

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 et Géologiques  
Département des Sciences Géologiques



UMMTO

## MEMOIRE

Présentée pour l'obtention du grade de Master

En Sciences de la Terre

Spécialité : Ressources Minérales, géomatériaux et environnement

Par

**M<sup>R</sup> BOUNOUAR ZIYAD & M<sup>ELLE</sup> BOUZID LISA**

*Thème*

**CARTOGRAPHIE PETROGRAPHIQUE DES TERRAINS  
VOLCANOGENES RHYOLITQUES DE HAMMAM BOUGHRARA ET  
DES GISEMENTS DE BENTONITES ASSOCIES**

Soutenue publiquement, le 10/06/2024, devant le jury composé de :

**M. LOUNIS R** Maitre-assistant A à l'UMMTO.....Président

**M. BOUKHEDIMI M<sup>ed</sup>A** Maitre de conférences B à l'UMMTO.....Encadreur

**Mme DENDANE M A** Maitre-assistant à l'UMMTO .....Examinatrice

**Mme GACI M** Maitre-assistant B à l'UMMTO .....Examinatrice

Année universitaire 2023/2024

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la santé pour pouvoir poursuivre ce travail.

Nous tenons à exprimer tous nos reconnaissances à notre encadreur Mr. BOUKHEDIMI MOHAMED AMINE. On le remercie de nous avoir proposé ce sujet, encadré, orienté, aidé et conseillé.

Nous tenons aussi à remercier les membres de jury ayant acceptés d'évaluer ce travail, en l'occurrence Mr LOUNIS R président de jury, et Mme DENDANE M A et Melle GACI N examinatrices.

On ne saurait oublier toute les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail :

- Mme. Abderrahmani ingénieure de labo au département des sciences géologiques de l'UMMTO pour son inestimable aide pour la réalisation des lames minces.

- Laboratoire nationale de l'habitat et de la construction (LNHC) de TIZI OUZOU pour avoir accepté de nous réaliser quelques analyses sur nos échantillons.

- Mr. DEKHLI KHALED, ingénieur géologue à l'ENOF pour son aide, conseils et soutien.

- Mr. BEN ABDERRAHMANE NADIR, topographe à l'unité ENOF Meghnia pour son aide durant l'échantillonnage.

- Mr. OUBEKHTI NASSER, chimiste au sein de laboratoire de traitement à l'unité ENOF Meghnia.

- Ainsi que toute le personnel de l'unité ENOF unité de Meghnia et le siège social de l'ENOF à Alger.

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail :

A ma personne qui n'a jamais abandonné, qui a su se relever peu importe la chute et qui n'a jamais renoncer à un défi.

A mon cher père pour tant d'affectation et de souffrances endurées.

L'être le plus chère au monde ; ma mère qui m'a accompagnée durant mes années d'étude que Dieu la bénisse.

A la mémoire de mon grand-père que Dieu préserve son âme dans son vaste paradis.

A ma grand-mère qui a été toujours à mes côtés que Dieu la garde pour nous.

Mon cher frère Merouane.

Mes chers oncles Samir et Amar.

Mon amie Hiba.

*Lisa*

## *Dédicace*

Je dédie ce travail :

A mes très chers Parents qui ont cru en moi, qui ont tant sacrifié pour que je ne ressentente jamais la sensation du besoin.

A Toute ma précieuse famille.

*Ziyad*

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>1</b>
<b>Table des figures</b>	<b>4</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>7</b>
<b>1 Introduction générale</b>	<b>8</b>
1.1 But et objectif de travail . . . . .	8
1.2 Moyens de mise en œuvre . . . . .	9
1.3 Généralités sur les bentonites . . . . .	9
1.3.1 Définition . . . . .	9
1.3.2 Origine . . . . .	11
1.3.3 Classification de la bentonite . . . . .	11
1.3.4 L'utilisation de la bentonite . . . . .	11
1.4 Cadre géographique . . . . .	12
1.4.1 Situation géographique de Hammam Boughrara . . . . .	12
1.4.1.1 Climat . . . . .	12
1.4.1.2 Topographie . . . . .	13
1.4.1.3 Hydrographie . . . . .	13
1.4.2 Situation géographique du bassin de la Tafna . . . . .	13
1.4.3 Géographie de bassin de la moyenne Tafna . . . . .	14
<b>2 Géologie régionale et locale</b>	<b>15</b>
2.1 Introduction . . . . .	15
2.2 GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE (ALGERIE NORD OCCIDENTALE) . . . . .	16
2.2.1 Cadre géologique et structural de l'Oranie . . . . .	16
2.2.1.1 La Litostratigraphie . . . . .	18
2.2.1.2 Le volcanisme . . . . .	20
2.2.2 Cadre géologique du secteur d'étude . . . . .	21
2.2.2.1 La Litostratigraphie du secteur . . . . .	22
2.2.2.2 Aperçu géologique sur la zone d'étude . . . . .	25
<b>3 études volcanologiques</b>	<b>27</b>
3.1 Introduction . . . . .	27
3.2 Morphologie et Structure . . . . .	27
3.2.1 Structure des dômes rhyolitiques de Hammam boughrara . . . . .	29
3.3 Histoire du volcanisme . . . . .	31
3.4 Conclusion . . . . .	36

<b>4</b>	<b>Étude pétrographique</b>	<b>37</b>
4.1	Introduction . . . . .	37
4.2	Les rhyolites compactes . . . . .	37
4.2.1	Description macroscopique . . . . .	37
4.2.2	Description microscopique . . . . .	38
4.3	Les pyroclastites et tufs pyroclastiques . . . . .	39
4.3.1	Description macroscopique . . . . .	41
4.3.2	Description microscopique . . . . .	41
4.4	Les ignimbrites (tufs consolidés massifs) . . . . .	42
4.4.1	Description macroscopique . . . . .	42
4.5	La perlite . . . . .	43
4.5.1	Description macroscopique . . . . .	43
4.5.2	Description microscopique . . . . .	43
4.6	Les basaltes . . . . .	46
4.6.1	Description macroscopique . . . . .	46
4.6.2	Description microscopique . . . . .	47
4.7	L'andésite . . . . .	49
4.7.1	Description macroscopique . . . . .	49
4.7.2	Description microscopique . . . . .	50
4.8	Conclusion . . . . .	51
<b>5</b>	<b>minéralogie et géochimie des rhyolite</b>	<b>52</b>
5.1	Introduction . . . . .	52
5.2	Minéralogie . . . . .	52
5.2.1	Détermination de la température de la mise en place des dômes rhyolitiques . . . . .	52
5.3	Etude comparative entre les donnée de Mrguartsı ; Louni et Guardia, Boukhedimi : . . . . .	55
5.4	Etude géochimique des faciès bentonitisés . . . . .	56
5.4.1	Les éléments majeurs . . . . .	56
5.4.1.1	Le diagramme $Al_2O_3/SiO_2$ . . . . .	56
5.4.1.2	Le diagramme $MgO/CaO$ . . . . .	57
5.5	Conclusion . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Étude Néotectonique</b>	<b>61</b>
6.1	Introduction . . . . .	61
6.2	Interprétation du modèle numérique de terrain (MNT) . . . . .	61
6.2.1	Contexte général de l'interprétation . . . . .	61
6.2.2	Cartographie de volcanisme de secteur d'étude : . . . . .	61
6.3	les etapes de la réalisation de la carte Néotectonique de secteur d'etude : . . . . .	64
6.3.1	Interprétation . . . . .	65
6.4	Analyse granulométrique . . . . .	67
6.4.1	- Analyse microfossile : nous avons retrouvé les microfossiles suivants : . . . . .	67
6.5	Analyse des déformations . . . . .	70
6.5.1	Typologie : . . . . .	72
6.5.2	Discussion . . . . .	73
6.6	Conclusion . . . . .	76
<b>7</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>77</b>

*TABLE DES MATIÈRES*

3

**Bibliographie**

**80**

# Table des figures

1.1	Image satellite montre les maille d'échantillonnage dans les deux carrières de bentonite a hammam boughrara ( google earth; échelle 1/500). . . . .	10
1.2	Situation géographique Hammam .Boughrara (échelle 1/1000 ). . . . .	12
1.3	Courbe de température (a) et le diagramme climatique (b) de Hammam Boughrara Source : climate-data.org . . . . .	13
1.4	Bassins versants Algériens ( wikipédia) . . . . .	14
2.1	Domaines géologique de l'Algérie (ASGA 2020) . . . . .	16
2.2	Carte schématique structurale de l'ouest de l'Algérie, (d'après Wildi 1983, modifiée par A. Boutaleb 2003, sans échelle . . . . .	18
2.3	Esquisse géographique Bassin Miocène synchro-nappes (d'après Guardia 1975) . .	19
2.4	contexte géologique de l'Oranie nord occidental (in bendoukha 2008) . . . . .	21
2.5	Localisation et âge du volcanisme néogène d'Oranie (in Medini, 2010) . . . . .	22
2.6	Carte géologique de la région de MAGHNIA (source : Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000. 2eme Edition, 1952), cité par. KOULOUGHELI, 2007 . . . . .	23
2.7	succession lithologique de Hammam Boughrara . . . . .	24
2.8	Photo qui montre deux filons basaltique dans la carrière de Roussel (Ain Torba). . .	25
3.1	MNT du secteur montrant la structure du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara (boukhdimi 2008) . . . . .	28
3.2	modèle numérique de terrain représentant le dome rhyolitique de hamma boughrara (Réalisée par surface 7.0) . . . . .	28
3.3	vue panoramique (N-S) de piton Rhyolitique de hammam boughrara : (1) : Vue panoramique (NS) du piton rhyolitique de Hammam Boughrara; (2) : Schémas représentatif du piton rhyolitique; (A) : Tufs pyroclastiques consolidés à structure pseudo-fluidale (ignimbrites); (B) : Bordure perlitique; (C) : Rhyolite à amygdales blanches à grenat; (d) : Rhyolite massive; (e) : Prismation concentrique; (f) : Oued Tafna;(G) : Piste. . . . .	29
3.4	Tufs consolidés a structure pseudo-fluidale situé à la base du dôme rhyolitique . . .	30
3.5	Approche schématique de dôme rhyolitique de Hammam Boughrara . . . . .	30
3.6	Scénario de mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara . . . . .	32
3.7	Approche schématique d'une éruption pyroclastique conduisant à l'apparition d'un cratère d'explosion volcanique du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara . . . .	33
3.8	Les foraminifères (globigérines) sont présents dans les tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara, comme illustré dans la photo jointe. . . . .	33
3.9	Carte géologique de la moyenne tafna (Guardia modifie; échelle :1/25000°) . . . .	34
3.10	carte géologique de hammam boughrara ( échelle : 1/24 200) . . . . .	35
4.1	Dôme rhyolitique de hammam boughrara . . . . .	37

4.2	Aperçu macroscopique d'une rhyolite compacte de Hammam Boughrara. . . . .	38
4.3	Microphotographie d'un plagioclase associée à un quartz (LPA. Gx4) . . . . .	39
4.4	Microphotographie d'une Rhyolite compacte de Hammam Boughrara (LPA. Gx4) .	40
4.5	Positionnement des tufs pyroclastiques dans le dôme rhyolitique de Hammam Boughrara . . . . .	40
4.6	Microphotographie des tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara (LPA. Gx4) . .	42
4.7	Aperçu macroscopique d'une ignimbrite de Hammam Boughrara. . . . .	43
4.8	Microphotographie d'échantillon d'Ignimbrite de Hammam Boughrara (L.P.A. Gx4)	44
4.9	Aperçu macroscopique de deux perlites prise d'Ain Torba . . . . .	45
4.10	Microphotographie d'une rhyolite à texture fluidale d'Ain Torba (LPA. Gx4) . . . .	45
4.11	Microphotographie montrant une rhyolite à texture perlitique d'Ain Torba (L.P.A. Gx4) . . . . .	46
4.12	Aperçu macroscopique d'un basalte d'Ali ben zemran . . . . .	47
4.13	Microphotographie montrant un Orthopyroxène dans un échantillon de Basalte (L.P.A Gx4) . . . . .	48
4.14	: Microphotographie montrant Clynopyroxène dans un Basalte (L.P.A. Gx4) . . . .	48
4.15	Microphotographie montrant une texture microlitique à phénocristaux de : plg, opx, cpx, olivine (L.P.A. Gx4) . . . . .	49
4.16	Aperçu macroscopique d'une andésite de boukanoun . . . . .	50
4.17	vue microscopique d'une andésite de Boukanoun (texture microlitique) (L.P.A. Gx4)	51
5.1	Position des feldspaths dans le diagramme Orthose, Albite et Anorthite. . . . .	53
5.2	Calculs des isothermes dans le système Albite-Anorthite-Orthose des feldspaths de Hammam Boughrara . . . . .	54
5.3	classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Guidotti(1984)	54
5.4	classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Fe/(Fe/Mg) Vs AI IV-2 de Deer et al (1966) . . . . .	55
5.5	Place des laves de Hammam Boughrara dans le diagramme de Harker. Les grandes séries volcaniques et leur position sur un diagramme alcalins-silice(Diagramme de harker). . . . .	57
5.6	Le diagramme AFM des séries volcaniques . . . . .	58
5.7	Diagramme SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisésde Hammam Boughrara. . . . .	59
5.8	Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisésde Hammam Boughrara. . . . .	59
6.1	photos sous forme MNT moyenne Tafna . . . . .	62
6.2	carte linéamentaire du secteur d'étude (Hammam Boughrara) . . . . .	62
6.3	Rosace de direction des linéaments de Hammam Boughrara . . . . .	63
6.4	Centres d'émissions volcaniques da la Moyenne Tafna et Souahlia . . . . .	63
6.5	calage de l'MNT sur la wilaya de tlemcen . . . . .	64
6.6	carte qui montre la dégéталisation des faille active cartographie . . . . .	65
6.7	carte montre la projection de la sèismicité de la région d'étude . . . . .	65
6.8	une carte qui montre la digitalisation de la géologie de secteur d'étude . . . . .	66
6.9	Il s'agit de Globorotalia margaritae typique du miocene superieur –pliocene inferieur a moyen des terrasses marines plio-qutarnaires de la Tafna . . . . .	67
6.10	analyse granulométrique des dépôt sables fin à grossier . . . . .	68
6.12	courbe granulométrique . . . . .	68
6.11	les courbes granulométriques . . . . .	69

6.13	analyse granulométrique des dépôt sables fin à grossier . . . . .	69
6.14	les courbes granulométrique des différent échantillon . . . . .	70
6.15	Les dépôts analysés par granulométrie sont essentiellement des sables fin à grossier milieu idéal au développement des déformations thixotropiques notamment des seismites. . . . .	70
6.16	Dyke volcano-sédimentaire . . . . .	71
6.17	Déformation plastique des sables fins,observée dans les dépôts de terrasse calabrienne . . . . .	73
6.18	Divers déformations induites par un séisme (évidence de la liquéfaction, Coins thixotropique Sismoslumps, Cuvettes thixotropique et Structures en oreiller) observées dans les dépôts des dunes récentes (Holocène ) . . . . .	73
6.19	Cuvettes thixotropiques des dépôts de terrasses Tyrrhéniennes. . . . .	74
6.20	Coins thixotropique (Structures en coins) développés dans les dépôts du Tyrrhénien. . . . .	74
6.21	Cône de volcans de sable formé rattaché à un dyke (cheminée) nourricier de même nature, observé dans une terrasse Tyrrhénienne . . . . .	75
6.22	Failles de triage (classement) développée dans les dépôts du Tyrrhénien . . . . .	75
7.1	schémas montrant l'origine du processus de bentonitisation a Hammam Boughrara	78
7.2	Approche schématique de la structure actuelle de dôme de Ain Tourba . . . . .	78

# Liste des tableaux

1.1	Compositions chimiques représentatives de montmorillonite pure et de Bentonites de différentes localités (% Poids).(Document bental 2002) . . . . .	10
5.1	résultats des analyses chimiques d'oxydes des différents échantillons de Dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara ( Megartsi Louni et Guardia ). . . . .	55
5.2	analyses des résultats chimiques d'oxydes des différents échantillons de Dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara ( Boukhedimi2008) . . . . .	56
5.3	Analyses chimiques des éléments majeurs ( SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	58
5.4	Analyses chimiques des éléments majeurs ( MgO/CaO) . . . . .	59

# Chapitre 1

## Introduction générale

Dans le cadre de la préparation d'un mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master spécialité Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnements RMGE. Nous avons effectué une série de travaux détaillés pour l'étude pétro-structurale et cartographique des dépôts volcano-sédimentaires, ainsi que l'analyse de contexte de bentonisation dans la région de Hammam Bouhrara, Meghnia (Tlemcen).

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

En effet, le gisement de bentonite de Hammam Bouhrara est considéré comme le plus grand gisement de bentonite en Afrique, avec des réserves géologiques estimé à 14077770T dont 999895T des réserves sont exploitables [plan d'exploitation, ENOF. Oct 2023], nous avons ainsi entrepris :

- Une étude pétrographique, granulométrique et sédimentologique de site d'étude.
- Une étude structurale et cartographique.
- Analyse de phénomène de bentonisation de site étudié.

Ce travail est organisé en Sept (7) chapitres :

- Le premier chapitre consiste à l'introduction générale
- Le deuxième chapitre est consacré pour la présentation de la géologie régionale et locale de site étudié.
- Le troisième chapitre sera consacré pour l'étude volcanologie.
- Le quatrième chapitre sera consacré pour réaliser l'étude pétrographique.
- Le cinquième chapitre est consacré pour l'étude géochimique .
- Le Sixième chapitre concerne l'étude de la néotectonique.
- Le dernier chapitre concerne la Conclusion générale.

### 1.1 But et objectif de travail

• Etablir une étude détaillée sur 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'analyser la tectonique cassante de site d'étude et essayer d'établir sa relation avec le phénomène de bentonitisation.

• De mettre en évidence les principaux phénomènes géochimiques (éléments majeurs, traces et Isotopes) affectant les terrains bentonitisés.

- Le but général est principalement de retrouver la relation entre la bentonitisation et la tectonique dans la région de Hammam Boughrara ainsi que cartographier les terrains volcaniques rhyolitiques ainsi que les gisements de bentonites associés.

- Le but de ce travail étant de faire des études pétrographiques et cartographiques sur les différents facies rhyolitiques notamment les facies bentonitisés afin d'essayer de produire une carte pétrographique détaillées.

## 1.2 Moyens de mise en œuvre

Pour aboutir à la réalisation de ce travail nous avons suivi plusieurs étapes :

- Une recherche bibliographique approfondie sur l'ensemble des travaux réalisés sur la région.
- Des sorties de terrains ont été effectuées afin d'échantillonner (Fig.1.1) et prendre des photos de terrains intéressantes pour ce travail.
- une étude pétrographique basée sur la description macroscopique des différentes facies rencontrées sur terrain ainsi qu'une étude microscopique par la confection et l'analyse des lames minces au niveau de laboratoire de géologie de département des sciences géologiques de l'UMMTO, ainsi que l'analyse granulométrique et sedimentométrique des échantillons de tufs pyroclastiques et dépôts de couverture pleoquaternaire au sein de Laboratoire nationale de l'habitat et de la construction (LNHC) de TIZI OUZOU.
- Une étude morphotectonique et cartographique 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 géochimique basée sur les résultats des éléments majeurs, traces et les isotopes de l'hydrogène.

## 1.3 Généralités sur les bentonites

### 1.3.1 Définition

Le terme BENTONITE a été proposé en 1898 pour désigner une argile au toucher savonneux appartenant à la formation "Benton shale" et affleurant dans la région de Rock River (Wyoming, Etats Unies) où la première exploitation de bentonite aurait été découverte en 1890. Cette formation tire son nom de Fort-Benton situé à 650 km environ au Nord de Rock River.

