaires. Le titane varie entre 1.56 et 3.35% dans celles de Souahlia.

Le potassium varie, entre 0.59 et 2.58% dans celles de Souahlia.

Le manganèse varie, de 0.02 à 0.19% dans celles de Souahlia.

Le sodium varie entre 2,82 et 4.55% dans celles de Souahlia.

	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8	SH9	SH10	SH11	SH12	SH13	SH14	SH15	SH16	SH17
SiO₂	46,05	45,29	45,85	45,88	47,88	42,70	43,89	47,48	47,23	48,09	47,76	46,16	46,10	46,43	45,45	46,88	45,55
Al₂O₃	16,30	16,28	13,96	13,78	16,75	15,38	16,85	17,45	16,18	17,00	16,08	15,71	15,47	14,60	14,31	14,98	14,98
TiO₂	2,98	3,00	1,68	1,66	1,56	3,35	3,03	1,99	2,27	2,63	2,80	2,70	3,20	2,25	2,87	2,76	2,86
Fe₂O₃	6,21	5,31	3,21	2,39	3,10	6,48	5,41	4,15	3,86	4,43	4,59	4,35	5,62	4,54	6,30	4,56	6,33
FeO	4,22	5,10	6,09	6,93	5,84	4,71	5,02	4,27	4,92	4,57	4,74	4,65	4,87	4,35	3,57	4,37	3,63
MnO	0,19	0,19	0,15	0,15	0,14	0,18	0,17	0,17	0,02	0,16	0,17	0,15	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16
MgO	5,40	5,66	8,37	8,39	6,98	5,90	5,58	4,76	6,83	4,86	5,62	7,18	5,59	8,25	8,52	7,16	7,17
CaO	9,62	9,64	12,61	13,48	9,85	11,88	9,65	8,47	10,17	8,68	8,82	10,27	10,44	10,09	11,19	10,52	10,05
Na₂O	4,00	4,36	2,82	3,03	3,42	3,56	3,80	4,55	4,34	3,54	3,82	3,13	4,32	4,48	3,75	4,03	3,47
K₂O	0,97	0,83	1,06	0,73	0,85	0,59	1,24	2,58	0,92	1,62	1,05	0,91	0,69	0,95	0,66	1,04	0,95
P₂O₅	0,57	0,56	0,28	0,29	0,25	0,54	0,56	0,56	0,56	0,59	0,57	0,54	0,59	0,51	0,52	0,54	0,50
H₂O⁺	3,18	2,55	2,90	3,01	3,39	4,45	3,01	2,04	2,55	3,29	3,17	3,52	2,62	2,15	2,12	2,13	3,31
H₂O⁻	0,77	0,66	0,21	0,27	0,20	0,76	1,04	0,77	0,60	0,95	1,07	1,00	0,38	0,44	0,27	0,28	0,62
Total	100,46	99,20	99,99	100,21	100,49	99,25	99,36	100,45	100,41	100,26	100,30	100,07	99,21	99,69	99,40	99,58	99,58
ID	37,82	37,53	29,47	28,25	33,85	28,38	35,3	46,47	37,63	39,52	38,53	31,87	36,95	37,03	31,32	36,48	33,83
Na₂O+K₂O	4,97	5,19	3,88	3,76	4,27	4,15	5,04	7,13	5,26	5,16	4,87	4,04	5,01	5,43	4,41	5,07	4,42

