

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques, Agronomiques

Département des Sciences Géologiques



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
En sciences de la Terre et de l'Univers.
Option: Ressources Minérales et Environnement.

Thème :

**APPORTS DE LA TECTONIQUE DANS LA PROSPECTION DES
BENTONITES DE HAMMAM BOUGHRARA(MAGHNIA)**

Présenté Par

M^{ELLE} MAHCENE SONIA

Soutenu publiquement, le 02/07/2018, devant le jury composé de :

Président : M. MAKHLOUF AMCB.....UMMTO
Encadreur : M. BOUKHEDIMI M^{ed}A.MCB.....UMMTO
Examineur : M. HAMIS AMAA.....UMMTO
Examineur : M. LOUNIS RMAA.....UMMTO

Année universitaire 2017/2018

REMERCIEMENTS

*Mes remerciements les plus sincères vont tout d'abord, à **Mr. Boukhedimi** qui m'a proposé ce sujet, assez particulier, et qui m'a orienté, soutenu, motivé et encouragé comme nul autre. Ses précieux conseils, critiques constructives et sa disponibilité m'ont énormément aidé non seulement à confectionner ce mémoire mais aussi durant mon parcours universitaire.*

*Je remercie aussi **Mr. Makhlouf** pour m'avoir fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Mes reconnaissances et mes remerciements vont aussi à **Mr. Lounis** et **Mr. Hamis** pour avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je remercie aussi mes camarades, qui m'ont aidé durant mon travail : **Benzaid Slimane** et **Chougar Massyl***

Mes remerciements vont également à tous (toutes) mes enseignants (es) pour leurs enseignements riches en géologie minière, et d'avoir répondu à mes appels sans hésitation.

Dédicace

Arrivé au terme de mes études par la grâce de Dieu, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail aux personnes qui me sont les plus chères :

Mes très chers parents, pour leurs encouragements, leur soutien, surtout pour leurs sacrifices afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

Mes très chères sœurs Samia et Hassiba.

Mon très cher fiancé Yazan et toute sa famille.

Mes très chers amis (es), particulièrement : Slimane, Samia, Karima, Sid Ali, Lynda et Madjid.

SOMMAIRE

Chapitre I : Introduction et cadre géologique

I.1. Introduction :	1
I.2. But De L'étude :	1
I-3. Moyens Mis En Œuvre	2
I-4 Cadre Géographique	2
I.5 : Géologie Régionale De l'Oranie (Algérie Nord Occidental)	3
I.5.1 : Cadre Géologique Et Structural De l'Oranie	3
I.5.2 : Evolution Géodynamique De l'Oranie Et Le Bassin De Tafna	5
I.5.3 : Lithostratigraphie	6
I.5.3.1 : Le Miocène	6
I.5.3.2 : Le Pliocène	8
I.5.3.3: Le quaternaire	8
I.5.4 : Magmatisme : Le Volcanisme Moi-Plio-Quaternaire	9
I.5.4.1 : Le Volcanisme Miocène	9
I.5.4.2 : Le Volcanisme Plio-Quaternaire	9
I.6:Géologie Régionale De La Région De Maghnia	13
I.6.1 : Cadre Géologique De Secteur D'étude	13
I.6.2 : Lithostratigraphie De Secteur De Maghnia	15
I.6.2.1 : Le Miocène	15
I.6.2.2 : Le Pliocène	15
I.6.2.3 : Le Quaternaire	15
I.6.3 : Le Cadre Structurel De Secteur De Maghnia	17
I.6.3.1 : Tectonique	17
I.6.3.2 : Le volcanisme	19

Chapitre II : Etude Volcanologique

Introduction	20
V.1.Morphologie et Structure	20
V.2.Mode de gisement	26
Conclusion	30

SOMMAIRE

Chapitre III : Etude Pétrographique

Introduction.....	30
III.1.Les rhyolites Compactes.....	30
III.1.1.Description Macroscopique.....	31
III.1.2.Description Microscopique.....	31
III.1.2.1.Les Phénocristaux.....	31
III.1.2.2.La Mésostase.....	33
III.1.2.3.Les Textures	34
III.1.2.3.Séquence De Cristallisation	36
III.2. Les Perlites	36
III.2.1. Description Macroscopique	36
III.2.2.Description Microscopique	36
III.2.2.1.Les Phénocristaux	36
III.2.2.2.La mésostase	39
III.2.2.3. Les Textures	39
III.3.Les Pyroclastites Et Les Tufs Pyroclastiques	40
III.3.1.Description Macroscopique	41
III.3.2.Description Microscopique	43
III.3.2.1.La Phase De Liaison	43
III.3.2.2.La Phase Clastique	43
III.4.Tufs Consolidés Massifs (Ignimbrites)	44
III.5: Les Altérations Associées	45
III.6 : Etude Pétrographique Des Faciès Bentonitisés	47
Conclusion	48

Chapitre IV : Etude minéralogique et géochimique

Introduction	48
IV.1.Minéralogie	48
IV.1.1.Détermination De La Température De La Mise En Place Des Dômes Rhyolitiques	48
IV.2.Nomenclature Et Classification Des Laves.....	48
IV.3.Etude Des Changements Géochimiques Dans Les Faciès Bentonitisés	53

SOMMAIRE

IV.3.1.Les éléments majeurs.....	53
IV.4.Etude Des Rapports Isotopiques D'hydrogène δD	55
IV.4.1.Rappel	55
IV.4.2.Principe De La Signature Isotopique	56
Conclusion	58
Chapitre : Etude Morphotectonique	
Introduction	59
V.1.Analyse morphotectonique	59
V.1.1 :Données initiales	60
V.1.2 :Définition du travail.....	60
V.2.Interprétation du modèle numérique de terrain (MNT).....	62
V.3.Examen du secteur de la moyenne Tafna- Traras	70
Conclusion	76
Conclusions générales.....	80
Bibliographie..	

I.1. Introduction :

Dès la fin de l'époque tertiaire, l'Oranie occidentale est le siège d'une activité volcanique intense qui va lui communiquer l'un des traits marquants de sa géologie.

En effet, ce volcanisme qui recouvre d'importantes surfaces s'est manifesté, par intermittence, depuis le miocène jusqu'au quaternaire sur tout le pourtour de la méditerranée occidentale.

La vallée de la Tafna a été marquée par ce volcanisme au cours du miocène et jusqu'au quaternaire. Les produits volcaniques rejetés par les centres d'émissions repartis de part et d'autre de l'oued Tafna, s'étalent sur une très grande superficie.

La bentonitisation apparue dans certains de ces milieux volcanogènes a donné naissance aux plus grands gisements d'argiles bentonitiques en Algérie.

Des témoins de cette activité volcanique, à l'origine de certains de ces gisements faisant l'objet de notre étude, apparaissent dans la région de Hammam Bouhrara.

Le présent travail rentre dans le cadre de la préparation d'un mémoire de master en géologie option : ressources minières.

Le travail entrepris consiste en une étude détaillée des terrains volcanogènes rhyolitiques de la région de Hammam Bouhrara (Marnia – Algérie du nord occidental) et de la bentonitisation qui affecte ces terrains. Le but étant de déterminer l'origine de cette bentonitisation.

Le modèle proposé pour cette bentonitisation pourra ensuite être exploité pour la prospection de nouveaux gisements.

I.2. But De L'étude :

Les objectifs étaient :

- D'étudier en détail les différents faciès rhyolitiques de la région de Hammam Bouhrara (dômes et dépôts pyroclastiques).
- D'étudier en détail la structure et le modèle de gisement des dômes et des dépôts associés.
- De proposer une approche cinématique aboutissant à la structure actuelle de ces dômes.
- D'étudier en détail la tectonique cassante de la région et d'essayer notamment d'établir la relation avec la bentonitisation.
- De mettre en évidence les principaux changements géochimiques (éléments majeurs, traces et Isotopes) affectant les terrains bentonitisés.

Le but général étant de retrouver la relation entre la bentonitisation et la tectonique dans la région de Hammam Bouhrara.

I-3. Moyens Mis En Œuvre :

Pour mener à bien ce travail nous avons entrepris :

- Une recherche bibliographique approfondie sur les différents travaux réalisés sur la région.
- Des sorties de terrains ont été effectuées durant lesquelles nous avons entrepris des échantillonnages et pris les photos de terrains présentées dans ce mémoire.
- Une étude morphotectonique basée sur les photographies aériennes (INC (1/27 000) 1992, (1/50 000) 1953.), les fonds topographiques et géologiques (Nedroma 1/50 000) et des images satellites (Landsat7).
- Une étude volcanologique basée sur la morphologie des appareils volcaniques et le mode de gisement des terrains associés.
- Une étude pétrographique basée sur la macroscopie des roches à l’affleurement et la microscopie à partir des échantillons prélevés.
- Une étude géochimique basée sur les résultats des éléments majeurs, traces et les isotopes de l’hydrogène.

I-4 Cadre Géographique :

Le secteur d'étude est situé au Nord-Ouest de l'Algérie, près de la ville de Hammam Bouhrara (figure I.1), distant de 30 km à l'Ouest de la ville de Tlemcen (chef-lieu de la Wilaya) et à 14km de la frontière Algéro-Marocaine sur une latitude de 34°54'N et une longitude de 1°38'W.

Il fait partie de la plaine de Maghnia partie intégrante du bassin de la moyenne Tafna qui à son tour fait partie de l'Oranie (l'Algérie Nord Occidentale).

Cette région est limitée au Nord et à l'Ouest par la chaîne de Filaoucène, et au Sud par les monts de Tlemcen.



Figure I.1 : Carte de situation du village de Hammam Boughrara

I.5 : Géologie régionale de L'oranie (Algérie Nord Occidental) :

I.5.1 : Cadre géologique et structural de l'Oranie :

La région ibéro-maghrébine appartient à l'orogène alpin périméditerranéen. Dans sa partie la plus occidentale, cet orogène est représenté par les Cordillères bétiques en Espagne et les Maghrébides qui forment une chaîne littorale allongée sur plus de 2000 Kilomètre, allant du Rif au Maroc jusqu'au Tell en Algérie et en Tunisie. Il se poursuit plus à l'Est jusqu'aux Apennins, formant l'arc calabro-sicilien (wildi, 1981) (Figure I-2)

Cet orogène représente la partie septentrionale de l'Algérie et forme les domaines de l'Atlas tellien où des zones internes et externes ont été reconnues :

- des zones internes comprenant les massifs paléozoïques avec sur leur bordure méridionale les éléments de la chaîne calcaire.
- des zones externes où sont représentées des nappes de glissements. Vers le Sud, ces nappes ont glissé dans un bassin miocène, alors qu'au Nord elles recouvrent des zones autochtones ou para-autochtones plus ou moins métamorphiques.

CHAPITRE I : INTRODUCTION ET CADRE GEOLOGIQUE

Des unités de flysch situées entre ces deux domaines structuraux, les recouvrent également par endroits.

Le nord ouest de l'Algérie (l'Oranie) appartient au domaine externe de la chaîne alpine. Guardia (1975) distingue dans cette région deux zones structurellement différenciées zone tellienne et zone atlasique).

La première tellienne est constituée de terrains néogènes sublittoraux qui s'allongent parallèlement à la côte méditerranéenne depuis la frontière Algéro-Marocaine à l'Ouest jusqu'au méridien d'Alger. Ces terrains constituent le tell.

Dans cette zone de l'Oranie dite tellienne s'individualisent des chaînes de montagnes constituées de terrains autochtones montrant une couverture secondaire plissée ; c'est la chaîne de Fillaoussène et le massif de Traras ; qui sont dans le prolongement du moyen Atlas. Ils constituent la zone dite atlasique. Ils forment, en première approximation les zones élevées par rapport aux zones telliennes qui les entourent.

Le magmatisme qui affecte la région Oranaise est représenté par le granite hercynien de Nedroma qui intrude le massif des Traras et par une intense activité volcanique d'âge Moio-plio-Quaternaire qui recouvre d'importantes surfaces.

Pour comprendre ces manifestations qui débutent au miocène ; mais aussi la structure actuelle de l'Oranie, il est nécessaire de revenir sur l'histoire géodynamique et structurale de la région.

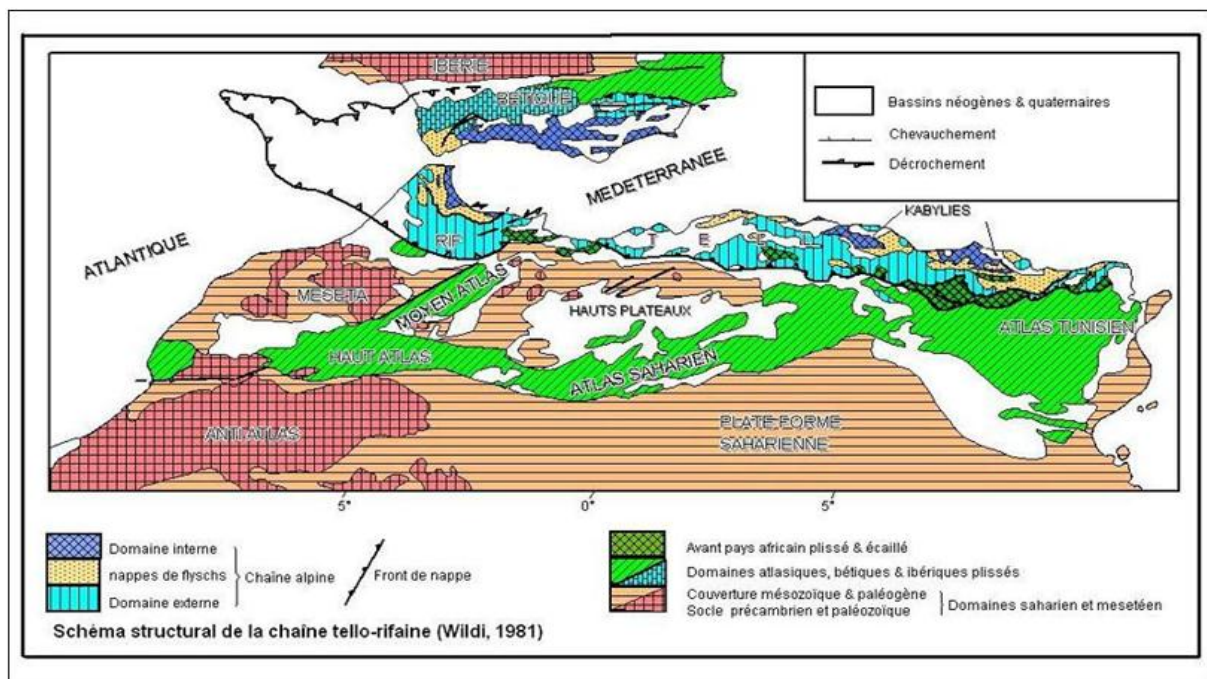


Figure I-2 : Schéma structural de la chaîne tello-rifaine (wildi, 1981)

II.5.2 : Evolution géodynamique de l'oranie et le bassin de tafna :

La structure actuelle de la région commence à se dessiner à l'ère tertiaire. L'Afrique, bloquée dans son mouvement de translation vers l'Est qui a débuté au Jurassique avec l'ouverture de l'Atlantique central, effectue une rotation autour d'un pôle situé vers la pointe sud de l'Espagne.

Le plancher océanique téthysien s'en trouve en partie résorbé par subduction ; les microplaques comprises entre l'Europe et l'Afrique entrent en collision. Ainsi, suivant des lignes de contact capricieuses, les systèmes montagneux alpins se structurent et s'élèvent (dont les structures atlasiques), en plusieurs étapes inégalement réparties dans l'espace et dans le temps.

Au Miocène la méditerranée (ex-océan téthysien) commence à s'individualiser, mais, le dessin des rivages est extrêmement complexe, avec une multitude d'îles ; la tranche d'eau est toujours très faible, avec bien souvent dépôt de calcarénites et de conglomérats traduisant l'incessant remodelage tectonique qui marque la fin de la paléogéographie alpine proprement dite (abaissement de son régime).

C'est dans cette paléogéographie reconstituée par les différentes études micropaléontologiques et stratigraphiques, mais aussi structurales, que Guardia (1975) va mettre en évidence dans l'Oranie le terme de bassin dit « synchronappes » (figure I-3) ; en effet le contexte de compression tertiaire va donner naissance à des nappes de charriage dans un tell Oranais immergé sous une faible tranche d'eau au miocène constituant un bassin sédimentaire, où seules les chaînes atlasiques étaient émergées (îles).

Les unités allochtones vont, alors, se mettre en place frontalement dans une avant-fosse miocène qui est nommée "Bassin synchro-nappes". Ce qui va donner lieu à une accumulation de sédiments dont la nature va dépendre de l'endroit de dépôt. Si dans la plupart des secteurs il est constitué par une importante épaisseur de marnes vertes entrecoupées par des bancs gréseux, il peut également dans certains endroits, être conglomératique ou représenté par des affleurements transgressés et démantelés.

Après la mise en place des nappes un deuxième cycle miocène est reconnu. C'est le miocène post nappes. Il comporte le plus souvent des argilites, des conglomérats et les marnes (voir stratigraphie). Il commence au Tortonien selon Fenet (1975).

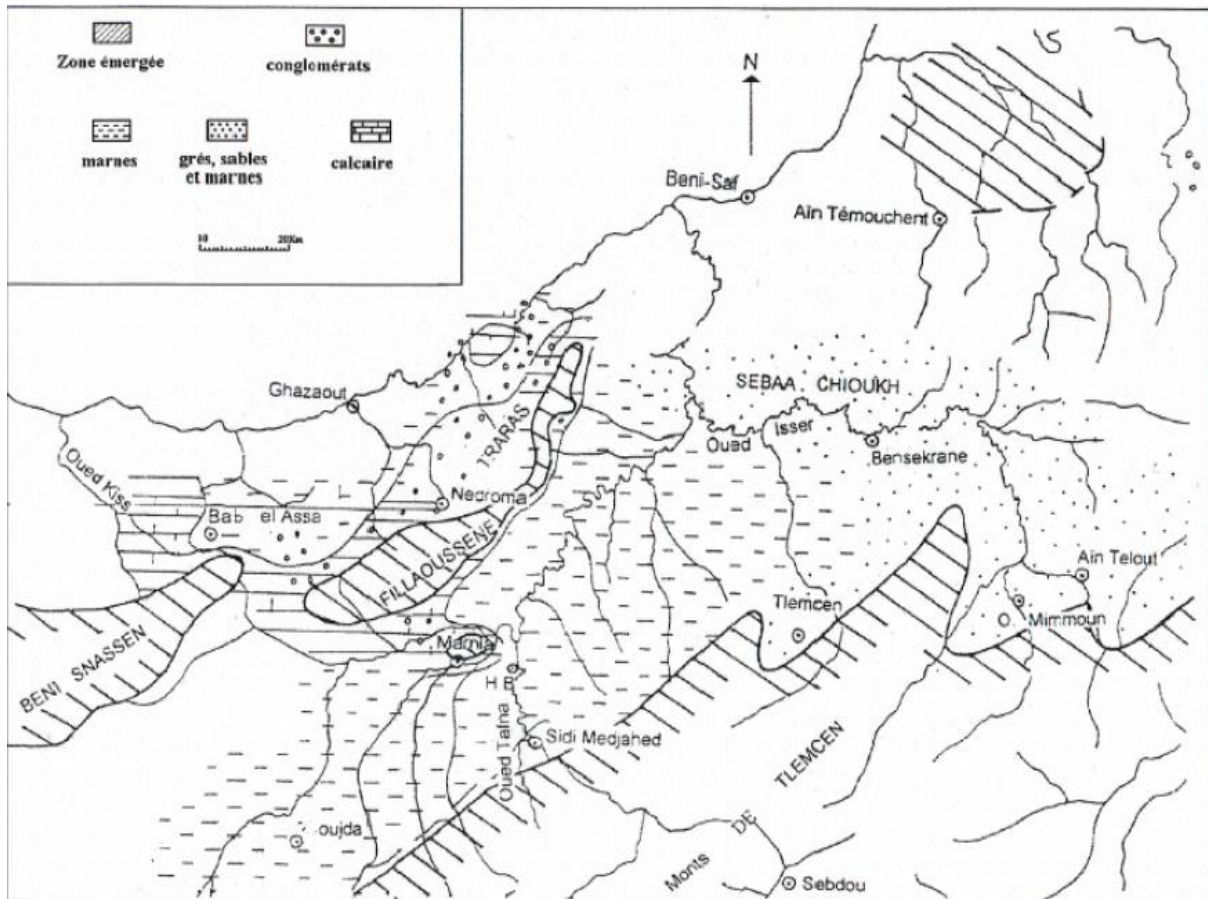


Figure I-3 : bassin miocène synco-nappes (d'après Guardia1975)

I.5.3 : Lithostratigraphie :

La stratigraphie de l'Oranie occidentale est représentée par d'importantes séries mésozoïques et cénozoïques, à dominante marno-calcaire ou gréseuse. Sa structure tectonique en nappes décollées au dessus du Trias gypso-argileux, montre une progression vers le Sud où les unités allochtones chevauchent l'autochtone pré-saharien des Hautes Plaines (principalement les monts de Sebâa Chioukh, les Traras, les Béni Snassen et les monts de Tlemçen).

I.5.3.1 : Le Miocène :

Le Miocène synchro-nappes constitue une formation importante surtout au Sud d'Aïn Temouchent (Sebaa Chioukh) où il est marno-gréseux ; dans la vallée de la Tafna où il est marneux et dans Trarras où il est marno-carbonatés (voir. Figure I-4). Il se développe vers l'Est dans les Tessala. Les études micro paléontologiques les plus fines (Guardia 1975 ; Bellon et al 1984), conduisent à attribuer un âge Serravalien à ces formations du Miocène synchro

nappes. Dans la région d'Oran et d'Arzew, les niveaux stratigraphiques les plus bas du Miocène synchro-nappes ont fourni un âge plus ancien, Langhien (selon Fenet 1975).

Un premier cycle miocène post-nappes est mis en évidence dans les Sebaa Chioukh, la vallée de la Tafna et la région de Béni Saf, avec des formations continentales argileuses vertes, puis lie-de-vin, associées à des grès et poudingues de même couleur. Ces formations sont comprises entre le matériel des nappes et les séries du Miocène terminal marin. Vers l'Est, le premier cycle post nappes regroupe selon Fenet (1975) les argilites rubéfiées, les conglomérats et les marnes marines, qu'il considère, appartenant au Tortonien. Ces formations du premier cycle miocène post-nappes, auraient pu se déposer au même moment que le Miocène synchro-nappes qui affleure plus au Sud (Megartsi85).

Un cycle miocène terminal, comportant deux bassins, l'un oriental, comprenant des affleurements situés dans la moyenne et la basse Tafna et dans les Sebaa Chioukh, et l'autre occidental limité à la région des M'Sirda. Le massif des Traras, ainsi que toute la zone située au Sud de la moyenne Tafna, vers Tlemcen, sont émergés (îles). Dans le bassin oriental, la série sédimentaire comprend trois formations :

- la formation "rouge" continentale à saumâtre, qui affleure très largement, surtout dans la moyenne Tafna où elle atteint les contreforts du Fillaoussène. Dans ces niveaux sont intercalés, près de Hammam Boughrara, des lits blanchâtres de tufs rhyolitiques remaniés, bien visibles dans le paysage.

- la formation marine des "marnes bleues" fait suite à la précédente dans la région des Sebaa Chioukh.

- enfin, une formation calcaire couronne cette série, également vers le Nord. Dans le secteur Bouzedjar-Tifaraouine, ce cycle miocène terminal comprend essentiellement des marnes à la base, surmontées par des niveaux calcaires à algues ; la sédimentation dans ce secteur se raccordant bien à la suite du bassin oriental de la Tafna. Dans le bassin occidental des M'Sirda, il existe une formation marine, essentiellement marneuse se terminant par une dalle calcaire.

I.5.4 : Magmatisme : le volcanisme moi-plio-quaternaire

D'après les travaux de Guardia(1984) *et* MEGARTDI(1985), l'Oranie (Algérie Nord occidentale) a été le siège d'importantes activités volcaniques depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire. Les formations volcaniques de l'Oranie recouvrent de très grandes surfaces géographiques de la région de Tifallouine Bouzedjar jusqu'à la frontière Algéro-Marocaine.

MEGARTSI(1985) distingue deux épisodes volcaniques :

- L'épisode volcanique d'âge Miocène supérieur (14.97-7.2 Ma) de nature calco-alcaline (Louni et al, 1995).
- L'épisode volcanique d'âge Plio-quaternaire (4 Ma) de nature basaltique-alcaline (Louni et al, 1995).

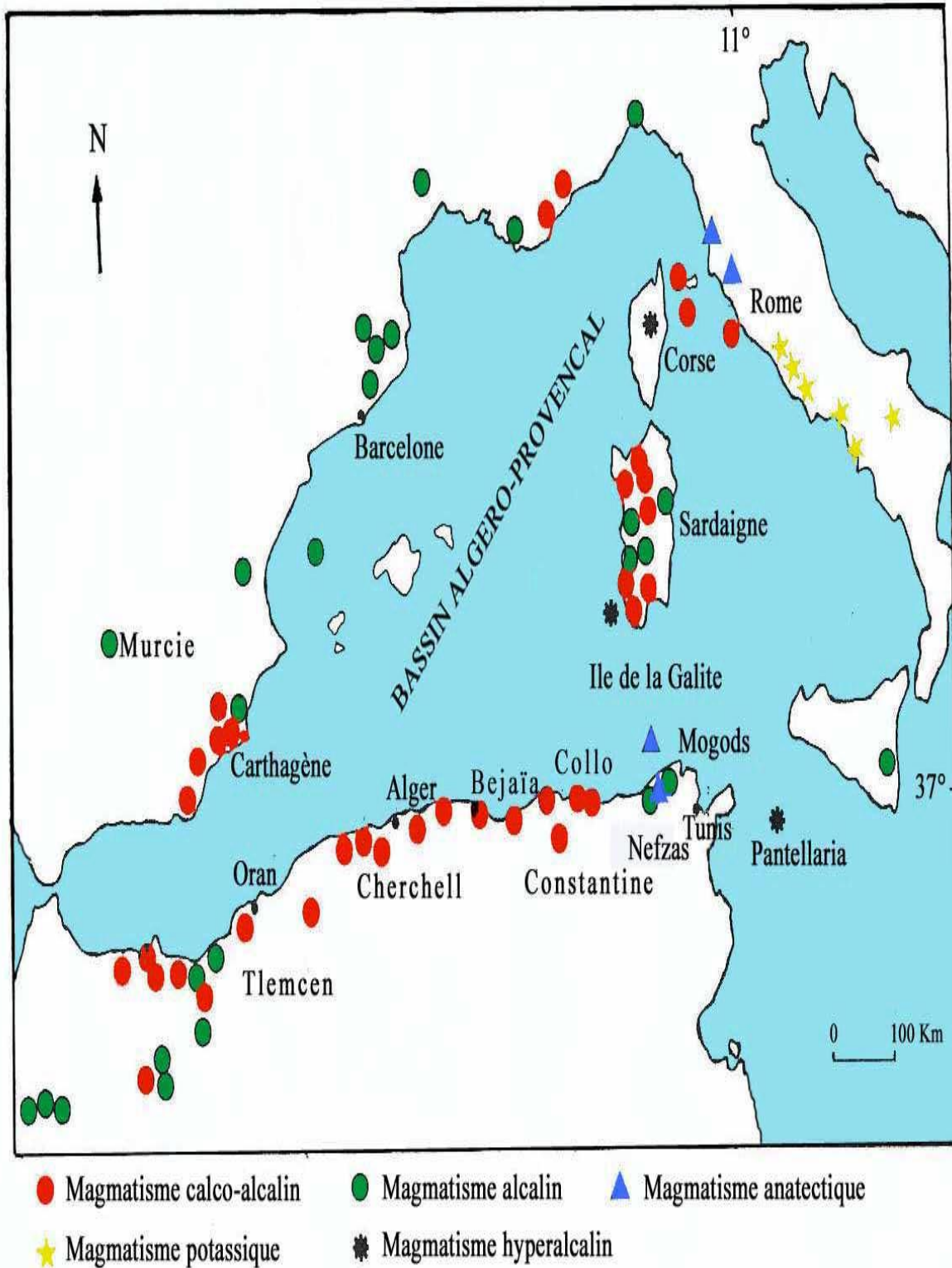
I.5.4.1 : Le volcanisme miocène :

Le Miocène est caractérisé par le début des manifestations volcaniques qui vont se poursuivre jusqu'au quaternaire et affecter toute la région Oranaise. La nature de ce volcanisme va dépendre de l'endroit et du moment (du temps) de sa manifestation. Les émissions du miocène supérieur se répartissent en trois centres importants qui sont d'Est en Ouest (selon Megartsi 1985) : Le centre du Sahel d'Oran, de la moyenne Tafna, et celui de M'sirda.

Le volcanisme débute dans la moyenne Tafna (environ 15MA) par l'émission de rhyolite, il se poursuit dans le Sahel d'Oran entre 11,7 et 9 MA par l'émission d'andésites, de dacites et de rhyolites, et il se termine dans le M'sirda (7,5MA) par des émissions basaltiques et andésitiques. Ces émissions du miocène supérieur correspondent à une série calco-alcaline potassique. C'est la réponse au contexte tectonique compressif du miocène (l'orogénèse alpine proprement dite).

I.5.4.2 : Le volcanisme plio-quaternaire :

Au Plio-Quaternaire, le volcanisme est basaltique, qui s'est manifesté et qui se distingue des phases éruptives miocènes par son caractère essentiellement basique et alcalin, et par la grande étendue des surfaces couvertes. Les laves à caractères alcalins, s'installent dans les



massifs de Ghazaout, et dans la basse et moyenne Tafna, à M'sirda et autour d'Ain Temouchent (voir Figure I-5).