La bentonite est une argile douée de propriétés de surface (affinité pour l'eau, capacité d'adsorption de composés électropositifs, ...). Ce sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des Montmorillonites de formule brute :  $Si_4(Al(2-x)Rx)(O_{10},H_2O)(Cex,nH_2O)$  Ou  $Si_4(Al(2-x)Rx)(H_2O)_n$  avec : R = Mg, Fe, Mn, Zn, Ni Ce (cations échangeables) =Ca, Na, Mg. voire le tableau. 1.1

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent à l'ouest algérien. On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Synthèse Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes. [BOUGDAH N. 2007]

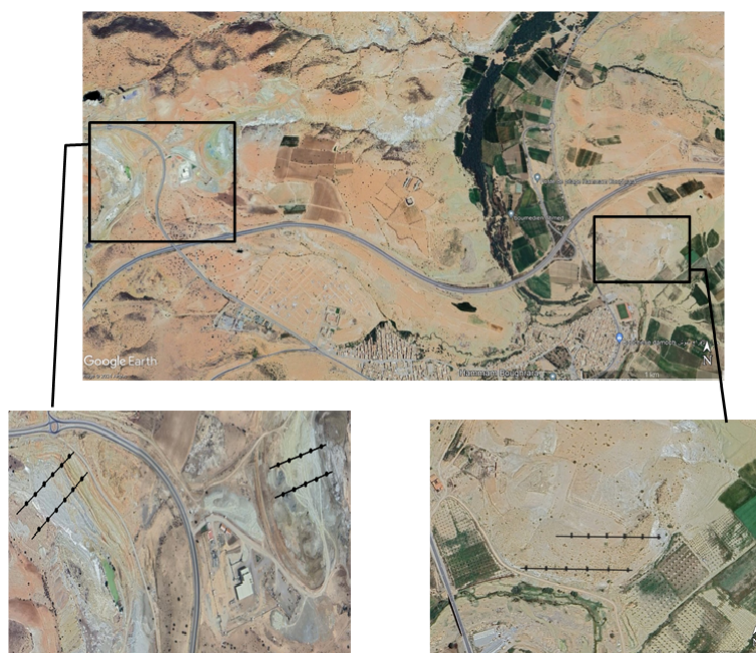


FIGURE 1.1 – Image satellite montre les maille d'échantillonnage dans les deux carrières de bentonite a hammam bouhrara ( google earth ; échelle 1/500).

	Bentonite de Meghnia, Algérie	Montmorillonite pure	Bentonite du sud des États-Unis	Bentonite de Wyoming
$SiO_2$	58.89	51.14	59.00	64.30
$TiO_2$	0.28	n.d	n.d	n.d
$Al_2O_3$	17.37	19.76	18.40	19.80
$FeO$	3.32	0.83	5.10	4.04
$Fe_2O_3$	n.d	n.d	1.26	2.60
$MnO$	0.07	n.d	n.d	n.d
$MgO$	3.37	3.22	2.86	2.03
$CaO$	1.06	1.62	3.88	0.73
$Na_2O$	1.32	0.11	0.41	2.81
$K_2O$	1.30	0.04	0.78	0.44
$H_2O$	4.46	7.99	2.91	1.14
$H_2O$	8.26	14.81	5.40*	2.11
$P_2O_5$	0.05	n.d	n.d	n.d
$SO_3$	0.68	n.d	n.d	n.d
<i>Total</i>	100.43	99.52	100.00	100.00

TABLE 1.1 – Compositions chimiques représentatives de montmorillonite pure et de Bentonites de différentes localités (% Poids).(Document bental 2002)

### 1.3.2 Origine

Ce sont des argiles d'origine volcanique, composées essentiellement de la montmorillonite, résultant de l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux. Ces derniers font partie du groupe des smectites. Les bentonites découvertes dès 1888 contiennent au moins 75% de montmorillonite. Sous sa forme brute naturelle, la bentonite est une roche tendre ayant à peu près la consistance du kaolin, c'est à dire friable, onctueuse au toucher, sa teinte est blanche, grise ou légèrement teinte de jaune. Elle provient de la dévitrification des couches volcaniques sous l'influence des eaux à réaction alcaline ou acide. En plus de la montmorillonite, cette terre peut contenir d'autres minéraux argileux (kaolinite, illite,) ainsi que des impuretés sous forme de gypsés, de carbonates, etc. [BOUGDAH N. 2007]

### 1.3.3 Classification de la bentonite

Les bentonites peuvent être classées en 2 groupes selon qu'elles soient sodiques ou calciques :

- Les bentonites sodiques (Na bentonite) sont énormément gonflables. L'indice de gonflement est proportionnel à la teneur en sodium. Elles conviennent alors le plus pour les boues de forage, elles peuvent même former des gels permanents. [ENOF, 2019]
- Les bentonites calciques (Ca-bentonite) ont un indice de gonflement très faible qui les rend impropres à une utilisation comme bous de forage, par contre, elles présentent une capacité d'adsorption élevée qui permet de les valoriser pour la production de terres décolorantes. Elles peuvent partiellement remplacer Al et gonflent peu. Elles forment par contre avec l'eau une suspension thixotropique (c'est à dire qu'ils épaississent au repos prolongé et reprennent leur viscosité normale par simple agitation). [ENOF, 2019]
- Les bentonites sodiques artificielles commercialisées sont obtenues par ajout de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### 1.3.4 L'utilisation de la bentonite

Les bentonites se caractérisent par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières (thixotropie). Elles ont de ce fait de larges applications, toujours plus nombreuses et dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes...etc.). La majeure partie de la bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.

Pour de nombreuses applications techniques, les bentonites brutes doivent être soumises à une préparation adaptée aux exigences de leur utilisation (activation). Ainsi, lors de l'activation alcaline, les bentonites calciques (les plus fréquentes) sont transformées par traitement avec de la soude en bentonites de sodium, qui se caractérisent notamment par une capacité de gonflement plus élevée. L'activation avec des acides comme l'acide chlorhydrique augmente la porosité par dissolution périphérique des smectites. Il en résulte un produit de haute capacité d'adsorption. [S. MOUAZIZ, 2012]

Elles sont utilisées pour des opérations de clarification ou de stabilisation protéique des moûts et des vins. Les bentonites fixent certaines protéines instables et permettent ainsi leur élimination. Les bentonites sont capables de fixer de la matière colorante.

Dans le domaine environnemental, les argiles ont un rôle important dans divers problèmes environnementaux et leur utilisation augmente significativement :

- Rôle des argiles dans les sols contaminés dans le transport des isotopes radioactifs et leur réactivité vis-à-vis de ceux-ci (exemple : rétention du  $^{137}\text{Cs}$  après l'accident de Tchernobyl).
- Rôle vis-à-vis des pesticides et des éléments métalliques dans les sols.
- Rôle de barrière d'étanchéité dans les décharges.
- Rôle dans la santé.

Suite aux propriétés d'adsorption des argiles et leur capacité à former des complexes organominéraux, ils interviennent dans l'élimination des polluants dans les eaux naturelles et dans les sols. Ces polluants peuvent être rapidement piégés, mais l'efficacité du processus d'adsorption dépend des propriétés et de la concentration de ces derniers et d'autres facteurs environnementaux qui affectent les propriétés de surface des argiles. [B. MEROUFEL, 2015]

## 1.4 Cadre géographique

### 1.4.1 Situation géographique de Hammam Boughrara

Le secteur d'étude est situé au nord-ouest de la wilaya de Tlemcen, plus exactement dans la plaine de Maghnia sur les bords de l'oued Tafna voir la Fig.1.2 (Wikipédia)

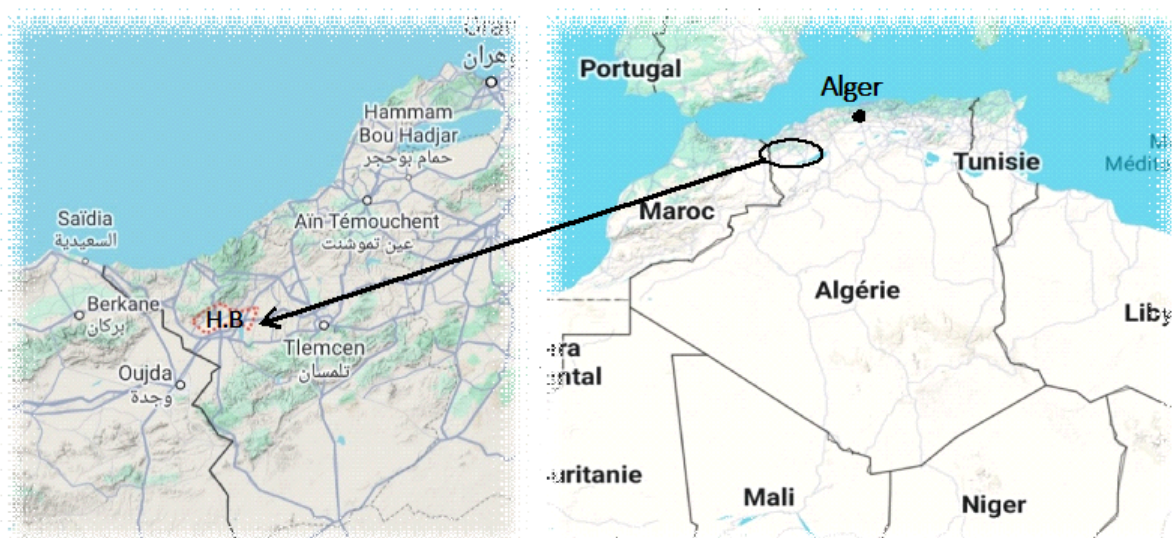


FIGURE 1.2 – Situation géographique Hammam .Boughrara (échelle 1/1000 ).

La superficie de secteur : environ 500km<sup>2</sup>

Les coordonnées géographiques : 34°53'37" nord, 1°38'22"ouest

#### 1.4.1.1 Climat

Le secteur étudié a un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. La classification de Köppen-Geiger est de type Csa (C : climat tempéré, s : Saison sèche en été, a : été chaud, Température moyenne du mois le plus chaud > 22 °C). La température moyenne annuelle à Hammam Boughrara est de 17°C. Il tombe en moyenne 409 mm de pluie par an (voir la figure 1.3) .

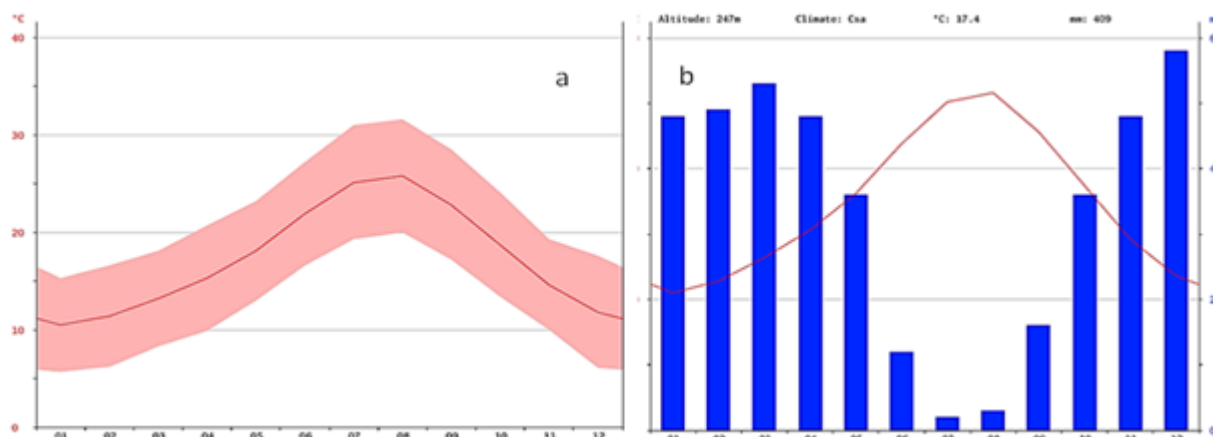


FIGURE 1.3 – Courbe de température (a) et le diagramme climatique (b) de Hammam Boughrara Source : climate-data.org

#### 1.4.1.2 Topographie

La plaine de Maghnia s’allonge sur la bordure Nord du domaine des hauts plateaux avec une altitude qui ne dépasse pas les 500m au-dessus du niveau de la mer.

Elle est située entre deux massifs atlasiques ; le massif hercynien des Traras avec son prolongement méridional, la chaîne du Fillaoussène au nord et les monts de Tlemcen au sud (l’altitude de ces massifs montagneux dépasse souvent 1000m).

#### 1.4.1.3 Hydrographie

La région est caractérisée par un réseau hydrographique très développé qui suit le découpage tectonostructural de la région. Il est dense et profond avec des vallées souvent courtes et étroites. Les nombreux oueds qui sillonnent la vallée en ravins encaissés au profil caractéristique de vallées torrentielles, sont alimentés quelques jours par an, par les eaux de ruissellement superficiel, ils rejoignent l’oued Tafna presque permanent, de 177 Km de long, et qui prend sa source dans les monts de Tlemcen. On note également la présence de plusieurs sources thermales dont la célèbre source de Hammam Boughrara.

### 1.4.2 Situation géographique du bassin de la Tafna

Le bassin versant de la Tafna, situé au Nord-Ouest du territoire algérien, s’étend sur la totalité de la wilaya de Tlemcen sur une superficie de 7245 km<sup>2</sup>. Selon la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie, le bassin versant de la Tafna appartient à l’ensemble de l’Oranie –Chott Chergui (fig.1.4).

L’oued Tafna est un cours d’eau qui s’étend sur 170 Km de longueur, il prend sa source dans les Monts de Tlemcen. Le cours de cet oued peut se subdiviser en trois parties : la haute Tafna, la moyenne Tafna et la basse Tafna.



# Chapitre 2

## Géologie régionale et locale

### 2.1 Introduction

L'Algérie, située au Nord-Ouest du continent Africain sur la rive sud de la méditerranée, sa position géographique et son immense superficie (2 381 741 Km<sup>2</sup>) englobe plusieurs régions naturelles variées qui sont autant de domaines géologiques différents par leurs âges, leurs structures, leurs contenus lithologiques et leurs étendues. Du Nord vers le Sud voir la (figure 2.1) on distingue 7 grands domaines géologiques suivants :

- L'Atlas Tellien (chaîne des Maghrébides ou chaîne alpine) qui comprend le tell méridional (Monts des Bibans et de l'Ouarsenis) et le tell septentrional (massif de petite et grande Kabylie, du Chenoua et le Djurdjura). Ses équivalents au Maroc sont le Rif et le pré Rif, en Tunisie c'est le Kroumirie.

- Les Hautes plaines (Meseta Oranaise et môle de Constantine) dont la Meseta marocaine est leur équivalent à l'Ouest.

- L'Atlas saharien est un ensemble étendu depuis le Maroc à l'Ouest jusqu'en Tunisie à l'Est, il est situé entre deux domaines stables : les Hautes Plaines au Nord et la Plate-forme saharienne au Sud. Il est affecté par deux grands accidents : accidents nord et sud-atlasique. Ritter (1902) subdivise l'Atlas saharien en trois faisceaux de plis :

- Les Monts de Ouled Naïl à l'Est et les Zibanes qui relient l'Atlas S.S. aux Aurès (Atlas saharien oriental) ;

- Le Djebel Amour (Atlas saharien central) ;

- Les Monts des Ksour (Atlas saharien occidental).

- La plate-forme saharienne (Grands Ergs Occidental et Oriental, plateaux de Tademaït et de Tinhert).

- L'Ougarta qui forme la limite occidentale de la plate-forme constituée de deux faisceaux montagneux (Monts de la Saoura et de la Daoura).

- Les massifs montagneux des Eglab qui sont séparés du bouclier touareg par l'Erg Chech et le Tanezrouft et constituent la limite sud-ouest de la plate-forme saharienne.

- Le bouclier du Hoggar constitue la limite méridionale de la plate-forme saharienne, c'est la région où affleurent les terrains les plus anciens de l'Algérie.

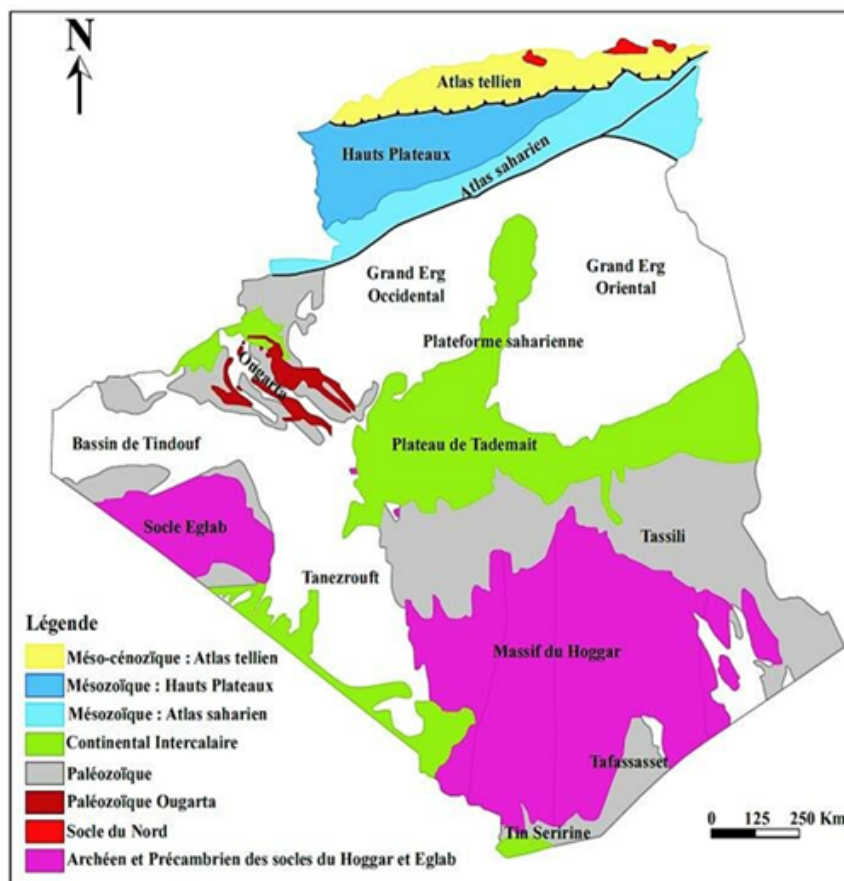


FIGURE 2.1 – Domaines géologique de l'Algérie (ASGA 2020)

## 2.2 GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE (ALGERIE NORD OCCIDENTALE)

### 2.2.1 Cadre géologique et structural de l'Oranie

La structuration actuelle du Tell oranais, est due essentiellement aux déformations complexes et fortes liées aux orogénèses varisques et alpines représentées par des styles tectoniques variés, (Ciszak, 1993).

**a. La tectogenèse varisques (hercynienne) :** dominée par des plis à grand rayons de courbures et une fracturation régie par des failles décrochantes ENE-WSW allant de N40° à N90° (Guendouz, 1994). Elle est polyphasée et intense, caractérisée par une tectonique souple qui évolue en tectonique cassante.

**a. 1. La tectonique souple :** englobe deux phases majeures à savoir : - La phase anté-vésienne engendrant un métamorphisme de faible intensité.

- La phase post-vésienne manifestée par un déversement vers le Sud où il est bien marqué au niveau du massif des Traras et la chaîne de Fillaoussène à l'Ouest, le Sahel d'Oran, le plateau d'Ain Timouchent ainsi que les Sebaa Chioukh dans la partie orientale de ladite chaîne.