Tableau 3: Teneurs en éléments majeurs des coulées de l'ensemble de Souahl

Created with

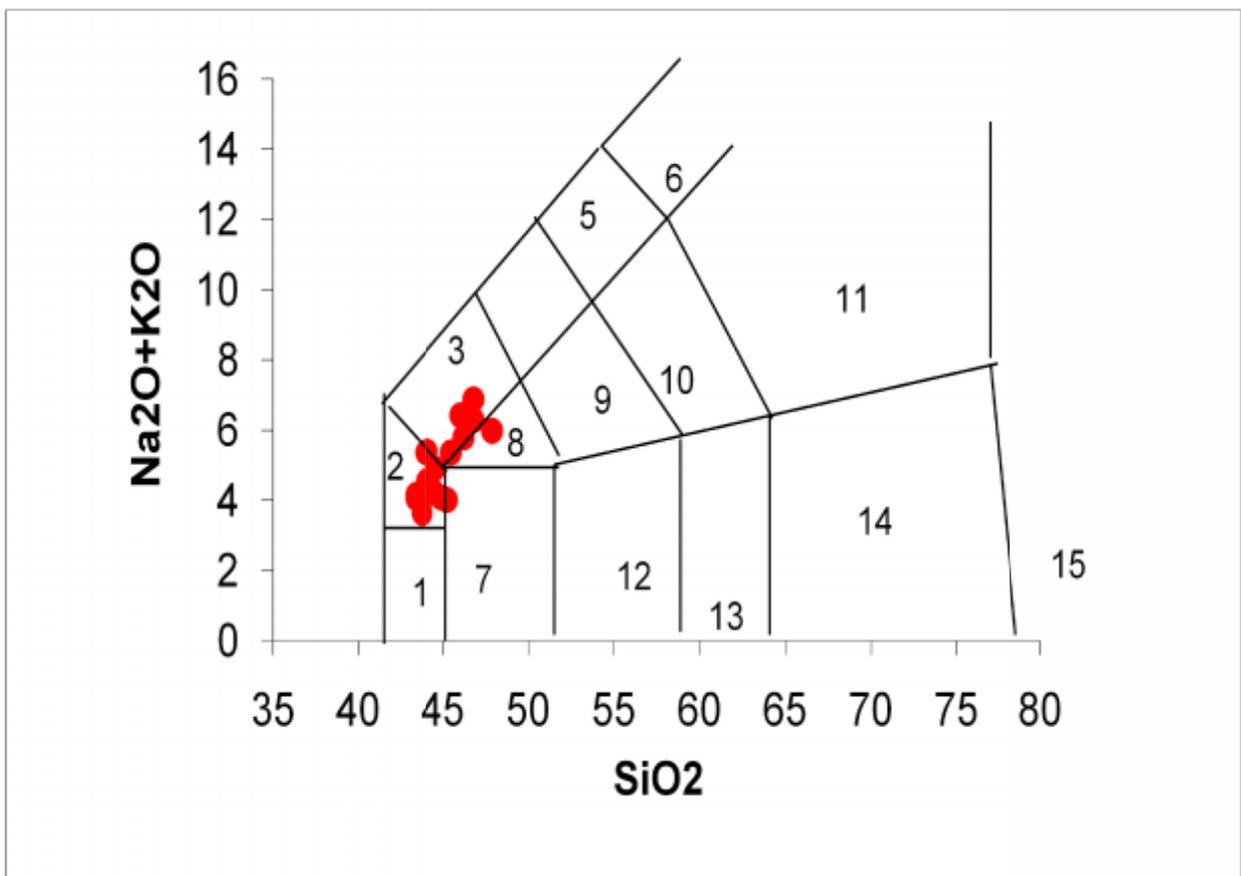
IV.2.2. Classification et nomenclature des laves Souahlia

La caractérisation des magmas et la nomenclature des roches sont basées sur les éléments majeurs. Pour cela nous avons utilisé différents diagrammes pour préciser la nomenclature des laves de massif étudiée.

IV.2.2.1. Le Diagramme de Lemaître

La projection de l'ensemble des roches dans le diagramme TAS de Lemaître et al. , (1989), (Fig.27) révèle une série sodique différenciée des basanites et des basaltes pour les roches des Souahlia. Cette différenciation résulte en grande partie de processus de cristallisation fractionnée d'une série alcaline sodique.

En définitive l'ensemble des échantillons se distribue selon des tendances cohérentes compatibles avec leur appartenance à une même série magmatique.