Figure I-5 : le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N. Laridhi Ouzaâ (1994)

Les émissions basaltiques à caractère transitionnel sont mises en évidence dans la moyenne Tafna. Cette transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme l'alcalin s'est faite au tortonien (Louni-Hacini 2002)(Figure I-6). Cette transition est la réponse de la fin de l'orogénèse alpine proprement dite (l'abaissement du régime de l'orogénèse alpine). En effet ; bien que l'orogénèse alpine se poursuit jusqu'à présent, les données de la sismicité notamment celles de la paléo-sismicité de la région montrent clairement une activité tectonique beaucoup plus intense jusqu'au Tortonien. Il est donc tentant de rattacher ce changement dans la nature du volcanisme en Oranie à celui du changement du régime de l'orogénèse alpine.

En effet, bien que l'orogénèse alpine se poursuit jusqu'à présent les données de la sismicité notamment celles de la paléo-sismicité de région montrent clairement une activité tectonique beaucoup plus intenses jusqu'au Tortonien.il est donc tentant de rattacher ce changement dans la nature de volcanisme à l'Oranie à celui du changement du régime de l'orogénèse alpine.

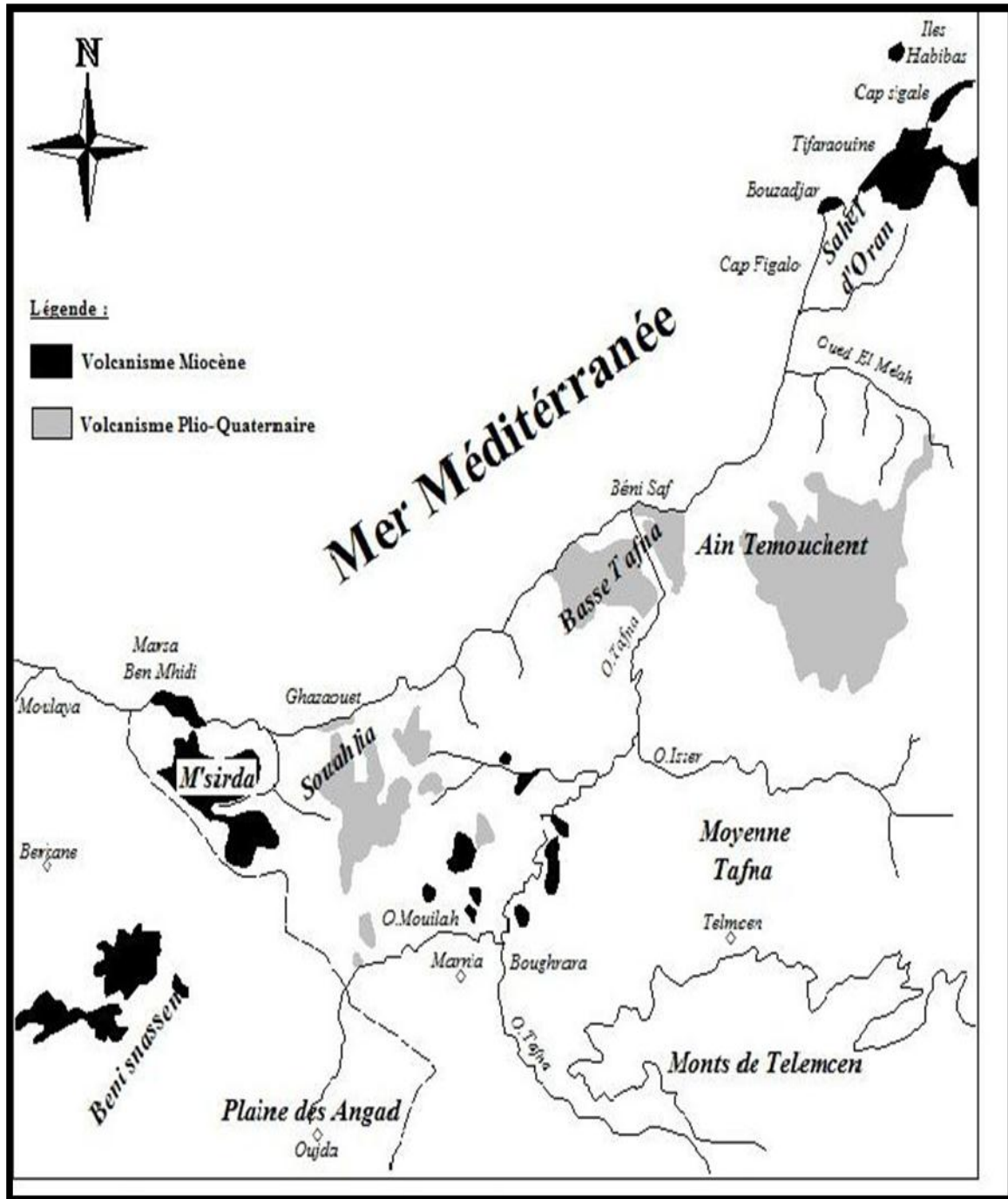


Figure I-6: Répartition des laves de l'Oranie nord Occidentale (sans échelle)
(Louni, 2002).

I.6 : Géologie régionale de la région de Maghnia :

I.6.1 : Cadre géologique de secteur d'étude :

Le secteur d'étude se trouve au nord Ouest de l'Algérie, là où les terrains néogènes constituent de grandes unités géologiques avec deux bassins principaux qui sont le bassin du Chélif et celui de la Tafna. Ce dernier fait partie de l'Oranie, il s'allonge sur la bordure Nord du domaine des hauts plateaux ; les différents auteurs qui ont travaillé sur ce bassin (notamment L.GENTIL 1903) s'accordent sur une subdivision en '3' bassins 'la haute, la moyenne et la basse Tafna (Figure I-7)

Le secteur d'étude fait partie du bassin de la moyenne Tafna. Ce bassin correspond à une dépression Tertiaire qui présente un aspect de fossé intramontagneux, encadré par deux chaînes Atlasique, les monts de Tlemcen au Sud ; les Traras, le Fillaoussene (1136m) et la moitié occidentale de la chaîne de Tessala au Nord.

I.6.2 : Lithostratigraphie de secteur de Maghnia :

Dans cette région, les principaux affleurements sont d'âge Miocène et Pliocène. Ces formations dessinent un pli synclinal, dont les flancs laissent apparaître les grès du Jurassique supérieur (Lusitanien).

I.6.2.1 : Le miocène :

Les formations du Miocène affleurent le long de l'Oued Tafna et reposent en discordance sur les formations du Jurassique supérieur.

La série du Miocène débute par des roches sédimentaires représentées par des calcaires massifs, des marnes finement litées de couleur grise, des lentilles et passées de tufs basaltiques et de Basalte. Cet ensemble est surmonté par des calcaires et des filons carbonatés de couleur grise avec des lits de grès bruns puis par des marnes grises à fines passées gréseuses. Des argiles carbonatées de couleur grise à verdâtre apparaissent à ce niveau. L'allure des dépôts décrits est presque horizontale.

La coupe se termine par une assise volcano-détritique constituée par des Rhyolites, des Perlites et des Obsidiennes, des tufs pyroclastiques consolidés par endroits et des niveaux conglomératiques. Ces roches volcaniques sont localement transformées en argile bentonitique. Cet ensemble repose en discordance sur l'assise sédimentaire du miocène. L'épaisseur totale des dépôts miocènes peut atteindre environ 250 m.

I.6.2.2 : Le pliocène :

Il est représenté par des formations continentales qui se développent sur une large surface et qui sont composées par des limons, des limons sableux, sables meubles, silstones, grès et argiles sableuses avec des lentilles de calcaires. Ces formations recouvrent en discordance les terrains volcano-sédimentaires du Miocène supérieur. L'épaisseur totale des dépôts pliocènes varie (de 40 à 100m).

I.6.2.3 : Le Quaternaire :

Il est constitué par des formations alluviales qui englobent des dépôts à gros galets et blocs provenant d'anciennes terrasses de l'oued Tafna avec quelques niveaux basaltiques qui apparaissent par endroits.

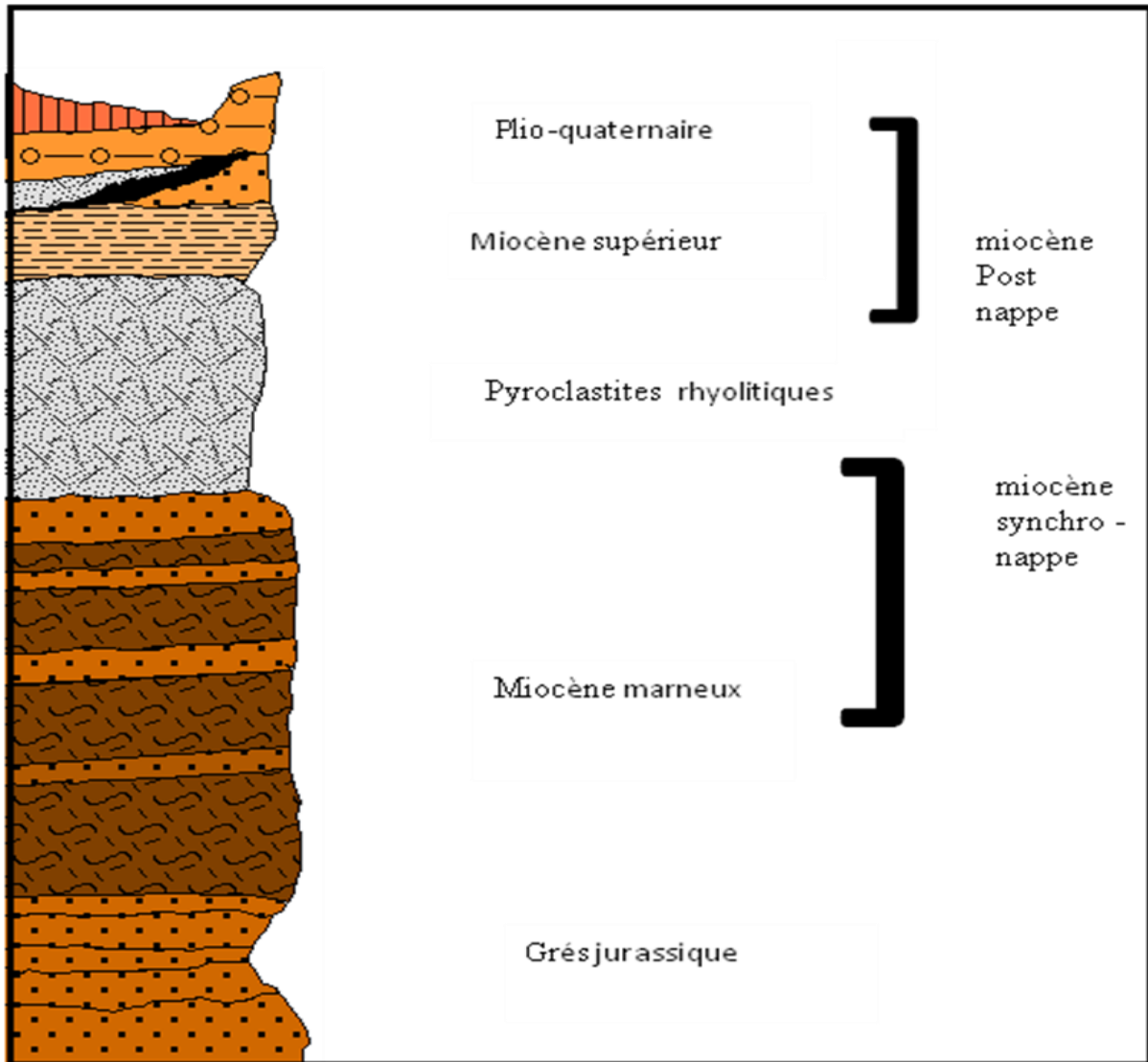


Figure I-8 : Colonne lithologique synthétique de secteur d'étude (d'après Guardia, 1975) sans échelle

I.6.3 : Le cadre structurel de secteur de Maghnia :

I.6.3.1 : Tectonique :

Le massif de Maghnia, est une dépression qui forme un profond graben entre deux horsts, le bassin est caractérisé par une déformation correspond aux rejets des failles anciennes qui ont rejouées au cours des phases miocènes au pliocènes, et dont certains ont été empruntés par les émissions volcaniques. Ce qui nous emmène à dire que le massif de Maghnia appartient au domaine des hauts plateaux, il est constitué par des formations d'âge Miocène à plio-quadernaire qui repose sur un substratum à faciès sédimentaires d'âge jurassique.

La région est affectée par une tectonique souple marquée par un pli synclinal et une tectonique cassante représentée essentiellement par les failles du type atlasique.(Figure.9)

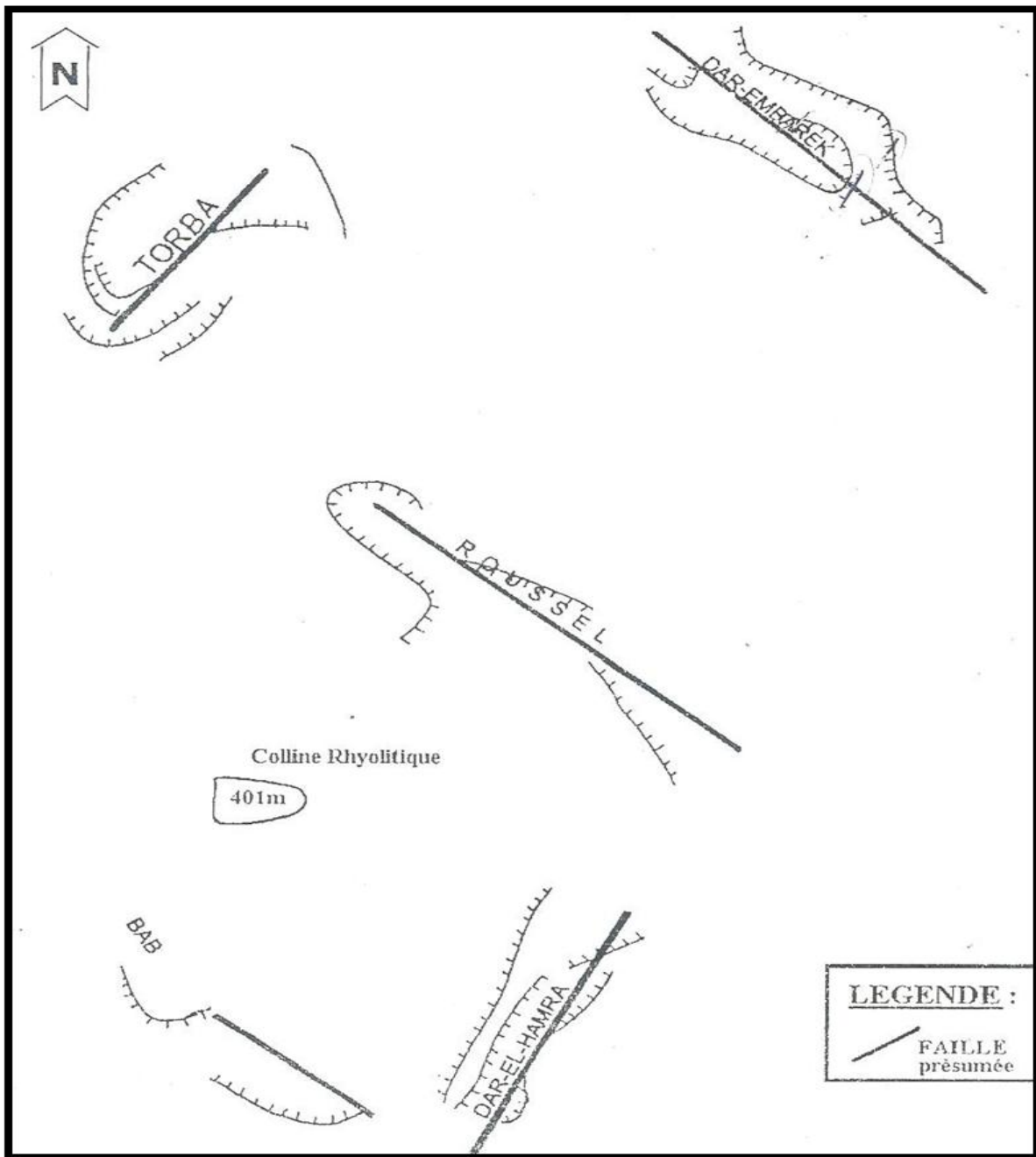


Figure-9 : Projection des différentes carrières d'après la carte géologiques au 1/25000 de Hammam Bouhrara (rapport de l'ENOF 2000)

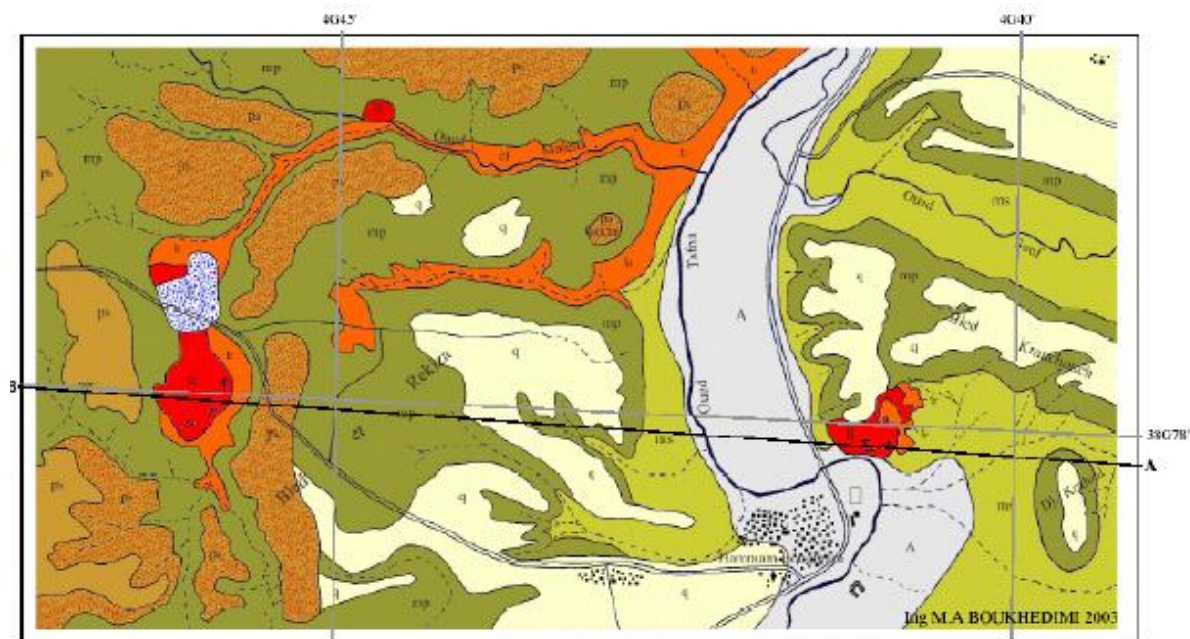
I.6.3.2 : Le volcanisme :

Les formations volcaniques de la région sont représentées par des Rhyolites et des Basaltes. Sadran (1958) distingue dans cette région quatre pitons rhyolitiques indépendants qui coupent les sédiments du Miocène synchro-nappe. Ces pitons sont les suivants : Ain Torba , Hammam Bouhrara , oued el Maleha, bled er Rekiza.

Ils sont souvent associés à des argiles smectiques (dépôts pyroclastiques) et à des matériaux rhyolitiques remaniés.

Parmi les 4 pitons cités par Sadran (1958), les pitons d'Ain Torba (1) et de Hammam Bouhrara(2) sont les plus importants par leur taille. Ilsaffleurent sous forme de massifs érodés assez bien développés et bien visibles dans le paysage (et sur les cartes géologiques). Le piton d'Ain Torba est associé au gisement de Bentonite exploitée dans la région. Ce dernier dôme est également traversé par 2 petits filons basaltiques de faible extension (entre 2et 6m d'épaisseur)-

Enfin, une coulée basaltique de faible épaisseur (1 à 1.5 m) d'âge plio-quadernaire vient clôturer ce cycle volcanique



FigureI.10 : Carte géologique de Hammam Bouhrara (Boukhedimi.2008)

(Échelle originelle de cette carte était e : 1/20000, elle avait été réduite à e :24200 auparavant pour sa mise en page, et actuellement avec toutes les modifications subies.la notion d'échelle ne peut pas être applicable).

CHAPITRE I : INTRODUCTION ET CADRE GEOLOGIQUE

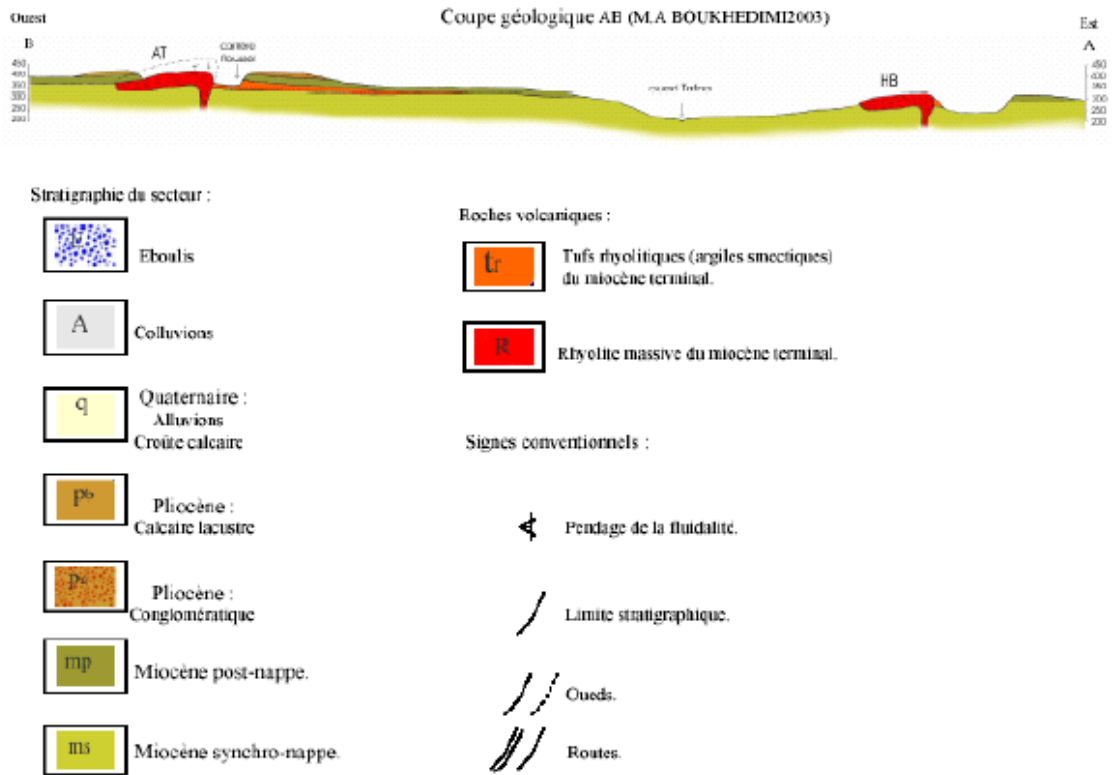


Figure I.11 : Coupe géologique de Hammam Boughrara ; (Boukhedimi ,2008).

Introduction :

L'étude volcanologique permet de comprendre la dynamique volcanique conduisant à la structure actuelle. Par la suite on essayera d'établir les relations avec le phénomène de bentonitisation.

Le volcanisme transitionnel qu'il affecte la Moyenne Tafna est entre ces deux types magmatiques calco-alcalin et alcalins d'âge Mio-plio Quaternaire. L'activité a débuté par la mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Bou Ghrara.

A Hammam Boughrara les rhyolites présentent une morphologie caractéristique d'un dôme. les différents types de dépôts volcano-sédimentaires (pyroclastites et des tufs pyroclastiques) se développent autour de ces dômes rhyolitiques et toute la partie nord du bassin de la moyenne Tafna .

V.1.Morphologie et structure :

Vu du ciel le dôme rhyolitique de Hammam Boughrara présente une structure circulaire à légèrement elliptique en forme de coupole légèrement déformée (figureII.1) reposant sur les sédiments du miocène supérieur et qui est couverte en partie par les sédiments du miocène terminal et du plio-quaternaire (figureI.8page17 -voir stratigraphie du secteur).

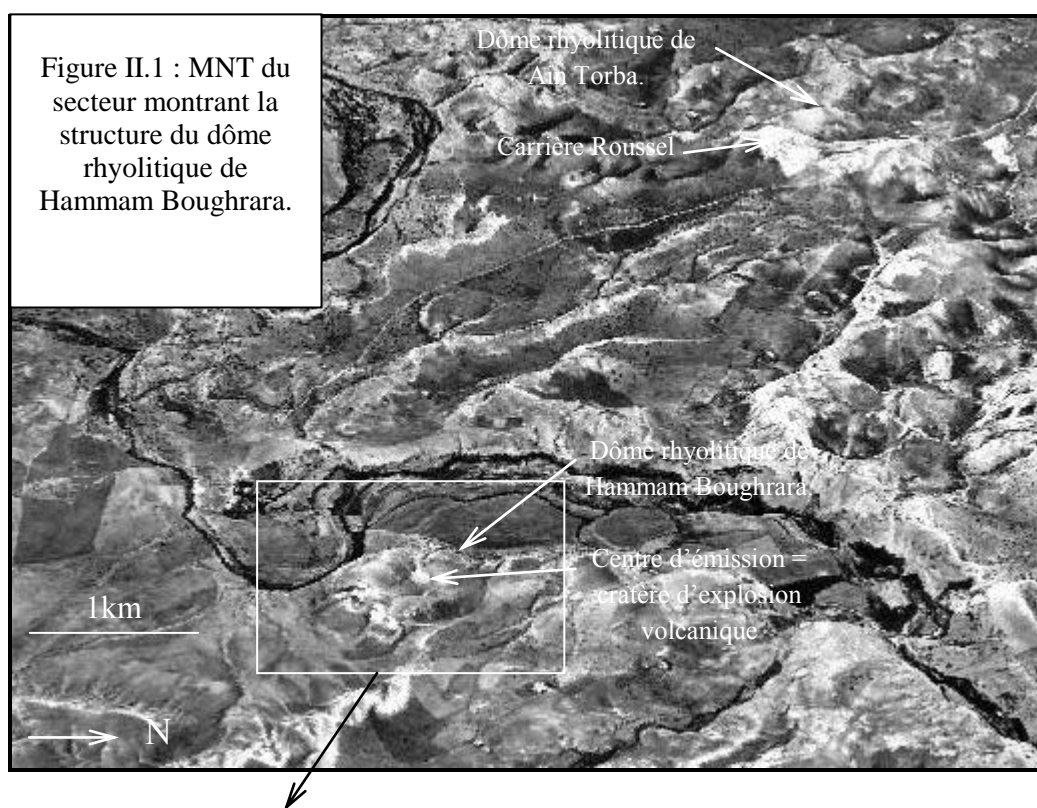


Figure2 ci-après

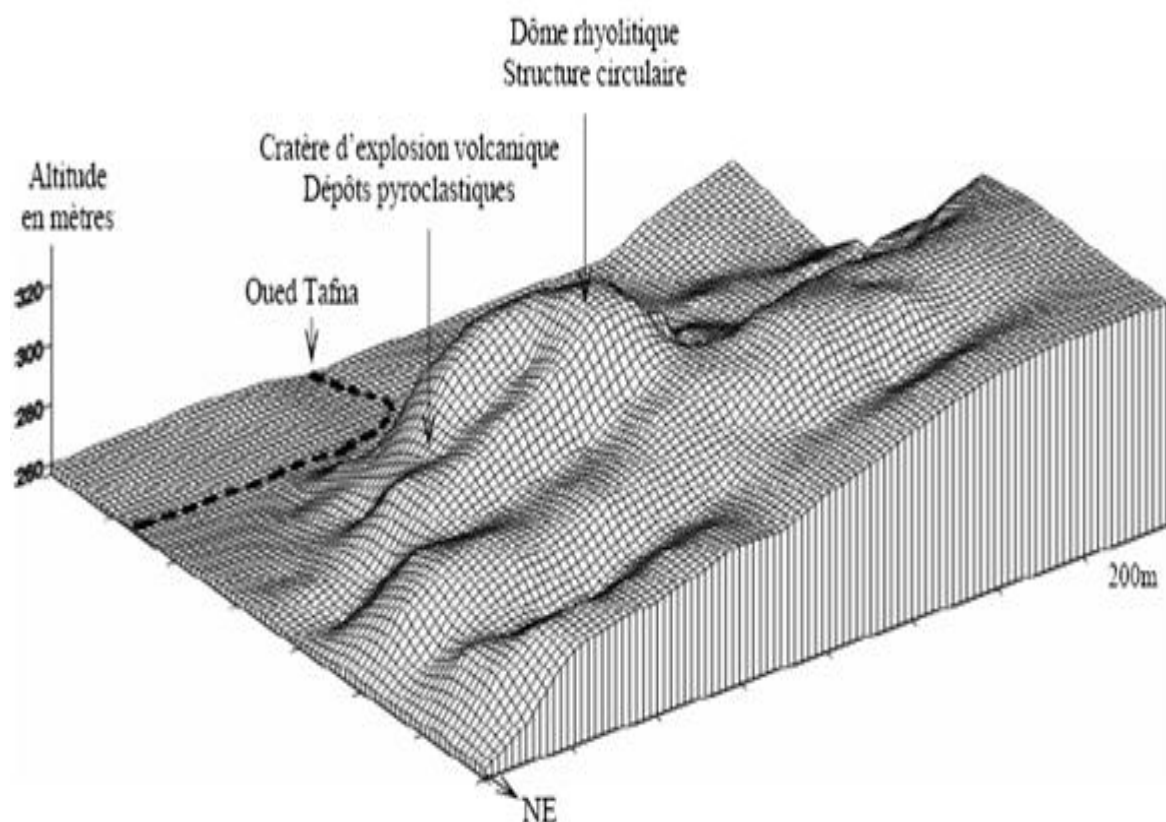


Figure II.2 : modèle numérique représentant le dôme rhyolitique de Hammam Boughrara

La vue panoramique montre un système de fracturations concentriques qui épousent la forme générale du dôme, lui conférant ainsi une structure analogue à celle d'un bulbe d'oignon (figureII.3).