Les trois dernières unités sont regroupées dans un ensemble ayant des orientations tectoniques parallèles et voisines à la direction E-W.

En outre, des accidents recoupent les structures en question et jouent à la faveur de la phase tectonique alpine, provoquant, vers le Nord, des effondrements par gradins de direction subméridionale voisine à celles des structures.

**a. 2. La tectonique cassante :** la phase cassante post-vésienne est, difficilement mise en évidence dans les Traras, en raison de rejeu post-hercynien de presque tous les accidents (Guardia, 1975). Elle correspond à un réseau de grandes fractures ayant de direction moyenne N20° et N50°.

**b. La tectogenèse atlasique :** les mouvements atlasiques ont connu leur paroxysme entre l'émersion définitive de la région au Santonien (Crétacé supérieur) et la transgression du Miocène.

Cette phase est caractérisée aussi par une tectonique souple et une autre cassante. Cette dernière est dominante et matérialisée par le grand nombre de structures souvent guidées par le rejeu de failles hercyniennes. Guardia (1975), a regroupé ces structures en trois phases tectogéniques distinctes :

- La première phase : (d'âge Eocène), elle est compressive, caractérisée par la présence des plis de grand rayon de courbures et d'une direction NE-SW.

- La seconde phase : (d'âge Oligo-Miocène), elle est distensive, caractérisée par l'individualisation de horsts en grabens dans la région suite aux rejeux verticaux des accidents principaux N50° et N20°.

- La troisième phase : (de Miocène supérieur jusqu'au Quaternaire), elle est compressive, et se traduit par le rejeu des accidents en mouvements décrochant et par le déversement des plis des phases atlasiques antérieures. Cette phase a connu l'émergence de Traras et le retrait de la mer serravalienne.

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. 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 » (fig.2.3); 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

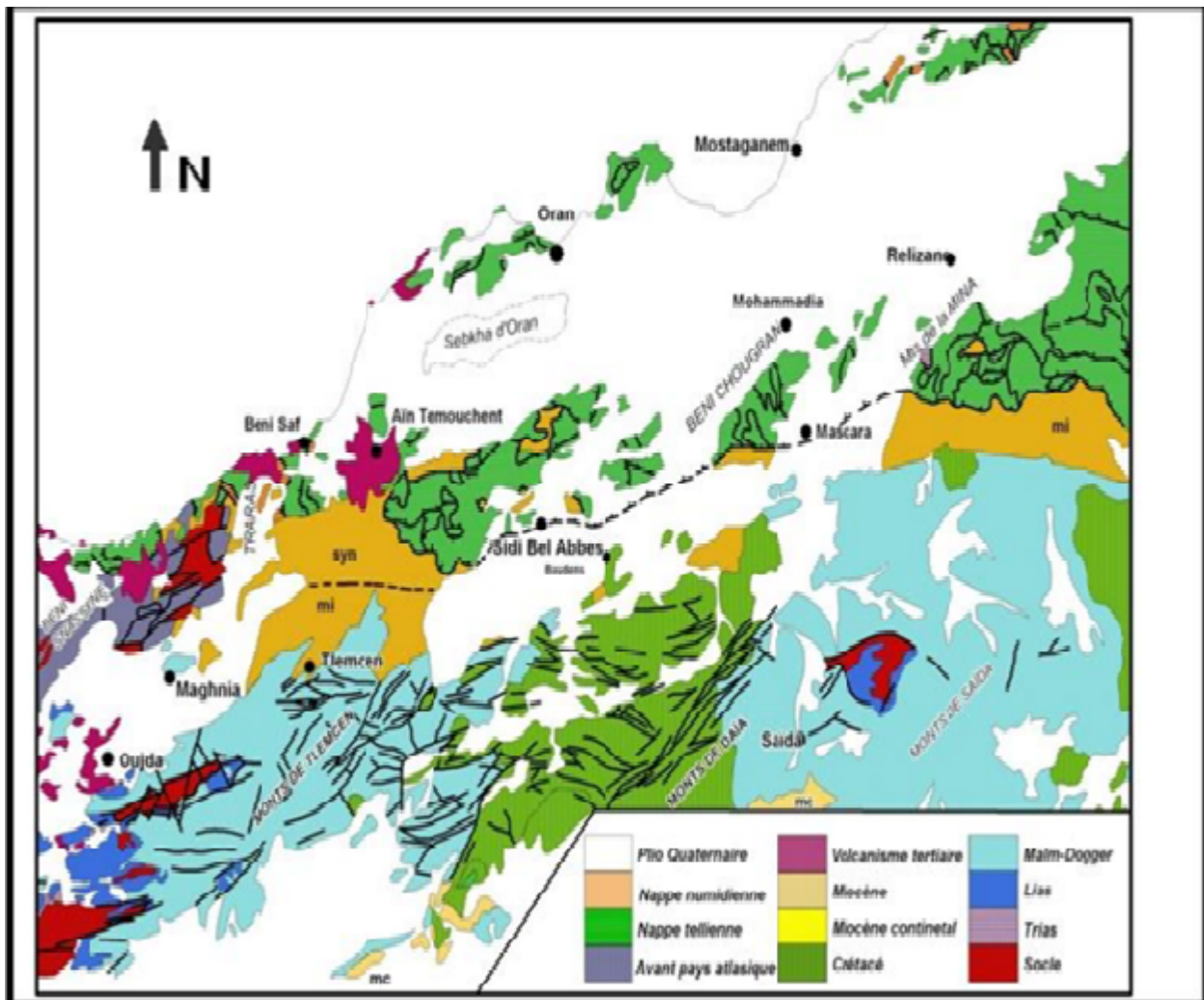


FIGURE 2.2 – Carte schématique structurale de l'ouest de l'Algérie, (d'après Wildi 1983, modifiée par A. Boutaleb 2003, sans échelle)

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 Turonien selon Fenet (1975) et Boukhedimi (2008)

### 2.2.1.1 La Litostratigraphie

La stratigraphie de l'Oranie occidentale est représentée par d'importantes séries mésozoïques 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 présaharien des hautes plaines (principalement les monts de Sebâa Chioukh, les Traras, les Béni Snassen et les monts de Tlemcen).

### Le Miocène

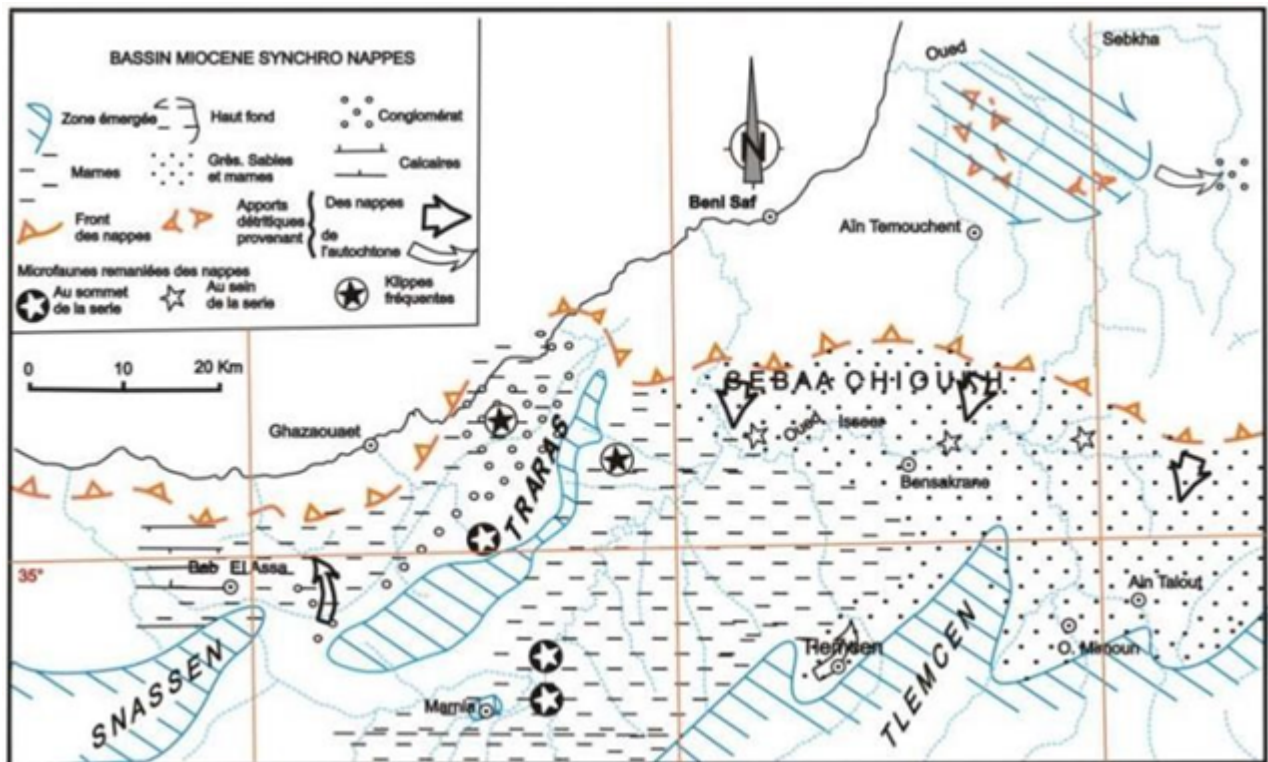


FIGURE 2.3 – Esquisse géographique Bassin Miocène synchro-nappes (d’après Guardia 1975)

**Miocènes synchronappes :** L’ensemble de ces unités allochtones alpines vont glisser vers le Sud dans une avant fosse miocène dit : “ bassin synchro-nappe ”. Ce miocène synchro-nappe est très développé dans les Sebâa Chioukh (sud d’Aïn Temouchent) et dans la vallée de la Tafna. Il est constitué par une série épaisse de marnes vertes et de grès gris à roux à grains fins passant parfois à des grès grossiers parallèlement à une surrection active. Par endroit, ce miocène peut être constitué d’éléments détritiques provenant du matériel des nappes situées au nord du bassin.

A partir de différentes études micropaléontologiques qui ont permis la détermination de foraminifères planctoniques tels que : *Globorotalia praemenardii*, *Globorotalia gr menardii* et *Globorotalia mayri*, plusieurs auteurs (Addadi et al 1968, Guardia et Magné 1972, Guardia 1975 et Bellon et al 1984) s’accordent pour attribuer un âge Serravallien (zone N13 de Blow, 12,3 à 12 Ma) au miocène synchro-nappe.

**Miocène post-nappes (premier cycle) :** De part et d’autre de la vallée de la Tafna, dans la région de Béni Saf et sur le revers nord des Sebâa Chioukh, une série détritique continentale sépare par endroits, les nappes de la série marine du Miocène terminal. Cette série continentale, d’épaisseur très variable, est constituée par des marnes ou des argiles gypseuses vertes, et des grès et des poudingues très hétérogènes de couleur lie de vin. Les matériaux détritiques proviennent probablement des nappes. Vers l’Est, le premier cycle post-nappes regroupe selon Fenet (1975) les argiles 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 synchronappes qui affleure plus au sud (Megartsi 1985) voir la fig.2.4

**Un cycle miocène terminal :** Une période d'érosion suffisamment longue va permettre le dégagement d'une surface d'aplanissement assez évoluée sur laquelle vont s'accumuler des formations sédimentaires et volcaniques du Miocène terminal et plus précisément du Messinien. Le massif des Traras et la chaîne du Fillaoussene ont été épargnés par la transgression du Miocène terminal et les formations marines ont formés deux bassins : un bassin oriental et un bassin occidental qui ne communiquent entre eux qu'au nord de la zone émergée.

**Le bassin oriental :** Dans ce bassin les formations Messiniennes sont homologuées aux formations de la région d'Oranie du bassin du Cheliff. La série sédimentaire est constituée de trois formations caractéristiques qui apparaissent dans la basse et moyenne Tafna et dans les Sebâa Chioukh, Guardia 1975 distingue :

- La formation rouge continentale à saumâtre : qui affleure très largement, surtout dans la moyenne Tafna où elle atteint les contreforts du Fillaoussene. 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 région des Sebâa Chioukh.

- La formation des " marnes bleues " marines : se déposant au-dessus des niveaux saumâtres précédents. Elle est visible dans le Sebâa Chioukh et en bordure des Traras où ces marnes sont enrichies en microfaunes.

- Des calcaires construits à algues (lithothamniées), polypiers et échinidés couronnant les deux formations précédentes et constituant " la formation calcaire sommitale " (Guardia 1975).

**Le bassin occidental :** Il est limité à la région des M'sirda. Il comprend une formation marneuse riche en microfaune recouverte d'une épaisse dalle calcaire.

**Le Pliocène** Il comprend deux ensembles :

L'ensemble inférieur auquel sont associées les marnes à *Globorotalia Margaritae bolli* (Bellon et al 1984) ; et l'ensemble supérieur formé de calcaire à clypeasters ou à Pectinides (bellon et al 1984), de grés dunaires ocre et de sable rubéfié à Hélix.

**Le Quaternaire :** C'est l'ensemble de formations continentales dont la sédimentation est présentée par des alluvions argilo-sableux et des conglomérats. Les terrasses quaternaires sont bien visibles dans toute l'Oranie.

### 2.2.1.2 Le volcanisme

L'Oranie a été le siège d'une importante activité volcanique depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire. (D'après les travaux de Guardia (1984) et MEGARTDI (1985)). Ces formations volcaniques recouvrent de très grandes surfaces géographiques de la région de Tifallouine Bouzedjar jusqu'à la frontière Algéro-Marocaine.

Ce magmatisme néogène calco-alcalin apparaît généralisé dans l'ensemble du pourtour de la Méditerranée occidentale. En 1958, Sadran a fait savoir, que les rhyolites sont souvent présentes accompagnées des andésites, basaltes et les dacites. Ces roches volcaniques se présentent sous forme de coulées, de produits pyroclastiques. Elles sont localisées dans six secteurs : M'Sirda, Souhalia, Ain Timouchent, le Sahel d'Oran, la basse et la moyenne Tafna. En 1975, Guardia a distingué deux épisodes volcaniques :

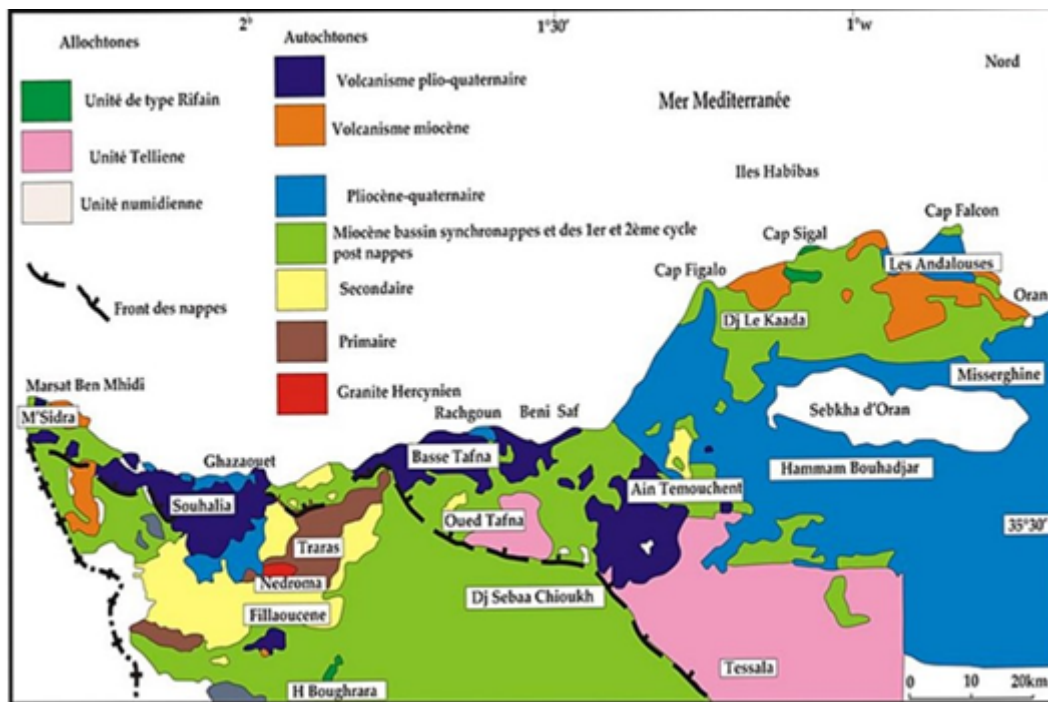


FIGURE 2.4 – contexte géologique de l'Oranie nord occidental (in bendoukha 2008)

**L'un d'âge Miocène** Caractérisé par le début des activités volcaniques qui vont se poursuivre jusqu'au quaternaire localisé dans les régions de M'Sirda, le Sahel d'Oran et la moyenne Tafna. Il est caractérisé par la coexistence de laves calco-alcalines. 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.

**L'autre épisode d'âge Plio-Quaternaire** C'est un volcanisme à tendance basaltique qui se distingue des phases éruptives miocènes par son caractère essentiellement basique et alcalin et par la grande étendue des surfaces couvertes. Réparti en laves basaltiques dans les secteurs d'Aïn Timouchent, de la basse Tafna, de Fillaoussene et de Souhalia, massifs de Ghazaouet (voir fig2.5). Bendoukha et al (2009) ont noté l'activité éruptive alcaline d'Oranie en affirmant que les émissions volcaniques se sont effectuées à des âges variés en faveur de trois types de dynamisme :

effusif d'âges Miocène produits uniquement à l'Ouest de l'Oranie, strombolien du Plio-Quaternaire enregistré dans la basse Tafna, puis un dynamisme phréatomagmatique.

## 2.2.2 Cadre géologique du secteur d'étude

Le secteur d'étude se trouve au NW de l'Algérie, là où les terrains néogènes constituent de grandes unités géologiques avec deux bassins principaux qui sont le bassin du Chéelif 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 voir la fig2.6.

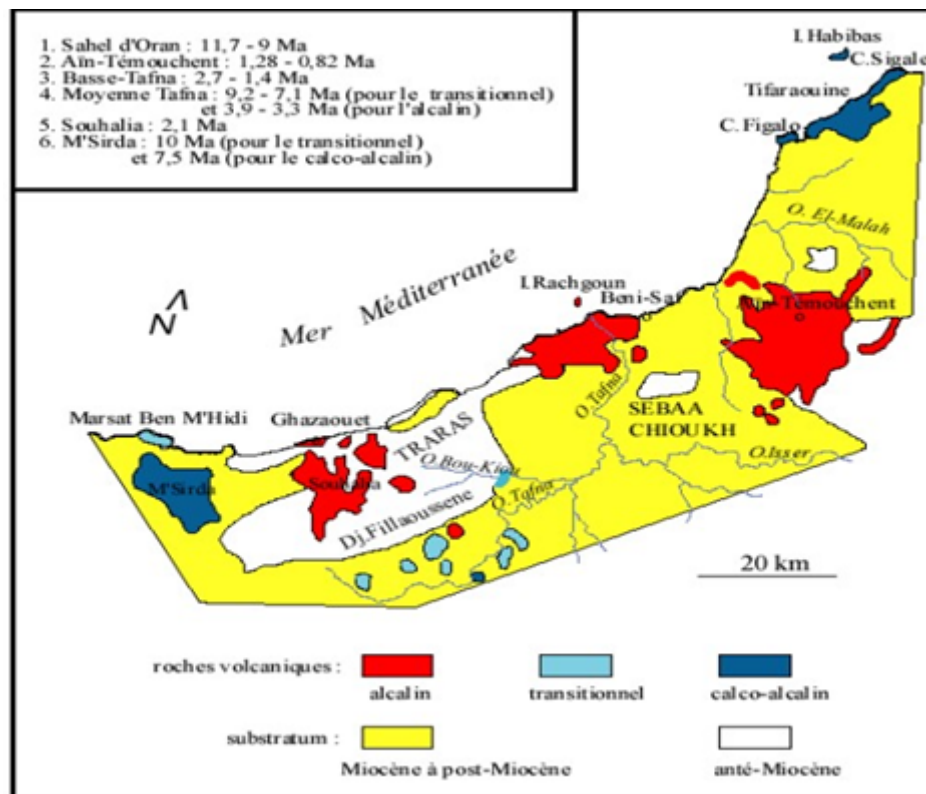


FIGURE 2.5 – Localisation et âge du volcanisme néogène d'Oranie (in Medini, 2010)

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.