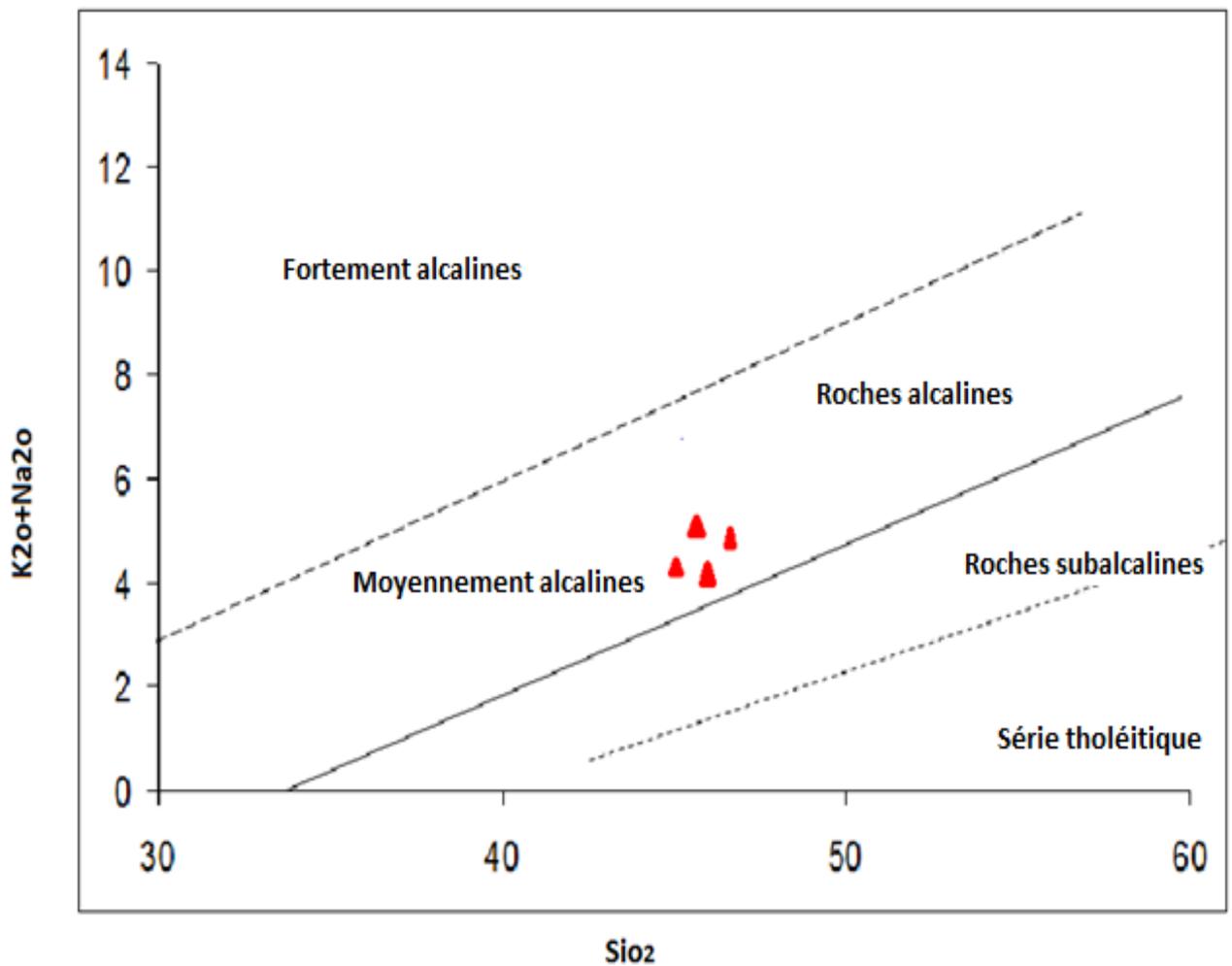


1- Picro Basalte 2-3 : Basanite 4-Phono-Tefrite 7 : Basalte 8- : Trachy Basalte
 ● : Coulée plio-quaternaire de Souahlia.

Fig. 27:classification des laves alcalines selon le diagramme de Lemaître

IV.2.2.2. Diagramme alcalins- silice

Le diagramme $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Fig.28) considère la somme ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) comme paramètre discriminant entre les trois grandes séries magmatiques (série tholéitique, calco-alcalines et alcaline). Nous constatons que les laves du massif de Souhalia sont des roches moyennement alcalines. Les fortes teneurs en alcalins sont portées par les coulées les plus récentes.



Coulées à olivine et pyroxène

Fig. 28: Diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ sur SiO_2 (Schwazer et Rogert 1974) des laves alcalines de Souahlia

IV.3. Les éléments en traces

Les analyses chimiques des éléments en traces, des coulées de l'ensemble des centres volcaniques de Souahlia sont consignées dans le (**tableau.4**). Les teneurs en éléments en traces, seront étudiées pour mettre en évidence d'éventuelles variations, puis des comparaisons seront effectuées dans les différentes coulées.

IV.3.1. Les alcalins et alcalino-terreux

- Le baryum présente des teneurs variables. Il oscille entre 713 et 1205 ppm dans les laves des Souahlia.
- Le strontium passe de 772 à 1113 ppm.
- Les variations des teneurs en rubidium dans les roches varient (08 et 92 ppm) Cet élément se concentre essentiellement dans les feldspaths potassiques.

IV.3.2. Les éléments de transition

- Le nickel, montre des variations de teneurs entre 19 et 260 ppm, Les fortes concentrations en nickel reflètent l'importance de l'olivine dans la roche.
- Le chrome, présente une variation de teneurs entre 23 et 461 ppm, les valeurs élevées montrent l'importance du clinopyroxène dans la lave.
- Le cobalt fluctue entre 37 et 57 ppm.
- Le cuivre varie entre 22 et 61 ppm.
- Le vanadium, varie de 189 ppm à 258 ppm.

En définitive, depuis les coulées les plus anciennes, vers les plus récentes, on constate certaines évolutions des teneurs en éléments en traces :

- Une augmentation des concentrations en baryum et strontium.
- Une diminution nette des teneurs en nickel, en chrome, en vanadium et en cuivre, moins nettement marquée par le cobalt.

	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7	SH7	SH8	SH9	SH10	SH11	SH12	SH13	SH13	SH14	SH15
Ba	736	760	796	737	907	948	713	759	1167	1205	898	821	830	997	886	900	964
Co	57	54	55	52	49	40	50	52	40	37	42	46	47	39	43	45	38
Cr	460	461	446	409	314	217	378	312	186	174	153	153	193	65	118	381	23
Cu	47	50	59	40	38	32	48	61	33	34	38	38	42	32	29	51	22
Ni	219	234	260	207	114	70	163	144	70	74	90	120	103	53	90	123	19
Sr	832	870	892	776	772	939	784	780	1011	1015	911	959	1016	987	1113	798	831
V	255	249	244	238	262	196	258	251	221	216	199	210	235	196	211	256	189
Rb	16	10	8	34	20	24	16	14	26	26	28	68	92	52	48	14	58
Zn	86	86	87	86	86	83	88	98	82	86	82	89	91		88	75	97
Ga																	
La	39,6	38,5		34,1						62,3				56,1			44,1
Ce	82,7	81,4		73						123				113,1			91,1
ID	37,82	37,53	29,47	28,25	33,85	28,38	35,3	46,47	37,63	39,52	38,53	31,87	36,05	37,03	31,30	36,18	33,83

Tableau.4: Les Teneurs en éléments en traces des coulées des Souahlia

IV.4. Différenciation

Les roches basaltiques de Souahlia constituent une série moyennement alcaline sodique. La nomenclature des laves de chaque centre éruptif, qui sera adoptée au cours de cette étude est celle basée sur l'indice de différenciation (**ID**) de Thornton et Tuttle (1960).