Les rhyolites constituant le dôme présente une fluidalité très marquée par l'orientation dans une direction préférentielle des cristaux de biotites et des minéraux oxydés et aussi de nombreuses échardes de verres volcaniques constituant de leur mésostase. Cette dernière, devient vite perlitiques à la périphérie du dôme lui conférant ainsi une zonalité lithologique.

La base du dôme est constituée de tufs pyroclastique à structure pseudo-fluidale (soudé à chaud) il s'agit probablement de coulée pyro-ignimbritique (figureII.4).

Le cœur du dôme est constitué de rhyolite massive, sans débit concentriques ni orientation préférentielle des minéraux. Sa périphérie est constituée de rhyolite perlitique.

La moitié Est du dôme est déshabillée par un cratère d'explosion volcanique et remplie par du tuf pyroclastique (figure II.5).



- 1) Tufs pyroclastiques consolidés à structure pseudo-fluidale « rhéoignimbrite ».
- 2) Bordure perlitique.
- 3) Rhyolite à amygdales blanches à grenat.
- 4) Rhyolite massive; cœur du piton.
- 5) Prismation concentrique.
- 6) Oued Tafna.
- 7) Piste.

Figure II.3 : 1) Vue panoramique (nord-sud) du piton rhyolite de hammam Boughrara
2) Approche schématique



Figure II.4 : Les tufs consolidés à structure pseudo-fluidale situés à la base de dôme rhyolitique.

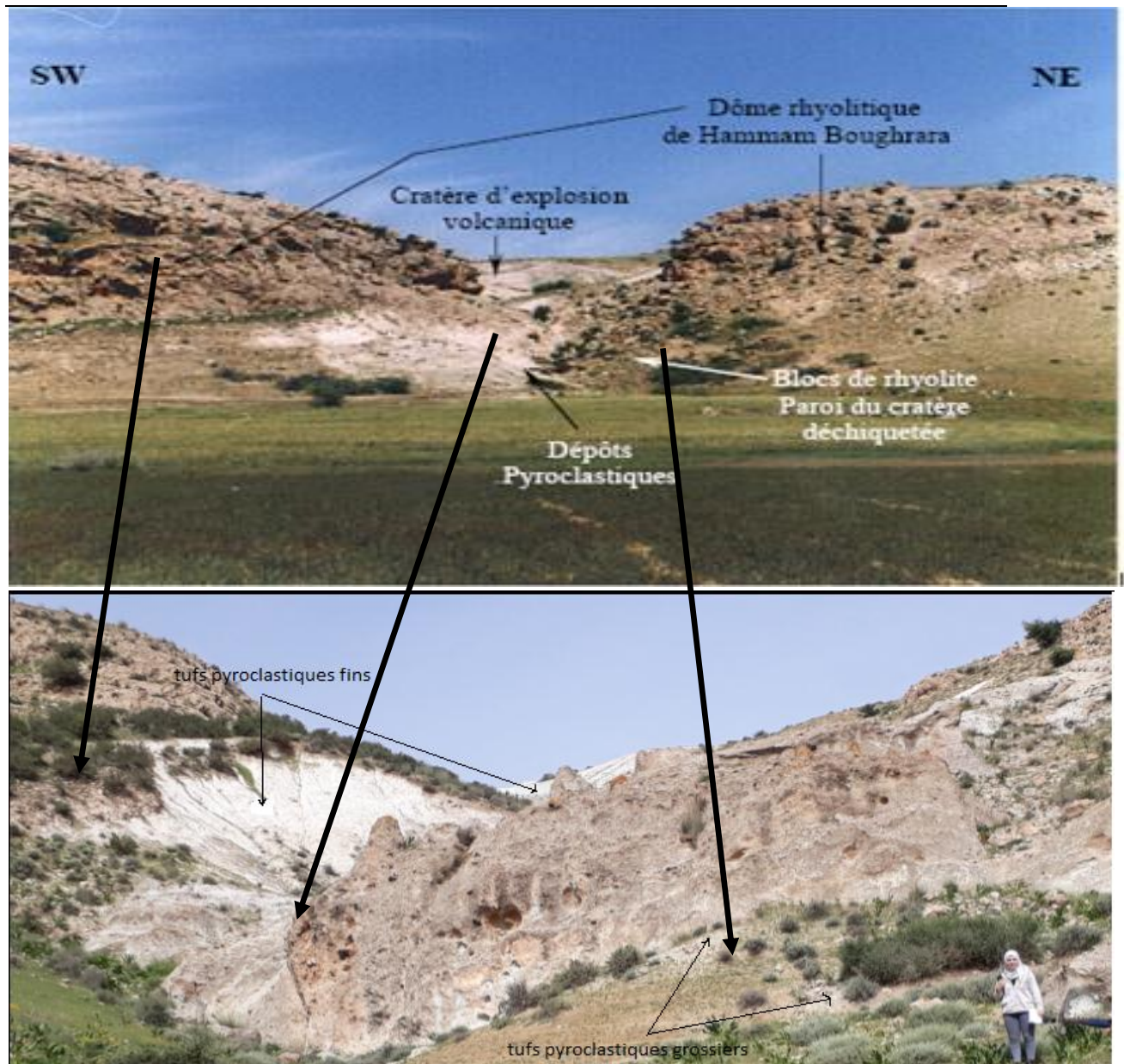


Figure II.5 : Vue panoramique montre le cratère de hammam bouhrara et les dépôts pyroclastiques associé.
(La paroi de ce cratère est localement déchiquetée)

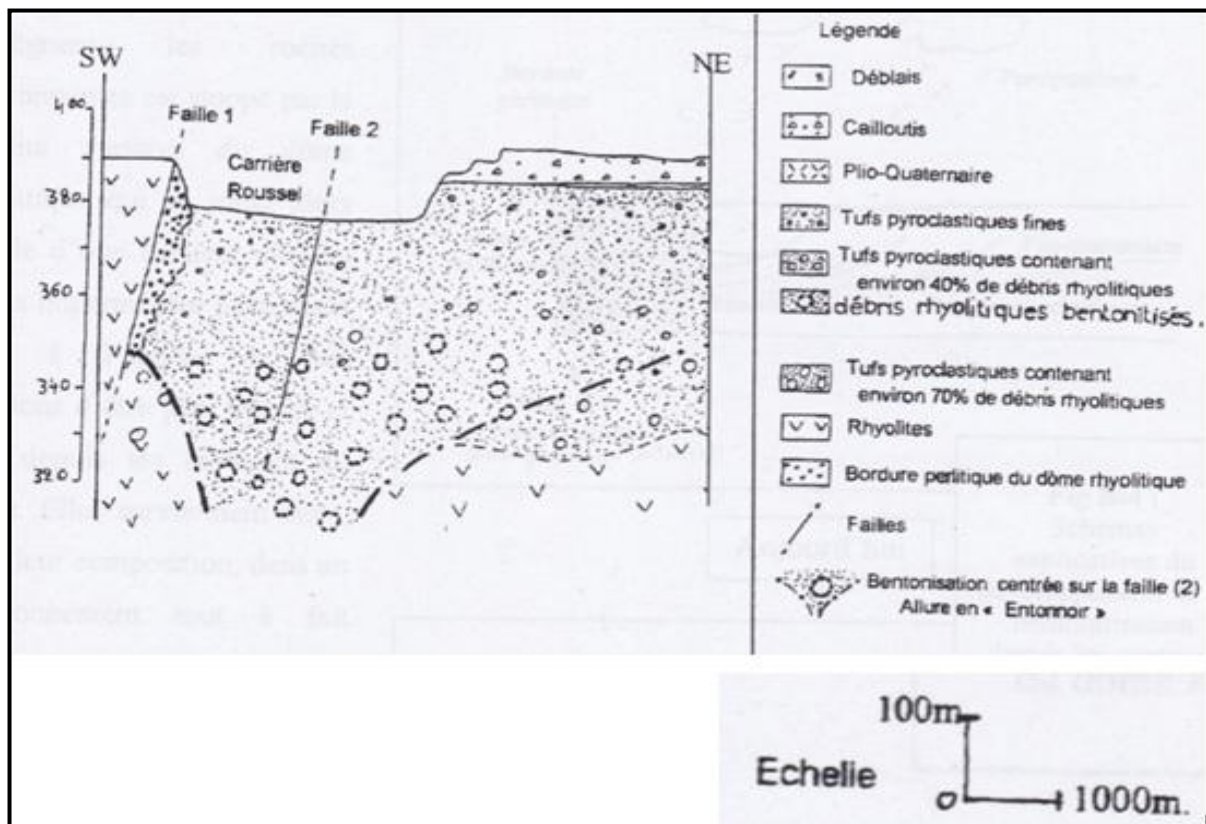


Figure II.6 : Coupe lithostratigraphique de dépôts volco-sédimentaire au niveau de la carrière rousset (booukhedimi,2003).

Il faut remarquer que le grano-classement est normal les tufs grossiers se trouvant au niveau inférieur

Structure des dômes rhyolitiques de Hammam boughrara :

Tous les dômes rhyolitiques à Hammam Boughrara se présentent de la même manière sur le terrain avec :

- Une forme en coupole et une structure analogue à celle d'un bulbe d'oignon.
- A la base des dômes, des tufs pyroclastiques à structure pseudo-fluidale.
- Surmonté par des rhyolites à structure fluidale et un cœur massif.

Ces dômes sont déchiquetés par des cratères d'explosions volcaniques et remplies par des tufs pyroclastiques.

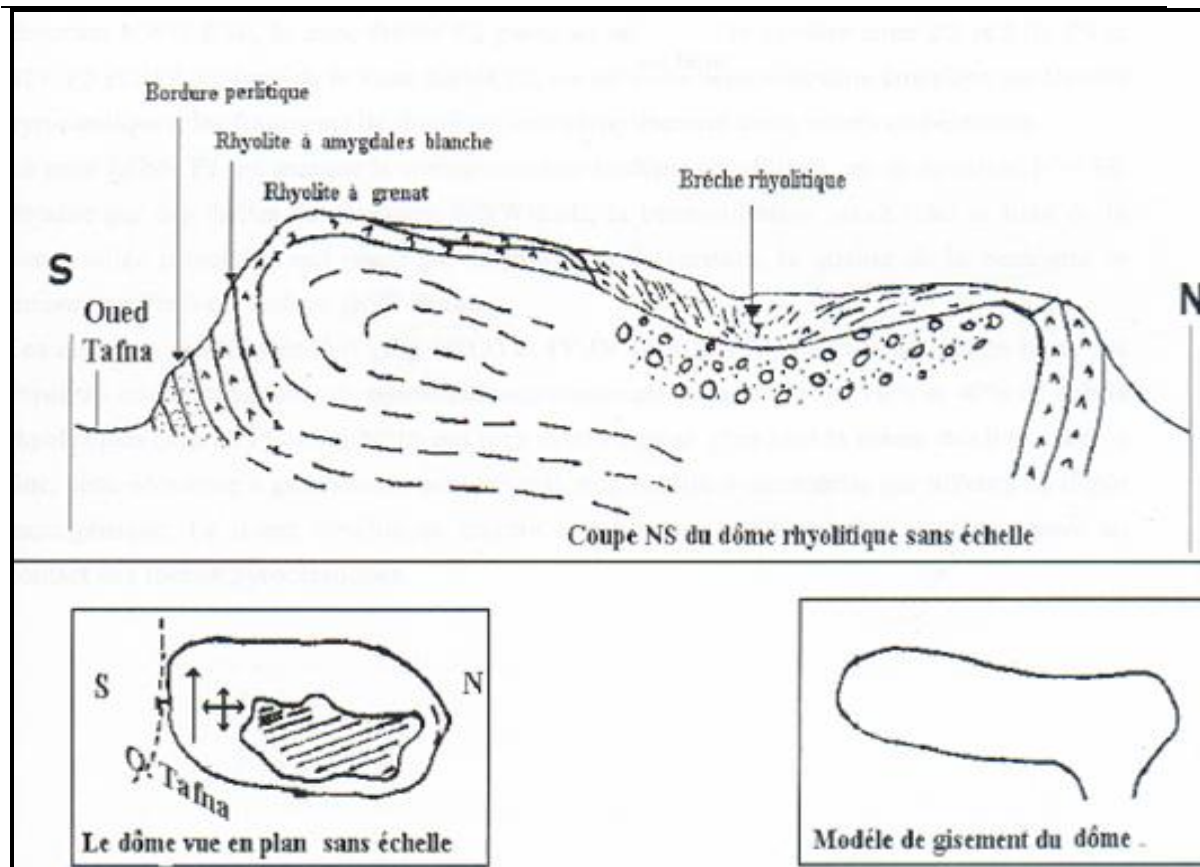


Figure II.7 : piton de hammam boughrara (Megastri, 1985)

V.2.Mode de gisement :

Ces observations permettent d'arriver aux conclusions suivantes concernant la mise en place de ces dômes rhyolitiques :

- La présence de tufs consolidés à structure pseudo-fluidale à la base des dômes montre que les émissions volcaniques ont commencé par une coulée pyroclastique puis se sont poursuivies par l'émission de la rhyolite.
- La présence d'un système de débit concentrique qui épouse la forme générale des dômes indique un refroidissement progressif depuis la périphérie et jusqu'aux cœurs massifs des dômes.
- La présence de cratères d'explosions volcaniques remplis par des tufs pyroclastiques et brèches rhyolitiques indique une autre phase postérieure à la mise en place des dômes et qui est explosive.

Tout ceci permet d'admettre le scénario suivant (figure II.8) :

L'ascension du magma rhyolitique va s'accompagner par une décompression due à la chute de la pression lithosphérique provoquant ainsi, la séparation de la phase gazeuse du magma et la pulvérisation de la partie sommitale de la coulée. Ceci va marquer le début de l'émission par des tufs pyroclastiques.

La quantité de gaz n'étant pas suffisante pour pulvériser toute la coulée, l'émission va se poursuivre par des rhyolites et la mise en place du dôme rhyolitique qui va se positionner au dessus de ces tufs pyroclastiques.

Le flux de chaleur et l'action mécanique apportés par la mise en place du dôme vont permettre à ces tufs d'être soudés à chaud et d'acquérir une structure pseudo-fluidale et des caractères ignimbritiques.

Sous l'effet de la poussée du magma le dôme va croître et s'étaler. Le coefficient d'étalement pour le dôme de Hammam Bouhrara $\zeta = \text{hauteur/diamètre} = 80\text{m}/800\text{m} = 0.1 < 1$ donc il s'agit de dômes de coulée à grand étalement. Cet étalement va être accompagné par une baisse de température. Rappelons que dans les essais mécaniques, la diminution de la température provoque l'abaissement du seuil de plasticité et le rapprochement du point de rupture du matériel rocheux.

Cet étalement et diminution de la température vont être donc, les déclencheurs d'une série de fractures concentriques qui épousent la forme générale du dôme et donc qui suivent la direction de son étalement. Le centre plus chaud du dôme va cristalliser en ayant un aspect massif.

CHAPITRE II : ETUDE VOLCANOLOGIQUE

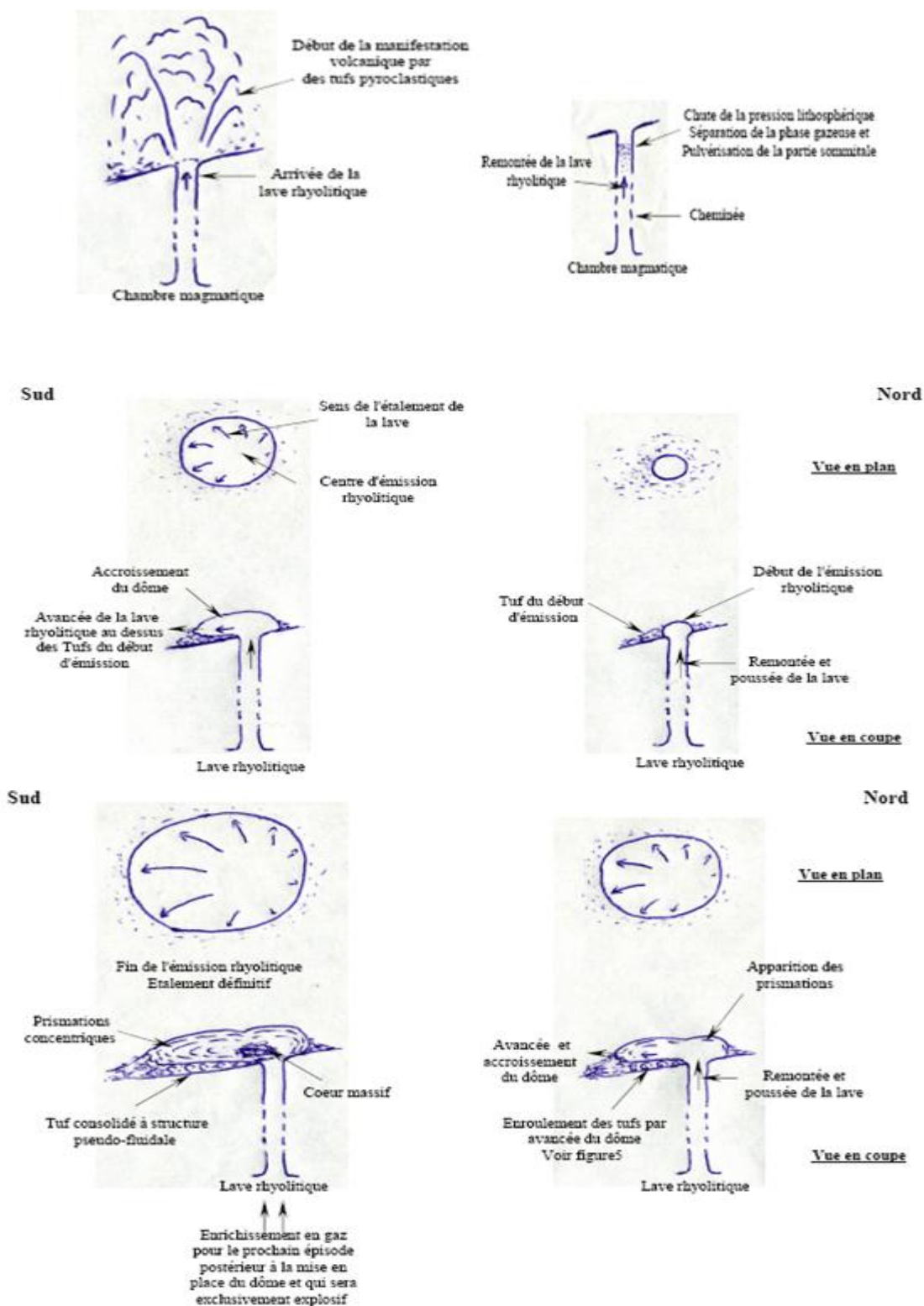


Figure II 8 : Scénario de la mise en place du dôme rhyolitique de hammam boughrara

Plus tard, et après la mise en place des dômes rhyolitiques, un magma plus riche en gaz, se manifeste à nouveau, en déclenchant des éruptions pyroclastiques explosives et en donnant naissance aux cratères d'explosions volcaniques à l'intérieur des dômes rhyolitiques.

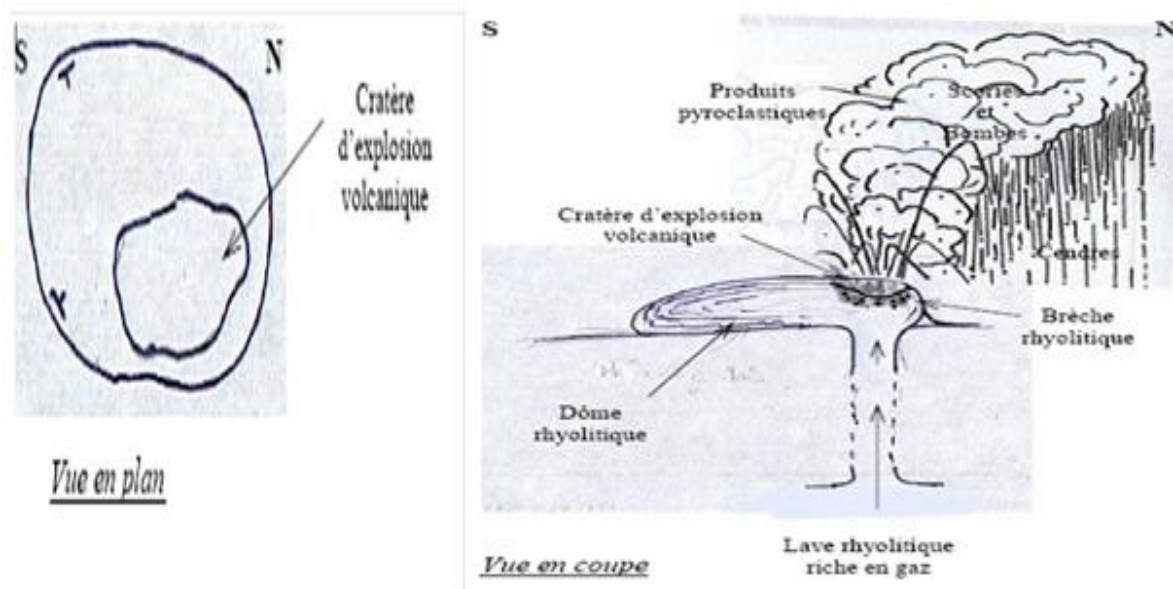


Figure II.9 : Schématisation simulant une éruption pyroclastique conduisant à l'apparition d'un cratère d'explosion volcanique à l'intérieur du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara.

Remarque : La présence de rhyolite pérlitique à la périphérie du dôme peut s'expliquer par une mise en place sous marine ce qui est tout à fait possible compte tenu de la paléogéographie de l'époque. En plus, l'aspect stratifié des dépôts pyroclastiques et la présence de microfossiles marins dans ces derniers confirme la mise en place sous marine.

Conclusion

L'étude volcanologique a relevé que la dynamique changeante du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara a permis d'avoir un volcanisme de type strombolien c'est-à-dire mixte. Ce volcanisme rhyolitique présente une morphologie d'un dôme de coulée avec une zonalité lithologique : des rhyolites massives, des rhyolites fluidales ou à caractères ignimbritiques et des rhyolites perlitiques. Les produits volcano-sédimentaires sont composés de : des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques.

On a remarqué sur le terrain la bentonitisation se développe mieux dans certains endroits.

Il est à noter que cette bentonitisation se développe mieux dans certains faciès que d'autre il y a donc un lien entre la bentonitisation et la dynamique volcanique dans le secteur.

Introduction :

L'étude étant consacrée au phénomène de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam BouGhrara, nous allons voir en détail les différents faciès rhyolitiques, les altérations associées et la manière dont la bentonitisation s'est développée dans ces milieux.

Le piton rhyolitique de Hammam Bou Ghrara est composé à la fois, d'un piton de lave massive et de produits de démantèlement plus ou moins sédimentés. Cette lave rhyolitique de couleur grise est absolument remarquable par la finesse et la fluidalité de la mésostase, autour de dôme rhyolitique, pyroclastites et des tufs pyroclastiques se développent, et par la présence de grenat produit de transformation secondaire d'origine hydrothermale.

La rhyolite est une roche effusive (volcanique), qui se forme à la surface, originaire d'un magmatisme granitique acide arrivé en surface.

Généralement leucocrate, sauf sous la forme d'obsidienne où elle est généralement noire, dont la teneur en SiO_2 est supérieure à 71 % pds et où la teneur en alcalin ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) peut être très variable. Cette roche est aussi caractérisée par une faible teneur en fer et en magnésium. C'est la roche la plus riche en silice que l'on rencontre sur Terre. Elle affleure principalement au-dessus des zones de subduction actives où elle résulte de la fusion crustale.

On le trouve aussi dans les rifts continentaux ou comme produits de la différenciation de basaltes d'îles océaniques.

Du point de vue de la composition minéralogique, la rhyolite est principalement composée de quartz (roche fortement sursaturée en silice), de feldspath d'amphibole et on peut aussi y rencontrer de la biotite. La rhyolite est l'équivalent volcanique du granite.

On trouve différentes sortes de Rhyolites :

III.1. Les rhyolites compactes:

III.1.1. Description macroscopique :

Il s'agit généralement de roches compactes (le résultat du refroidissement d'une lave qui ne contenait pas de gaz) assez dures, souvent vitreuses ou, localement, très finement cristallisées. Elles sont caractérisées par leurs teintes claires (blanc-grisâtre), on discerne à l'œil nu des phénocristaux limpides de quartz, de feldspath, les oxydes montrent une teinte marron foncé ou noire ; les biotites ont une forme généralement en bâtonnets de taille millimétrique. Par endroit, ces rhyolites, se présentent sous forme massive; et dans d'autres endroits on peut voir une alternance de niveaux argileux pyroclastiques de couleur jaunâtre à blanchâtre et de niveaux rhyolitiques de couleur grisâtre, Ces rhyolites présentent en général une fluidalité bien nette, qui est fréquemment soulignée par les minéraux oxydés (Figure III.1).

À l’affleurement, les rhyolites montrent souvent une patine d’altération de couleur jaune sale, elles sont parcourues par des minéraux de remplissage secondaire.



Figure III.1 : Photo montrant la rhyolite massive de dôme De Hammam Bou Ghrara.

III.1.2.Description microscopique :

Ces roches se distinguent surtout par les phénocristaux baignant dans une mésostase.

III.1.2.1.Les Phénocristaux :

Le quartz rhyolitique et les plagioclases représentent les phénocristaux la plus importante.

1) Le quartz :

Le quartz se présente en cristaux prismatiques automorphes à sub-automorphes bien visibles (jusqu'à quelques millimètres de taille);il offre alors une forme bipyramidée et des aspects

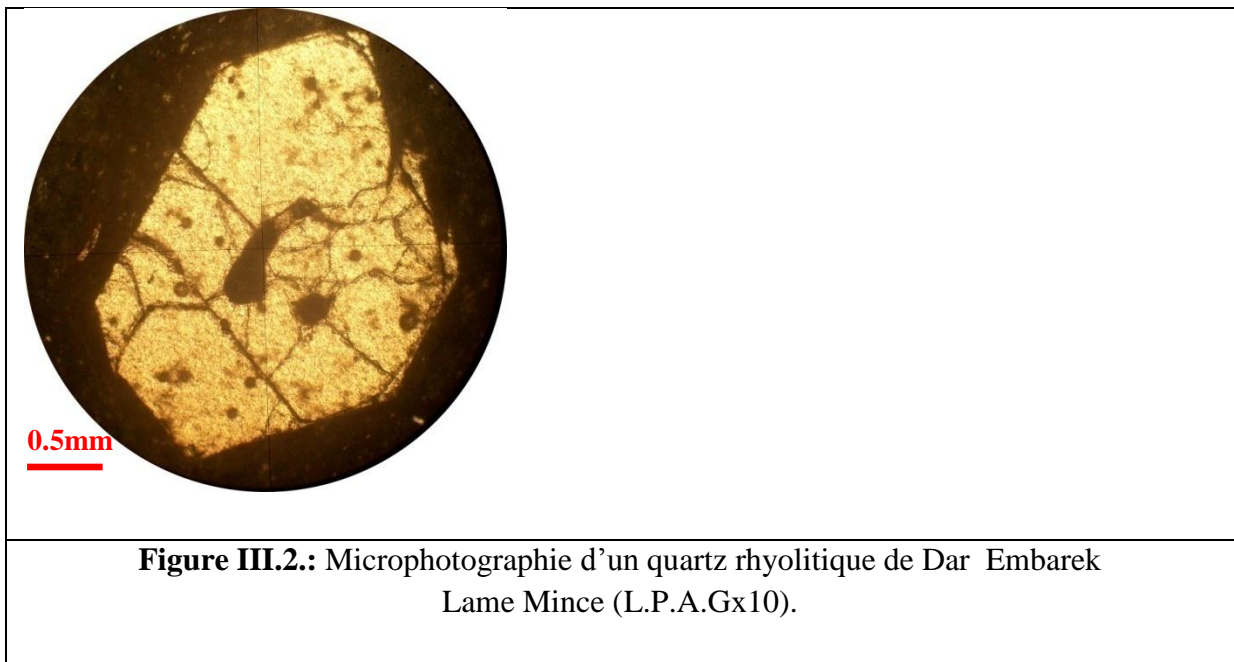
typiques de corrosion et de croissance irrégulière (quartz «rhyolitique») (FigureIII.2). Ou encore sous forme de cristaux sub-arrondis, parfois à bords déchiquetés.

Il est souvent "ourlé" d'un cerne de perles, avec une mésostase hyaline amorphe plus ou moins altérée.

Il est généralement sous forme d'individus isolés, mais se trouve également associé à d'autres individus de quartz ou de plagioclases dans la mésostase ou plus rarement aux biotites. Il contient fréquemment des inclusions vitreuses (reliques magmatiques), emprisonnées dans des lacunes de croissance au cours de la cristallisation du minéral. Ces inclusions sont généralement représentées par des microcristaux d'opacités ou de plagioclases.

Le quartz très limpide renferme quelques inclusions de quartz ou cristallites automorphes, de plagioclases et de biotites. Dans ces laves, le quartz est relativement abondant.

La taille est dans l'ensemble homogène mais peut parfois atteindre des dimensions de l'ordre de plusieurs millimètres, donc ce minéral apparaît dans la mésostase aussi bien en phénocristaux qu'en microcristaux.



2) Les feldspaths :

2-a) Les plagioclases :

Ils constituent la phase minéralogique dominante. Ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou associés à d'autres individus de plagioclase, de quartz, ou de

biotite. Le zonage n'est pas fréquent. Comme inclusions, le plagioclase englobe parfois des minéraux de quartz ou des minéraux opaques.

Ils sont automorphes à macles régulières fines, parfois à bords sub-arrondis ou dentelés.