### 2.2.2.1 La Litostratigraphie du secteur

La région de Maghnia est caractérisée par des formations sédimentaires du Miocène, pliocène et quaternaire. Dans la structure géologique, le miocène, le pliocène constituent les formations essentielles de la région et reposant en discordance sur les grès du jurassique supérieur voir la fig.2.7

**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.

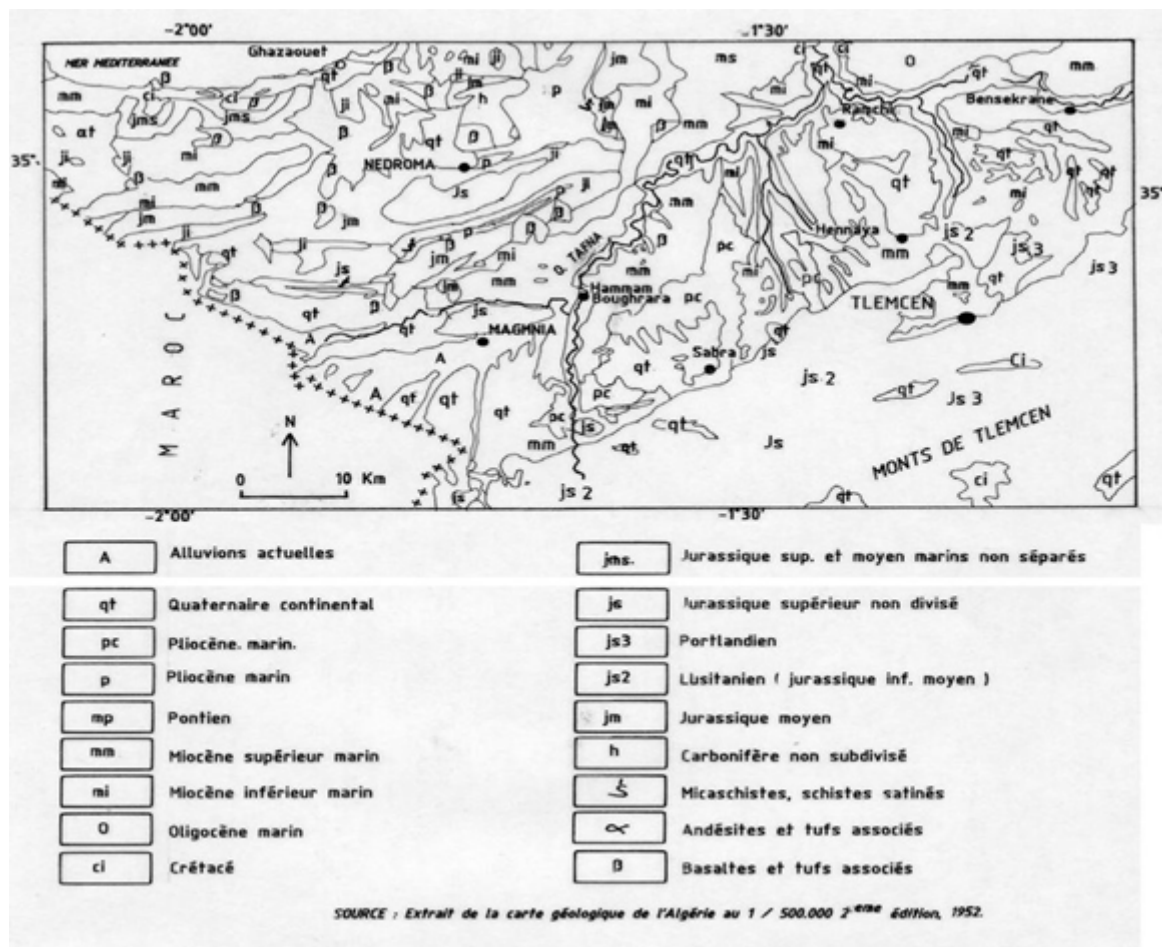


FIGURE 2.6 – Carte géologique de la région de MAGHNIA (source : Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000. 2eme Edition, 1952), cité par. KOULOUGHELI, 2007

**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, grés 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).

**Le Quaternaire** Il est constitué par des formations alluvienues 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.

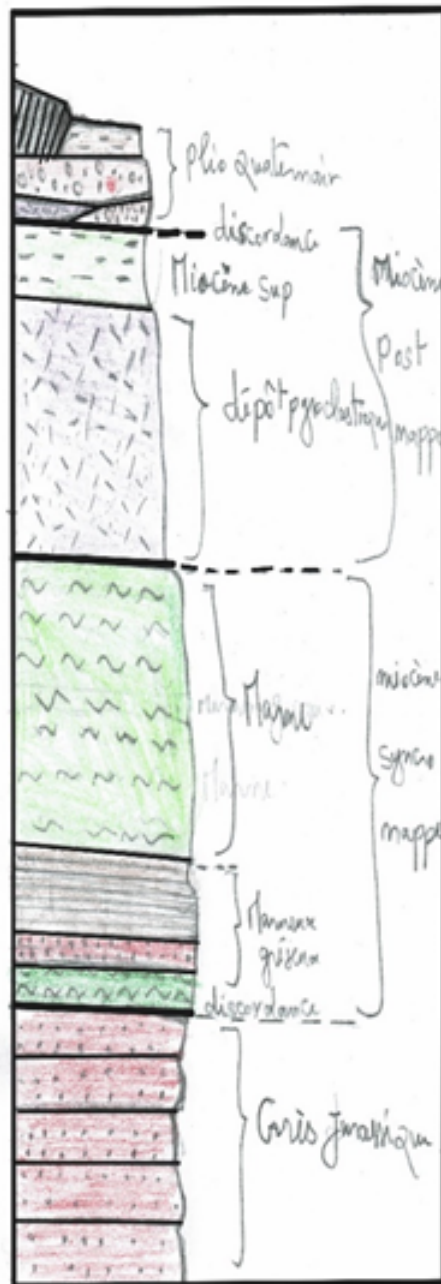


FIGURE 2.7 – succession lithologique de Hammam Boughrara

**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 synchrone. Ces pitons sont les suivants : Ain Torba, Hammam Boughrara 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 de Ain Torba et de Hammam Boughrara sont les plus importants par leur taille. Ils affleurent sous forme de massifs érodés assez bien développés et bien visibles dans le paysage (et sur les cartes géologiques).

Le piton de 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) voire la (fig.2.8). Enfin, une coulée basaltique de faible épaisseur (1 à 1.5 m) d'âge plio-quadernaire vient clôturer ce cycle volcanique.



FIGURE 2.8 – Photo qui montre deux filons basaltique dans la carrière de Roussel (Ain Torba).

**La tectonique** La région de Maghnia est affectée par une tectonique souple marquée par un pli synclinal et une tectonique cassante peut intense représentée essentiellement par les failles du type atlasique. Les gisements de Hammam Boughrara sont affectés par une tectonique cassante. Ce sont des failles de directions NW-SE et NNE-SSW qui contrôlent l'emplacement des gisements, après avoir joué en drains, pour la remontée des solutions hydrothermales. La plus connue est celle de Hammam Boughrara.

La plaine de Maghnia est une zone très déprimée traversée par des accidents cassants, elle est

formée par une architecture compartimentée et accompagnées de fissures secondaires de direction NW et NE qui contrôlent la minéralisation en profondeur.

### 2.2.2.2 Aperçu géologique sur la zone d'étude

**Sur le plan stratigraphique** La structure géologique de la région est prédominée par les dépôts Miocène et Pliocène, formant ainsi un pli synclinal sur les flancs, auquel sont associés aux affleurements des grès du Jurassique supérieur.

**Sur le plan géologique** les gisements bentonitiques de la région de Maghnia qui sont situés au SE de la ville, plus précisément, à 4 Km du plus proche village « Hammam Boughrara ». Ainsi, nous résumons brièvement les principales formations dans l'ordre ascendant depuis le Miocène jusqu'au Quaternaire.

❖ **Le Miocène** Il affleure dans la vallée de l'oued Tafna et forme une bande continue E-W. Ces dépôts reposent en discordance sur les formations du Jurassique Supérieur. Leur base consiste en un assemblage de roches sédimentaires composées de : calcaires massifs, marnes finement litées de teinte grise avec des lentilles et passées de tufs basaltiques et basaltes. Plus haut se trouvent des calcaires de couleur grise, qui sont surmontés par des marnes grises qui

renferment des couches minces gréseuses. Ce niveau comprend un banc puissant d'argiles carbonatées. L'allure des dépôts décrits est presque horizontale. La coupe du Miocène se termine par une assise volcano-sédimentaire constituée par des rhyolites, des perlites obsidiennes, des tufs soudés et des tufs conglomératiques. Localement ces perlites obsidiennes et tufs sont transformées en argiles bentonitiques. Elles reposent en discordance sur l'assise sédimentaire de Miocène dont

l'épaisseur totale des dépôts atteint 250 m.

❖ **Le Pliocène** Il est représenté par des formations continentales, qui s'étendent sur des grandes surfaces. Elles sont constituées par des limons, sables meubles, grès et argiles sableuses avec

des Lentilles de calcaires, les formations continentales recouvrent en discordance les terrains

volcano-sédimentaire du Miocène Supérieur, la puissance varie de plusieurs mètres jusqu'à 50-60m et atteint parfois 80-100 m.

❖ **Le Quaternaire** Ces dépôts formés de blocs et de galets plus ou moins consolidés et de petits épanchements de basaltes se développent au Nord et au Nord-Ouest du gisement de Hammam Bouhrara. L'épaisseur des basaltes varie de 1-2 à 5-6 m.

Dans la zone d'étude, il existe 2 petites cheminées d'effusion de laves basaltiques ainsi qu'un petit pointement de laves sous forme d'une nappe épaisse de 1 à 1,5m.

# Chapitre 3

## études volcanologiques

### 3.1 Introduction

La compréhension de la dynamique volcanique qui a conduit à la structure actuelle est facilitée par l'analyse volcanologique. On tentera ensuite de mettre en relation le phénomène de bentonitisation.

Dans la région de Hammam Bouhrara, les rhyolites ont une forme du dôme. Ces dômes rhyolitiques abritent la plupart des pyroclastites et des tufs pyroclastiques.

### 3.2 Morphologie et Structure

Le dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara, visible du ciel, a une forme circulaire à légèrement elliptique, en forme de coupole légèrement déformée (voir la fig.3.1 et la fig.3.2), qui repose sur les sédiments du miocène supérieur et est en partie couvert par les sédiments du miocène terminal et du plio-quadernaire.

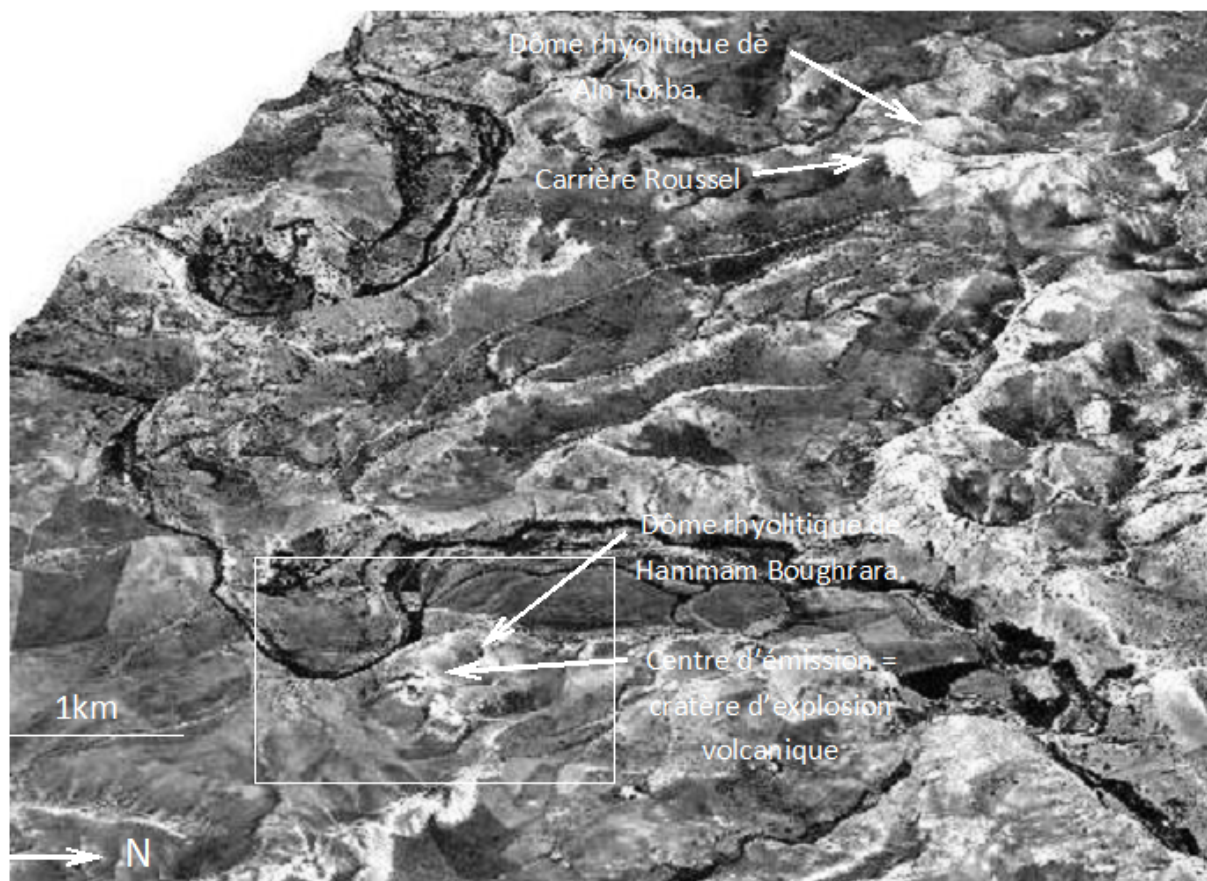


FIGURE 3.1 – MNT du secteur montrant la structure du dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara (boukhdimi 2008)

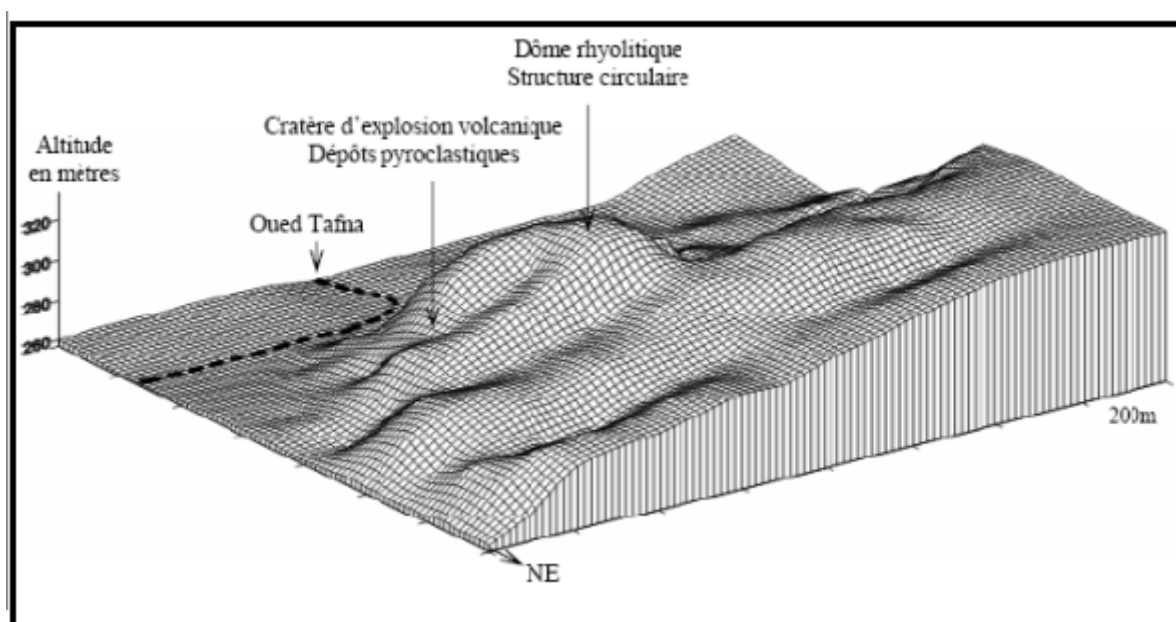


FIGURE 3.2 – modèle numérique de terrain représentant le dome rhyolitique de hamma bouhrara (Réalisée par surface 7.0)

Le système de fracturations concentriques présent dans la vue panoramique s'adapte à la forme générale du dôme, lui donnant une structure similaire à celle d'un bulbe d'oignon.

Le dôme, composé de rhyolites, est très fluide en raison de l'orientation préférentielle des cristaux de biotites et des minéraux oxydés, ainsi que de nombreuses échardes de verres volcaniques (les fiammes) qui sont responsables de leur mésostase. Elle se transforme rapidement en perles à la périphérie du dôme, lui donnant ainsi une texture lithologique :

Il est probable que la base du dôme soit composée de tufs pyroclastique à structure pseudo-fluide (soudé à chaud), ce qui suggère qu'il s'agit d'une coulée pyro-ignimbritique (fig.3.3).

Le centre du dôme est composé de roches de rhyolite massives, sans circulation concentrique ni orientation privilégiée des minéraux. Sa région environnante est constituée de rhyolite perlitique.

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



FIGURE 3.3 – vue panoramique (N-S) de piton Rhyolitique de hammam boughrara : (1) : Vue panoramique (NS) du piton rhyolitique de Hammam Boughrara ; (2) : Schémas représentatif du piton rhyolitique ; (A) : Tufs pyroclastiques consolidés à structure pseudo-fluidale (ignimbrites) ; (B) : Bordure perlitique ; (C) : Rhyolite à amygdales blanches à grenat ; (d) : Rhyolite massive ; (e) : Prismation concentrique ; (f) : Oued Tafna ; (G) : Piste.

### 3.2.1 Structure des dômes rhyolitiques de Hammam boughrara

Sur le terrain, tous les dômes rhyolitiques à Hammam Boughrara sont identiques :

- Une forme en coupole et une structure similaire à celle d'un bulbe d'oignon.
- Les dômes sont constitués de tufs pyroclastiques à structure pseudo-fluide à la base voir la fig3.4, surmontés de rhyolites à structure fluide et d'un cœur compact
- Des cratères d'explosions volcaniques déchiquent ces dômes et les remplissent de tufs pyroclastiques voir la fig3.5.