Nous allons voir successivement le comportement des éléments majeurs puis des éléments en traces en fonction de l'indice de différenciation.

IV.4.1. Comportement des éléments majeurs en fonction de l'indice de différenciation

Les diagrammes indiquant le comportement des éléments majeurs en fonction de l'indice de différenciation (**ID**), sont portés dans la (**Fig.29**).

La silice atteint des teneurs élevées dans les coulées plio-quaternaires les plus évoluées du massif de Souhalia.

La chute du MgO en fonction de l'indice de différenciation est marquée par la cristallisation de l'olivine, celle du CaO par le fractionnement des minéraux ferro-magnésiens, plus particulièrement le clinopyroxène

Les fortes teneurs en TiO₂ sont portées par les grains de minéraux ferro-titanés que nous retrouvons le plus souvent en position interstitielle ou en inclusions dans les minéraux et qui témoigne leur précipitation.

Le sodium et l'alumine augmentent régulièrement depuis les coulées les plus anciennes jusqu'aux plus récentes et ce dans l'ensemble du massif. Les teneurs de ces deux éléments sont guidées par la grande quantité de plagioclase présent en microlites ou en phénocristaux dans toutes les coulées. La coulée sommitale atteint une teneur en Na₂O 7%.

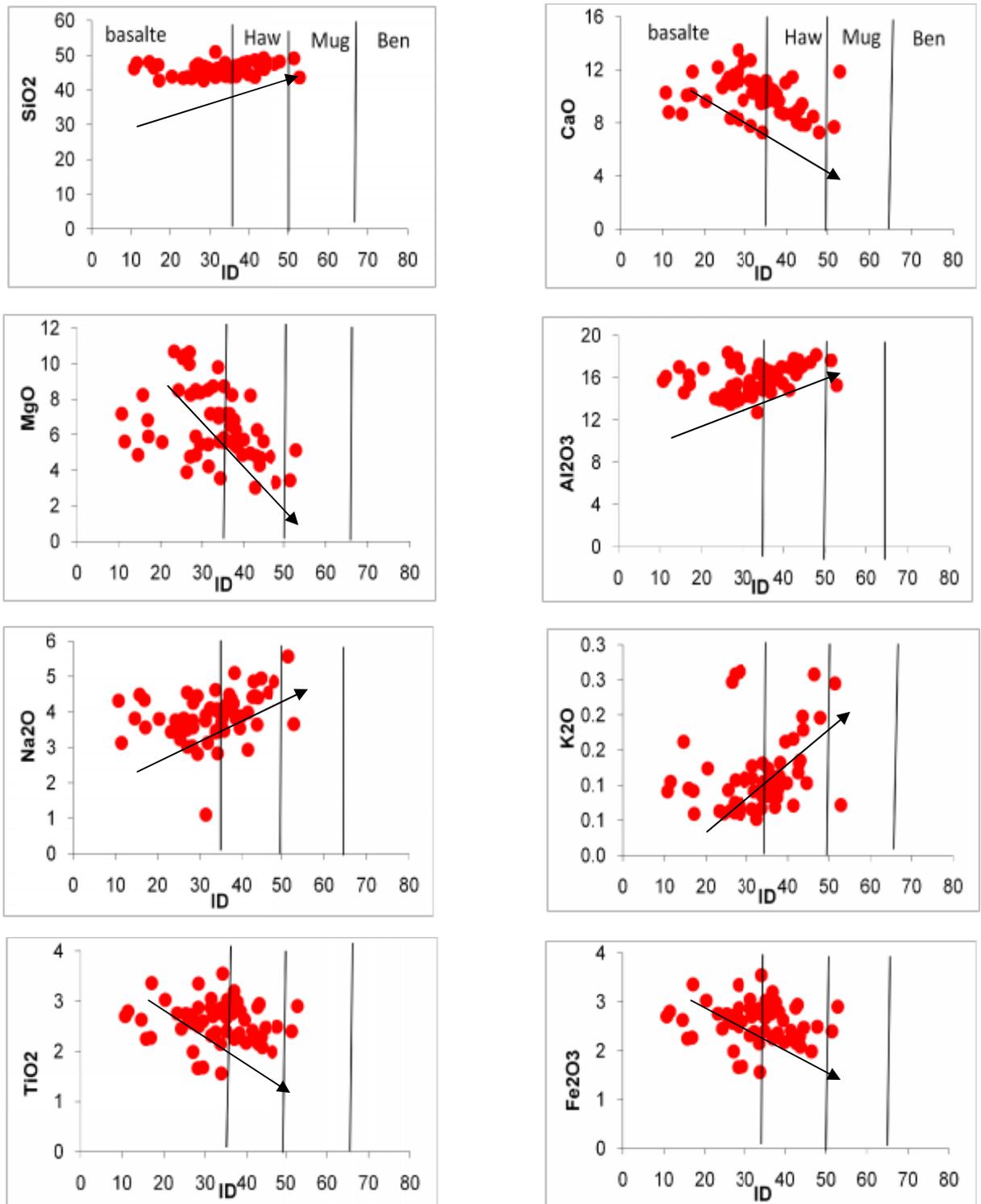


Fig. 19: Distribution des éléments majeurs en fonction de ID des laves alcalines plio-quaternaires de Souhalia