2-b) Les feldspaths potassiques (Sanidine):

La sanidine (feldspaths potassiques à fissures d'origine thermique) est beaucoup moins abondante. Les plus gros individus atteignent une taille supérieure au millimètre.

Ils sont généralement automorphes, à bords réguliers, ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou bien associés à des plagioclases, et parfois on peut rencontrer quelques inclusions de quartz et de biotite.

3) Les minéraux opaques :

Les minéraux opaques sont rares; les phénocristaux se présentent généralement sous forme de granulations (l'aspect de grains arrondis) ; mais ils apparaissent aussi sous forme de sections automorphes prismatiques ou en plages déchiquetées.

Ces minéraux peuvent aussi constituer en outre des inclusions des minéraux.

4) Les biotites :

Les biotites sont les seules représentantes des minéraux ferromagnésiens. Il s'agit généralement des biotites qui se développent sous forme de cristaux prismatiques, à pléochroïsme intense (Brun à brun foncé) masquant souvent leur couleur originelle, automorphes à sub-automorphes, allongées .fortement colorées (brun sombre) et sont souvent déstabilisées en oxydes opaques parfois à bords dentelés et corrodés, dans certains cas, leur formes allongées marquent très bien la fluidalité de la roche.

III.1.2.2.La Mésostase:

La mésostase dans les rhyolites est fréquente, et représente la quasi-totalité de la roche.C'est une pâte hyaline souvent argilitisée (FigureIII.3.), La mésostase est constamment pigmentée par de nombreuses granulations opaques et d'hydroxyde de fer de couleur marron rougeâtre. Elle englobe en partie des microcristaux de quartz (quartz cryptocristallin) et de rares microlites, ainsi que des séricites authigènes ou de néoformation (altération des microlites de Plagioclase).

III.1.2.3. Les Textures :

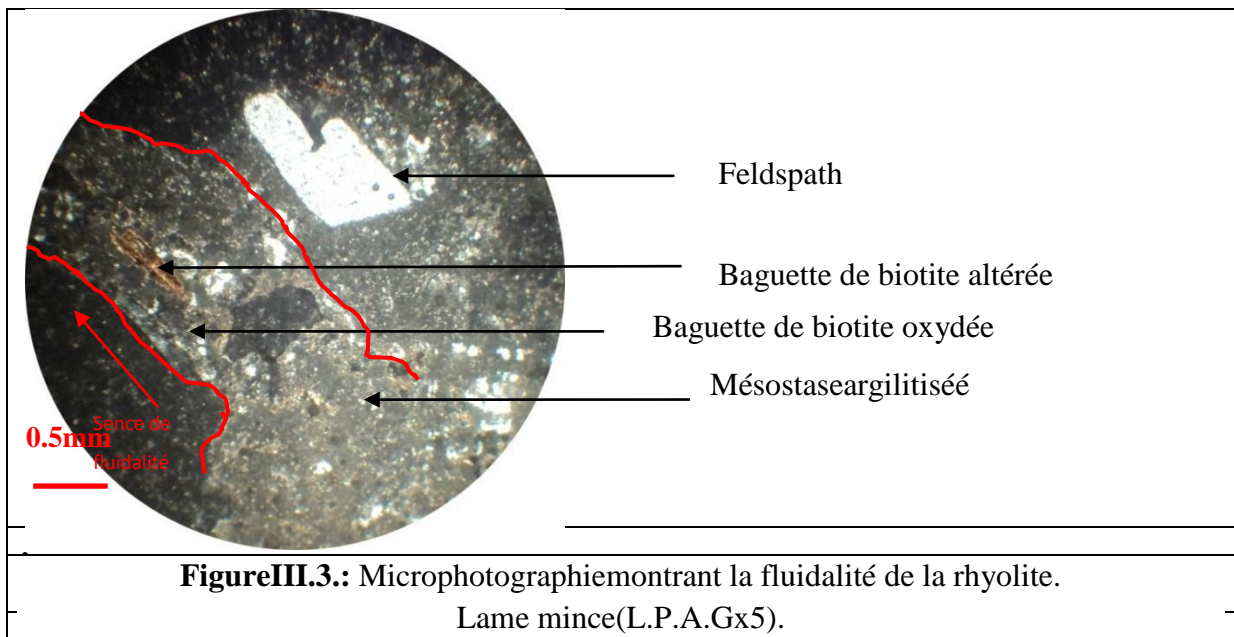
Les rhyolites de Hammam Boughrara, montrent une texture hyaline porphyrique caractérisée par une phase vitreuse abondante et des phénocristaux de quartz, de feldspaths, de biotites et d'opacques baignant dans une mésostase constituée surtout de verre volcanique. Cette texture est très diversifiée et peut être :

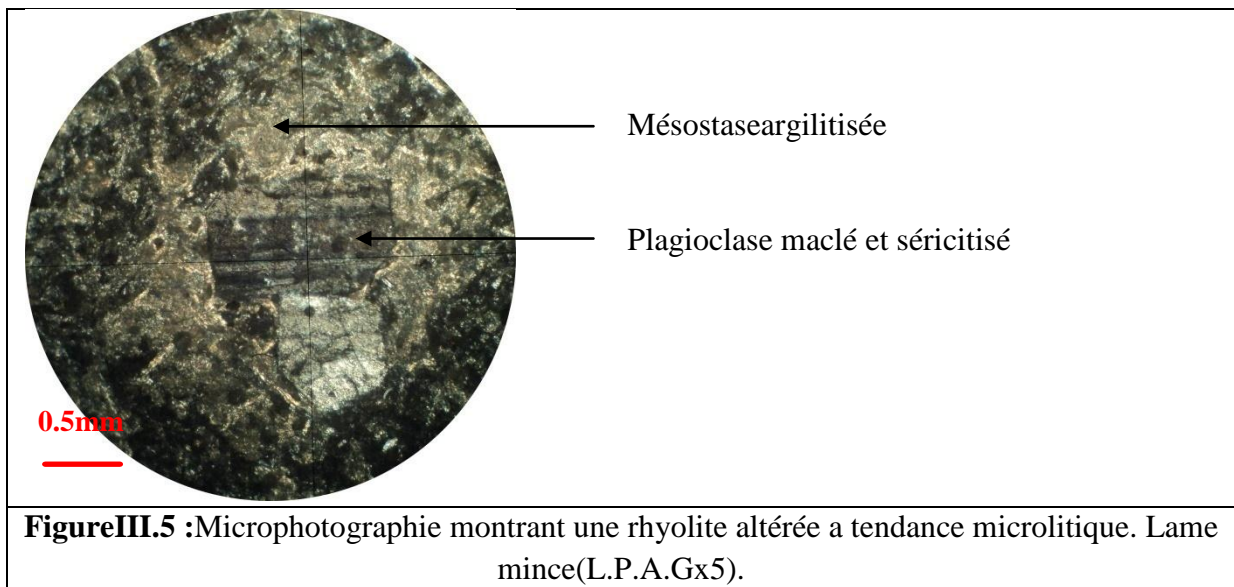
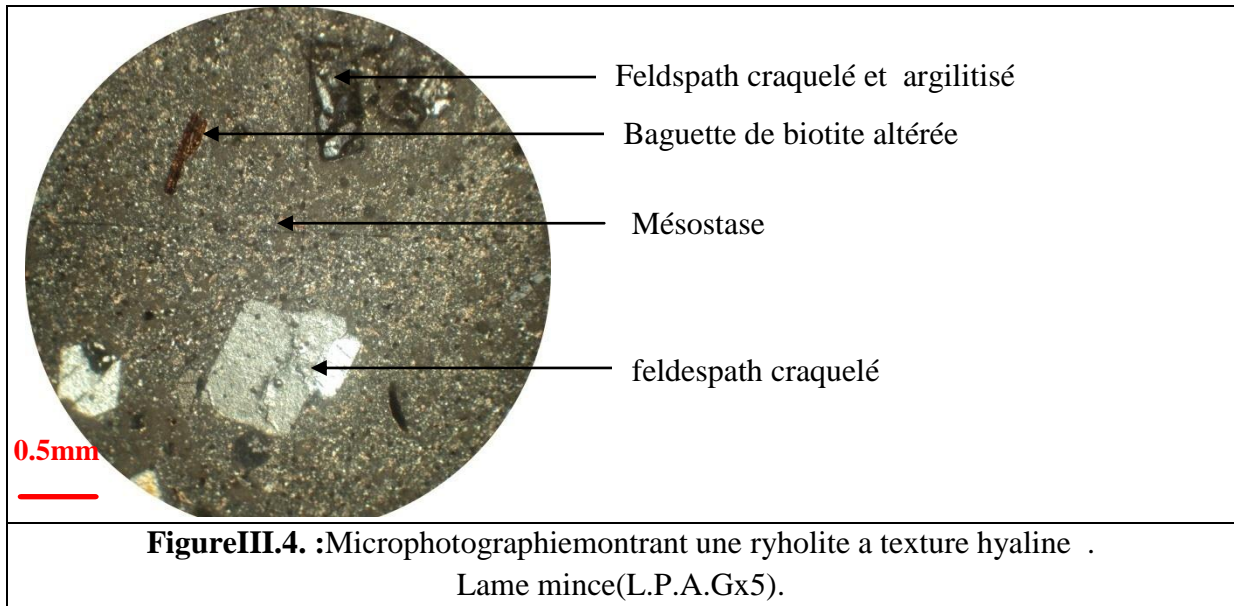
Hyaline porphyrique à tendance fluidale, hyaline porphyrique fluidale à tendance microlitique, et hyaline porphyrique à tendance cryptocristalline.

a. hyaline porphyrique à tendance cryptocristalline : la mésostase est partiellement envahie par une fine mosaïque de quartz cryptocristalline et de feldspath (Figure III.4).

b. hyaline porphyrique fluidale : l'orientation des microlites et leurs agencements autour des phénocristaux donnent parfois à la roche un aspect fluidale (Figure III.3).

c. hyaline porphyrique à tendance microlitique : l'abondance des microlites dans la phase vitreuse donne un aspect microlitique par endroit. (Figure III.5).





III.1.2.3.Séquence De Cristallisation :

La cristallisation des phénocristaux débute par l'apparition de quelques rares minéraux opaques emprisonnés parfois dans les plagioclases et les biotites, elle se poursuit par l'apparition des plagioclases et des biotites suivie par la sanidine. Ces derniers sont emprisonnés parfois dans du quartz. L'apparition du quartz clôture la dernière phase de cristallisation.

III.2. Les Perlites

La perlite est une roche volcanique acide, vitreuse et hydratée, de couleur gris clair à verdâtre ou noirâtre, dont la composition chimique est celle de la rhyolite (plus de 72 de la silice).fréquemment, la roche présente un aspect lustre avec un débit caractéristique en perles à structure concentrique en pelures d'oignon, mais elle peut également se présenter sous d'autres textures. Elle se distingue des autres verres naturels par une teneur en eau chimique de constitution de 2 à 5 dans la structure vitreuse.

Rhyolite Perlitique : La lave c'est figée pendant sa mise en place sous une faible tranche d'eau, et ça a formé des bulles perlitiques

111.2.1. Description Macroscopique :

Les perlites apparaissent généralement sous forme massive ; montrant, elles aussi, une fluidalité (figure III.6) bien nette par endroit mais peuvent présenter des structures prismatiques; ou mamelonnées; leur couleur sale, et leur état friable témoignent leurs degrés d'altération très élevé localement.



Figure III.6:Rhyolite perlitique massive à texture fluidale.

III.2.2. Description macroscopique :

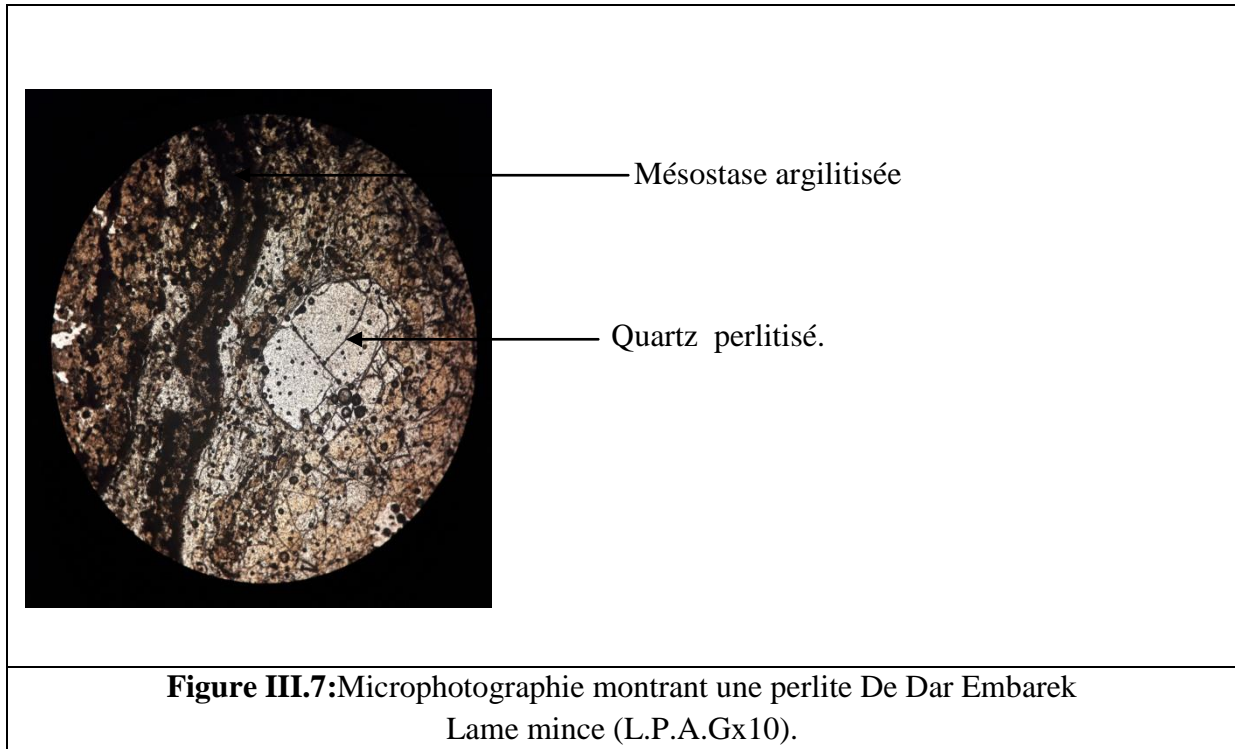
III.2.2.1. Les phénocristaux :

les phénocristaux sont disséminés ou regroupés en amas au sein des perlites et sont représentés par les plagioclases, le quartz et la biotite.

a) Le quartz:

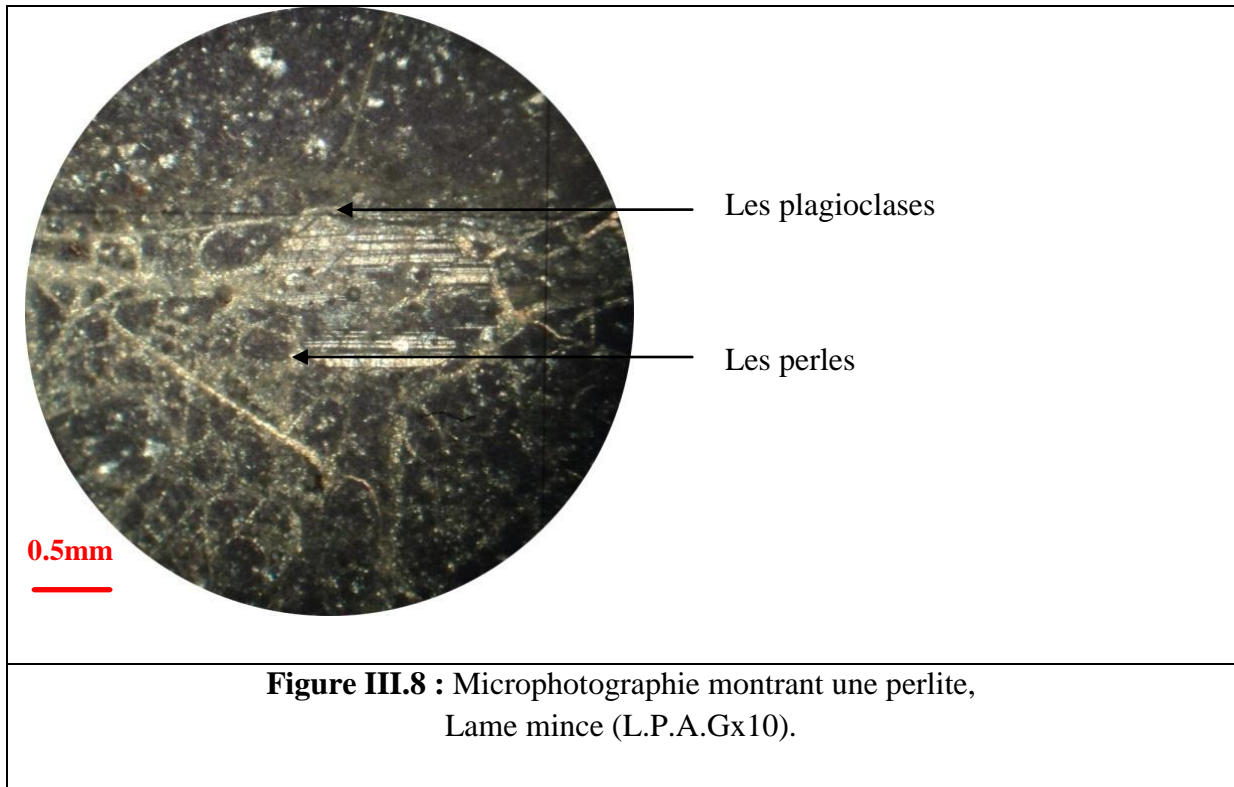
Le quartz se présente en cristaux automorphe à subautomorphe, souvent fracturé, ce minéral est isolé dans la mésostase et présente des teintes de biréfringences faibles. Il peut aussi

constituer en outre des inclusions de minéraux (figure III.7). Un remplissage secondaire occupe les fractures.



b) Le plagioclase:

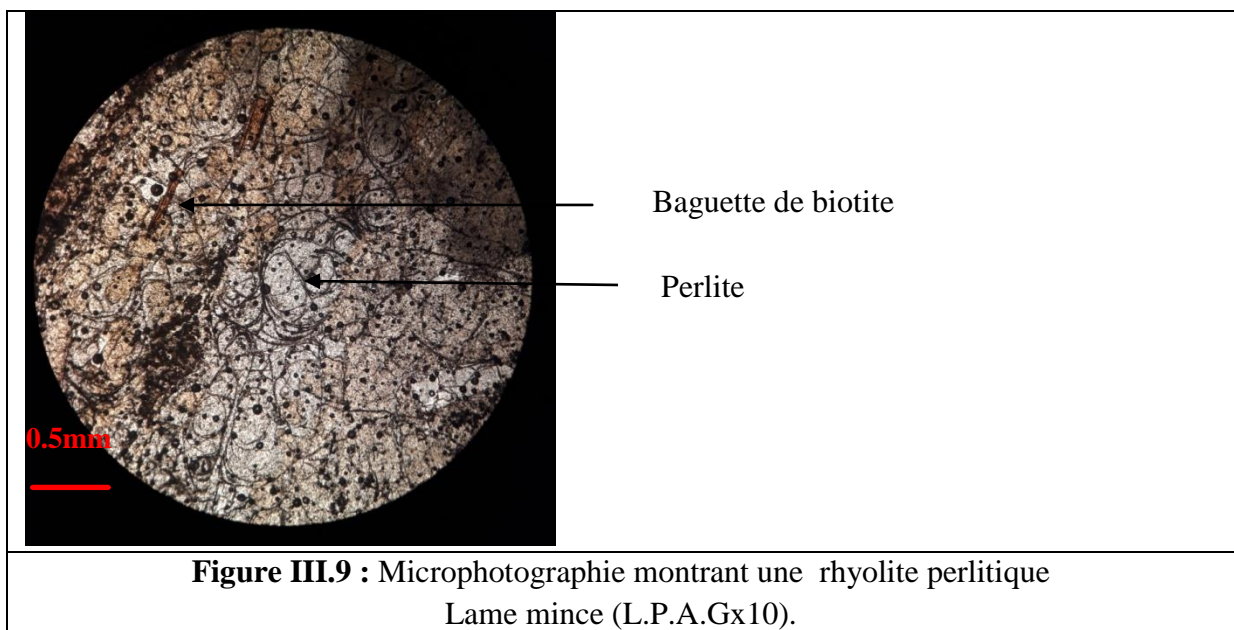
Le plagioclase constitue la phase minéralogique la plus abondante (figure III.8). Ce minéral présente des cristaux réguliers automorphes (section rectangulaire) à macles polysynthétiques fines, certains sont sillonnés par des veinules à remplissages secondaires. Les cristaux de plagioclase sont soit isolés dans la mésostase ou associés à d'autres individus de plagioclases et de quartz ou de biotite.



c) La biotite :

La biotite se présente en baguette allongée de couleur brune, pléochroïque, les teintes de biréfringence sont fortement masquées par la couleur propre du minéral,

Les baguettes de biotites sont isolées dans la mésostase (Figure III.9), comme elles peuvent être associées à des individus de biotite et de plagioclase.



III.2.2.2.La mésostase :

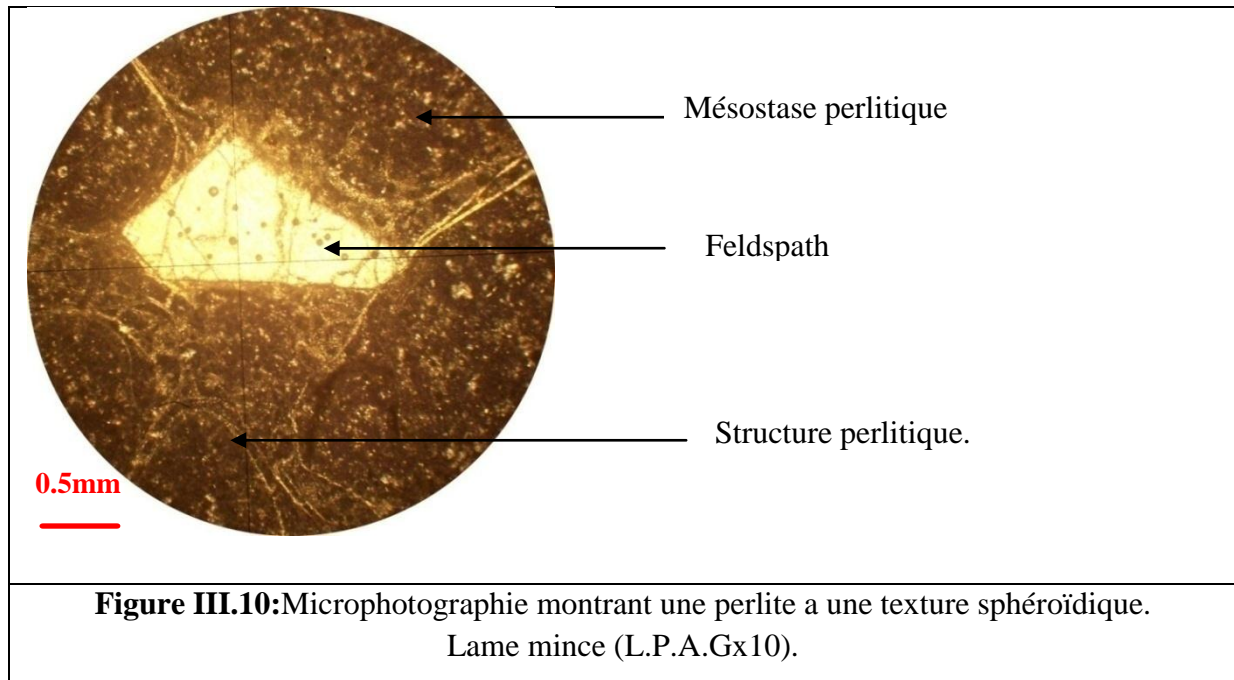
La mésostase est pigmentée par de rares granulations opaques, elle englobe en partie d'abondantes microlites et microcristaux de quartz, ces nombreuses microlites de plagioclase sont disséminées sans contact entre elles, dans le verre, formées ainsi par de rares pigmentations d'oxydes opaques.

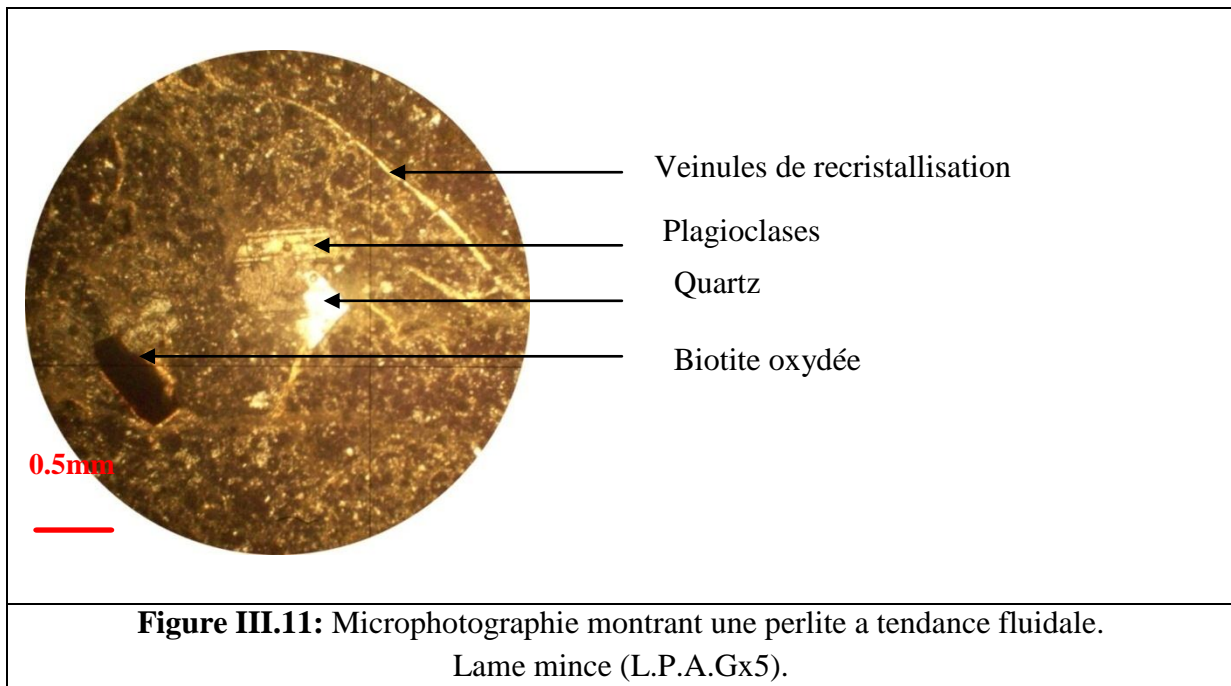
III.2.2.3.Les Textures :

a- les perlites à une texture sphéroïdique : la mésostase est marquée par des structures perlitiques sphériques avec des contours de couleur brun-sombre en lumière naturelle, cette mésostase est traversée par des veinules de recristallisations courbées de couleur brune séparant les perles vitreuses (Figure III.10).

b- La texture hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale : Le verre rhyolitique est sillonné par des fissures.

La fluidalité est marquée par un soulignement régulier des microlites.(figure III.11).





III.3. Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques :

Le volcano-sédimentaire, comme son nom l'indique sont les dépôts lié au volcanisme , ils y'a donc plusieurs sorte et variété , qui ce différent en fonction de leur composition chimique (teneur en tel ou tel minéraux) , qui dépend évidemment directement de la nature des roches volcanique (acide ou Basique) , qui ce différent aussi en fonction de la matrice qui lcompose et enfin de la tailles des différents éléments .

En général on les retrouve surtout autour des volcans acides, du fait de la tendance de ce dernier à être explosifs, mais on a pu constater sur le terrain quelques exceptions concernant le volcanisme basique.

Les tufs pyroclastiques ou pyroclastites sont des roches composées principalement ou uniquement de matériaux volcaniques. Lorsque les matériaux volcaniques ont été déplacés et remaniés par action mécanique, comme celle du vent ou de l'eau, ces roches sont appelées volcano-clastiques Communément associées aux activités volcaniques de type plinien ou phréato-magmatique les dépôts pyroclastiques sont généralement formés de cendres, lapillis et bombes volcaniques, associés à des blocs issus du sous-sol local originel.

Les roches pyroclastiques peuvent être classées selon leur taille, des plus gros blocs aux cendres les plus fines et aux tufs. Les plus grosses pyroclastites sont appelés bombes ; plus petites, elles portent le nom de lapillis. Les cendres volcaniques sont rattachées aux

pyroclastites parce que leur fine poussière est issue des roches volcaniques. L'une des formes les plus spectaculaires des dépôts pyroclastiques est représentée par les ignimbrites, formées dans le mélange à haute température gaz-cendres des coulées pyroclastiques.

III.3.1.Description Macroscopique :

Dans les pyroclastites de Hammam Boughrara on a prédominance de la matrice. Elle est constituée essentiellement de cendre et de poussière volcanique, Ces roches apparaissent localement, sous forme de tufs volcaniques de couleur blanchâtre à verdâtre, formées essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux, taille millimétrique à centimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths d'opales et des fragments de perlite, ils sont issus directement d'une éruption volcanique.

La matrice perd souvent sa couleur originelle au profit d'altérations. La bentonitisation lui donne une couleur jaunâtre.

Ces roches ont un aspect chaotique monogénique (origine volcanique), et hétérométrique plus ou moins bien classées.

De bas en haut, on trouve des brèches pyroclastiques, des Tufs de lapilli et des tufs de cendres volcaniques. Les réserves les plus importantes se localisent vers la surface associées aux cratères volcaniques. (figure III.12)

Ces tufs pyroclastiques peuvent être plus ou moins consolidés en pyroclastites. Ces derniers sont généralement friables, mais par endroit ils peuvent être assez durs. Le ciment étant généralement de nature siliceuse.