FIGURE 3.4 – Tufs consolidés a structure pseudo-fluidale situé à la base du dôme rhyolitique

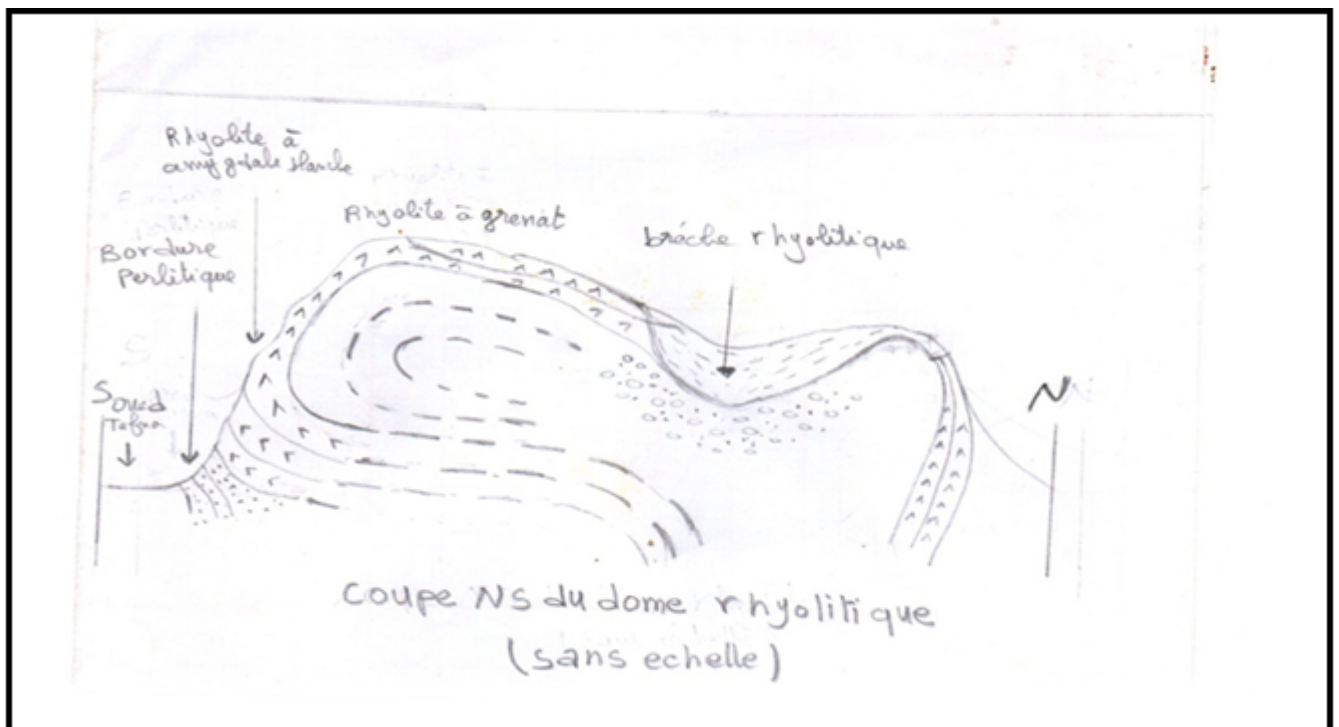


FIGURE 3.5 – Approche schématique de dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara

### 3.3 Histoire du volcanisme

Grâce à ces observations, on peut tirer les conclusions suivantes quant à la configuration de ces dômes rhyolitiques :

-Le fait que les dômes soient constitués de tufs consolidés à structure pseudo-fluide indique que les émissions volcaniques ont débuté par une coulée pyroclastique, puis se sont poursuivies par l'émission de la rhyolite.

-La présence d'un système de débit concentrique qui s'adapte à la forme générale des dômes suggère un refroidissement progressif depuis la périphérie et jusqu'aux cœurs massifs des dômes.

- La présence de cratères d'explosions volcaniques remplis de tufs pyroclastiques et de brèches rhyolitiques indique une autre phase postérieure à la construction des dômes et qui est explosive.

Cela permet de prendre en compte le scénario suivant (figure3.6) :

La montée en pression du magma rhyolitique va entraîner une décompression causée par la baisse de la pression lithosphérique, ce qui entraîne la séparation de la phase gazeuse du magma et la pulvérisation de la partie sommitale de la coulée. Le début de l'émission de tufs pyroclastiques sera marqué. Puisque le gaz n'est pas assez pour pulvériser toute la coulée, l'émission se poursuivra par des rhyolites et la formation du dôme rhyolitique qui se situera au-dessus de ces tufs pyroclastiques.

La mise en place du dôme va permettre à ces tufs de s'unir à chaud grâce à un flux de chaleur et à une action mécanique, ce qui leur donne une structure pseudo fluide et des caractéristiques ignimbées.

En raison de la poussée du magma, le dôme augmentera et se développera. Donc, il s'agit de dômes très étendues. Une diminution de la température sera associée à cet étalement. N'oublions pas que lors des tests mécaniques, la baisse de la température entraîne une réduction du seuil de plasticité et une approche du point de rupture du matériau rocheux.

L'étalement et la baisse de température vont donc être les facteurs déclencheurs d'une série de fractures concentriques qui s'adaptent à la forme générale du dôme et donc qui suivent la direction de son étalement. Le point chaud au centre du dôme va se cristalliser, donnant ainsi un aspect massif.

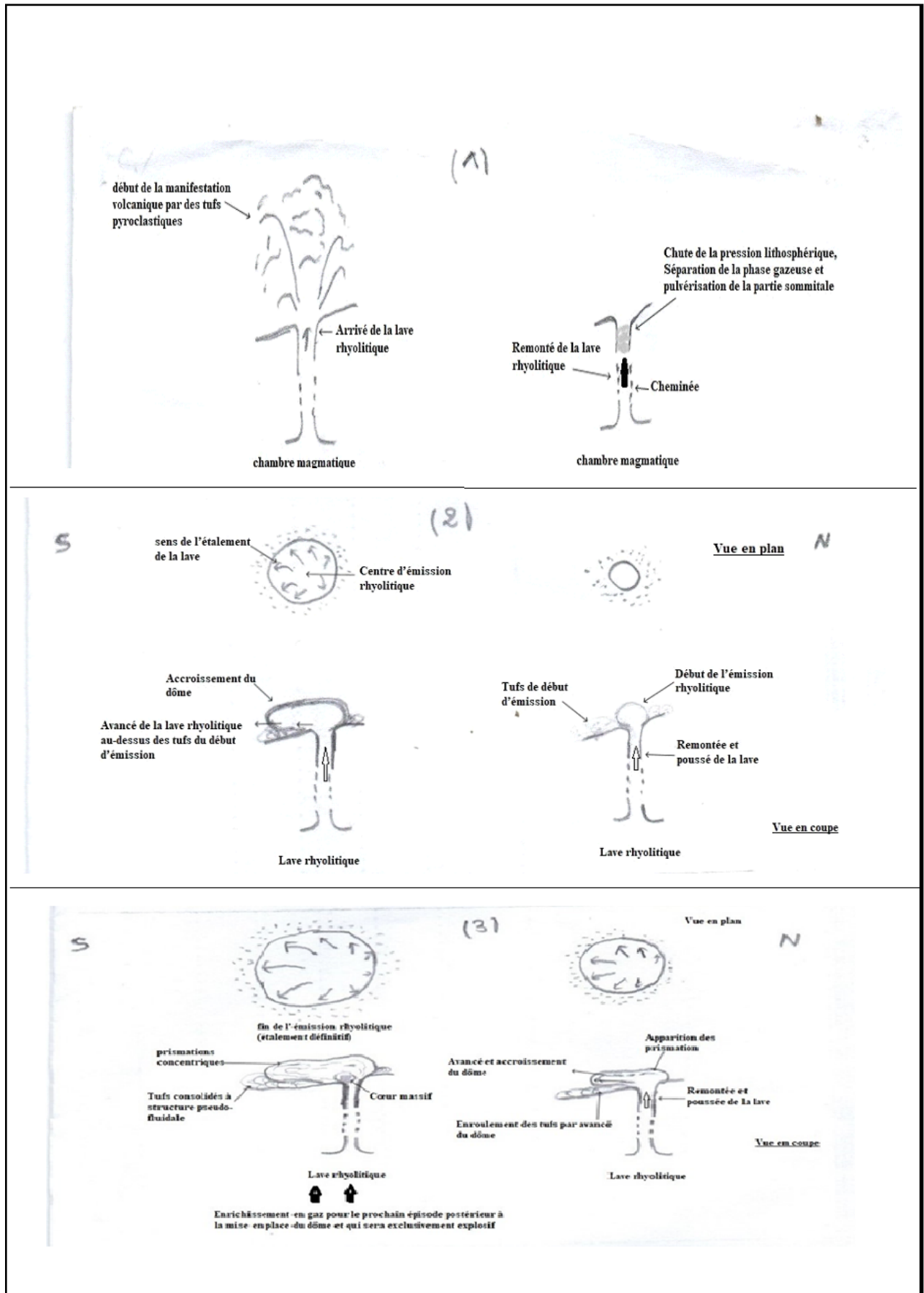


FIGURE 3.6 – Scénario de mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara

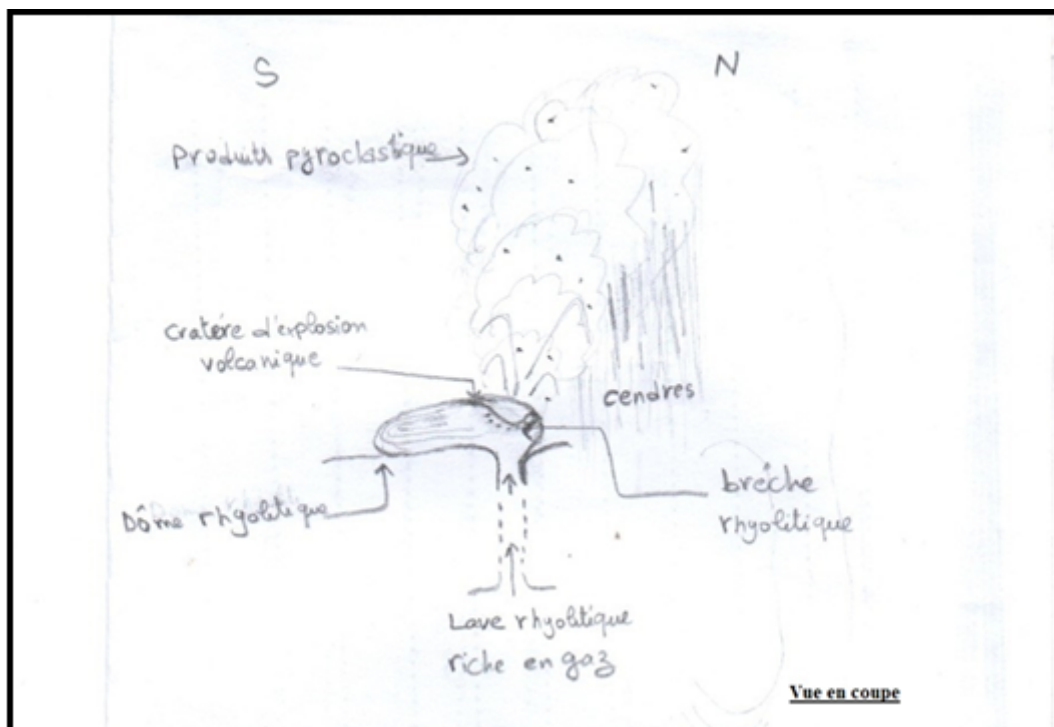


FIGURE 3.7 – Approche schématique d'une éruption pyroclastique conduisant à l'apparition d'un cratère d'explosion volcanique du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara



FIGURE 3.8 – Les foraminifères (globigérines) sont présents dans les tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara, comme illustré dans la photo jointe.

Par la suite, et après l'établissement des dômes rhyolitiques, un magma plus gazeux se réactive, en provoquant des éruptions pyroclastiques explosives et en créant les cratères d'explosions volcaniques à l'intérieur des dômes rhyolitiques voire la (fig.3.7).

**Note :** La présence de rhyolite perlitique à la périphérie du dôme peut être attribuée à une occupation sous-marine, ce qui est tout à fait envisageable étant donné la paléogéographie de l'époque.

De plus, la structure stratifiée des dépôts pyroclastiques et la présence de microfossiles marins dans ces derniers (voir la fig.3.8) confirment leur existence sous-marine.

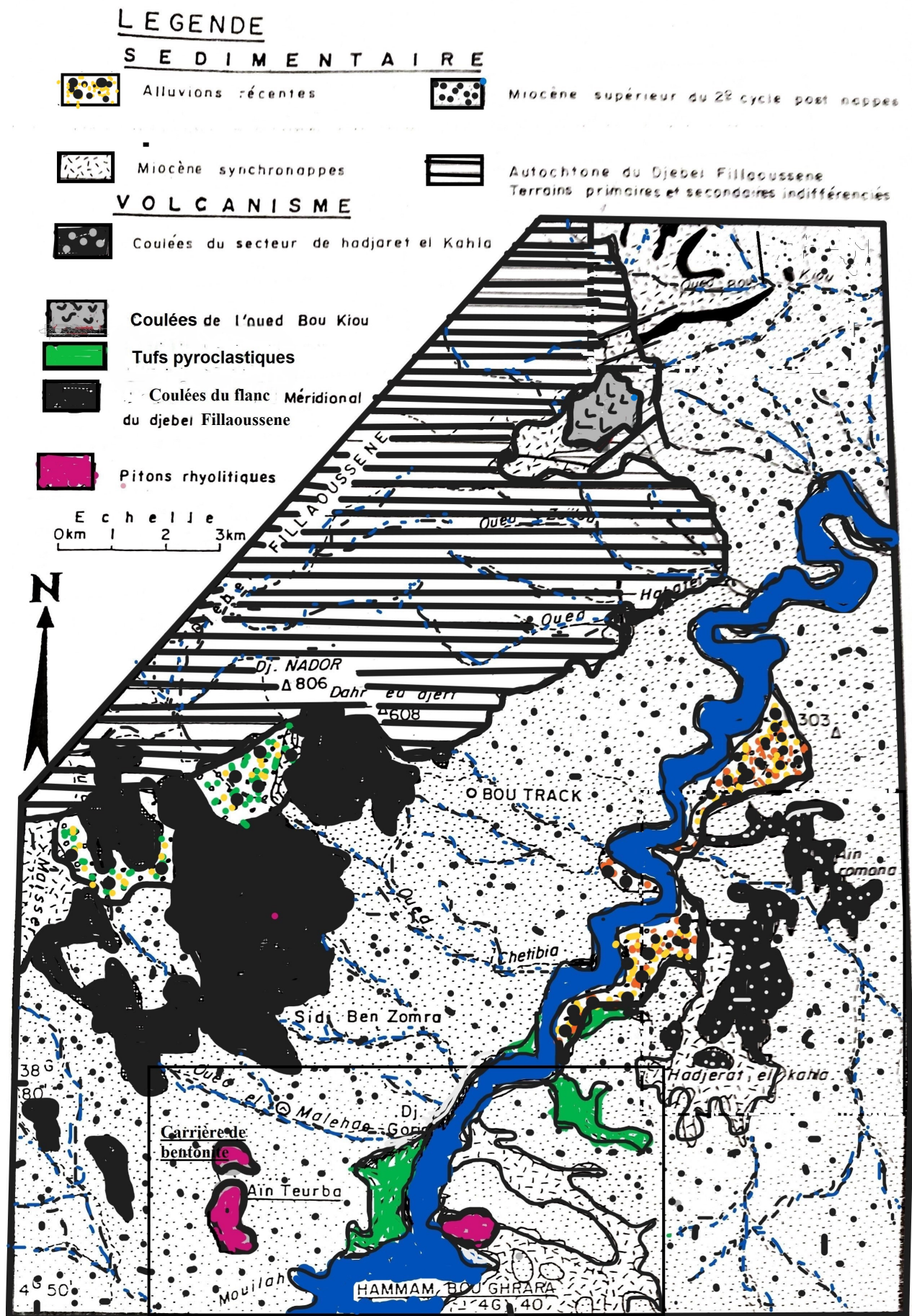
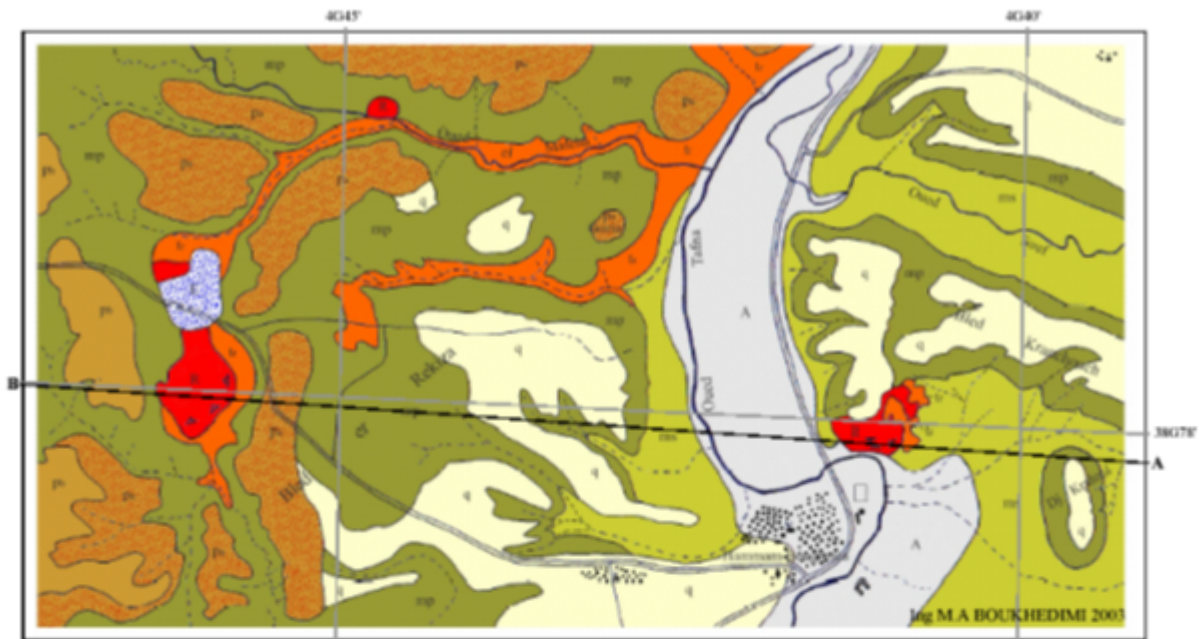


FIGURE 3.9 – Carte géologique de la moyenne tafna (Guardia modifie; échelle :1/25000°)



Carte géologique de Hammam Boughrara.

e = 1/24 200

(Cette carte a été réduite pour sa mise en page la carte originelle est au : 1/20 000).



Stratigraphie du secteur :



Eboulis



Colluvions



Quaternaire :  
Alluvions  
Croûte calcaire



Pliocène :  
Calcaire lacustre



Pliocène :  
Conglomératique



Miocène post-nappe.



Miocène synchro-nappe.

Roches volcaniques :



Tufs rhyolitiques (argiles smectiques)  
du miocène terminal.



Rhyolite massive du miocène terminal.

Signes conventionnels :



Pendage de la fluidalité.



Limite stratigraphique.



Oueds.



Routes.

FIGURE 3.10 – carte géologique de hammam boughrara ( échelle : 1/24 200)

### 3.4 Conclusion

La variation dynamique du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara a entraîné l'apparition d'une zonalité lithologique (avec des rhyolites massives, fluides, perlitiques ou ignimbritiques, des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques), ce qui a favorisé la formation de bentonites dans certains endroits.