IV.4.2. Comportement des éléments en traces en fonction de l'indice de différenciation

Le Ni diminue très nettement dans les coulées les plus différenciées. Il confirme la cristallisation de l'olivine. Les fortes teneurs en Ni sont portées par l'olivine des coulées les moins différenciées (**Fig. .30**).

Les teneurs en chrome et en cobalt chutent nettement dans les termes les plus différenciés. Les corrélations négatives obtenues pour le nickel, le cobalt et le chrome confirment le fractionnement du clinopyroxène au cours de la différenciation.

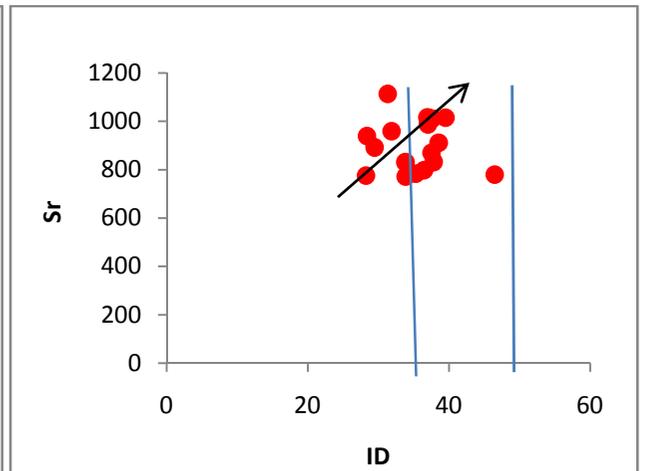
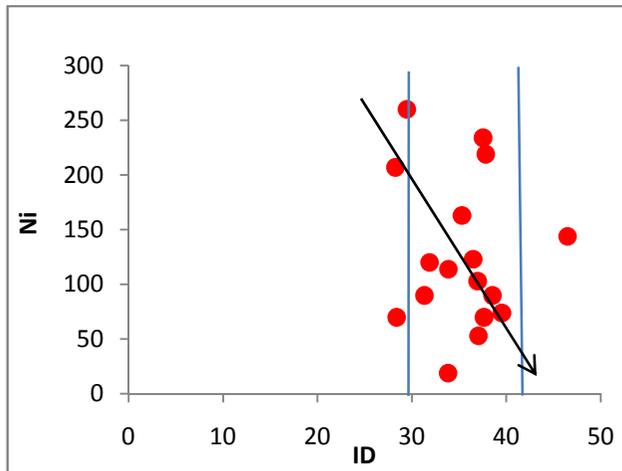
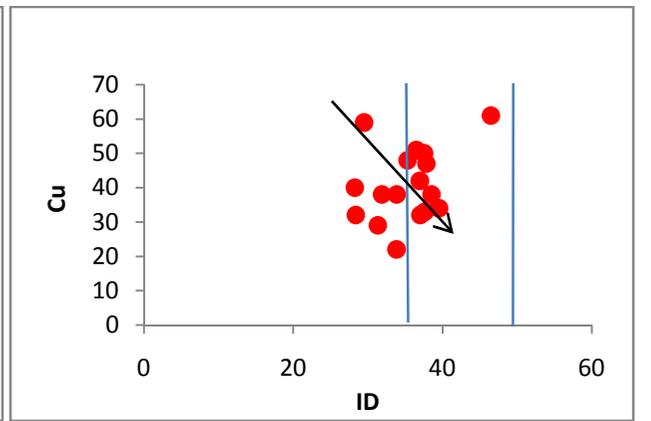
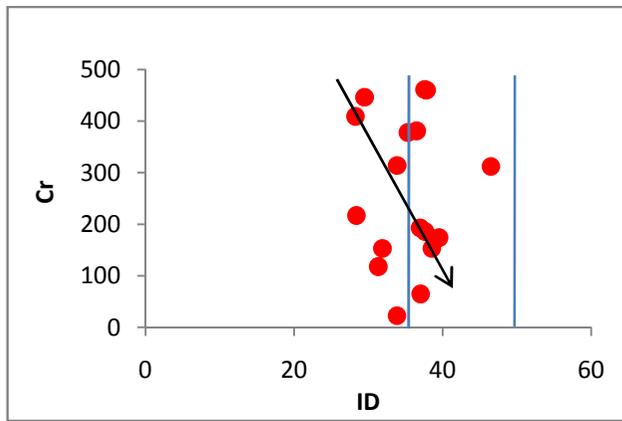
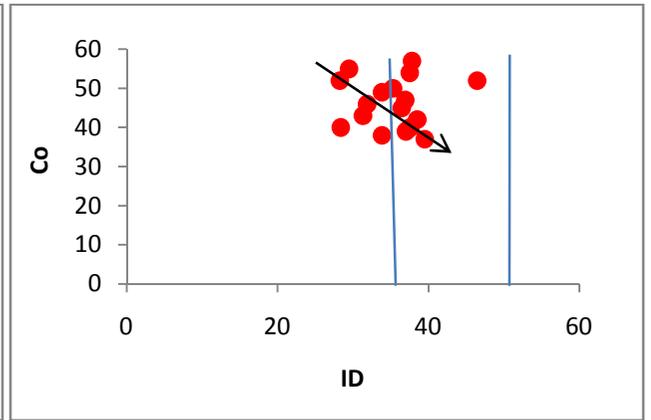
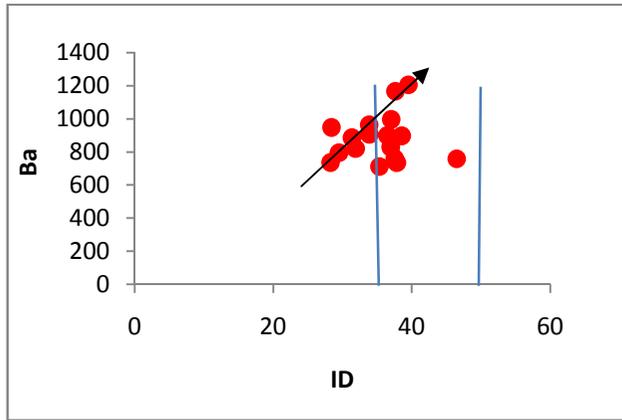
La diminution du vanadium, dans les termes les plus évolués, indique la précipitation des oxydes ferro titanés.