Figure III.12 : Les Tufs pyroclastique associées au cratère d'explosion volcanique De Hammam Boughrara

III.3.2.Description microscopique

Les pyroclastites de Hammam Boughrara montrent une phase de liaison représentée presque exclusivement de matrice argileuse de nature volcanique ; englobant d'abondants minéraux et fragments de minéraux et de roches généralement de même nature.

III.3.2.1.La Phase De Liaison :

Dans les pyroclastites de Hammam Boughrara on a prédominance de la matrice, les ciments sont rares. Elle est constituée essentiellement de cendre et de poussière volcanique, de couleur généralement brune claire à brune sombre, pigmentée parfois par des granulations d'hydroxydes de fer marron rougeâtre et d'opacités. Cette matrice perd souvent sa couleur originelle au profit des couleurs d'altérations. La bentonitisation lui donne une couleur jaunâtre.

Dans ces pyroclastites, les ciments sont rares mais très variés. En effet ; les tufs pyroclastiques consolidés de Hammam Boughrara montrent souvent une phase de liaison complexe composée de matrice et de ciment(s) de nature très variée.

Les ciments siliceux (ciment d'opale, de calcédoine), ferrugineux et carbonatés sont respectivement les plus abondants. Mais on peut également trouver des ciments à base d'évaporites (anhydrite et gypse).

III.3.2.2.La Phase Clastique :

Elle est composée essentiellement de minéraux et fragments de minéraux ou des débris (surtout des quartzs et des feldspaths), des fragments de verre volcanique et de roches rhyolitiques (parfois même sédimentaires) presque toujours en esquille anguleux (brèches) ; il s'agit d'éclats de différentes tailles. Quelques rares bioclastes (fossiles) ont été trouvés ; on pense reconnaître les algues vertes du groupe des Dasycladacées reconnues après le lavage et le tri effectué sur ces tufs volcaniques ; il s'agit d'un verticille isolé du genre *Clypeina* (permien-tertiaire),

Le pourcentage de la phase clastique (ou fréquence) est très variable ; en effet, la phase clastique peut constituer jusqu'à 50% du volume totale de la roche, comme elle peut être quasi inexistante (localement), dans ce cas on ne voit sur le microscope que la matrice argileuse.

La phase clastique montre des éléments anguleux mal classés microscopiquement témoignant ainsi d'un transport court. Ces éléments ne montrent ni fluidalité ni orientation préférentielle. Le mode d'arrangement de ces éléments dans la matrice donne à ces roches une texture vitroclastique (= présence dans la roche de fragments de verre rhyolitique plus au moins éclaté et déformé) caractéristique des roches tufacées.

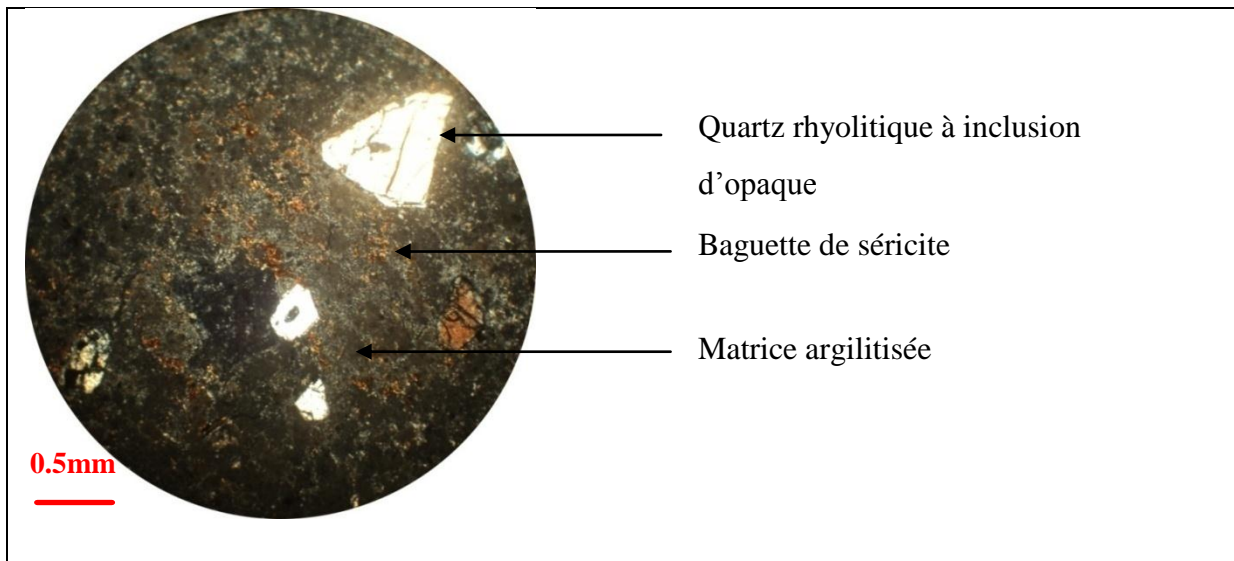


Figure III.13: Microphotographie montrant Les Pyroclastites De Dar Embarek ;
Lame Mince (L.P.A.Gx5).

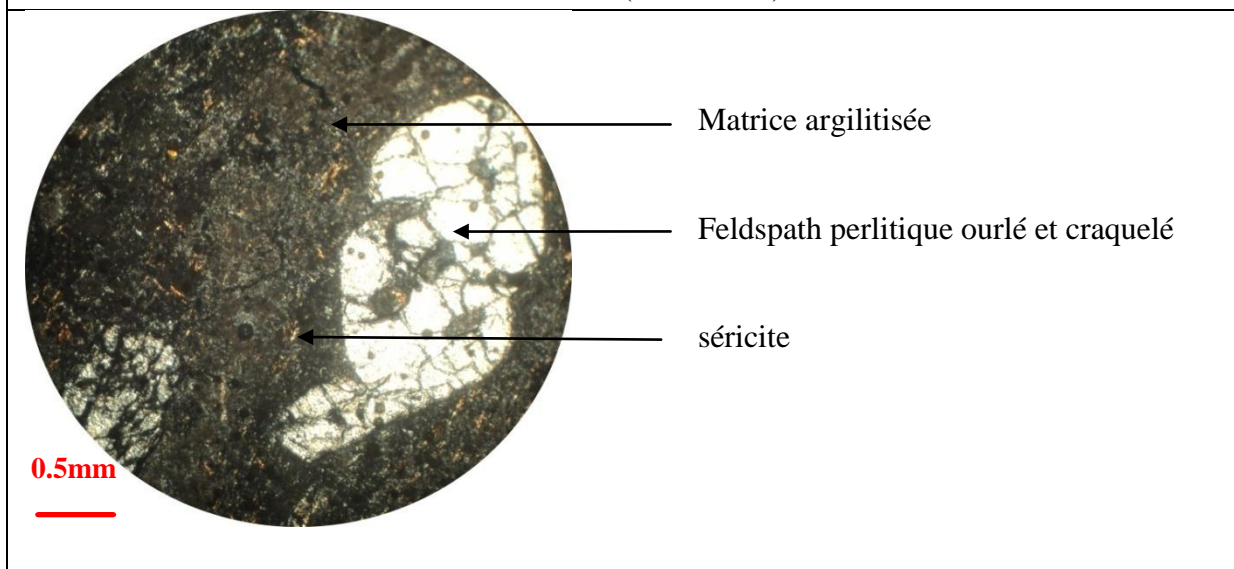


Figure III.14: Microphotographie montrant des pyroclastites altérées.
Lame mince (L.P.A.Gx10).

III.4. Tufs consolidés massifs (ignimbrites) :

Une ignimbrite est une roche formée de débris de lave acide issus d'une nuée ardente et soudés avant leur refroidissement, mélangés à une matrice vitreuse. Elle a un aspect de pierre ponce. Elle est principalement de couleur gris foncé à gris-bleu. Le mot ignimbrite vient du latin, d'ignis, le feu, et imber, la pluie. Elle a souvent la composition d'une roche volcanique acide (rhyolite, dacite). Elle est principalement composée de quartz, de sanidine, d'albite et de biotite

Dans les tufs consolidés massifs (ce retrouve plissé du à un soudage à chaud, à cause de la charge exercé par le dôme) à structure pseudo-fluidale de Hammam Boughrara, Leurs caractères intermédiaires entre une lave et une pyroclastite et leur texture« ignimbritique » permettent de définir une coulée d'ignimbrite à Hammam Boughrara.

Ces tufs ignimbrtiques présentent les mêmes éléments que ceux des pyroclastites :

La matrice constituée de cendres et poussières volcanique englobe :

*des minéraux ou fragments de minéraux (essentiellement du quartz et des feldspaths avec quelque rare biotites et d'opaques) souvent anguleux et craquelés, voire complètement broyés et montrant une certaine orientation.

*du verre volcanique et des fragments de roches rhyolitiques de différentes tailles ; presque toujours aplaties, exprimant ainsi une orientation préférentielle.

Cette fluidalité nette exprimée notamment par les nombreuses échardes de verre volcanique confère à la roche une texture ignimbritique. Figure III.15.

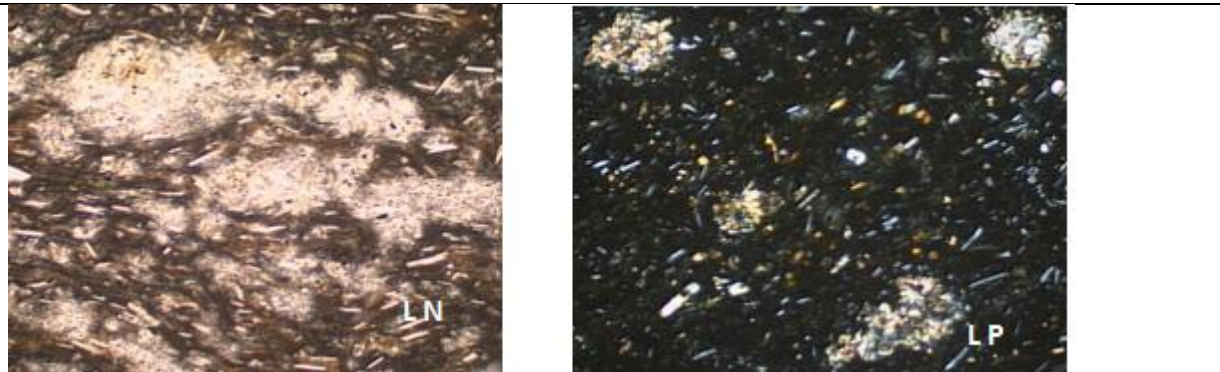


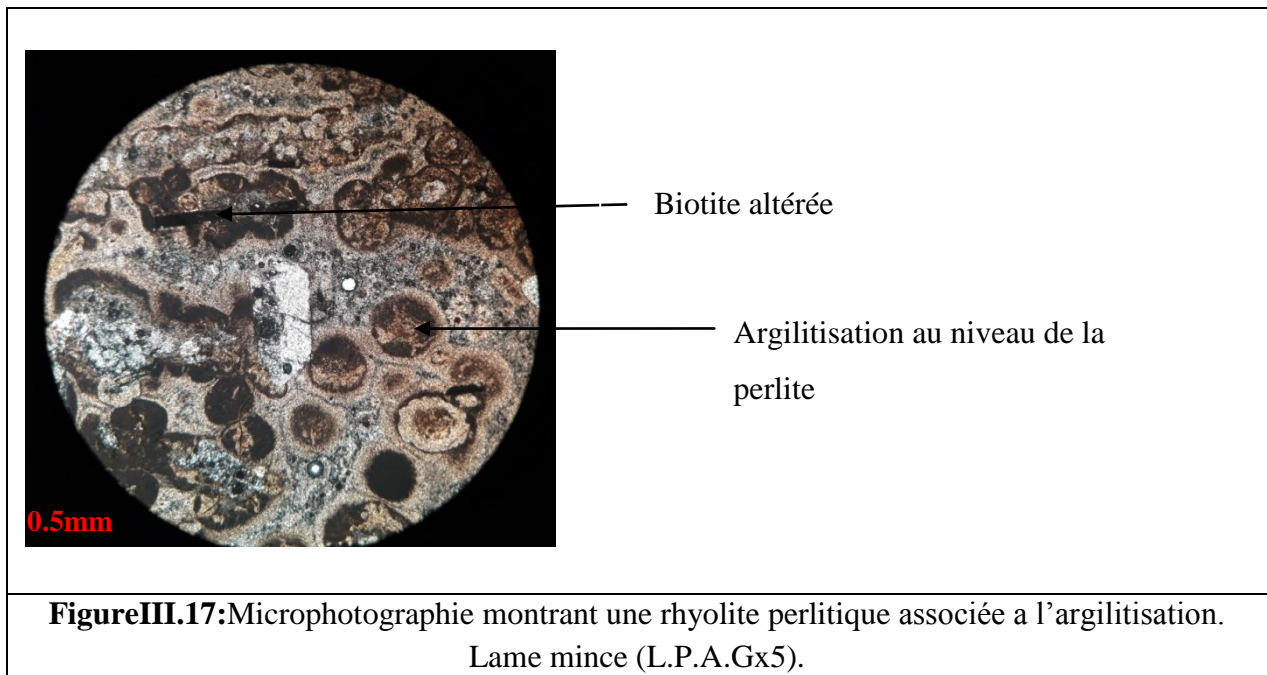
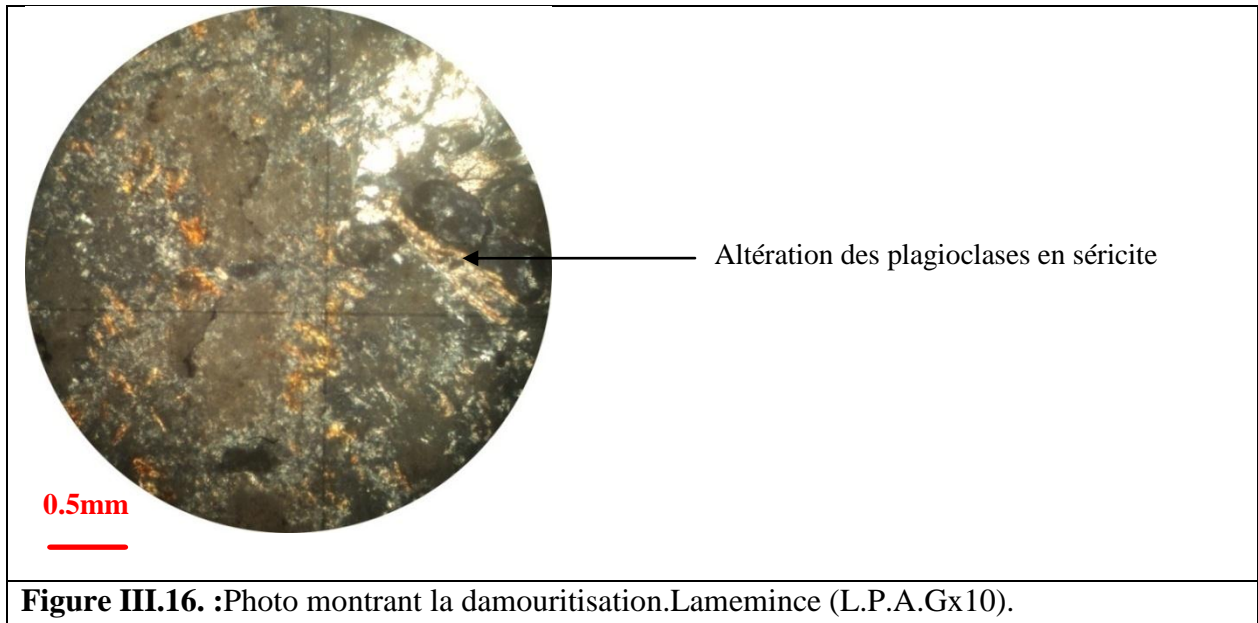
Figure III.15 :Texture microlitique fluidale ignimbritique a rares phénocristaux des rhyolites de Hammam Bou Ghrara. (Gros. X 20)

III.5: Les Altérations Associées :

1*les feldspaths ont souvent un aspect trouble, dû au développement de minéraux argileux (séricite, kaolin).

2*les biotites sont généralement chloritisées ou séricitisées.

3*la bentonitisation (transformation en argile bentonitique) est l'altération la plus répandue dans les roches pyroclastiques de Hammam Boughrara. Elle donne à ces roches une couleur jaunâtre. Cette bentonitisation se développe localement et touche essentiellement les tufs et les roches pyroclastiques associés au dôme rhyolitique d'Ain Torba. Les tufs associés aux autres dômes sont moins touchés par cette altération. Cette altération est à l'origine des plus grands gisements d'argiles bentonitiques en Algérie. (Figure III.16et 17)



III.6 : Etude pétrographique des faciès bentonitisés :

Comme nous avons dit auparavant la bentonitisation se développe dans les faciès rhyolitiques, essentiellement au niveau des pyroclastites et des rhyolites perlitiques ; elle leur donne unecouleur jaunâtre et un aspect savonneux et friable.

Au microscope on voit la manière dont la bentonitisation se développe dans ces différents faciès rhyolitiques :

1) Dans les rhyolites ''compacte'' à texture hyaline porphyrique :

Le développement de la bentonitisation dans ces rhyolites est très faible et très ralenti. En effet ; les seuls échantillons présentant un début de bentonitisation montrent des

Micro-fracturations, des porosités, et la présence de minéraux argileux dans leur mésostase.

Les rhyolites ne contenant pas ces derniers ne montrent aucun signe de bentonitisation.

2) Dans les rhyolites ''fluidale'' à texture hyaline porphyrique fluidale :

Dans ces rhyolites à texture fluidale la bentonitisation se développe plus facilement. Elle se développe essentiellement dans les plans de fluidalité.

3) Dans les rhyolites ''perlitique'' :

Ces rhyolites sont souvent bentonitisées. La bentonitisation se développe essentiellement

Au niveau des perles qui constituent la mésostase perlitique et en suivant les contours de ces derniers.

4) Dans les pyroclastites et tufs pyroclastiques :

Le développement de la bentonitisation au niveau des tufs pyroclastiques fins : la bentonitisation se développe essentiellement dans la matrice argileuse. Les éléments détritiques sont moins touchés.

Conclusion :

Les formations rhyolitiques du hammam bouhrara sont représentées par un dôme .ces roches de couleur généralement grise, rouge ou noire sont composées de phénocristaux de biotite et quelques rares phénocristaux de quartz et feldspath baignant dans une mésostase le plus souvent hyaline.

Les faciès étant sensiblement identiques, on y retrouve une même paragenèse. Cependant les variations observées ne portent que sur le mode de cristallisation c'est à dire les textures. En effet, outre le caractère hyalin, la mésostase peut être perlitique, fluidale ou même vacuolaire. Dans ce dernier type de structure des sphérolites de dévitrification apparaissent soit en individus isolés soit en " chapelet ". Dans les rhyolites perlitiques, les phénocristaux sont disséminés ou regroupés en amas au sein des perlites.

Ces roches se distinguent surtout par leur texture hyalo-porphyrique à rares phénocristaux (10 à 15 %) de plagioclases, de quartz, de feldspath potassique, de biotite et de minéraux opaques. Sont caractérisées par une texture microlitique fluidale ignimbritique (ce retrouve plissé dû à un soudage à chaud, à cause de la charge exercé par le dôme)plus ou moins vitreuse à rares phénocristaux de quartz, plagioclase, sanidine et biotite.

Tout autour du dôme volcanique de Bouhrara. on a pu observer des tufs pyroclastique Rhyolitique (composé de fragments de minéraux provenant des rhyolite et de roches sédimentaires). On remarque que ces tufs possèdent une matrice, les éléments de liaisons sont de la même nature et ce sont déposé en même temps que les minéraux qui le composent. C'est d'ailleurs l'une des principale caractéristique des roches volcano-sédimentaire.

D'une vue plus générale et éloigné on peut facilement remarque le mode de dépôts de ces pyroclastite, avec un grano-classement décroissant, les éléments les plus grossier ce trouvant le plus à la base et les plus petits prêt du cratère, donc des tufs fin avec présence de bentonite.

La bentonitisation se développe essentiellement dans les rhyolites "fluidales" suivant les plans de fluidalité, dans les perlites : au niveau des perles qui constituent la mésostase perlitique, et dans tufs pyroclastiques fins qui se développent essentiellement dans la matrice argileuse. Les argiles semblent se former sur les faciès présentant une fluidalité et montrant une perlitisation assez avancée.

Donc les facteurs favorables à la bentonitisation sont :

- la fluidalité, la abondance du verre volcanique, la fracturation.

Ces facteurs sont favorables à une perlitisation et si le phénomène est assez poussé, on aboutit à la formation des bentonites.

La bentonitisation est donc fonction de la lithologie des faciès rhyolitiques.

Introduction :

Ce chapitre traitera de la géochimie et minéralogie de tous les faciès rhyolitiques bentonitisés étudiés.

Cette étude va nous permettre de :

- Trouver la température de mise en place des dômes rhyolitiques.
- comparer le chimisme et la minéralogie des 4 dômes rhyolitiques ce qui va permettre de confirmer s'il s'agit du même magma à l'origine de ces 4 dômes.
- Confirmer que la bentonitisation touche les terrains volcanogènes rhyolitiques et de retrouver les changements affectant ces terrains.
- L'étude des isotopes permet de comprendre les mécanismes conduisant à la bentonitisation.

IV.1.Minéralogie :

Pour l'étude de la minéralogie on va prendre en compte les résultats des analyses chimiques des éléments majeurs dans les minéraux, qui ont été effectuées à la microsonde électronique d'IFREMER (Boukhedimi.2008)

Ces analyses ont été réalisées dans des conditions opératoires bien précises : énergie

- ❖ d'excitation 15 Kv.
- ❖ intensité du courant 20 nano-ampères.
- ❖ temps de comptage compris entre 20 et 30 s.

Les principales phases minérales analysées sont les feldspaths (plagioclases et sanidine) et les biotites.

En plus de ces phases minérales, la mésostase des rhyolites et la matrice des pyroclastites associés ont été analysées.

IV.1.1.Détermination de la température de la mise en place des dômes rhyolitiques :

Pour déterminer la température de mise en place des dômes rhyolitiques dans sa thèse, Boukhedimi a étudié l'équilibre entre plagioclases et feldspaths alcalin dans ces rhyolites.

1).Les feldspaths

Les plagioclases constituent la phase minérale prédominante et les cristaux montrent le plus souvent un zonage normal et rarement oscillatoire. (Voir étude pétrographique) ils contiennent de nombreuses inclusions fluides disposées selon les plans du zonage. Par endroit, des inclusions d'oxydes opaques envahissent les cœurs du minéral. La composition générale est : albite-oligoclase (~An20). Les feldspaths alcalins sont du type sanidine.

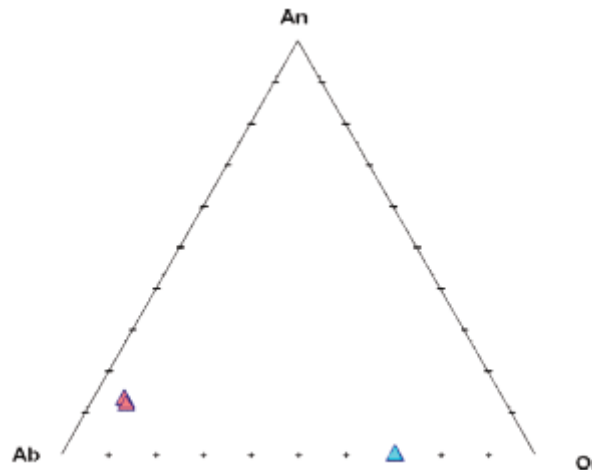


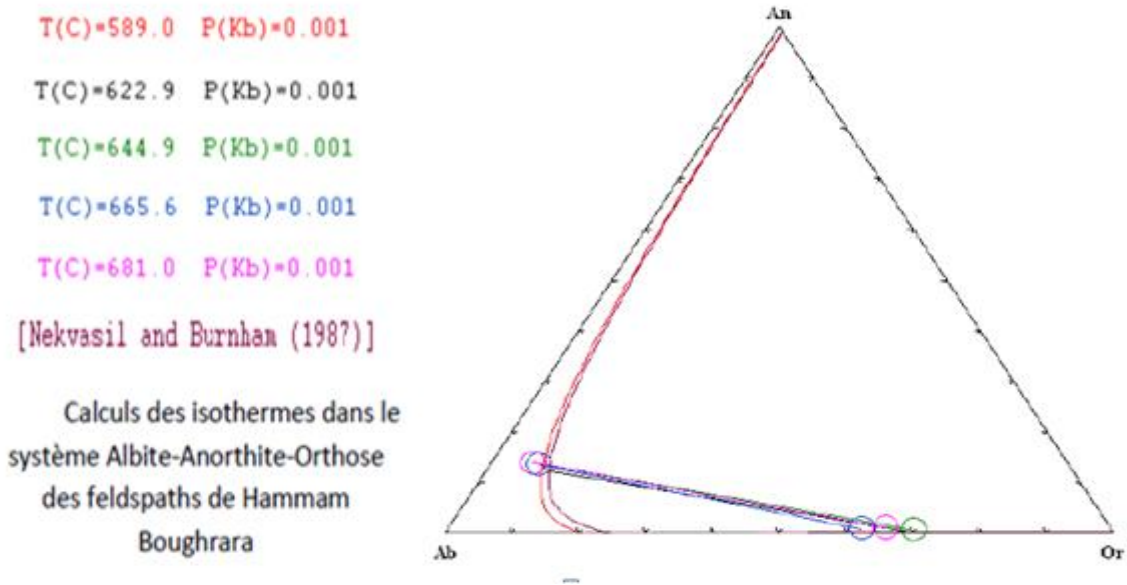
Figure IV.1 : La composition générale de feldspath alcalin.

A l'aide des travaux expérimentaux de Nekvasil et Burnham 1987 permettent de faire un certain nombre de calculs de la température d'équilibre des feldspaths. Le logiciel SOLVCALC 2.0 permet de faire ces calculs.

En faisant rentrer les données des analyses chimiques des couples plagioclase-feldspaths des rhyolites en allant de la périphérie et jusqu'au cœur du dôme de Hammam Bouhrara il a pu mettre en évidence la zonation thermique lors de sa mise en place.

Selon les calculs effectués, la température de mise en place varie d'environ 100°C depuis la périphérie jusqu'au coeur du dôme (de 589°C à 681°C).

Les calculs effectués sur la base des travaux de Green & Usdansky 1986 ont donné des résultats analogues. Ainsi, la température moyenne de mise en place des dômes rhyolitiques de Hammam Bouhrara est estimée à environ 600°C.



FigureIV.2 : Détermination de température de mise en place

IV.2.Nomenclature Et Classification Des Laves:

Les affinités magmatiques et chimiques sont illustrées par des diagrammes de classification et de variation, construits sur la base de la composition chimique.

Oxyde(%)	Echant1	Echant 2	Echant3	Echant4	Echant5	Echant6	Echant7	Echant8	Echant9
SiO ₂	77,8708	66,5224	66,7674	80,4672	67,9388	77,5082	69,6	62,7984	72,8336
TiO ₂	0,0196	0,0294	0,0294	0,0672	0,0582	0,098	0,0864	0,0392	0,1078
Al ₂ O ₃	9,9372	15,2782	15,4252	9,4272	14,1038	11,8384	13,776	15,5526	13,2202
Fe ₂ O ₃	0,735	0,8036	0,931	0,912	1,0573	0,98	1,0752	0,8428	0,9702
MnO	0,0294	0,049	0,049	0,0192	0,0776	0,0784	0,0768	0,0294	0,882
MgO	0,1176	0,3034	1,3426	0,0576	1,358	0,147	1,1424	2,6166	0,1666
CaO	0,3414	0,9016	0,9114	0,384	0,9603	0,5194	0,5664	1,421	0,5292
Na ₂ O	2,9694	2,2442	2,156	2,8704	3,1719	3,2144	3,6	2,3226	3,92
K ₂ O	3,3418	4,116	4,1258	2,8992	2,7063	3,9298	2,976	3,3026	4,0768
P ₂ O ₅	0,0392	0,0294	0,0196	0,0288	0,0388	0,049	0,048	0,343	0,049

Tableau IV.1 : Tableau des analyses chimiques d'oxydes des différents échantillons de des dômes rhyolitiques de Hammam Bougherara

D'après la projection sur le diagramme de Harker, les laves étudiées appartiennent toutes aux séries calco-alkalines. (Figure IV.3).