Il convient de souligner que cette formation de bentonites se produit rapidement dans les appareils volcaniques, et que l'appareil volcanique de Ain Torba, étant le plus important, a fourni la majorité des gisements de bentonites. Il est intéressant de constater que, à Hammam Boughrara, il existe une corrélation entre la bentonitisation et la dynamique volcanique dans le secteur.

# Chapitre 4

## Étude pétrographique

### 4.1 Introduction

Le secteur d'étude est marqué par un volcanisme rhyolitique d'âge mio-plio-quadernaire, caractérisé par l'abondance de coulées andésitiques, basaltiques et rhyolitiques.

La dynamique changeante de ce volcanisme rhyolitique permet d'avoir de différents textures et lithologies (des rhyolites massives, perlitiques, fluidale ou dite ignimbritiques et des pyroclastites et tufs pyroclastiques, des dykes basaltiques et des andésites).

La rhyolite est l'équivalent volcanique de granite. Classée dans les roches dites ignées extrusive. Sa densité est de 2,3 à 2,6. Elle provient de refroidissement d'un magma de composition rhyolitique, riche en silice  $\text{SiO}_2$ .

Composée essentiellement de : quartz, feldspath, et parfois même de la biotite.

### 4.2 Les rhyolites compactes

#### 4.2.1 Description macroscopique

Equivalent volcanique du granite, de couleur assez claire (blanchâtre à grisâtre), à structure microlithique ; présence de gros minéraux visible à l'œil nu dispersés dans du verre et de beaucoup de petits minéraux (microlithes).



FIGURE 4.1 – Dôme rhyolitique de hammam boughrara

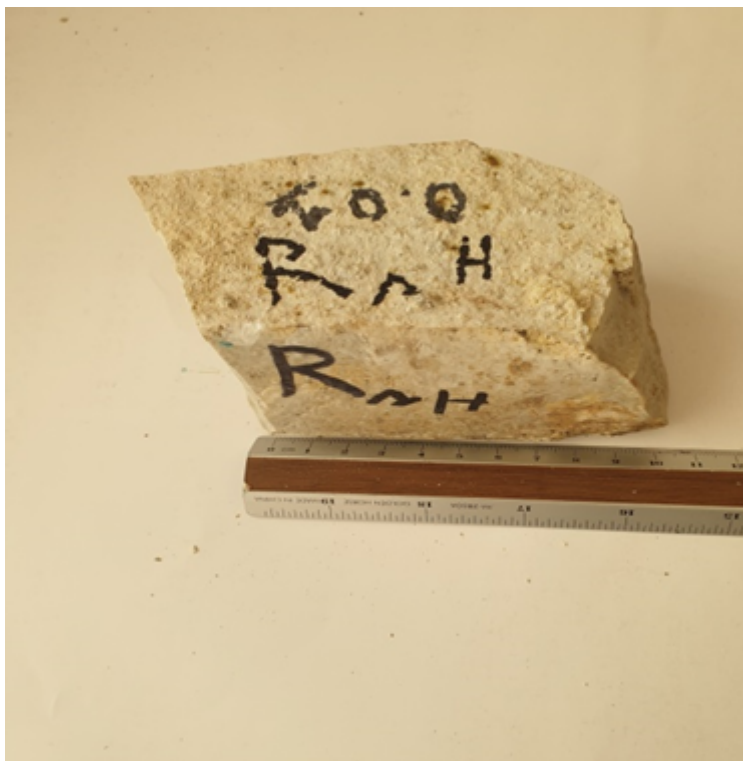


FIGURE 4.2 – Aperçu macroscopique d'une rhyolite compacte de Hammam Boughrara.

A l'œil nu on peut distinguer la présence de cristaux de quartz, feldspaths, biotites et des oxydes de fer de teinte marron foncé ou noir.

Par endroit, ces rhyolites, se présentent sous forme massive ; et dans d'autre endroit on peut voir une alternance de niveaux argileux pyroclastiques de couleur jaunâtre à blanchâtre et de niveaux rhyolitiques de couleur grisâtre.

Les rhyolites de Hammam Boughrara montrent souvent à l'affleurement une patine d'altération jaune sale.

#### 4.2.2 Description microscopique

**Les textures** Sous microscope, les rhyolites de Hammam Boughrara présente une texture hyaline porphyrique, elle présente des cristaux de différentes tailles baignant dans une mésostase riche en verre volcanique, l'examen microscopique montre la présence des minéraux suivant : de quartz, feldspath, biotites et minéraux opaques.

**La mésostase** C'est le fond microcristallin ou baigne les phénocristaux, il a un aspect variable, soit vitreux, soit à tendance microlitique ou très finement cristallisé. Sa couleur est souvent brune sombre à incolore et parfois marqué par des taches opaques ou marron rougeâtres.

Dans le cas des rhyolites de Hammam Boughrara la mésostase présente plus de 80% de la totalité de leurs volumes.

**Les phénocristaux** Composé essentiellement de quartz, feldspath (plagioclase).

**Le quartz** Il se présente sous forme de gros cristaux automorphe à sub-automorphe, souvent fissuré avec une teinte entre le gris et le blanc, isolé et parfois associé à d'autres minéraux.



FIGURE 4.3 – Microphotographie d'un plagioclase associée à un quartz (LPA. Gx4)

### Les feldspaths

**Le plagioclase** Le minéral le plus abondant, il est caractérisé par des cristaux de grandes tailles à macle polysynthétique avec des teintes de polarisation gris à blanc du 1er ordre. Il est parfois isolé dans le fond microcristallin ou associé à d'autres minéraux (voir la figure ci-dessus).

**La sanidine** Observé en cristaux automorphe rectangulaire à macle de Carlsbad. Elle a une faible teinte de biréfringence, présente quelques cassures. Elle est isolée dans la mésostase ou bien associée à des plagioclases, et parfois on peut rencontrer quelques inclusions de quartz et de biotite.

**La biotite** La biotite se présente sous forme de fine baguette allongée de couleur brune isolé dans la mésostase.

## 4.3 Les pyroclastites et tufs pyroclastiques

Une roche pyroclastique ou pyroclastites est une roche formée par l'accumulation et la solidification de l'ensemble des fragments projetées par une éruption volcanique.

Ces produits, une fois émis, peuvent s'agglomérer, être consolidés par un ciment ou demeurer sous forme de débris meubles, plus ou moins vulnérables vis-à-vis de l'altération météorologique.

Sur le terrain elles se superposent verticalement en fonction de la taille des grains, comme cela est montré sur la photo suivante :

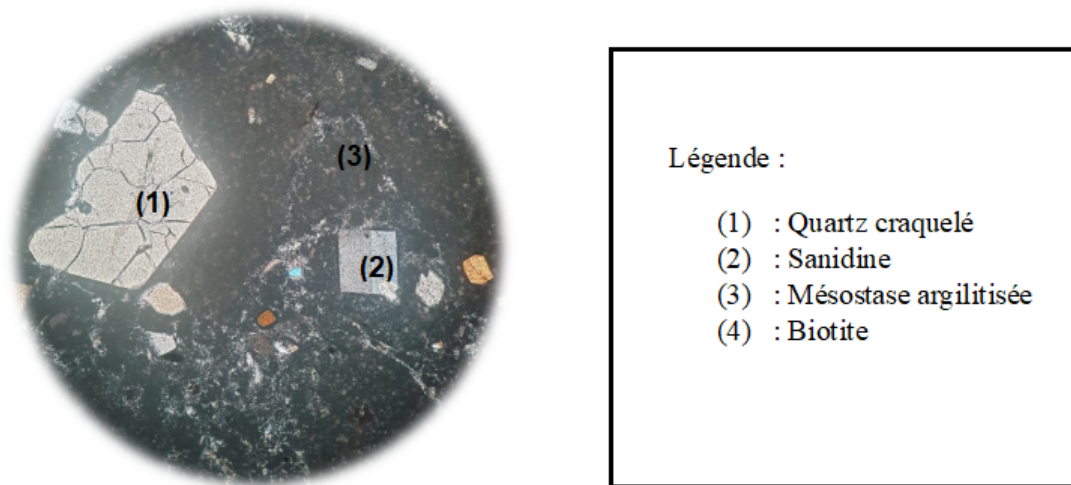


FIGURE 4.4 – Microphotographie d'une Rhyolite compacte de Hammam Bouhrara (LPA. Gx4)

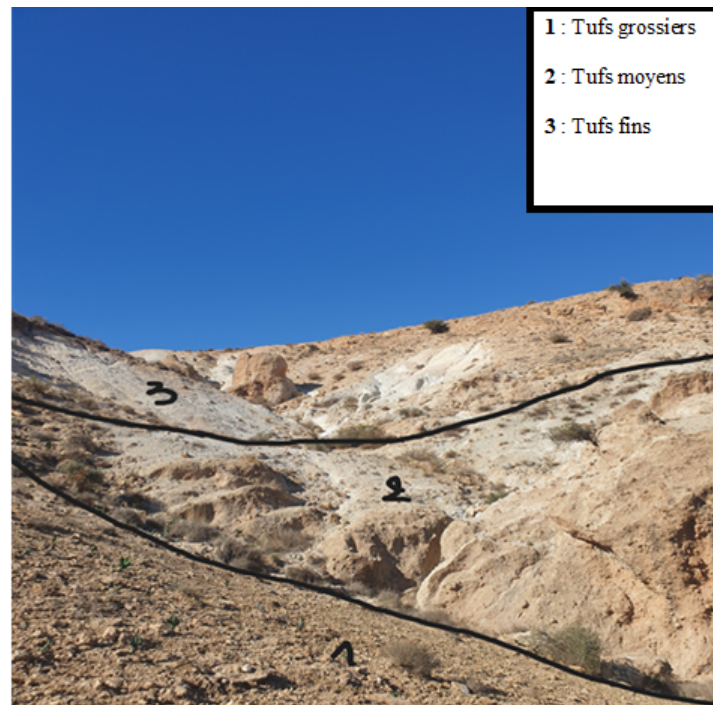


FIGURE 4.5 – Positionnement des tufs pyroclastiques dans le dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara

### 4.3.1 Description macroscopique

Localement, ils se présentent sous forme de tufs volcaniques, de couleur blanchâtre à verdâtre, formés à partir des fragments de cendres et poussières volcaniques où on a prédominance de la matrice formée essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux, de taille millimétrique à centimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths d'opales et de fragments de perlite, ils sont issus directement d'une éruption volcanique.

La matrice prend souvent une couleur jaunâtre à cause de la bentonisation.

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

### 4.3.2 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.

**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'opales. 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).

**La Phase Clastique** Elle est composée essentiellement de minéraux et fragments de minéraux ou des débris (surtout des quartz 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 rare bioblastes (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.

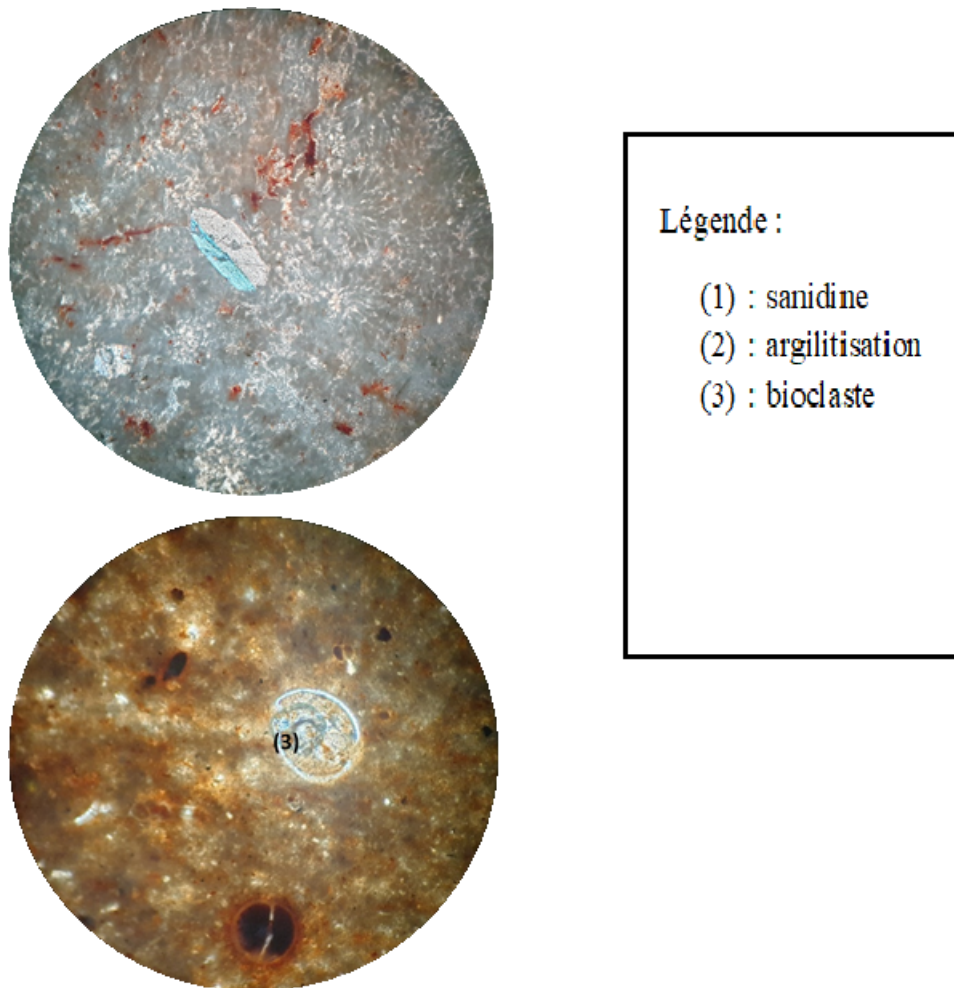


FIGURE 4.6 – Microphotographie des tufs pyroclastiques de Hammam Bouhrara (LPA. Gx4)

## 4.4 Les ignimbrites (tufs consolidés massifs)

C'est une roche formée à partir de débris de laves acides qui ont été soudés à chaud (avant refroidissement). Elles peuvent être de différentes couleurs selon leur composition et leurs densités ; blanches, grises, roses, beiges, brunes ou noires. Elles sont composées essentiellement de : quartz, sanidine, albite et biotite.

### 4.4.1 Description macroscopique

Les ignimbrites sont observées à la base de dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara, ils ont typiquement la même composition des pyroclastites ; une matrice composée de minéraux ou fragment de minéraux (quartz, feldspath, quelques biotites et mx opaques) et du verre volcanique et fragments de roches rhyolitiques voir la fig4.7.

**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 Bouhrara. Elle donne à ces roches une couleur



FIGURE 4.7 – Aperçu macroscopique d’une ignimbrite de Hammam Boughrara.

jaunâtre. Cette bentonitisation se développe localement et touche essentiellement les tufs et les roches pyroclastiques associés au dôme rhyolitique d’Ain Torba voir la fig4.8 et la fig?? . 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.

## 4.5 La perlite

C’est une roche volcanique, acide, hydraté, dont les phénocristaux ont cristallisé dans un magma qui se refroidissait lentement (en profondeur) et qui est remonté en surface, subissant un refroidissement brutal (effet de trempe). Elle est d’une couleur gris clair à verdâtre ou noirâtre, dont la composition chimique est celle de la rhyolite (plus de 72% de la silice).

### 4.5.1 Description macroscopique

Les perlites apparaissent sous forme massive ; montrant, elles aussi, une fluidalité 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.

### 4.5.2 Description microscopique

Elle a une texture perlitique où le verre est découpé en petites perles par des petites fentes de retrait. On note aussi la présence de phénocristaux noyés dans le verre (ou la mésostase).

**La mésostase** Prédominée par les microlites et microcristaux de quartz, les plagioclases sont disséminés sans contact entre elles, dans le verre, formé ainsi par de rares taches d’oxydes opaques.

#### Les phénocristaux

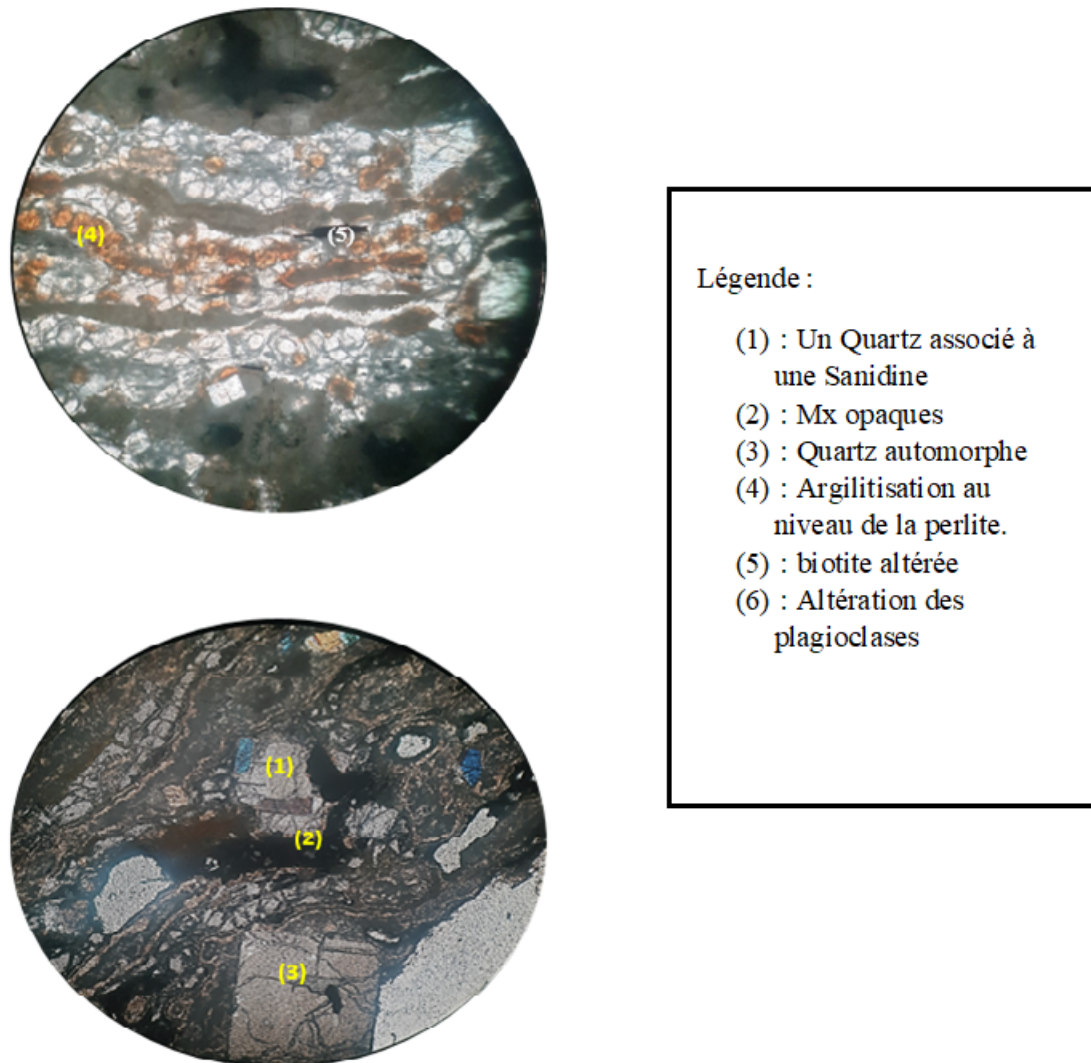


FIGURE 4.8 – Microphotographie d'échantillon d'Ignimbrite de Hammam Bougrara (L.P.A. Gx4)

**Le quartz** On l'observe sous forme de cristaux automorphe à sub-automorphe, présente quelques fissures. Il a une teinte de biréfringence faible.