Les corrélations positives indiquées par le baryum et le strontium montrent le retour du plagioclase en phase de liquidus.

En résumé, le comportement des éléments majeurs et traces, en fonction de l'indice de différenciation, révèle une série moyennement alcaline sodique différenciée allant depuis les basaltes jusqu'aux mugearites. La différenciation de cette série pourrait être guidée par un processus de cristallisation fractionnée.

Basalte Haw Mug

Basalte Haw Mug



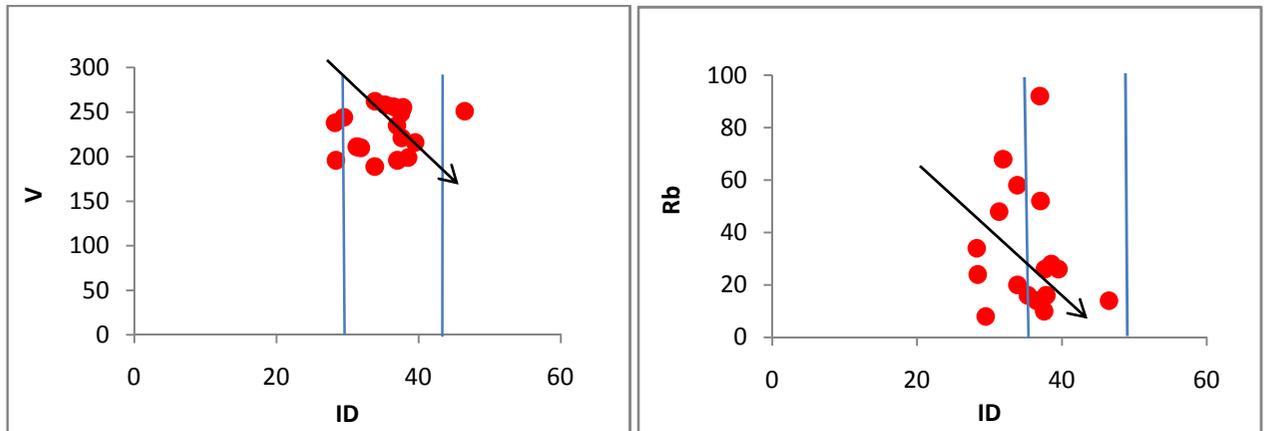


Fig. 30: Distribution des éléments majeurs en fonction de ID des laves alcalines plio-quaternaires de Souahlia

IV.5. Les terres rares

Les données de terres rares utilisées ici, (Tableau 5), proviennent d’une sélection d’analyses des travaux de Bendoukha (2008), Coulon et al. (2002) pour la plupart des basaltes alcalins plio-quaternaires de massif étudié (Souahlia).