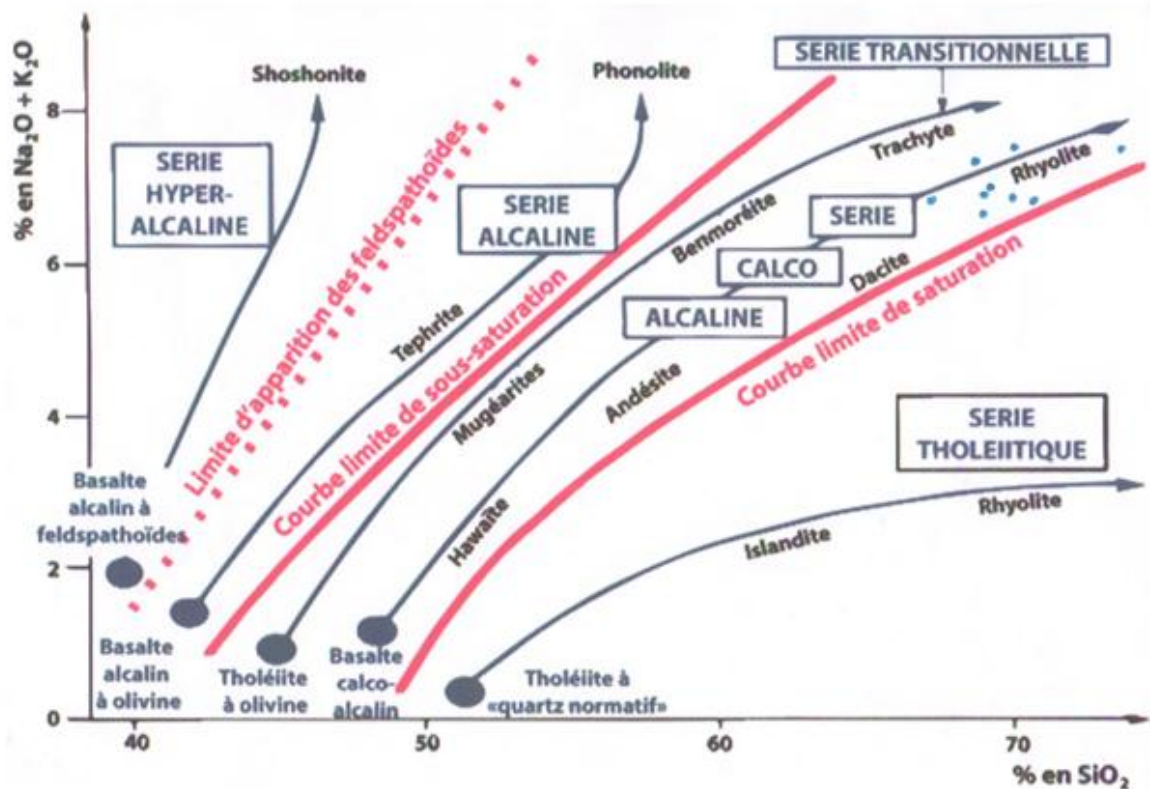


Figure IV.3 : Les grandes séries volcaniques et leur position sur un diagramme alcalins-silice (diagramme de harker).

Nous avons vu que le diagramme de Harker pouvait être intéressant qui permettait de comprendre les évolutions minéralogiques, mais il permet également de mettre en évidence les filiations des roches entre elles. En effet, à partir d'un magma basaltique peut naître un groupe de roches, une série magmatique, qu'il est intéressant de mettre en évidence. On porte en abscisse le pourcentage en SiO_2 , et en ordonnée la somme des pourcentages en $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$. On peut alors sur ce diagramme visualiser l'ensemble des roches magmatiques. C'est ce qu'ont fait Cox et al. en 1979. (Figure IV.4)

Le diagramme de Cox et al a l'avantage de visualiser directement la suite des roches obtenues dans les 2 grands domaines magmatiques : le domaine sub-alkalin qui comprend la série tholéïtite, la série calco-alkaline et la série transitionnelle; et le domaine alcalin qui comprend la série alcaline et la série shoshonitique.

Ce diagramme est préférable à une classification car il permet de mettre immédiatement en évidence les évolutions magmatiques, que les roches soient cristallisées ou vitreuses. On a également porté sur ce diagramme les équivalents plutoniques des roches volcaniques.

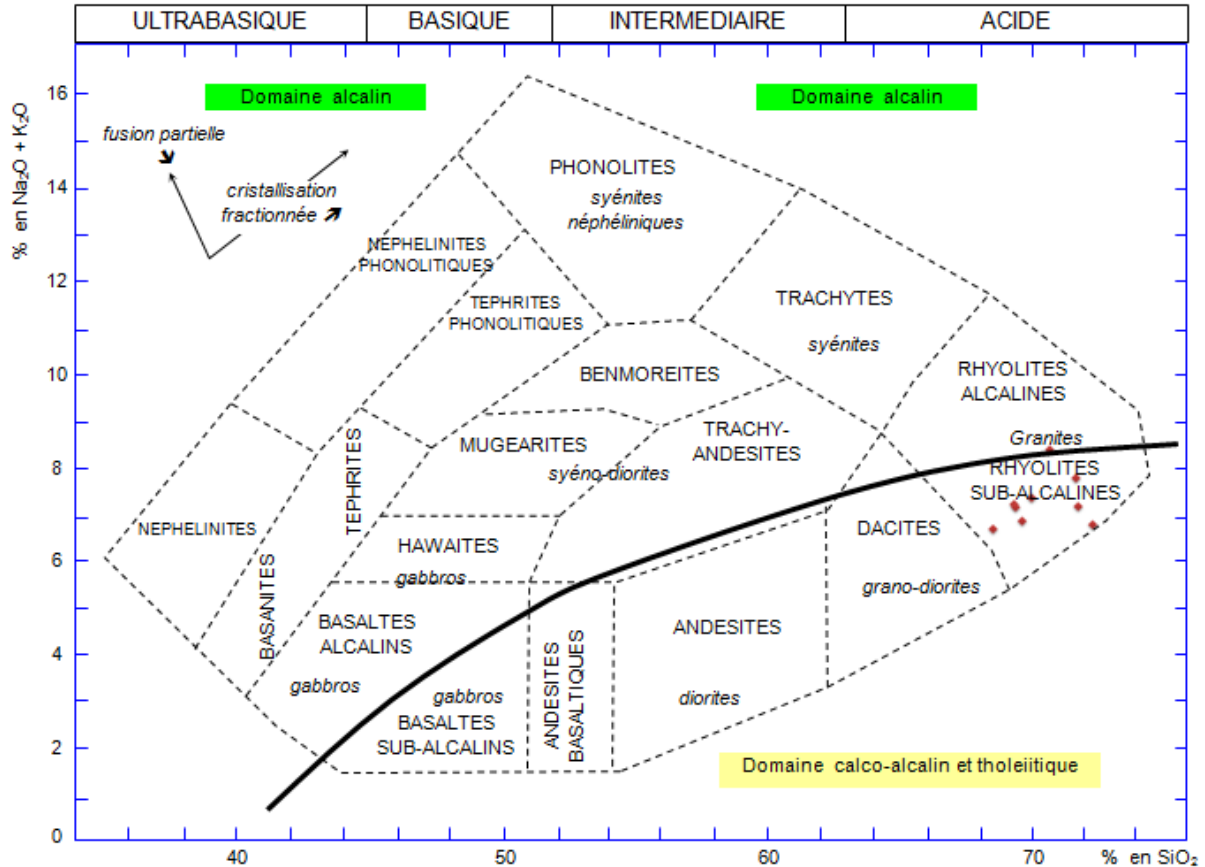


Figure IV.4 : classification de cox et al. Positionnée sur un diagramme de harker alcalins-silice.

Après la projection sur la figure précédente, les laves de Hammam Boughrara étudiées évoluent dans le champ des rhyolites calco-alcalines. Ces laves présentent des caractères géochimiques acides ce qui atteste d'un degré très poussé, de différenciation.

Nous pouvons aussi utiliser d'autres diagrammes, tel que le diagramme $AFM.A = Na_2O + K_2O$, $F = FeO + Fe_2O_3$ et $M = MgO$. pour mettre en évidence deux séries magmatiques.

La série tholéitique marque un enrichissement en Fer.

La série calco-alcaline, les minéraux opaques fractionnent très tôt, (cristallisent et sont hôtés de la série), ce qui empêche un enrichissement en Fer.

Dans le diagramme AFM des séries volcaniques (figure IV.5), Confirme que les laves étudiées sont des rhyolites et se placent dans le domaine calco-alcalin.

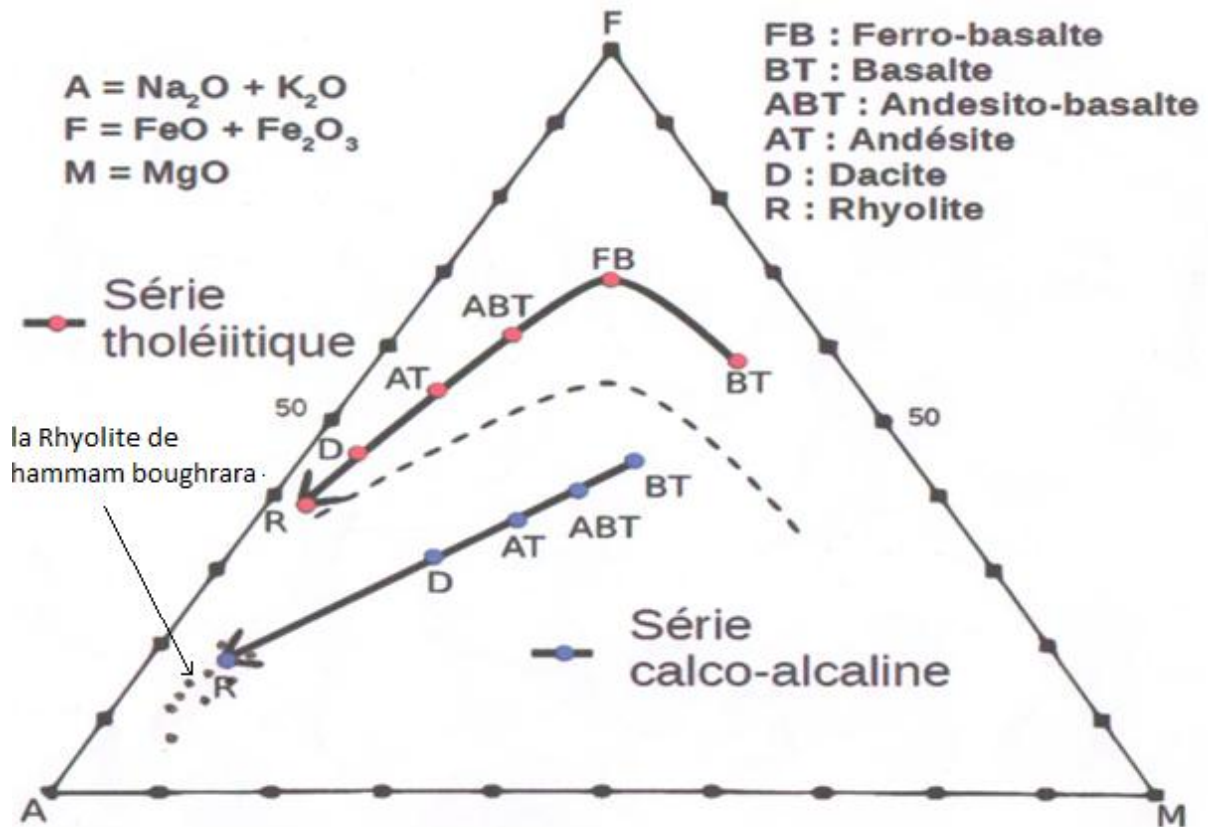


Figure IV.5 : Le diagramme AFM des séries volcaniques

IV.3. Etude des changements géochimiques dans les faciès bentonitisés :

IV.3.1. Les éléments majeurs :

Les changements en éléments majeurs les plus significatifs quand à la bentonitisation à Hammam Boughrara sont en silicium (SiO₂), aluminium (Al₂O₃), calcium (CaO) et magnésium (MgO). En effet ; on observe une évolution régulière en ces éléments, et cela depuis les faciès sains et jusqu'au faciès bentonitisés.

Deux diagrammes nous ont permis de reconnaître et séparer avec précision les faciès bentonitisés des faciès saines :

a) Le diagramme Al₂O₃/SiO₂ :

Ce diagramme permet de différencier avec une grande précision les faciès bentonitisés des faciès sains à Hammam Boughrara. En effet ; tous les faciès bentonitisés ont des valeurs supérieures à 15% en Al₂O₃ et inférieures à 67% en SiO₂ alors que les faciès sains ont des

valeurs inférieures à 11% en Al₂O₃ et supérieures à 77% en SiO₂. Les termes intermédiaires existent. Donc, ce diagramme montre une diminution régulière en SiO₂ accompagnée d'une augmentation régulière en Al₂O₃, et cela depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

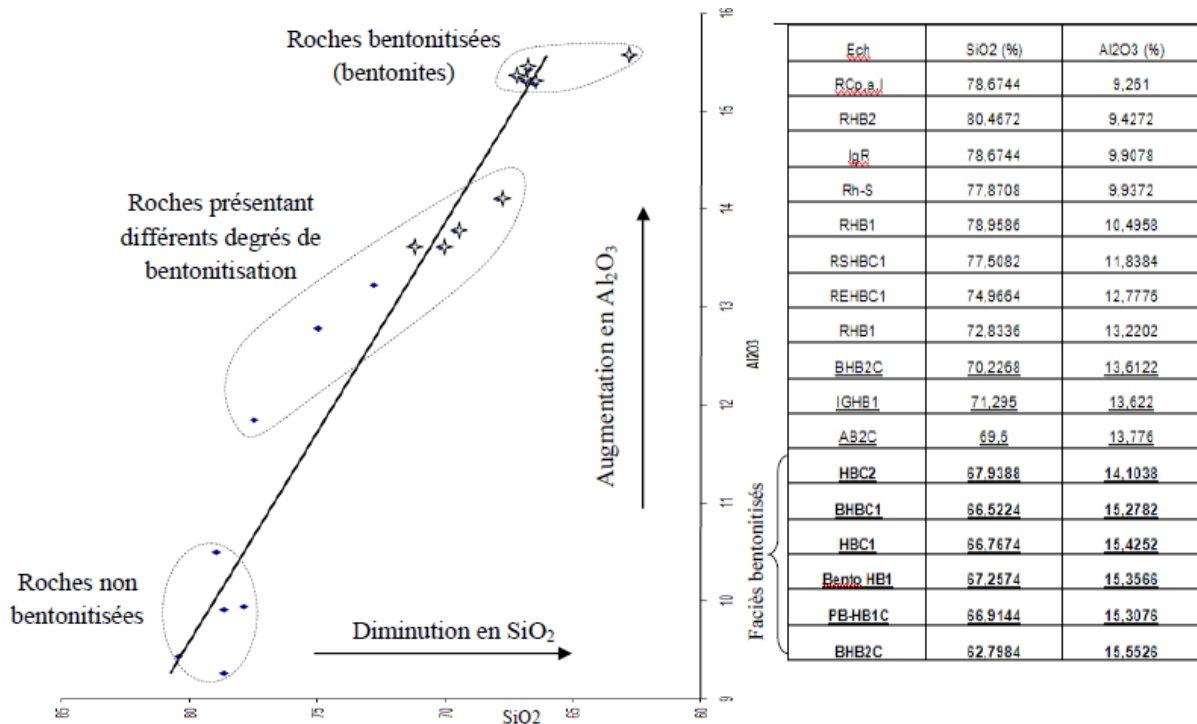


Figure IV.6: Diagramme SiO₂/Al₂O₃ permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara. (in Boukhedimi, 2008)

b) Le diagramme MgO/CaO :

Autre diagramme qui nous permet de différencier avec précision les faciès bentonitisés de Hammam Boughrara, c'est le diagramme MgO/CaO. En effet ; Sur ce diagramme tous les faciès bentonitisés ont des valeurs supérieures à 1.2% en MgO et 0.8% en CaO alors que les faciès sains ont des valeurs inférieures à 0.4% en MgO et 0.6% en CaO. Ce diagramme montre aussi une augmentation rapide en MgO puis en CaO depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

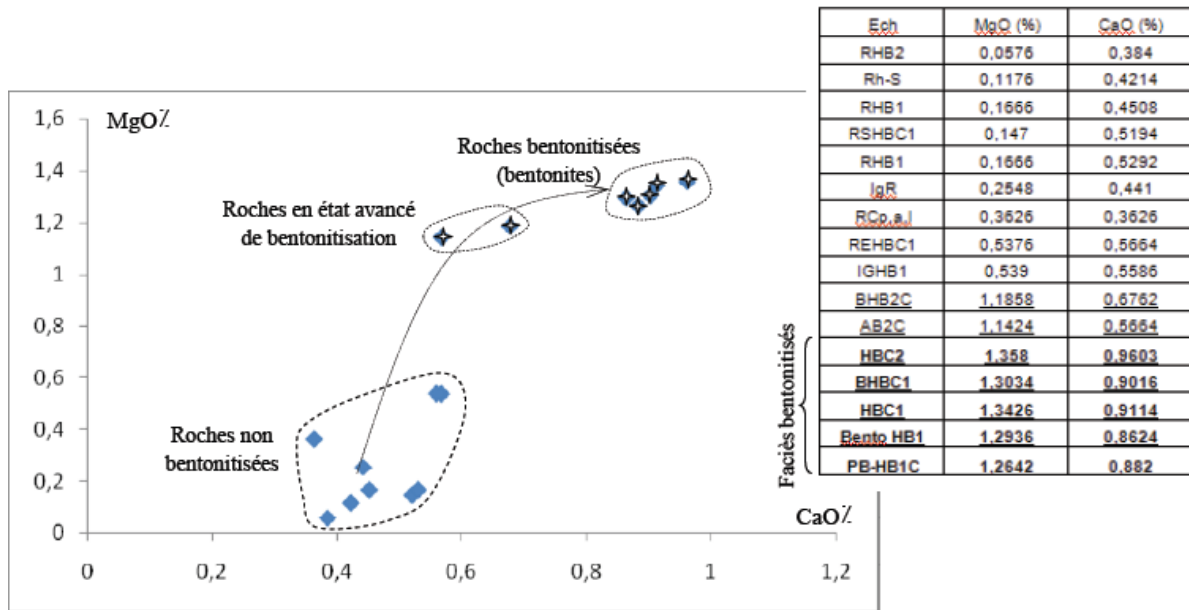


Figure IV.7 : Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés De Hammam Boughrara. (in Boukhedimi,2008)

IV. Etude Des rapports isotopiques d'hydrogène δD :

Les changements isotopiques d'hydrogène δD sont très significatifs à Hammam Boughrara car ils permettent de retrouver l'origine hydrothermale quant à la bentonitisation.

IV.4.1.Rappel :

L'hydrogène possède 2 isotopes stables, l' 1_1H (99.9852%) et le 2_1H (appelé deutérium et noté D) (0.0148%). Ce dernier « D » constitue l'eau lourde.

Il existe aussi un isotope cosmogénique et radioactif, le tritium 3_1H (T=12,26 ans).

On définit le rapport isotopique R comme celui de l'isotope rare sur l'isotope abondant, c'est à dire D/H. Les variations sont exprimées en δD .

$$\delta D = [(D/H)-(D/H)_{Std}] / (D/H)_{Std} \times 1000$$

Le standard est le SMOW : l'eau de mer à 25°C appelé SMOW (Standard Mean Ocean Water) : $(D/H)_{SMOW} = 1.557 \times 10^{-4}$

L'hydrogène est essentiellement présent dans les roches sous forme d'eau (hydrosphère, atmosphère, minéraux hydroxylés) et dans les matériaux d'origine biologique. C'est le système complémentaire de l'oxygène pour l'étude de l'eau.

IV.3.2.Principe De La Signature Isotopique :

Les molécules d'eau "lourde" sont moins volatiles que l'eau légère lors des changements de phase (condensation, évaporation) qui gouvernent les cycles de l'eau. Donc, l'étude du fractionnement isotopique dû au cycle de l'eau permet de retrouver l'origine des eaux, et dans notre cas, l'origine des eaux responsables de la bentonitisation à Hammam Boughrara.

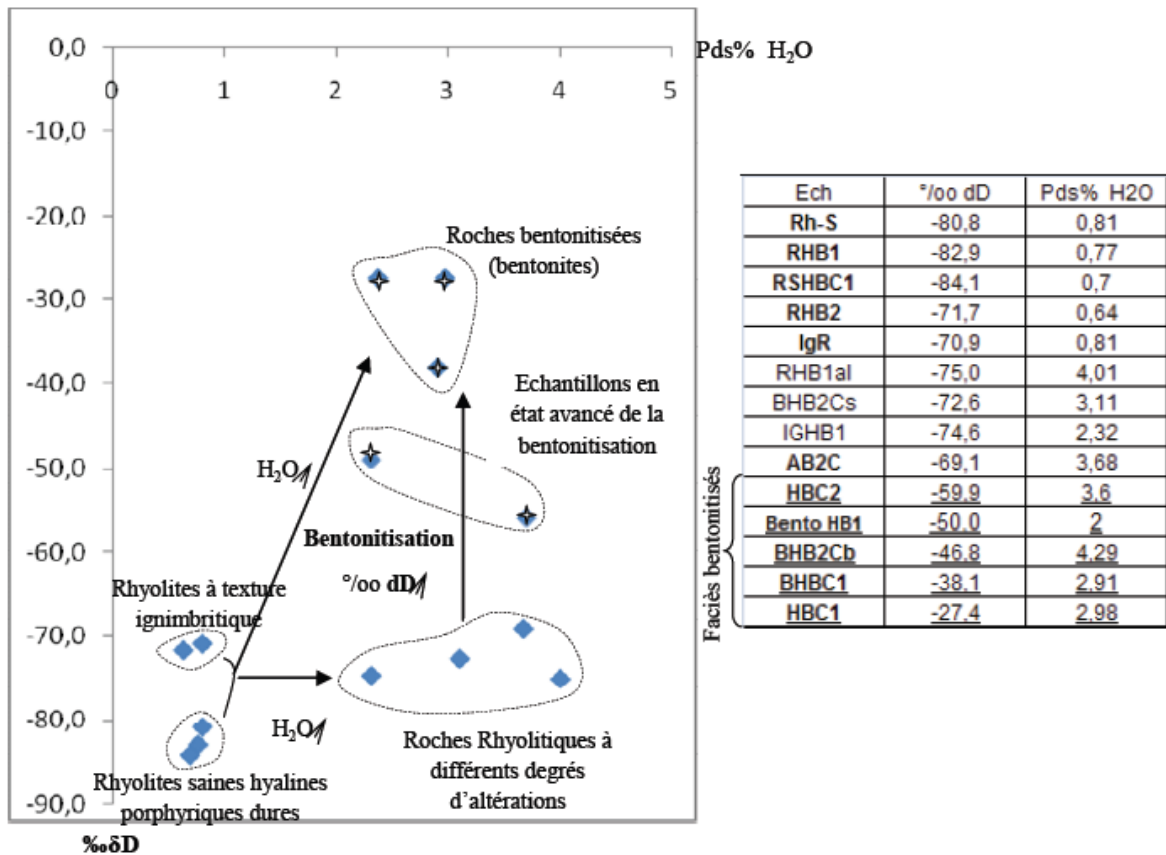


Figure IV.8. : Variation en isotopes d'hydrogène et en eau dans les faciès rhyolitiques De Hammam Boughrara.(in Boukhedimi,2008)

Ce diagramme de corrélation ($\delta D\text{‰}$, $H_2O\%$) permet de faire deux remarques très importantes:

- 1) Tous les faciès bentonitisés sont riches en eau (les rhyolites pauvres en eau sont peu ou pas bentonitisés).
- 2) Le rapport isotopique δD augmente avec la bentonitisation : De $\delta D = -85$ à -80‰ pour les rhyolites saines, -75 à -70‰ pour les rhyolites ignimbritiques fluidales et pyroclastites saines ou légèrement bentonitisées, $-59,9$ à $-46,8\text{‰}$ pour les roches en état avancé de bentonitisation et de -38 à $-27,4\text{‰}$ pour les faciès totalement bentonitisés.

Il est connu (notamment selon C. Allègre et H. Craig 2005) que dans les phénomènes magmatiques les eaux juvéniles donnent leur signature isotopique aux roches engendrées.

A Hammam Boughrara ;

Le rapport isotopique $\delta D = -85$ à -80% des rhyolites saines peut donc, être considéré commecelui des eaux juvéniles lors de la formation et mise en place des dômes rhyolitiques.

Les rapports isotopiques en δD , nettement différents et supérieurs (entre -38 à -27.4%) desterrains rhyolitiques bentonitisés, sont à relier à un hydrothermalisme avec des eaux différentes ayant donc une signature isotopique en hydrogène différente

On a relie cette bentonitisation à un hydrothermalisme parceque :

Si cette bentonitisation s'est faite dans un milieu aqueux ou par des eaux météoriques elle serait générale et non pas localisée.

L'hydrothermalisme expliquerait l'évolution en δD et le lessivage important (notamment en silice) observés localement dans ces milieux pétrographiquement et chimiquement identique.

En effet ; la bentonitisation ne se développe qu'au niveau des appareils volcaniques et desfailles associées.

On explique ces écarts isotopiques en δD entre roches saines et roches bentonitisées par une évolution des rapports isotopiques des roches encaissantes bentonitisées, via l'échange d'isotopes avec les eaux hydrothermales (δD supérieur). On pense qu'un recyclage des eaux superficielles dans le phénomène hydrothermal serait à l'origine de la bentonitisation à Hammam Boughrara

Conclusion :

Les 4 dômes de Hammam Bouhrara présentent des caractères minéralogiques analogues (plagioclases, sanidine, biotites et des tufs pyroclastiques constitués essentiellement de montmorillonite) et ils appartiennent tous aux rhyolites calco-alcalines. Ceci confirme leur origine commune (même magma).

La température de mise en place de ces dômes rhyolitiques calculée à partir de l'équilibre des feldspaths dans les roches est d'environ 600°C. Ces calculs ont permis d'observer une zonalité thermique en allant vers le centre des dômes. Cette zonalité thermique est à l'origine des fracturations concentriques des dômes (voir l'Etude Volcanologique).

Les variations chimiques les plus significatives observées dans les terrains bentonitisés à Hammam Bouhrara sont : une diminution très importante en silice (SiO₂) (environ 10% en moins que dans les rhyolites saines) cela est dû au lessivage hydrothermal de la silice lors du phénomène de bentonitisation. Cette diminution en SiO₂ est accompagnée d'une augmentation en Al₂O₃, CaO, MgO.

Les isotopes d'hydrogène nous apprennent que les rapports isotopiques δD sont nettement différents et supérieurs dans les terrains bentonitisés. Donc la bentonitisation s'est faite avec des eaux de nature différentes par rapport aux eaux magmatiques.

Introduction :

A Hammam Boughrara la bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques n'est pas générale mais très localisée. Parmi les hypothèses données à cette bentonitisation localisée. Celle qui l'explique par la probable présence de failles qui contrôleraient directement l'emplacement des gisements (Graine, 2000 ; Boukhedimi2010 ; Boukhedimi2017). Une étude morphotectonique approfondie s'impose donc pour vérifier cette hypothèse.

V.1.Analyse morphotectonique :

Les très récents développements de l'imagerie spatiale et de la modélisation numérique de la topographie (MNT) ont permis d'intégrer ces routines dans l'aide à la définition morphotectonique d'une région. En effet ; les observations faites à partir de ces outils permettent une meilleure maîtrise du terrain. Grâce à ces outils, dits d'observation indirecte, nous avons pu mettre en évidence des accidents en relation avec le volcanisme de la moyenne Tafna (dont le volcanisme rhyolitique).

Pour la région de Hammam Boughrara nous avons adopté la démarche suivante :

- réalisation d'un modèle numérique de terrain à partir d'un couple stéréographique de photographie aérienne et satellitaire.
- Superposition des images aériennes et satellitaires sur le MNT.
- Analyse et interprétation des paysages ainsi réalisé. Cette technique a permis de montrer des fractures bien marquées dans le paysage tectonique de la région.

V.1.1 : Données initiales :

- 1 Image Landsat 7 -- (12 septembre 2001)
- 2 Cartes topographiques et 2 cartes géologiques (Hammam Boughrara--1/25 000 et Nedroma--1/50 000)
- des photographies aériennes (1/40 000--1953 et 1/20 000--1994)

V.1.2 : Définition du travail :

- Géoréférencement des cartes topographiques et géologiques
- Décodage et Géoréférencement des images satellitaire (Landsat) à partir des cartes topographiques (Le décodage de l'image s'est fait selon les canaux 7-5-4-3-2 –1 (MS) et 8 (Panchro) s'est effectué à partir du format HDF dans lequel les images ne sont pas en projection mais les corrections radiométriques ont été faites par le producteur)
- Traitement numérique des images satellitaire (Landsat) (utilisation des filtres – Sharpen18 et Directionnel – N40 – N130).
- Mosaïcage et géoréférencement des photographies aériennes à partir des cartes topographiques.
- Digitalisation de la topographie et Création des MNT. (1- à partir de courbes de niveaux vectorisées, 2- à partir de couples stéréoscopiques d'images aériennes ou satellitaires,)
- Création de l'ortho-image Landsaten utilisant le MNT
- Superposition des images aériennes et satellitaires sur le MNT.

Traitement numérique du MNT à partir des données variables contrôlées par l'opérateur suivantes :

- Echelle des élévations (variation du Z)
- Choix de la direction d'éclairage de la source lumineuse virtuelle
- Choix de l'angle d'observation virtuelle de l'opérateur

V.2. Interprétation du modèle numérique de terrain (MNT) :

Contexte général de l'interprétation :

Le but de l'étude étant d'identifier les failles du secteur et notamment celles en relation avec le volcanisme rhyolitique. Notre interprétation va passer par :

- L'étude et l'analyse des travaux réalisés antérieurement,
- La réalisation d'une carte structurale basée sur l'étude et l'analyse des scènes satellitaires Type Landsat et des photographies aériennes couvrant l'ensemble de la région
- L'analyse et l'étude du MNT combinée à l'imagerie satellitaire et aérienne.
- Des travaux de terrain et analyse des photos aériennes au 1/20 000. Cette étape permet d'utiliser l'ensemble des données et résultats obtenus par l'observation indirecte.

Cette approche a pour but de déterminer la localisation et la géométrie (longueur, profondeur, direction, pendage) de l'ensemble des failles de la région étudiée.