**La sanidine** Observé en gros cristaux automorphe rectangulaire à macle de Carlsbad. Elle a une faible teinte de biréfringence, présente quelques cassures. Elle est isolée dans la mésostase ou bien associée à des plagioclases, et parfois on peut rencontrer quelques inclusions de quartz et de biotite.

**Les biotites** Elles sont les seuls représentants des minéraux ferromagnésiens. La biotite se présente sous forme de fines baguettes allongée dans la mésostase à pléochroïsme intense (brun à brun foncé) masquant souvent leur couleur originelle. Leur forme allongée marque très bien la fluidalité de la roche et donne davantage de renseignements sur le sens de l'écoulement de la lave. Elle est isolée dans la mésostase, comme elle peut être associée au Quartz



FIGURE 4.9 – Aperçu macroscopique de deux perlites prise d’Ain Torba

**Les textures** - La texture hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale : le verre rhyolitique est sillonné par des fissures.

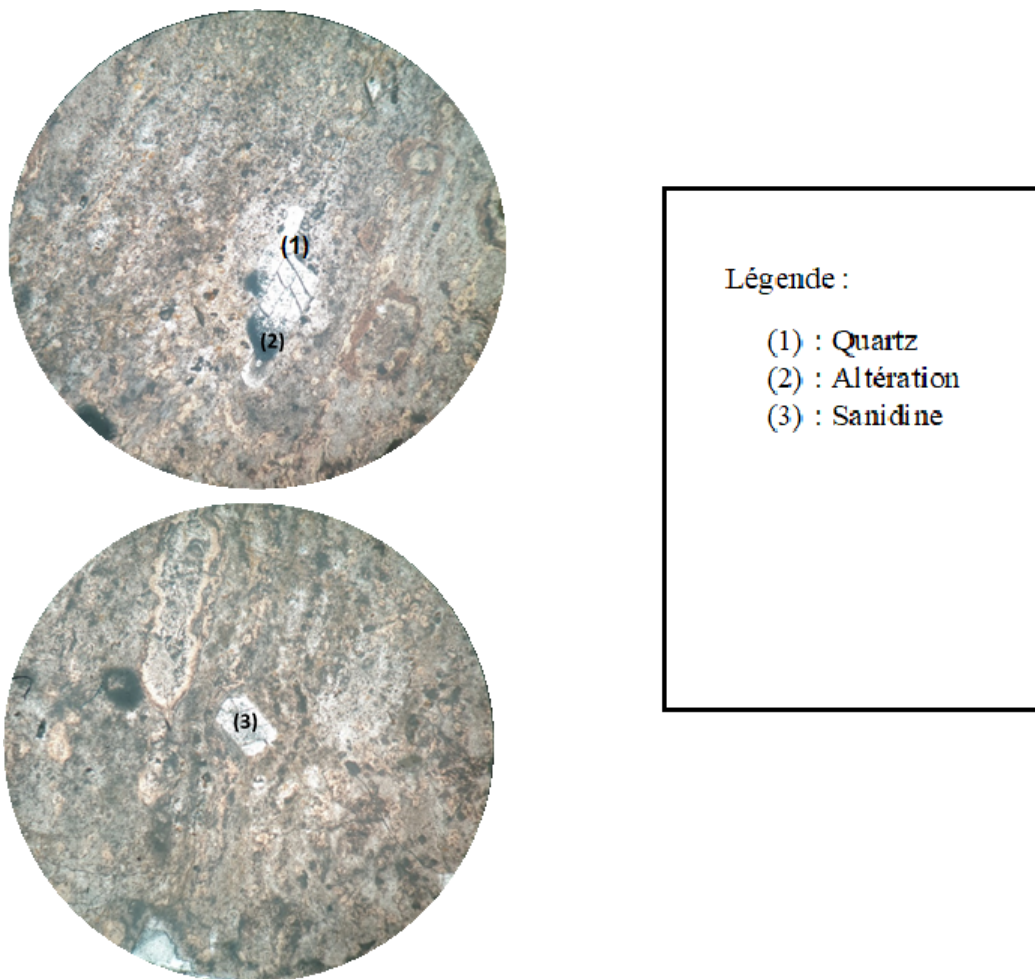


FIGURE 4.10 – Microphotographie d’une rhyolite à texture fluidale d’Ain Torba (LPA. Gx4)

- Les perlites à texture sphéroïdique : la mésostase comprend 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.

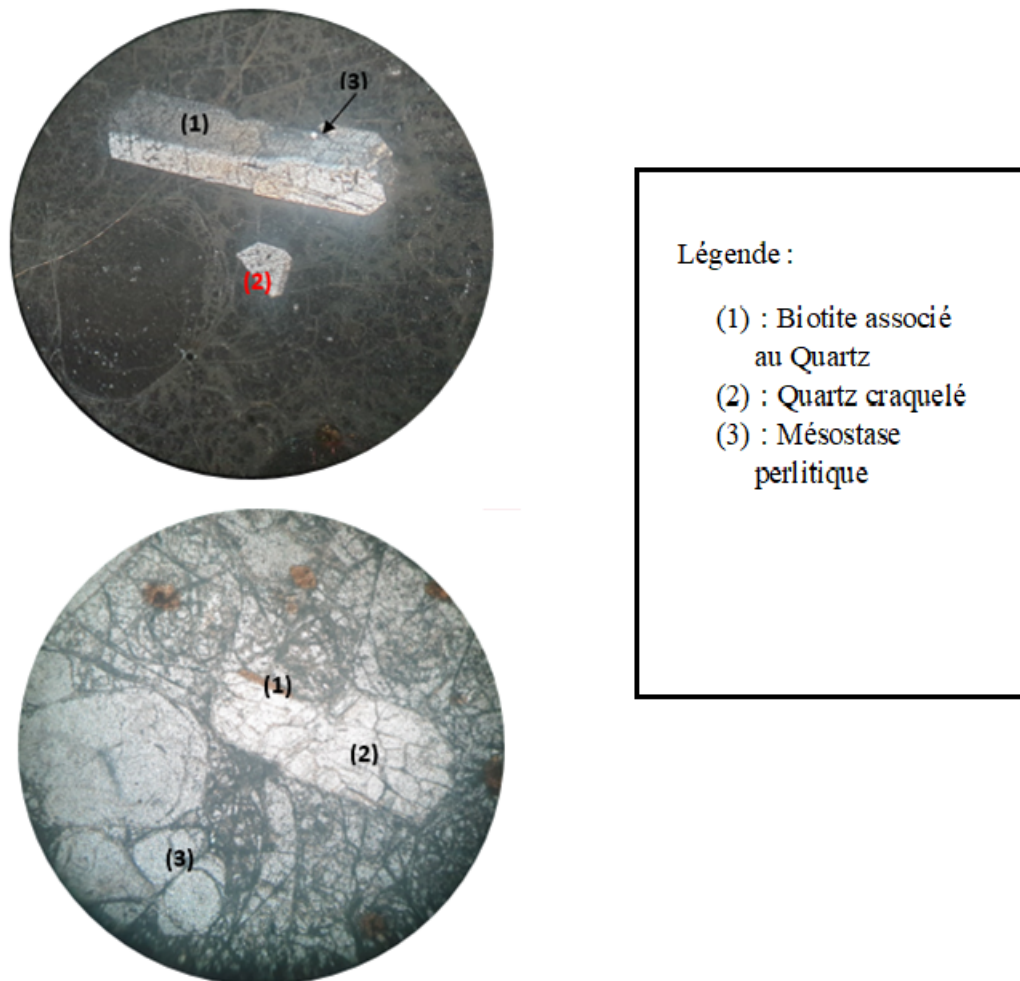


FIGURE 4.11 – Microphotographie montrant une rhyolite à texture perlitique d’Ain Torba (L.P.A. Gx4)

## 4.6 Les basaltes

Lors des éruptions volcaniques, les volcans peuvent libérer d’abondantes quantités de lave, qui, une fois exposée à l’eau ou à l’air, se refroidit rapidement pour former le célèbre basalte. Le basalte est une roche volcanique, d’une couleur sombre à très sombre à structure microlitique. Elle est caractérisée par une minéralogie composée essentiellement de : plagioclase à 50%, de pyroxènes (25 à 40%), d’olivine (10 à 25%), et de 2 à 3% de magnétite.

### 4.6.1 Description macroscopique

C’est une roche sombre composée presque entièrement de minéraux foncés comme l’olivine accompagnée de pyroxène plus pauvres en silice. Ils sont extrêmement durs et ont une couleur variant entre le gris foncé et le noir.



FIGURE 4.12 – Aperçu macroscopique d'un basalte d'Ali ben zemran

#### 4.6.2 Description microscopique

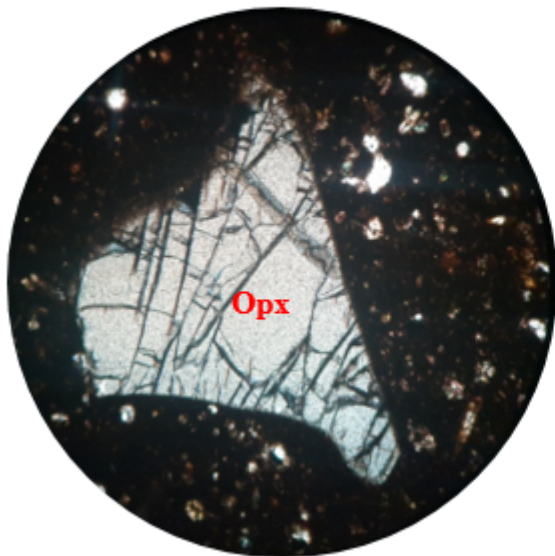
Au microscope, on constate que la structure est la plus souvent microlithique (une mésostase, dans laquelle baignent de petits cristaux allongés). Les phénocristaux sont essentiellement de l'olivine, des pyroxènes des plagioclases calciques et, plus rarement, de la magnétite. La mésostase comprend, les minéraux précédents, une quantité notable d'oxydes de fer (magnétite, ilménite) et la quasi-totalité des plagioclases de la roche.

##### Les phénocristaux

**Les plagioclases** Les plagioclases sont abondants, ils se présentent sous forme de cristaux allongés, automorphe de différentes tailles, souvent maclés (polysynthétique), Sont parfois isolés dans la mésostase où bien associés aux autres minéraux. Les plagioclases portent des minéraux opaques sont en inclusion et même des microcristaux de pyroxène, ils montrent souvent de zonage parfait bien.

**Pyroxène** Le pyroxène est observé il est de type augite. Les sections sont souvent automorphes et montrent des fractures régulières qui soulignent les clivages. Ces Cpx représentant 7 à 13 % de volume de la roche, sont souvent associés en agrégats à des minéraux d'olivines et de plagioclases.

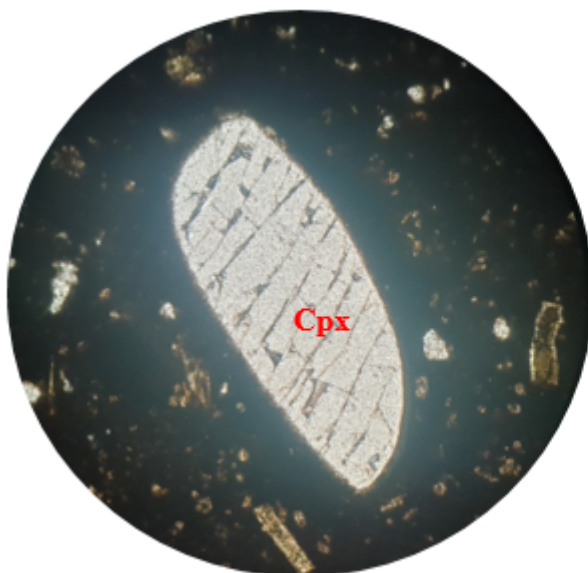
**Olivine** Elle se présente sous forme globuleuse de petite taille, avec un fort relief, présente souvent des fractures sinueuses.



Légende :

Opx : Ortho pyroxène

FIGURE 4.13 – Microphotographie montrant un Orthopyroxène dans un échantillon de Basalte (L.P.A Gx4)



Légende :

Cpx : Clinopyroxène

FIGURE 4.14 – : Microphotographie montrant Clinopyroxène dans un Basalte (L.P.A. Gx4)

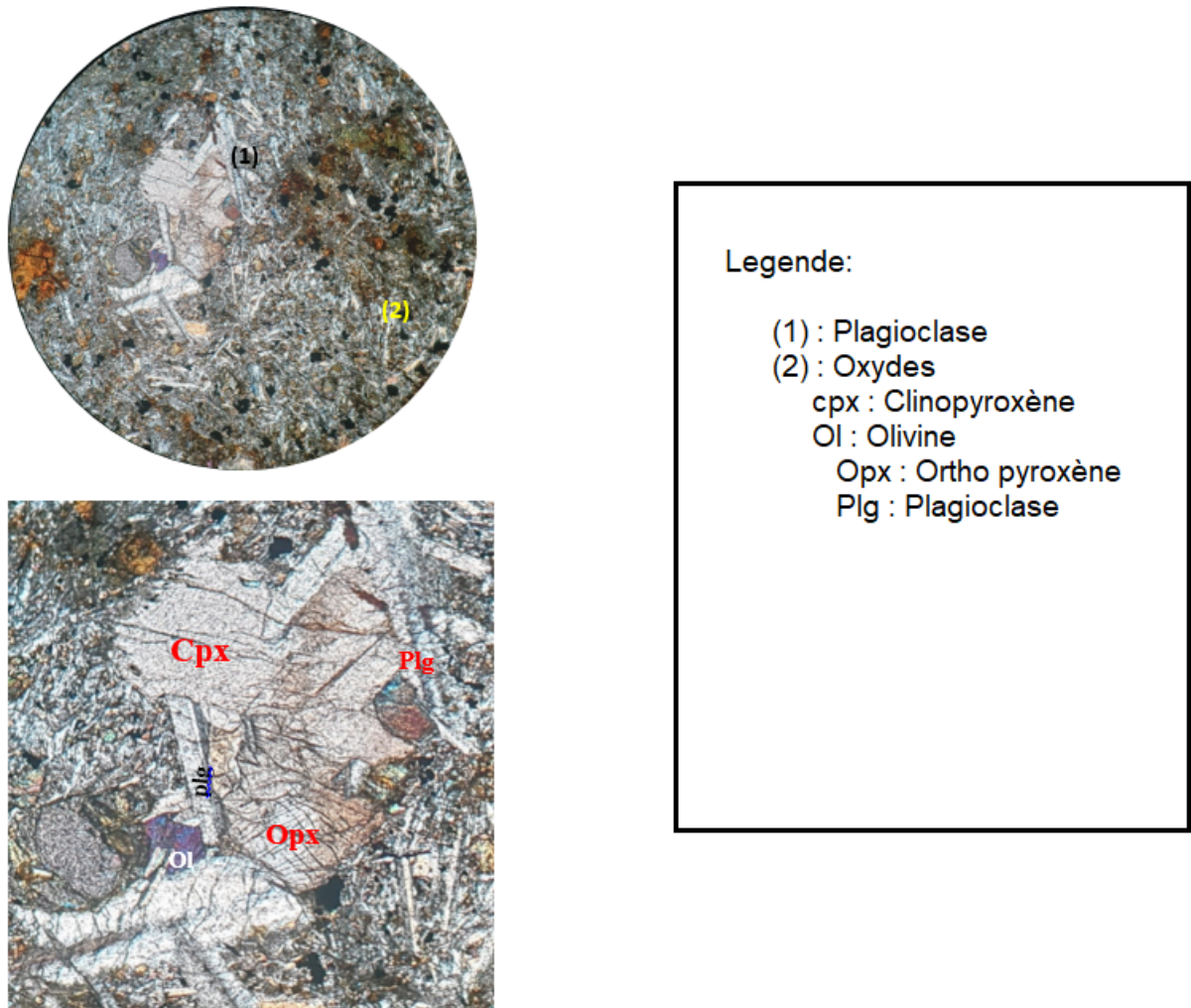


FIGURE 4.15 – Microphotographie montrant une texture microlitique à phénocristaux de : plg, opx, cpx, olivine (L.P.A. Gx4)

## 4.7 L'andésite

C'est une roche volcanique de composition intermédiaire, sa couleur varie du gris foncé à clair ou brun d'une granulométrie moyenne à fine. Issue de refroidissement de coulées de lave et dômes volcaniques associé aux zones d'activité volcanique intense.

Elle est composée essentiellement des plagioclases, hornblende (biotite, pyroxène).

### 4.7.1 Description macroscopique

Les andésites de ces laves sont à texture microlithique, elles ont une couleur plus ou moins claire. Composée essentiellement de plagioclases, amphibole, pyroxène et biotite qui est dominante voir la fig4.16



FIGURE 4.16 – Aperçu macroscopique d'une andésite de boukanoun

### 4.7.2 Description microscopique

Ce sont des laves porphyriques caractérisés par de gros phénocristaux de plagioclase et d'amphibole, de pyroxène ou de mica noir piégés dans une mésostase vitreuse.

#### Les phénocristaux

**Les plagioclases** La phase minéral la plus abondante avec des tailles qui varient de 1 à 3mm. Ils se présentent sous deux formes soit en cristaux isolés automorphes à sub-automorphes

Ils sont fortement zonés et craquelés, ce qui rend difficile la détermination de la nature des plagioclases. Ces zonations et ces fracturations sont soulignées par des minéraux d'altération tels que la calcite et les oxydes de fer.

**Le pyroxène** Sont de taille variable avec une forme sub-automorphes craquelées et se présentent souvent en agrégats avec les plagioclases. Il représente 5% du volume de la roche. Ces pyroxènes sont représentés par des Opx et des Cpx de taille qui varie de 0.1 à 0.5 mm. L'Orthopyroxène qui est reconnaissable par son extinction droite avec une biréfringence moyenne est de type hypersthène. Le Clynoxyroxène reconnaissable par sa forme et par son extinction oblique est de type augite.

**L'amphibole** Elle représente la phase minérale la plus importante après les plagioclases (7%). Il s'agit d'hornblende brune qui apparaît en cristaux automorphes, ou en baguettes qui atteint presque 2 mm. Elle est de couleur brune pléochroïque montrant un relief souligné par un liseré de petits grains d'oxydes de fer, qui ont parfois tendance à envahir tout le minéral. Les inclusions sont le plus souvent représentées par des grains d'opacques.

**La biotite** Elle se présente en section allongés, sub-automorphe, de taille variable (0.3 à 0.5mm) isolées dans la mésostase. La biotite renferme des inclusions de cristaux de plagioclase. Elle est fréquemment altérée en chlorite et bordée par des oxydes opaques qui se développent également le long des clivages.