La	38,50	34,10	39,60	62,30	48,70	56,10	44,11	44,70	64,30	65,60	57,61	54,30
Ce	81,40	73,00	82,70	182,38	101,10	113,10	91,10	82,50	118,60	113,91	100,60	91,30
Nd	32,90	29,90	34,60	46,23	38,00	42,40	35,90	36,30	56,30	43,01	41,30	38,50
Sm	5,61	5,30	5,95	6,90	6,40	6,98	6,00	8,05	10,80	8,00	7,67	7,53
Eu	2,04	1,90	2,13	2,24	2,18	2,32	2,06	2,28	2,99	2,36	2,25	2,24
Gd	5,60	5,38	5,60	5,14	5,47	5,65	5,04	5,92	7,47	5,50	5,86	5,50
Dy	4,38	4,32	4,62	4,82	4,82	5,08	4,60	4,37	5,76	4,76	4,65	4,37
Ho	0,76	0,73	0,77	0,92	0,79	0,88	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yb	1,61	1,57	1,62	2,15	1,96	2,11	1,87	1,77	2,57	2,20	2,17	1,89
Lu	0,08	0,03	0,01	0,10	0,96	0,09	0,09	0,24	0,40	0,29	0,28	0,25

Tableau 5: Les Teneurs en terres rares des coulées des Souahlia (BENDOUKHA 2008)

	I	II	III
La	0,3290	0,3100	31,100
Ce	0,8650	0,8080	67,033
Pr		0,1220	
Nd	0,6300	0,6000	30,400
Sm	0,2030	0,1950	05,980
Eu	0,0770	0,0735	01,253
Gd	0,2760	0,2590	05,500
Tb		0,0474	0,850
Dy	0,3430	0,3220	05,540
Ho		0,0718	
Er	0,2250	0,2100	03,275
Tm		0,0324	
Yb	0,2200	0,2090	03,113
Lu	0,0339	0,0322	0,456

I : Chondrites de NaKamura (1974)

II : Chondrites de Boyton (1974)

III : North American shale composite (Gromet et al , 1984)

Chondrite values (ppm) used in normalizing REE (I et II) in igneous rocks and standard sedimentary compositions used for normalized the REE concentration in sedimentary rocks (III)

Elles vont nous permettre une meilleure caractérisation des propriétés géochimiques des laves plio quaternaires de Souahlia. Parmi ces éléments dosés, nous discuterons principalement le comportement des HFSE et des éléments les plus incompatibles. (Terres rares, LILE).

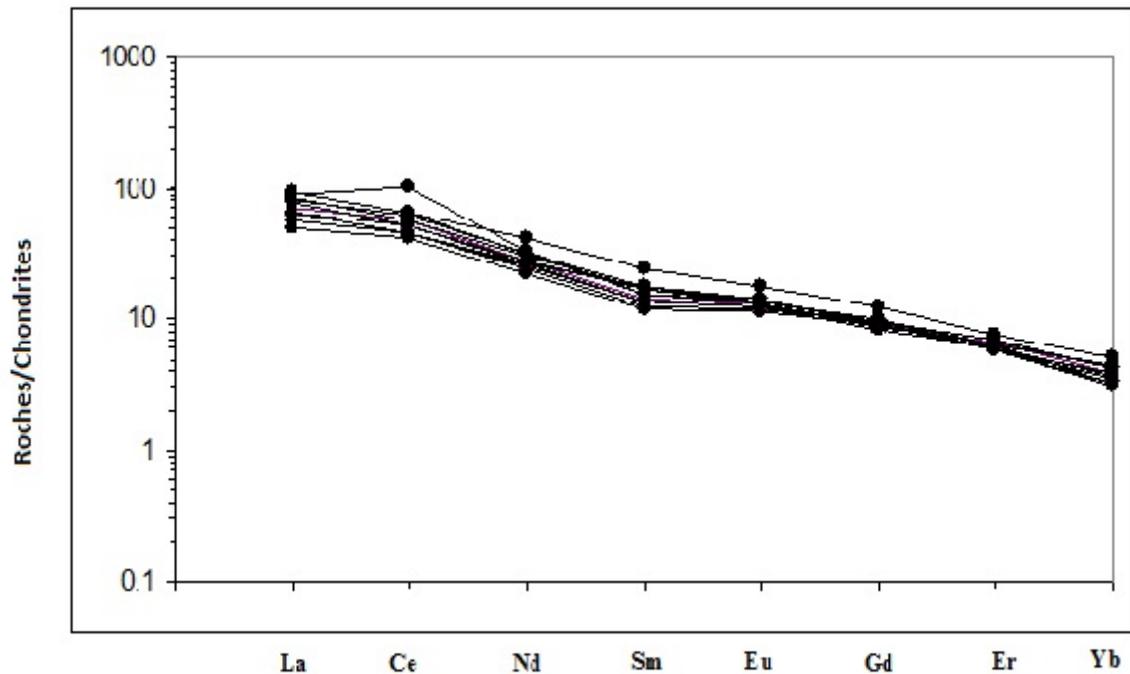


Fig. 21: Spectre de terres rares des laves alcalines plio-quaternaires de Souahlia

Le spectre de terres rares normalisées aux chondrites de toutes les laves étudiées (Fig.31) montrent un caractère typiquement alcalin avec un enrichissement en LREE (100 fois) par rapport aux HREE.

Les éléments étant classés par ordre de degré d'incompatibilité décroissant de gauche à droite,

Le fractionnement plus marqué des LREE serait lié à la présence de l'olivine et de clinopyroxène dans ces roches. On note par ailleurs, l'absence d'anomalie en Eu dans le spectre, ce qui confirme le non participation des feldspaths au processus de fractionnement.

Le degré d'enrichissement de chaque TR normalisée aux chondrites est lié à sa concentration initiale dans la source et au degré de fusion partielle. Le parallélisme des spectres et la constance des rapports inter éléments suggèrent que toutes ces laves alcalines dérivent d'une source unique et homogène.