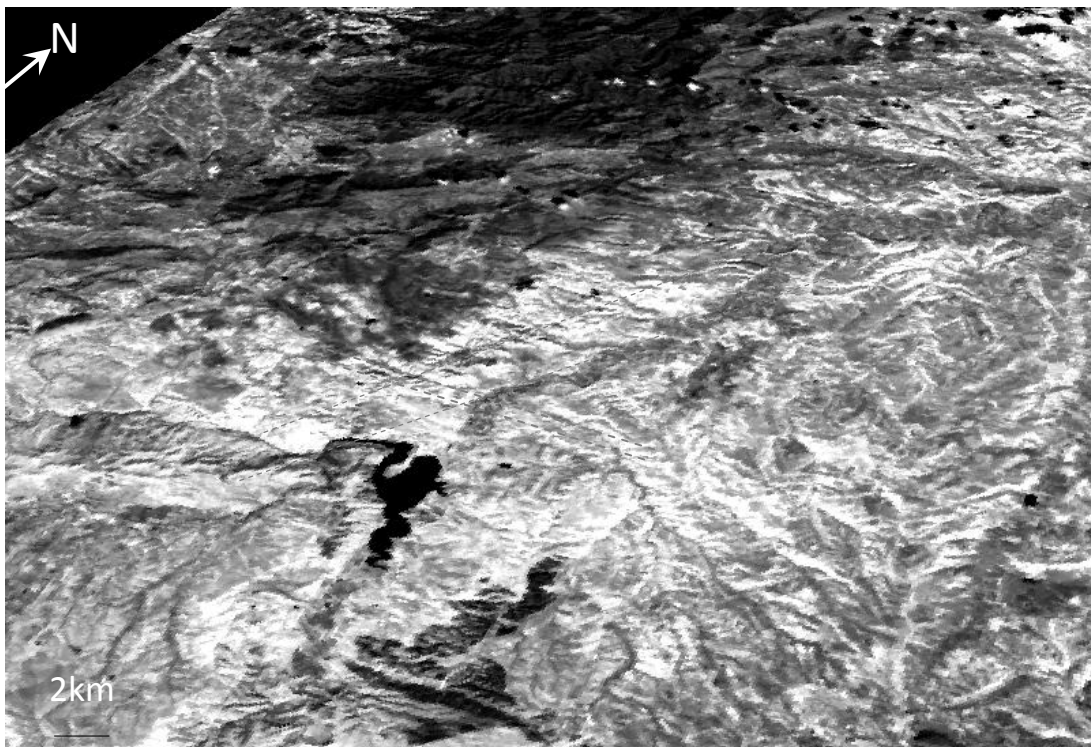


Figure V.1 : MNT de la région d'étude effectué à partir de l'image Landsat7.

L'observation se fait vers le NW. Au premier plan la ville et le barrage de Hammam Bou Boughrara et au fond le Fellaoucène.

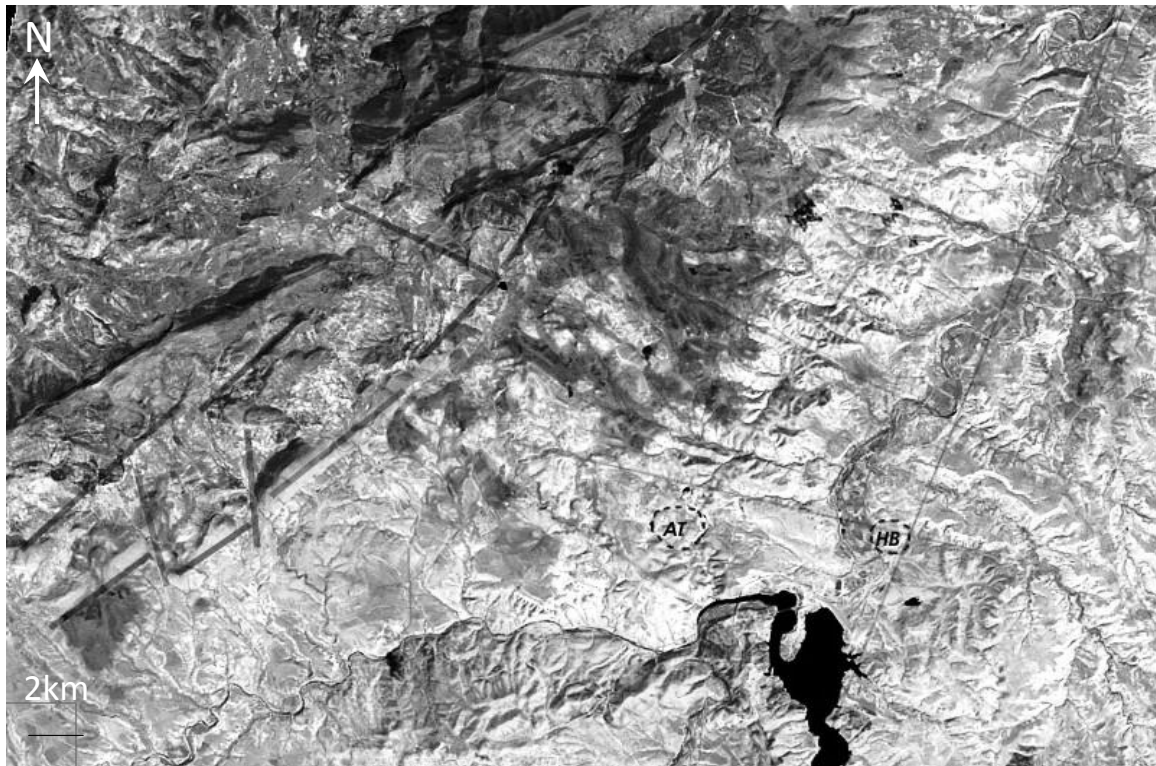


Figure IV.2 : Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7.

Sur cette image on a rajouté les accidents atlasiques du Fellaoucène (en gras) et les principaux linéaments et failles supposés.

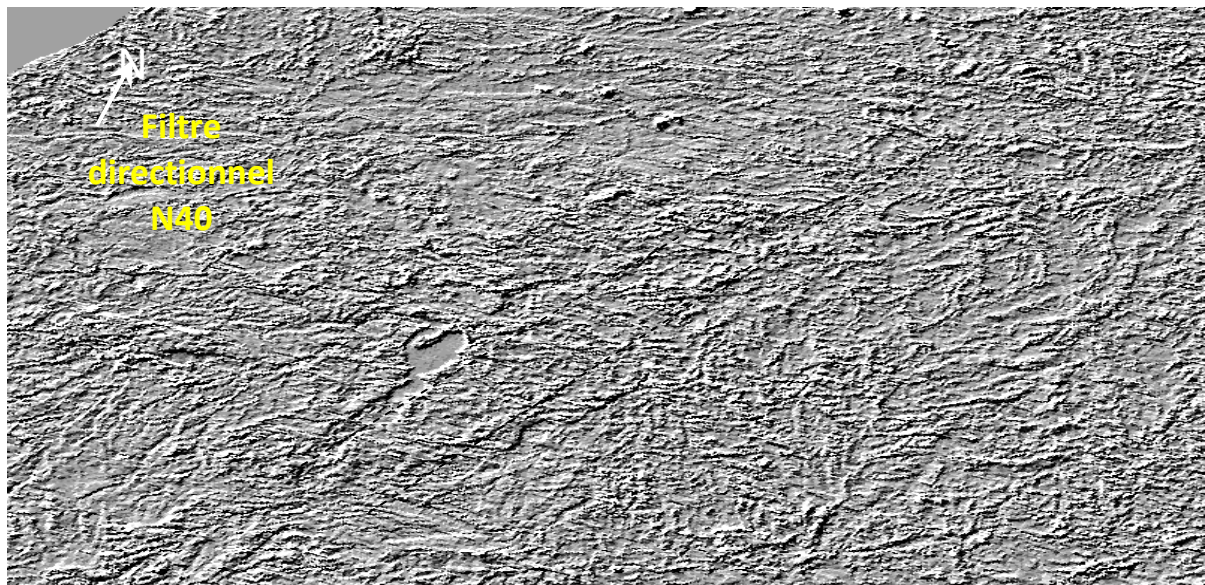


Figure V.3: application du filtre directionnel N40 sur l'image Landsat7.

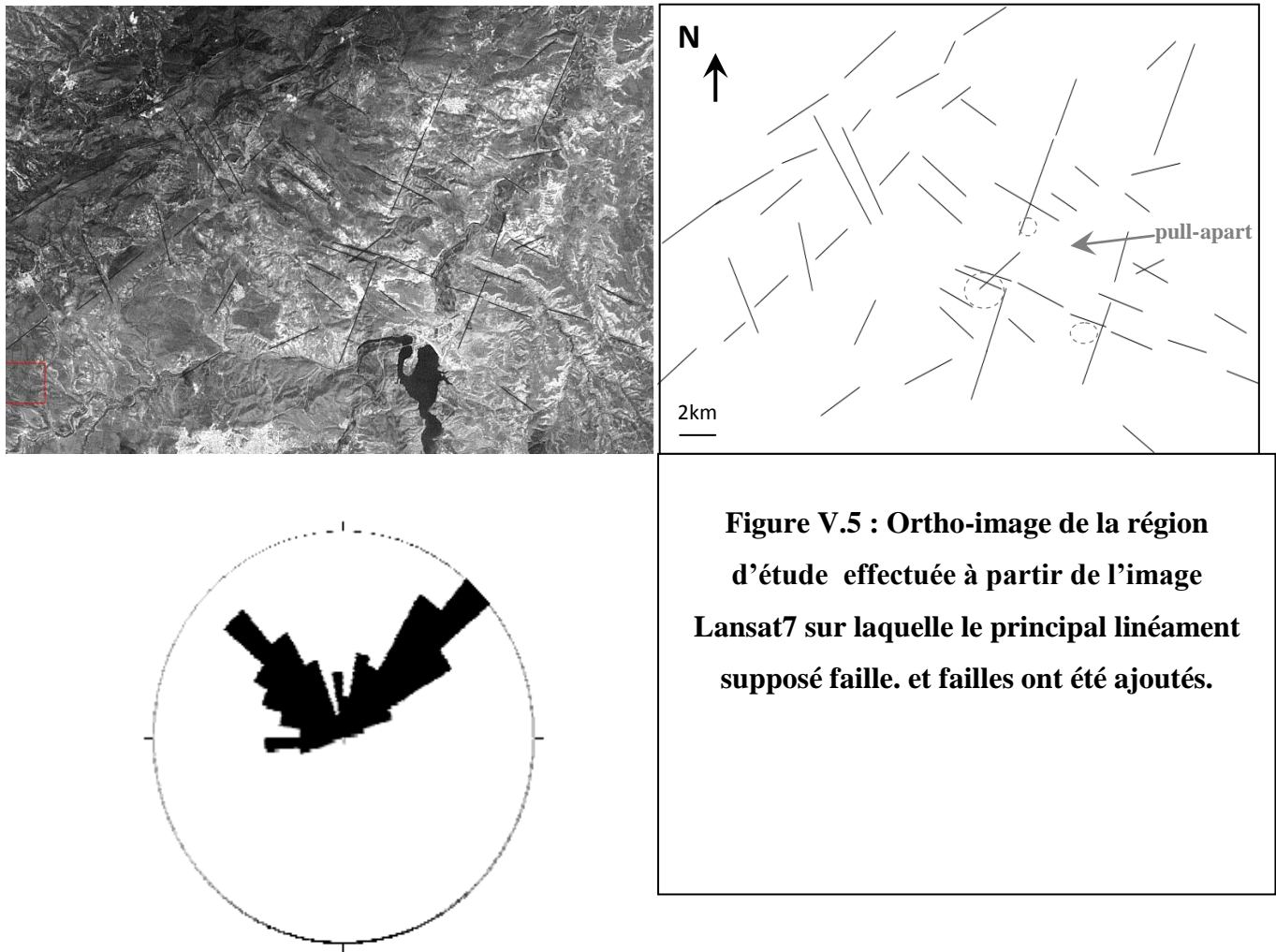
Ce filtre directionnel permet de mettre en évidence l'importance de l'orientation NE-SW dans la topographie de la région.



Figure V.4: application du filtre directionnel N130 sur l'image Landsat7.

Ce filtre directionnel permet de mettre en évidence l'importance de l'orientation NW-SE dans la topographie de la région.

L'application du filtre directionnel sur une direction moins importante ferait apparaître l'image sans rides topographiques et donc ne refléterait pas les orientations préférentielles.



Les cercles en pointillés représentent les dômes rhyolitiques de la région La rosace des directions ci-jointe montre l'importance des directions NE-SW (N40) (atlasiques) et NW-SE (N130). Ainsi, on peut mettre en évidence deux familles de fractures conjuguées orientées généralement selon une direction atlasique (NESW) et une direction transverse à 90° (SE-NW) et un petit bassin s'apparentant à un bassin en « pull-apart » formé par l'extension crustale de 2 fractures.

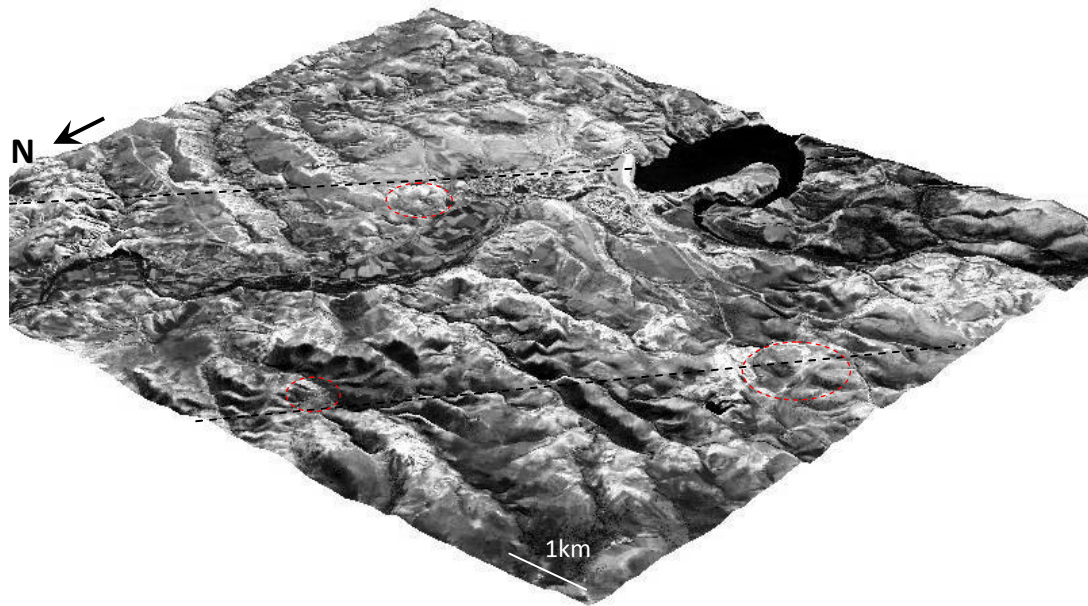


FIGURE V6: MNT du secteur d'étude sur lequel on peut voir l'importance des directions NE-SW et NW-SE et la relation directe avec l'emplacement des dômes rhyolitiques en pointillés de couleur rouge.

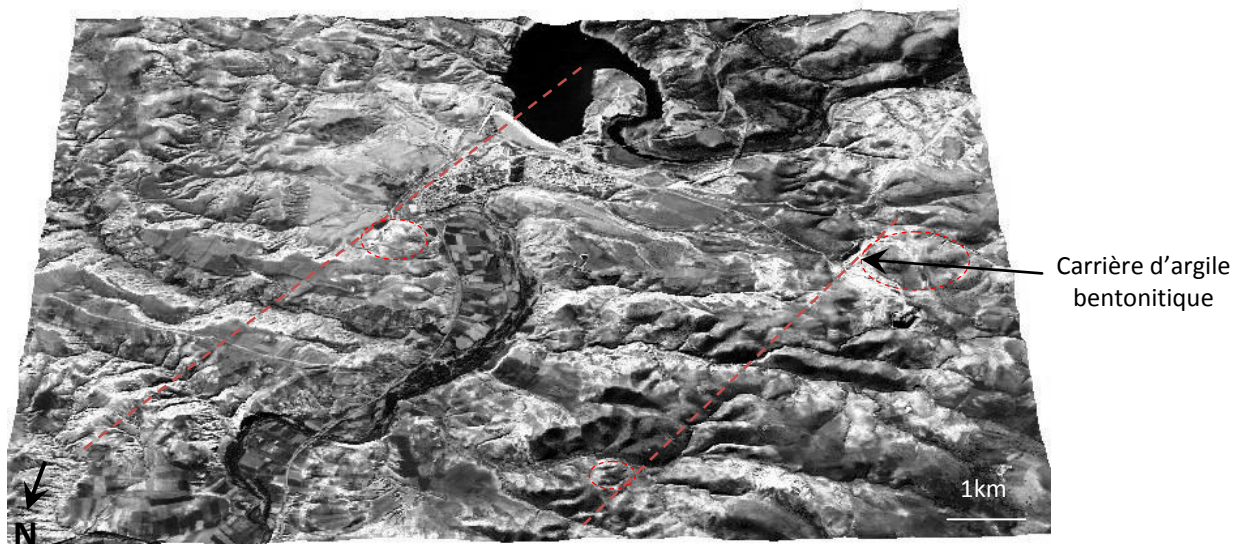


Figure V.7 : MNT du secteur d'étude.

CHAPIRE V : ETUDE MORPHOTECTONIQUE

Vue vers le sud montrant l'importance des directions NE-SW et NW-SE et la relation directe avec l'emplacement des dômes rhyolitiques en pointillés de couleur rouge.

(La carrière d'argile bentonitique se localise dans l'immédiat de la faille relevée)

Il n'est toujours pas aisé d'identifier systématiquement par l'observation directe c'est-à-dire par les travaux sur le terrain les failles présentes dans une région et notamment si la couverture sédimentaire est importante : cas du secteur de Hammam Boughrara. Dans ce cas il est indispensable de recourir à d'autres techniques.

Pour des raisons de coûts et de temps, il est devenu indispensable de réaliser une interprétation basée sur les outils dits « d'observations indirectes » telles que l'analyse des MNT combinée à l'imagerie satellitaire ou autre. Cette technique appliquée actuellement par l'ensemble de la communauté scientifique, permet de se focaliser sur des cibles bien précises du terrain (failles, défluviations, escarpement morphologique).

Le MNT, qui permet de reconstituer la morphologie du terrain permet également, par son analyse fine, de reprendre l'analyse des traces laissées par les failles sur le terrain.

Dans le cas des Failles non visibles, dites aussi « aveugles », cas du secteur de Hammam Boughrara, l'identification se fait en général, par des approches comparatives et par l'analyse de la morphologie indirecte que ces dernières imposent à la topographie (défluviations de rivières, déformations plicatives, étagement des terrasses alluviales etc.).

En faisant varier les positions d'un spot de lumière et en amplifiant l'altitude nous avons pu mettre en évidence chacune des morphologies en failles de la région. Cette technique nous a permis de localiser l'ensemble des failles qui ne seraient pas visibles sur d'autres plans : on a pu, ainsi, faire les observations suivantes pour le secteur de Hammam Boughrara :

- mettre en évidence deux familles de fractures conjuguées orientées généralement selon une direction atlasique (NE-SW) et une direction transverse à 90° (SE-NW).
 - mettre en évidence, un petit bassin s'apparentant à un bassin en « pull-apart » formé par l'extension crustale de 2 fractures dans le secteur d'étude.
- ne autre observation majeure faite au cours de cette analyse concerne la disposition de l'ensemble du réseau hydrographique. Comme nous le voyons sur les différentes planches, le réseau hydrographique est parfaitement imposé par les directions des failles et par la morphologie qu'elles ont générées (déviations du réseau hydrographique par

les structures positives telles que les failles ou les plis et capture de ce même réseau par les structures négatives telles que les plaines et les vallées).

- Autre remarque fort intéressante : L'alignement du volcanisme cénozoïque de la moyenne Tafna sur la carte géologique (Figure IV.8) donne une idée sur la direction et l'emplacement des accidents empruntés lors de sa mise en place. En effet ; cette étude basée essentiellement sur la télédétection à partir des images satellites, des photographies aériennes et des MNT de la région montrent clairement les linéaments de directions atlasique (N40) suivant l'alignement volcanique.

Autant d'éléments pour pouvoir parler d'accidents en relation directe avec la mise en place du volcanisme mio-plio-quaternaire de la moyenne Tafna.

CHAPIRE V : ETUDE MORPHOTECTONIQUE

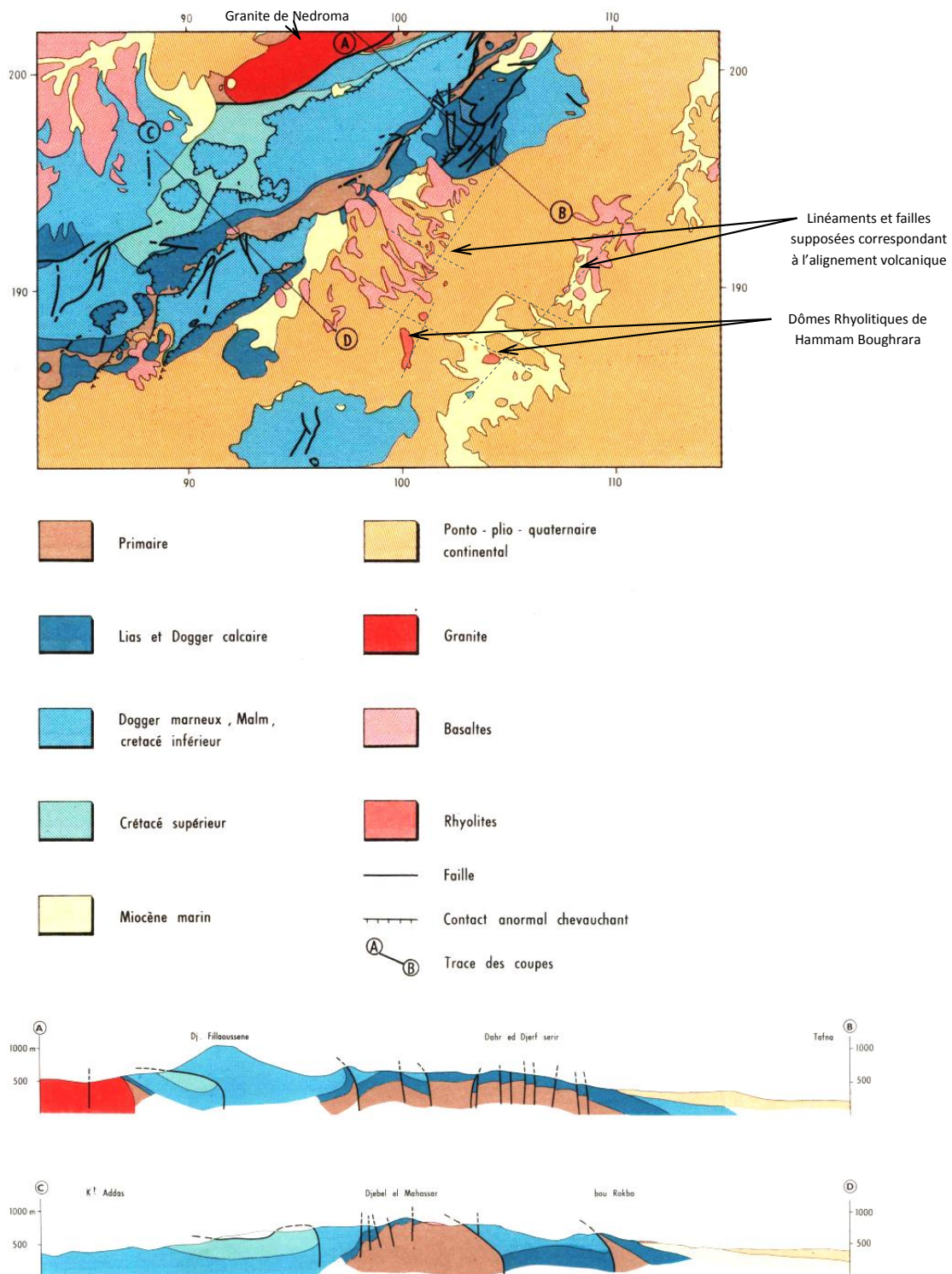


Figure V. 8 : schéma structural de la région d'étude sur le quel on a rajouté les failles supposées résultat de l'étude morphotectonique.

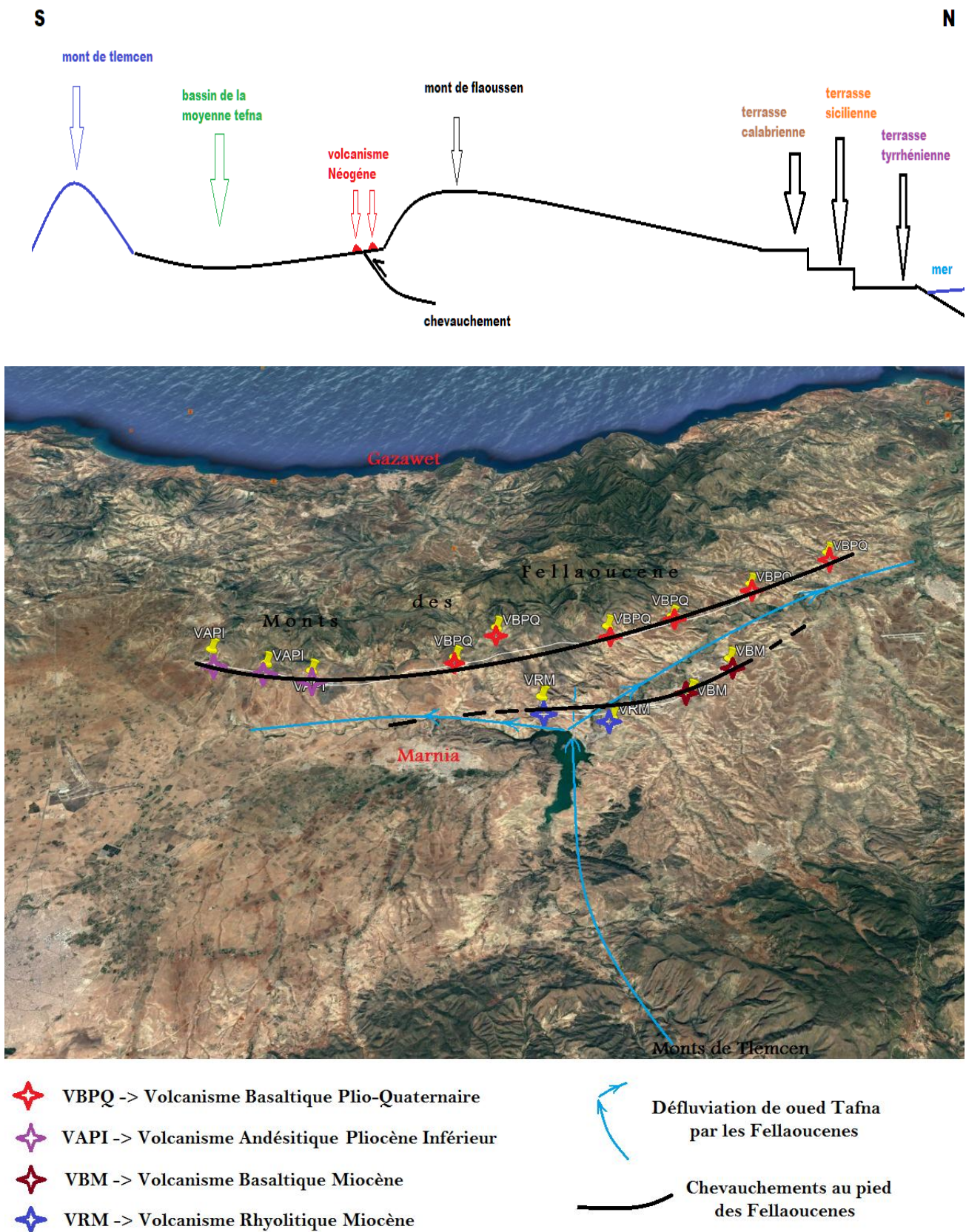


Figure V.9 : Répartition spatiale de volcanisme de moyenne tafna :

Noter l'alignement volcanique et la défluviation d'oued Tafna par les monts de flaouacéne

Résultats de l'analyse :

Les appareils volcaniques de la moyenne Tafna sont remarquablement alignés selon la direction atlasique (NE-SW).

Ces formations se placent au pied des monts des Traras (Fallaoussene) dessinant un linéament géologique. (Figure V.9)

On remarque entre autre la défluviation de l'oued tafna.

Ce dernier qui prend sa source vers les monts de Tlemcen change de direction au pied des Traras, ce qui indique l'existence d'une morphogénèse importante au niveau des Traras.

Cette défluviation est un indicateur d'une morphogénèse active.

De plus on peut noter que le contact anormal entre les Traras (socle Jurassique-Crétacé) et le miocène du Bassin de la moyenne Tafna confirme la morphogénèse importante des monts de Traras.

Tout ça nous permet de dire que l'alignement des appareils volcaniques observés se développe au niveau de failles de chevauchement.

V.3.Examen du secteur de la moyenne Tafna- Traras :

On pense que ce secteur est caractérisé par l'existence de retro- chevauchements conformément au modèle qu'on propose. Les arguments suivants prennent en charge notre vision :

- Les contacts anormaux (Figure IV.11) observés sur le front sud des Traras avec la plaine de Marnia (la moyenne Tafna) et notamment entre le Jurassique inférieur et le Trias (qui apparaît au sud des Traras) au contact du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire : ces retro-chevauchements sont en partie cartographiés sur les cartes géologiques de l'Algérie (Figure IV.9 et 11).
- La défluviation de l'oued Tafna par les monts des Traras et le développement du réseau hydrographique dans la direction nord, ce qui implique une subsidence de cette partie de la plaine de Marnia par les monts des Traras (Figure IV.10. Et 11).
- Les appareils volcaniques néogènes et quaternaires remarquablement alignés selon la direction des retro-chevauchements ENE-OSO (Figure IV.10 et 11).
- L'évidence d'une activité hydrothermale intense dans le secteur : en effet, en plus des sources thermales de la région (notamment : Hammam Boughrara et Hammam Echiguer) c'est dans ce secteur qu'existent les plus grands gisements d'argiles bentonitiques d'Afrique du Nord (Figure IV.9 et 12).

Nous nous sommes intéressés à cette bentonitisation (transformation en argile bentonitique) et nous avons obtenu les résultats suivants : (Boukhedimi 2010)

- Cette bentonitisation se développe dans des faciès rhyolitiques **de façon très localisée** (c'est-à-dire en plusieurs endroits (Figure IV.12) le long des failles.
- Cette bentonitisation est à relier au **recyclage d'eaux superficielles par la source thermique de Hammam Boughrara** : Les valeurs isotopiques en Deutérium (Figure.5.35) des dépôts rhyolitiques saints (non bentonitisés) sont de l'ordre de $\delta D = -85$ à -80% (eaux juvéniles) alors que les dépôts rhyolitiques en état de bentonitisation avancé (en cours de bentonitisation) présentent des valeurs de l'ordre de $\delta D = -60$ à -50% . Il s'agit de la signature isotopique de la source thermique actuelle de Hammam Boughrara (45°) ou $\delta D = -57$.

On note aussi que les Pyroclastites en état avancé de Bentonitisation présentent des valeurs en δD remarquablement comparable à la signature isotopique de la source thermique de Hammam Boughrara. En haut exemples de faciès rhyolitiques montrant des évidences de bentonitisation.(FigureV.13).

- Réflexion : puisque cette bentonitisation provoquée par la source thermique de Hammam Boughrara se trouve en plusieurs endroits => cela signifie que la source thermique de Hammam Boughrara a dû changer de position plusieurs fois, et justement le tarissement et réapparition des sources hydrothermales dans les zones de chevauchements sont des effets souvent typiques d'activité sismique.
- En plus la présence de séismites dans ce secteur notamment sous formes de fracturations hydrauliques et dykes d'injections de sables dans les terrasses alluviales Quaternaires et notamment du Pléistocène supérieur constitue une preuve de plus, de l'activité récente (au moins Pléistocène supérieur) des retro-chevauchements du secteur de la moyenne Tafna- Traras.

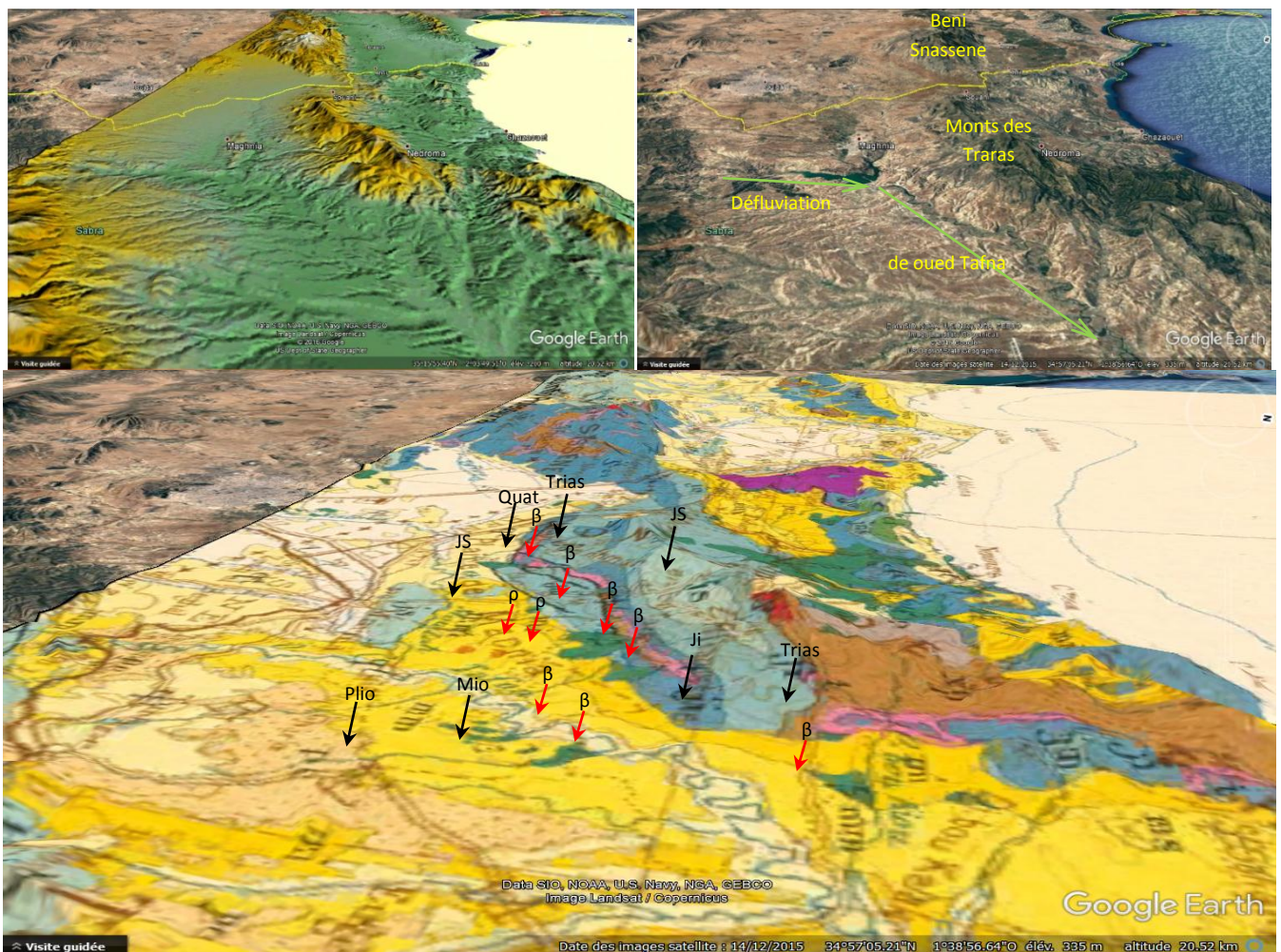
CHAPIRE V : ETUDE MORPHOTECTONIQUE



Figure V.10 : Défluviation d'oued tafna par les monts des traras.
(Boukhedimie, 2017)

CHAPIRE V : ETUDE MORPHOTECTONIQUE

Noter que le réseau hydrographique dans la plaine de Marnia se développe vers le nord, ce qui serait en faveur d'un chevauchement de la plaine (subsidence de cette partie de la plaine) par les monts des Traras. Des appareils volcaniques néogènes et quaternaires (triangles rouges) ainsi que des sources hydrothermales (triangles bleus) marquent ce secteur de chevauchement.



Ji :Jurassique inferieur \ JS : Jurassique supérieur \ Mio : Miocène \ Plio : Pliocène \ Quat : Quaternaire.
Volcanisme récent : ρ Rhyolites \ β Basalte.

Figure V.11 : Superposition de la carte géologique de l'algérie du nord au 1/200 000 sur le MNT de la région des traras-moyenne tafna.(Boukhedimie,2017)



Volcanisme récent : ρ Rhyolites \ β Basalte.

Figure V.12 : Positions des gisements d'argiles bentonitiques de hammam boughrara (moyenne tafna)

En flèches noires, la position de la station thermale de hammam boughrara est représentée en triangle bleu.

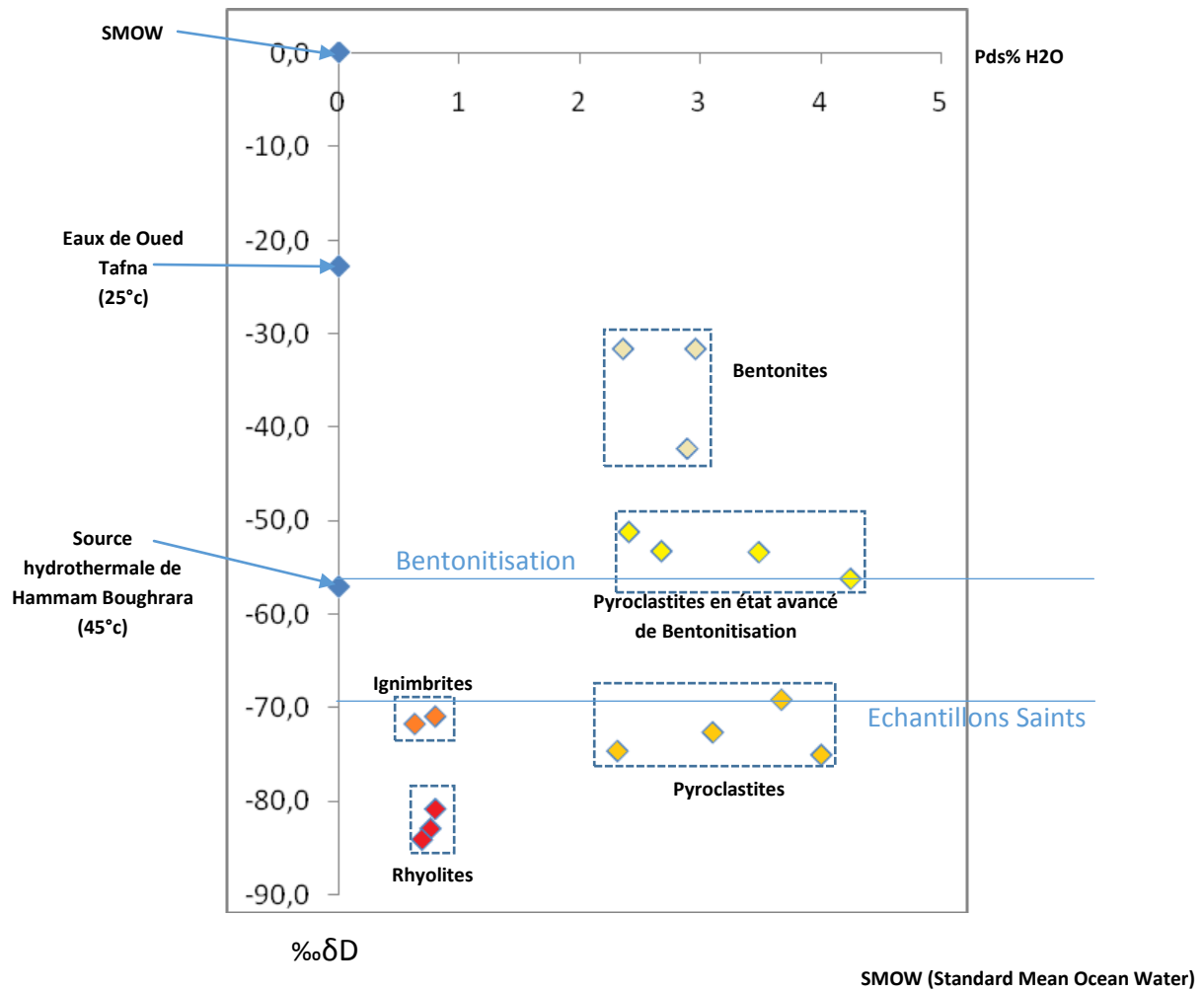


Figure V.13 : Variation en isotopes d'hydrogène ^2H et en eau dans les faciès rhyolitiques de Hammam Bouhrara. (Boukhedimi 2010).

CONCLUSION :

L'étude morphotectonique basée sur l'interprétation des images satellites, des photographies aériennes et des modèles numériques de terrains a permis de mettre en évidence des linéaments pouvant correspondre à des accidents expliquant la répartition géographique de ce volcanisme.

Les appareils volcaniques de région de Maghnia (la moyenne Tafna) sont remarquablement alignés dans la direction des accidents atlasiques NE-SW. Ils sont placés au pied de Traras dessinant un ligament géologique et Oued Tafna qui prend sa source dans les monts de Tlemcen change de direction au pied des Traras indiquant l'existence d'une morphogénèse importante au niveau des monts de Traras et défluviation d'Oued Tafna par les monts de Traras est un indicateur d'une morphogénèse active.

Tous cela permettent de dire que le linéament se trouve au niveau de faille de chevauchement

Cette étude a permis aussi de faire une observation forte intéressante en ce qui concerne la bentonitisation à Hammam Boughrara. En effet ; les carrières d'argile bentonitique se localisent dans l'immédiat des linéaments (failles) relevés.

CONCLUSIONS GENERALES

Les différentes études menées au cours de ce mémoire, ont permis d'arriver à des conclusions fortes intéressantes quant à l'origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara et de proposer un scénario pour cette bentonitisation.

- L'étude volcanologique a révélé que la dynamique volcanique à Hammam Boughrara a permis d'avoir une zonalité lithologique (des rhyolites massives, fluidales, perlitiques ou à caractères ignimbritiques, des tufs consolidés à structure pseudo-fluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques) favorisant, la bentonitisation dans certains endroits et que la bentonitisation se développe dans l'immédiat des centres d'émissions volcaniques (l'appareil volcanique de Ain Torba étant le plus grand il a généré l'essentiel des gisements de bentonites).
- L'étude pétrographique a montré que la bentonitisation est fonction de la lithologie des faciès rhyolitiques et qu'elle se développe essentiellement dans les faciès rhyolitiques meubles (tufs rhyolitiques fins).
- L'étude géochimique a démontrée des variations chimiques importantes dans les faciès bentonitisés notamment une diminution importante en silice SiO_2 et une augmentation considérable en alumine Al_2O_3 . L'autre remarque importante c'est que les faciès riches en eau sont les plus touchés par la bentonitisation.
- L'étude des rapports isotopiques d'hydrogène δD nous apprend que les terrains bentonitisés présentent des δD élevés par rapport aux terrains non bentonitisés. Cela peut être expliqué par un échange d'isotopes avec les eaux superficielles (ayant un δD supérieur aux eaux juvéniles) reprises par l'appareil volcanique dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation à Hammam Boughrara.
- L'étude morphotectonique : a montré que les appareils volcaniques de la région de maghnia (moyenne Tafna) sont remarquablement alignés, selon la direction atlasique NE_SW.

Ils se placent au pied des monts de Traras (djebel Fillaoucène) dessinent un alignement géologique Cet alignement des appareils volcaniques néogène se développent au niveau du chevauchement au sud du djebel Fillaoucène.

Défluviation du oued Tafna par le djebel Fillaoucène qui est typiquement néotectonique (déviation du au relief, plissement ou chevauchement actifs) .La présence d'une défluviation au niveau de hammam bouhrara indique la présence d'un chevauchement actif (faille inverse).

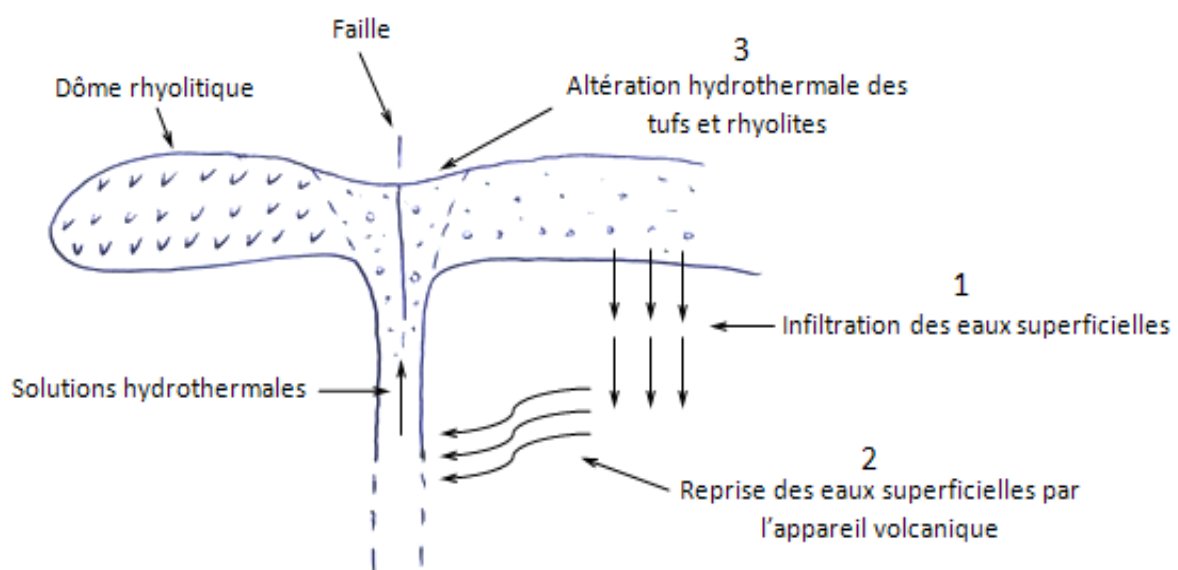
Tous ces résultats notamment le fait que les terrains bentonitisés se localisent dans l'immédiat des appareils volcaniques et qu'ils présentent des signatures isotopiques δD différentes des terrains rhyolitiques non bentonitisés ; nous mènent à la conclusion suivante :

- La dynamique du volcanisme rhyolitique de Hammam Bouhrara qui s'est poursuivie par un recyclage (reprise) des eaux superficielles a permis une différenciation chimique des faciès rhyolitiques, donnant ainsi naissance aux gisements d'argiles bentonitiques.

Cette bentonitisation est fonction, de facteurs géologiques, relatifs à la tectonique cassante, au faciès et à la dynamique du volcanisme. Ces facteurs contrôlent directement la localisation, la répartition (tonnages) et le degré de bentonitisation.

Le Modèle de bentonitisation à Hammam Bouhrara :

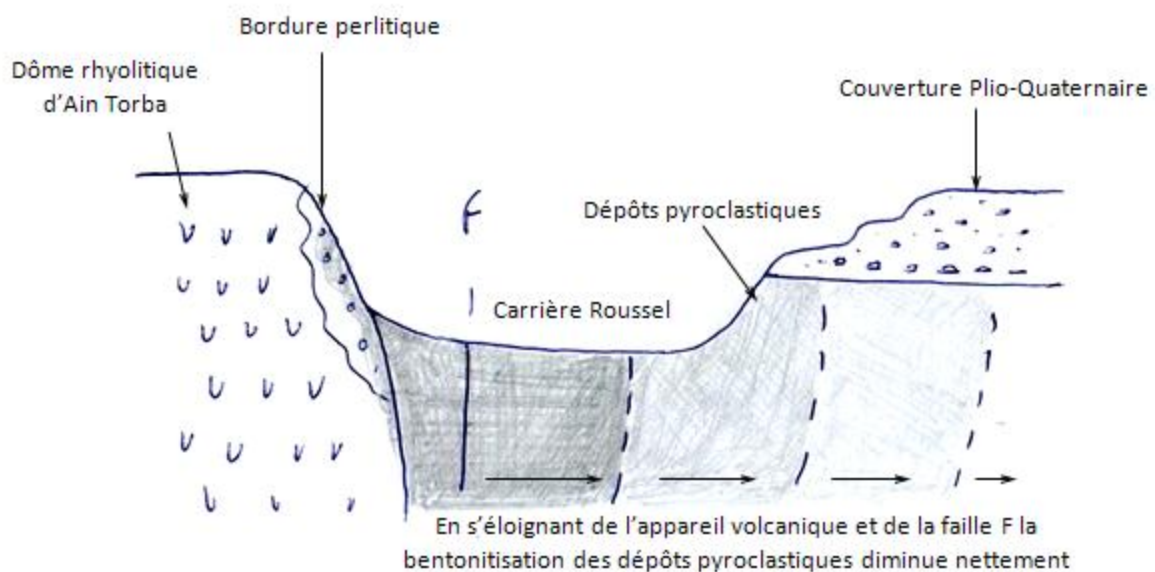
Toutes ces conclusions issues des différentes études menées au cours de ce mémoire nous mènent à proposer le scénario suivant quant à l'origine du processus de bentonitisation à Hammam Bouhrara (schémas ci-dessous) :



Les failles, de direction NO-SE et NNE-SSO, contrôlent l'emplacement des gisements de bentonites après avoir joué en drains pour la remontée des solutions hydrothermales issues des eaux superficielles (ayant un δD différent) reprise par l'appareil volcanique.

Le long des failles, ces solutions altèrent intensément les pyroclastites et imposent leur signature isotopique δD . Loin de celles-ci (des failles), la bentonitisation est atténuée, voire même, absente.

Ce scénario explique parfaitement la structure actuelle à Hammam Boughrara, bien visible dans le dôme d'Ain Torba schéma ci-dessous :



Dans le gisement de Roussel, seul gisement encore en activité, toutes les pyroclastites à l'aplomb de la faille NO-SE (N40) et proche du cratère volcanique de Ain Torba, sont bentonitisées avec une intensification du phénomène dans les dépôts les plus fins. Ces derniers sont en effet très riches en verre volcanique et le faciès cendreux, peu consolidé, contribue à donner au milieu une porosité et une perméabilité élevées permettant ainsi à l'action des solutions hydrothermales d'être plus intense.

Le dôme rhyolitique d'Ain Torba montre, aussi, une bordure figée le long de laquelle la rhyolite devient perlitique. Cette dernière riche en verre volcanique, devenue poreuse par sa texture, s'altère plus intensément et fournit, elle aussi, de l'argile bentonitique.

La bentonitisation se développe, alors, depuis le cratère volcanique (centre d'émission) et s'intensifie le long de la faille F (N40). En s'éloignant de ces derniers, la bentonitisation diminue jusqu'à devenir absente.

La bentonisation qui se développe de façon localisé dans les tufs rhyolitiques fins de la région et au niveau des zones de chevauchement du djebel Fillaoucène témoigne du dynamisme de tectonique actifs de la région.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKEB, R. et MEZOUAR, A. 2000** ; Contribution a l'étude des bentonites de Hammam Boughrara (Maghnia, Tlemcen). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (Minière). IST/USTHB.89p.
- Anderson, T. FLETT, J.S.,** (1903) : Report on the eruption of the Soufriere inst. Vincent in 1902 and one has visit to mountain peeled in Martinique. Part I. Roy. Soc. (London) Ptul.Trans,200 A, 353-553.
- AOUNE-SEGHIR, F et BACHOUCHE, S .2001** ; Contribution a l'étude gitologique du gisement de bentonite des carrières Roussel, RM , bab et dar – EMBAREK (hammam bou Ghrara , Maghnia , Telemcen). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (Minière). IST/USTHB.83p.
- Allègre, C. 2005** ; Géologie Isotopique. Belin. P496.
- ARSLAN M., KADIÇR S., ABDIÇOGÆLU E., AND KOLAYLI H. 2005**; Origin and formation of kaolin minerals in saprolite of Tertiary alkaline volcanic rocks, Eastern Pontides, NE Turkey. Clay Minerals (2006) 41, 597-617.
- BACON, C. R.** 1981 «Late cenozoïc rhyolite from the Kern Plateau, Sierra Nevada», in Amer. Journ. of Science, vol. CCLXXXI, pp. 1-34, Newhaven (Conn.),
- BELAIDI-ZINET, S et BENMERZOUG, F .1994** ; Les laves mio-pliocènes de la rive gauche de la moyenne Tafna (Oranie) : étude volcanologique et pétrologique. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (pétrologie structurologie). IST/USTHB.82p.
- BENDOUKHA, R. 1987** ; Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quadernaire de la basse Tafna (Oranie occidentale). Thèse de magister (pétrologie structurologie). IST/USTHB.159p.
- BOUKHEDIMI, M A., 2017.** La néotectonique du nord-ouest algérien et ses conséquences sur la répartition spatiale de la sismicité et du volcanisme et l'hydrothermalisme récents de l'Oranie. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. Theses.usthb.dz/document/TH10/2017-D/S.T.161p.
- BOUKHEDIMI MA, LOUNI-HACINI A, BOUHADAD Y, RITZ JF, MACHANE D, BENHAMOUCHE A, BOURENANE H (2016)** « Evidence of seismites in coastal Quaternary deposits of western Oranie (northwestern Algeria) » J Seismol DOI 10.1007/s10950-016-9616-2
- BOUKHEDIMI, M A., 2010.** Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara (Maghnia; Algérie nord occidentale). Mémoire de Magister en Géologie. Université d'Oran 101.

BOUKHEDIMI, M.A 2003 ; Etude pétrographique et volcanologique des dômes rhyolitiques de Hammam Boughrara (région de Marnia – Oranie). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (pétrologie-structurologie). IST/USTHB.120p.

CABALLERO, E. JIMEÂNEZ C. DE CISNEROS, F. J. HUERTAS ,F. HUERTAS , A. POZZUOLI AND J .LINARES. 2005; Bentonites from Cabo de Gata, Almería, Spain: a mineralogical and geochemical overview. *Clay Minerals* (2005) 40, 463-480

CARRON, J.-P. & LE GUEN DE KERNEIZON, M. 1982, «Les Rhyolites à fayalite et ferroaugite de Sainte-Lucie (Petites Antilles)», in *Bull. Minéral.*, vol. CV, pp. 203-211, Paris,.

DDANI, M et al; 2005; CLAY MINERALOGY AND CHEMICAL COMPOSITION OF BENTONITES FROM THE GOUROUGOU VOLCANIC MASSIF (NORTHEAST MOROCCO) *Clays and Clay Minerals*, Vol. 53, No. 3, 249-266.

DOUGLAS K. MCCARTY I AND ROBERT C. REYNOLDS, JR. 2001. THREE-DIMENSIONAL CRYSTAL STRUCTURES OF ILLITE-SMECTITE MINERALS IN PALEOZOIC K-BENTONITES FROM THE APPALACHIAN BASIN. *Clays and Clay Minerals*. Vol. 49, No. 1, 24-35. 2001.

FICHER,R.,V(1966) : Rocks composed of volcanic fragment. *Earth Sci. Rev*, VI. 287-298.

GENTIL, L., (1903) : Etude géologique du bassin de la Tafna. Pub.Serv. carte géologique. Algérie (2), N°4, 425p.

GRAINE, TAZEROUT, K., (1997) : Les dépôts pyriteux et les minéralisation Zn, Pb(cu) du massif volcano-plutonique Miocène de oued-Amezour, environnement volcanologique, altération hydrothermales, typologie des minéralisations. Thèse Magister. IST. USTHB / Alger, 219p.

Graine, K., (2000) : Les argiles bentonitiques de la région de Hammam Boughrara présenté au 5ème J.S.T IST/USTHB. pp. 40-41.

GUARDIA, P. 1975; Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Thèse de doctorat en géologie. Université de Nice (France) .289p.

KELFOUN, KARIM, Evaluation des menaces en domaine volcanique actif à l'aide de la modélisation numérique. Application au volcan Merapi (Java, Indonésie), DEA Report, Univ. Blaise Pascal Clermont-Ferrand II, 1994.

KELFOUN, K., A. GOURGAUD, A model of growth and destruction of lava domes: application to Merapi volcano, Indonesia. In prep. for *J. Geophys. Res.*.

KIRPITCH, L et Boudefar, K., (1988-1989) : La prospection, des substances utiles non métallique pour l'industrie dans le Nord- Ouest Algérien réalisé en 1988- 1989, ORGM, p.67.

LARIBI, S. FL EUREAU J.-M,* AND N. KBIR-ARIGUIB. 2007; Filtration and standardized properties of Jebel Om El Khecheb clay (Tunisia) and Wyoming bentonite. Clay Minerals, (2007) 42, 319–328

LOUNI-HACINI A. (2002). Transition du magmatisme calco-alcalin au magmatisme alcalin au Néogène en Oranie (Algérie nord occidentale). Thèse Doct. Etat, USTHB Alger, 201 p.

LOUNI-HACINI A., BELLON H., MAURY R.C., MEGARTSI M., COULON C., SEMROUD B., COTTEN J. ET COUTELLE A. (1995). Datation ^{40}K - ^{40}Ar de la transition du volcanisme alcalin en Oranie au Miocène supérieur. C.R.Acad.Sci., Paris, t.321, série IIA, pp.975-982.

LUCAS, J. 1962 «La Transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Études sur les argiles du Trias», in Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., no 23,

MEGARTSI M. (1982). Les roches volcaniques d'âge Moi-Pliocène de la région de Mohammadia (Oranie). Données pétrographiques préliminaires. Géosciences, Bull. Ann. Sci. Terre, 2 (1), pp.1-12.

MEGARTSI M. (1985). Le volcanisme mio-plio-quaternaire de l'Oranie nord occidentale (Algérie). Thèse Doct. d'Etat, USTHB Alger, 296 p.

PUSPOKI , Z. 2008; Geochemical Records Of A Bentonitic Acid-Tuff Succession Related To A Transgressive Systems Tract _ Indication Of Changes In The Volcanic Sedimentation Rate, Clays and Clay Minerals, Vol. 56, No. 1, 23–38, 2008.

ROUSSET D. 2002; Etude de la fraction argileuse de séquences sédimentaires de la Meuse et du Gard. Reconstitution de l'histoire diagénétique et des caractéristiques physico-chimiques des cibles. Aspects minéralogiques, géochimiques et isotopiques. THESE de Doctorat de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg-Mention Géochimie.

SADRAN, G .1958 ; Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du tell oranais. Publications du service de la carte géologique de l'Algérie, Bulletin N°18.533p.

SAIDANI, S., (JUIN 2000) : Rapport sur projet carte qualité sur les bentonites de Maghnia, carrière Roussel, ENOF, 34p.

TAZIEFF, H. 1982 «An exceptional eruption: Mt Niragongo, Jan. 10th 1977», in Bull.

Volcanol., vol. XL, pp. 189-200, 1977; «Dômes de magma et dômes de lave», in C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. II, vol. CCXCIV, pp. 151-153

TOROSSIAN, A.,(1978) : Rapport sur les travaux de recherche et de prospection effectués sur le gisement d'argile bentonitiques de Hammam Boughrara, ORGM, 3Vol, 75p.

VINCENT, P. M ., (1963) : Le volcanisme ignimbrétique du Tibesti occidentale (Sahara tchadien). Essai d'interprétation dynamique. Bull. Volcanol, 26 , 259- 272.

YOUSSEF, M. Gabor, M., (1991-1993) : Rapport sur les travaux de réévaluation des bentonites-de site Dar - Embarek du gisement de Hammam Boughrara (Tiemcen), Tome II, ORGM» 75p.

YILDIZ, A. AND KUSCU, M. 2007; Mineralogy, chemistry and physical properties of bentonites from Basoren, Kutahya, WAnatolia, Turkey. Clay Minerals, (2007) 42, 399–414

WILDI, W., (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie): structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys., Paris, 24: 201-297.

ZAREIAN, Z (1971) : Rapport sur les résultats des travaux de recherches et de prospections géologiques exécutées sur le gisement d'argiles bentonitiques de Hammam Boughrara en 1971, ORGM, 99p.