L'interprétation de l'allure de ces spectres montre que les laves basaltiques de Souahlia sont co-génétiques

IV. 6. Conclusion

Dans l'ensemble de massif, la teneur en silice augmente nettement dans les coulées les plus différenciées.

La distribution des alcalins en fonction de SiO_2 de l'ensemble des laves plio-quaternaires révèle dans le diagramme de Lemaître et al. (1989), une série sodique différenciée : des basanites et des trachy basaltes pour les roches de Souahlia.

La chute du magnésium est marquée par la cristallisation de l'olivine, celle du calcium par le fractionnement des minéraux ferromagnésiens, notamment le clinopyroxène.

La courbe indiquée par le titane ainsi que la corrélation négative révélée par le fer, suggèrent la précipitation des opaques.

Dans les coulées plio-quaternaires, le sodium et l'aluminium et le potassium, augmentent régulièrement depuis la coulée la plus ancienne jusqu'à la plus récente et ce dans l'ensemble des massifs.

Ces trois éléments sont guidés par la grande quantité de plagioclases présents en microlites ou en phénocristaux dans toutes les laves basaltiques de souahlia

La distribution des éléments en traces dans les roches basaltiques de souahlia révèle une nette évolution de leur chimisme

Le nickel diminue très nettement dans les coulées sommitales et révèle la cristallisation de l'olivine.

Les teneurs en chrome et en cobalt chutent nettement dans les termes les plus différenciés. Les corrélations négatives obtenues pour ces deux éléments confirment le fractionnement du clinopyroxène.

La diminution du vanadium et du cuivre, dans les termes les plus évolués indique la précipitation des minéraux opaques.

Enfin les corrélations positives indiquées par le baryum et le strontium montrent la non précipitation des plagioclases dans toutes les laves.

La géochimie de l'ensemble des produits volcaniques de souahlia révèle une série alcaline sodique différenciée allant depuis le terme des basaltes pour les coulées les moins différenciées en passant par le terme des hawaïtes pour arriver aux mugearites pour les laves les plus évoluées), Cette différenciation pourrait être guidée par le processus cristallisation fractionnée.

D'une manière générale, les spectres de terres rares des laves de sont de type 'enrichis en LREE'. Ils sont caractérisés par un net enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres

rare moyennes et aux terres rares lourdes. Le parallélisme des spectres des terres rares obtenu dans les coulées plio-quadernaires montre un co-génitisme entre les laves basaltiques

Les coulées plio-quadernaires de souahlia ainsi que celles rejetées par le volcan de Dour El Hadjra constituent une série moyennement alcaline sodique issue d'un magma alcalin.

La néotectonique régionale post-collisionnelle associée à des environnements paléogéographiques particuliers, au cours du mio-plio-quadernaire, semble avoir joué un rôle essentiel dans les conditions de mise en place des émissions volcaniques de souahlia.

La région de Souahlia a été le siège d'un volcanisme qui s'est manifesté durant le Plio-quadernaire. Elle est caractérisée par un nombre important de volcans ayant rejeté une quantité de lave et de produits pyroclastiques qui recouvrent une superficie importante.

Le centre d'émission du Douar El Hadjra, situé à environ 25 Km au sud-est de Ghazaouet, juste à côté de la route nationale N^o : 98 a conservé sa forme conique originelle.

Le flanc nord-est de cet appareil montre une falaise d'environ 50 m qui laisse voir deux coulées basaltiques séparées par un niveau bréchiqne scoriacé de couleur brun violacé. La coulée inférieure se présente en coussin, quant à la supérieure, elle est prismée. par la présence des scories brunes de taille variable.

L'observation des formations géologiques faite sur le terrain, ainsi que les différentes coupes réalisées au niveau du volcan de Douar El Hadjra, confirment la présence d'un seul épisode volcanique majeur de type strombolien.

Les datations radiométriques sur roches totales révèlent pour les basaltes alcalins attribués au plio-quadernaire un âge compris entre -4.9Ma et -2.12Ma.

L'étude pétrographique débute depuis les produits éruptifs les plus anciens rejetés par le volcan du Douar El Hadjra jusqu'aux plus récents.

Ce volcan émis deux coulées basaltiques avec des phénocristaux d'olivine, de clinopyroxène et de plagioclase peuvent être rattachées à ce groupe pétrographique S1.

La géochimie des éléments majeurs est mise en évidence l'affinité alcaline des laves plio-quadernaires de Souahlia.

L'étude des éléments en trace confirme ce processus pétrogénétique marqué par le fractionnement de l'olivine et de la magnétite dans les premiers stades.

Les spectres de terres rares des laves de sont de type 'enrichis en LREE'. Ils sont caractérisés par un net enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares moyennes et aux terres rares lourdes.

Du point de vue géochimique, les roches basaltiques de souahlia, montrent chimiquement, une série moyennement alcaline sodique différenciée, allant depuis les basanites pour les coulées les plus anciennes, jusqu'aux trachy-basaltes pour les coulées les plus récentes.