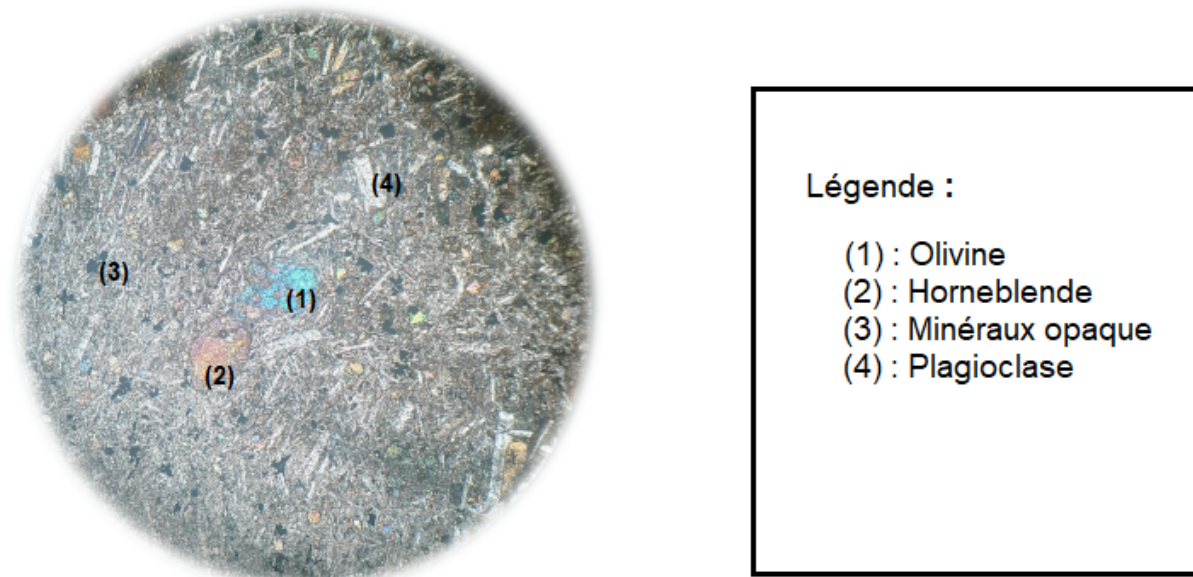


FIGURE 4.17 – vue microscopique d’une andésite de Boukanoun (texture microlitique) (L.P.A. Gx4)

## 4.8 Conclusion

La dynamique changeante du volcanisme de Hammam Boughrara a permis d’avoir différents faciès et textures des rhyolites : les rhyolites massives, fluidale, les perlites, les ignimbrites et les pyroclastites qui sont le produit d’un type explosif dans l’éruption volcanique, généralement déposée dans un environnement marin.

L’analyse microscopique des différentes lames mince, montre bien qu’un début de bentonisation se développe principalement au niveau des plans de fluidalité, perles ainsi que les points de porosité et la matrice argileuse.

Cette altération se développe essentiellement dans les faciès suivants :

- Rhyolites perlitiques
- Tufs pyroclastiques et ignimbrites

Tandis que les rhyolites compactes qui ne présentant aucune fluidalité ni perles sont moins touchés par la bentonitisation

On peut donc conclure que la bentonitisation est en fonction de la lithologie des faciès rhyolitiques.

# Chapitre 5

## minéralogie et géochimie des rhyolite

### 5.1 Introduction

Ce chapitre est consacré essentiellement pour l'étude minéralogique et géochimique des faciès rhyolitiques bentonitisés.

L'objectif de l'étude et de :

- Trouver la température de mise en place des dômes rhyolitiques.
- Confirmer si les 4 dômes rhyolitiques ont la même origine par la comparaison de leur chimisme et minéralogie.
- Confirmer que les terrains volcanogènes rhyolitiques sont touchés par la bentonitisation ainsi que de trouver les changements qu'ils les affectent.
- Comprendre les mécanismes de la bentonitisation par l'étude des isotopes.

### 5.2 Minéralogie

Pour ce qui concerne l'étude minéralogique on va prendre en considération 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 les conditions opératoires suivantes :

- Énergie d'excitation 15 KV.
- Intensité du courant 20 nano-ampères.
- Temps de comptage compris entre 20 et 30 s.

Les phases concernées par ces analyses sont :

- Les feldspaths (plagioclases et sanidine).
- Les biotites.
- La mésostase des rhyolites et la matrice des pyroclastites associés.

#### 5.2.1 Détermination de la température de la mise en place des dômes rhyolitiques

Pour le but de la détermination de température de mise en place des dômes rhyolitiques dans sa thèse, Boukhedimi à étudier l'équilibre entre plagioclases et feldspaths alcalin dans ces rhyolites.

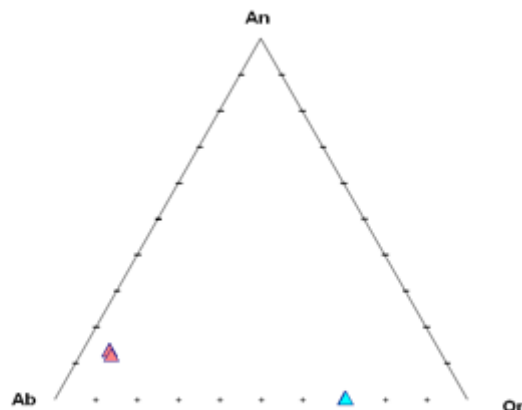


FIGURE 5.1 – Position des feldspaths dans le diagramme Orthose, Albite et Anorthite.

**Les feldspaths** Ils présentent la phase minérale la plus dominante. Les feldspaths montrent généralement un zonage normal et parfois oscillatoire. La composition générale est : albite-oligoclase (~An20). Les feldspaths alcalins sont du type sanidine voir la fig5.1 .

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 Boughrara 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 cœur du dôme (de 589°C à 681°C).

Les calculs effectués sur la base des travaux de Green & Usdansky 1986 ont donnés des résultats analogues. Ainsi, la température moyenne de mise en place des dômes rhyolitiques de Hammam Boughrara est estimée à environ 600°C voir la fig5.2.

**Les biotites** Les biotites Dans les rhyolites de Hammam Boughrara sont présentées sous forme de microlites et en phénocristaux.

Leurs rapports  $Fe / (Fe + Mg)$  est compris entre 0.8 et 0.9 ce qui les placent dans le champ des biotites du diagramme  $Fe / (Fe + Mg)$  vs  $Al_{IV-2}$  de Deer et al., (1966). De tels résultats attestent de leur caractère ferrifère (figure4). En effet, projetées sur le plan idéal de Guidotti (1984), elles se placent dans la partie Annite-Synderophylite (fig5.3).

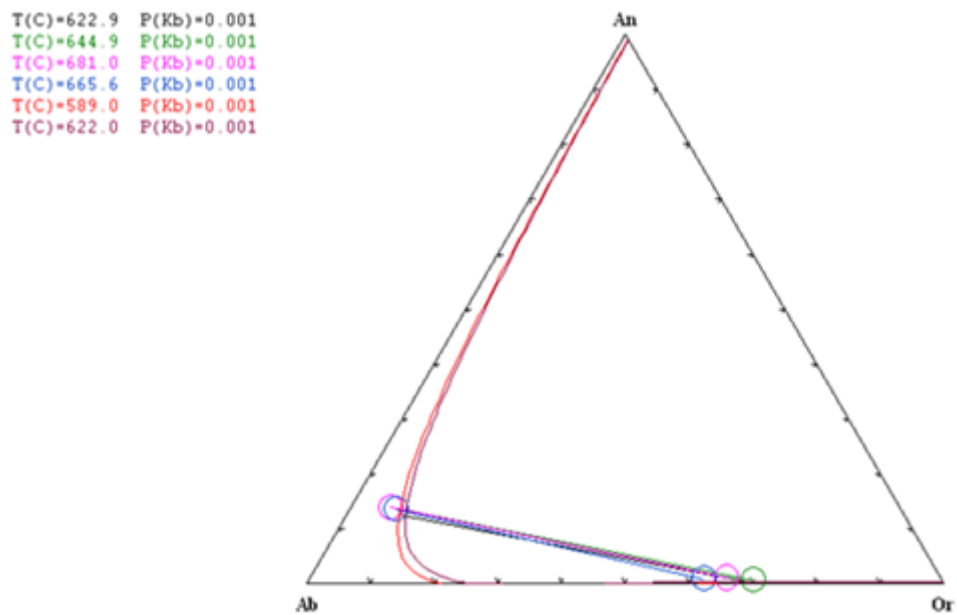


FIGURE 5.2 – Calculs des isothermes dans le système Albite-Anorthite-Orthose des feldspaths de Hammam Bouhrara

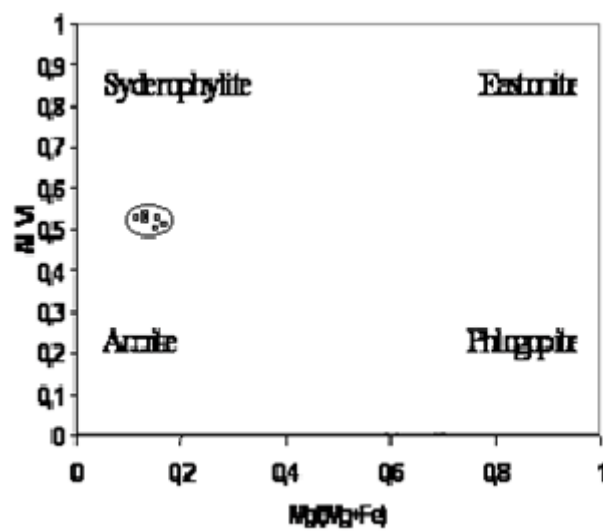


FIGURE 5.3 – classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Guidotti(1984)

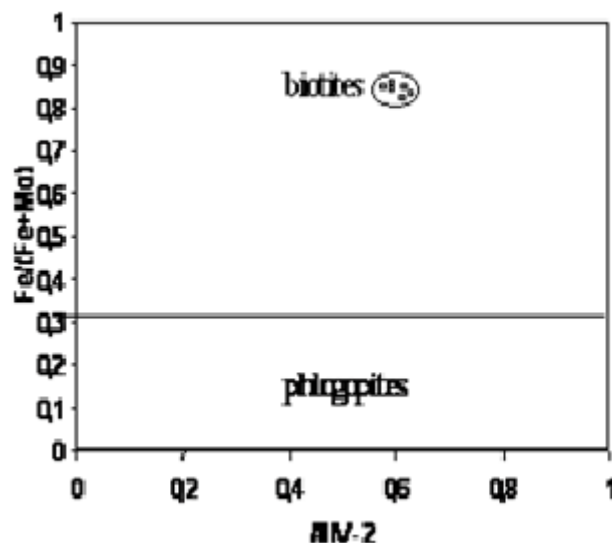


FIGURE 5.4 – classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Fe/(Fe/Mg) Vs Al IV-2 de Deer et al (1966)

### 5.3 Etude comparative entre les donnée de Mrguarts; Louni et Guardia, Boukhedimi :

Oxyde (%)	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	
Ech 1	75,49	6,48	Guardia
Ech2	70,34	8,22	
Ech3	74,54	8,13	Megartsi
Ech4	75,26	7,56	
Ech5	72,89	8,27	Louni
Ech6	77,31	4,3	

TABLE 5.1 – résultats des analyses chimiques d'oxydes des différents échantillons de Dôme rhyolitique de Hammam Boughrara ( Megartsi Louni et Guardia ).

Oxyde	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
ECH1	77,8708	6,3112
ECH2	66,5224	6,3602
ECH''	66,7674	6,2818
ECH4	80,4672	5,7696
ECH5	67,9388	5,8782
ECH6	77,5082	7,1442
ECH7	69,6	6,576
ECH8	62,7984	5,6252
ECH9	72,8336	7,9968

TABLE 5.2 – analyses des résultats chimiques d'oxydes des différents échantillons de Dôme rhyolitique de Hammam Boughrara ( Boukhedimi2008)

D'après la projection des résultats d'analyses chimiques d'oxydes réalisés sur les différents échantillons de rhyolites de dôme rhyolitique de Hammam Boughrara sur le diagramme de Harker alcalins-silice, les laves de Hammam Boughrara étudiées évoluent dans le champ des rhyolites calcoalcalines. Ces laves présentent des caractères géochimiques acides ce qui atteste d'un degré très poussé,

Dans le diagramme de Harker (fig5.5), les laves étudiées appartiennent toutes aux séries calco-alcalines.

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.

Dans le diagramme AFM des séries volcaniques Fig5.6 Confirme que les laves étudiées sont des rhyolites et se placent dans le domaine calco-alcalin.

## 5.4 Etude géochimique des faciès bentonitisés

### 5.4.1 Les éléments majeurs

Pour la bentonisation à Hammam Boughrara, les principaux changements en éléments majeurs les plus observés sont principalement en silicium (SiO<sub>2</sub>), aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), calcium (CaO) et magnésium (MgO), 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 sains :

#### 5.4.1.1 Le diagramme Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>

Il nous permet de de séparer les faciès bentonitisés des faciès sains à Hammam Boughrara avec précision. Pour les faciès bentonitisés les pourcentages de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont supérieures à 15% et des valeurs inférieures à 67% en SiO<sub>2</sub> alors que pour les faciès sains les valeurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inférieurs à 11% et supérieurs à 77% en SiO<sub>2</sub>, avec l'existence des termes intermédiaires. Donc, ce diagramme montre une diminution régulière en SiO<sub>2</sub> accompagnée d'une augmentation régulière en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> voir la fig5.7 et la fig5.3, et cela depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

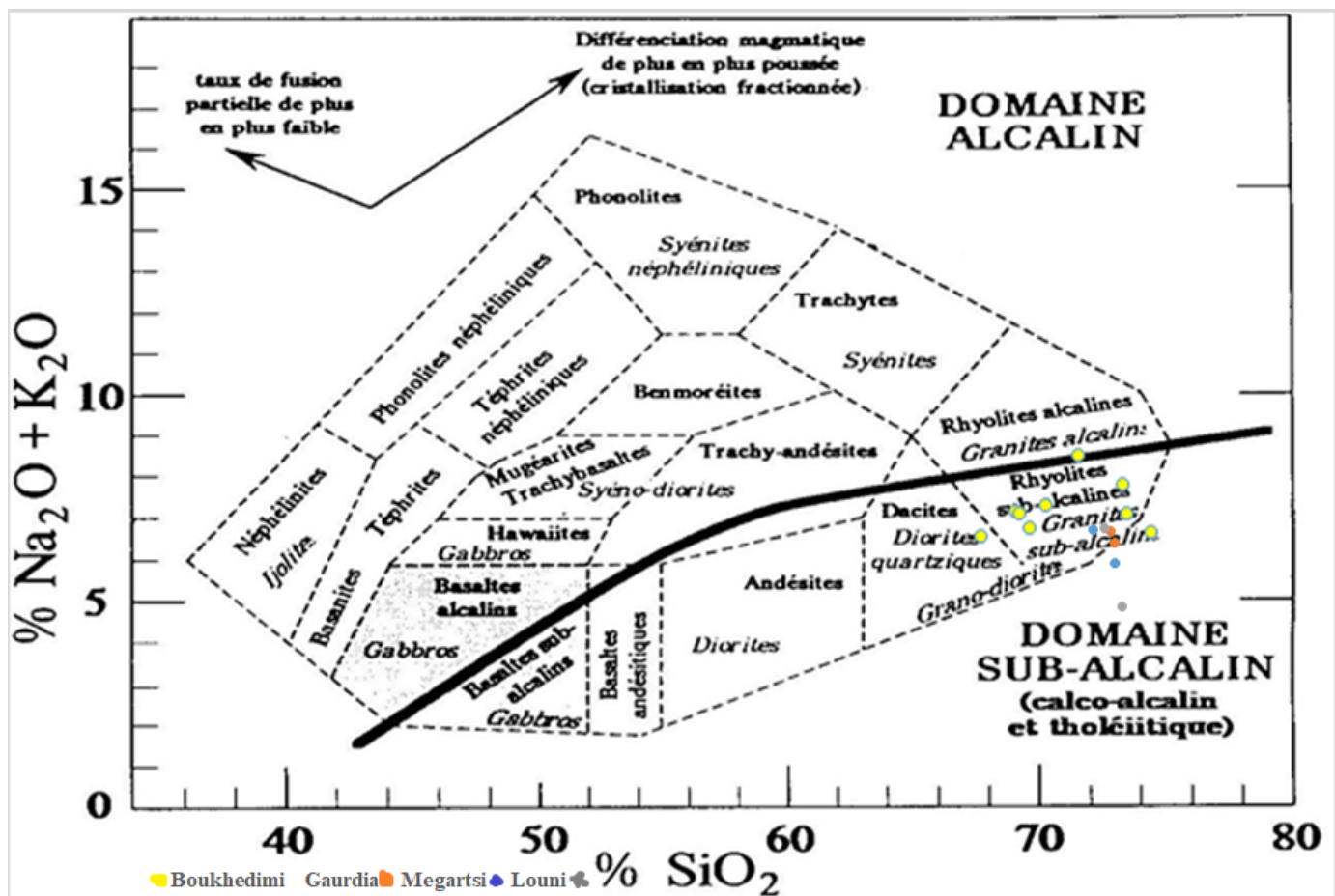


FIGURE 5.5 – Place des laves de Hamam Boughrara dans le diagramme de Harker. Les grandes séries volcaniques et leur position sur un diagramme alcalins-silice (Diagramme de Harker).

#### 5.4.1.2 Le diagramme MgO/CaO

Ce diagramme a pour objectif de différencier les faciès bentonitisés de Hamam Boughrara. Sur ce diagramme les faciès bentonitisés ont des valeurs supérieures à 1.2% en MgO et 0.8% en CaO alors que pour les faciès sains ont des valeurs inférieures à 0.4% en MgO et 0.6% en CaO (fig 5.8). Ce diagramme montre aussi une augmentation rapide en MgO puis en CaO depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

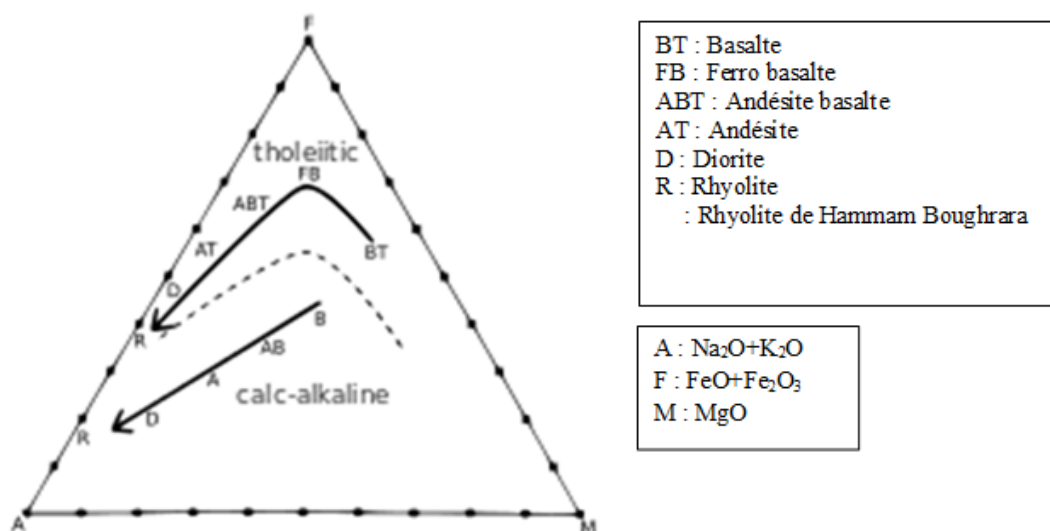


FIGURE 5.6 – Le diagramme AFM des séries volcaniques

Ech	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
RCp.al	78,6744	9,261
RHB2	80,4672	9,4272
IgR	78,6744	9,9078
Rh-S	77,8708	9,9372
RHB1	78,9586	10,4958
RSHBC1	77,5082	11,8384
REHBC1	74,9664	12,7776
RHB1	72,8336	13,2202
BHB2C	70,2268	13,6122
IGHB1	71,295	13,622
AB2C	69,6	13,776
HBC2	67,9388	14,1038
BHBC1	66,5224	15,2782
HBC1	66,7674	15,4252
Bento-HB1	67,2574	15,3566
PB-HB1C	66,9144	15,3076
BHB2C	62,7984	15,5526

 TABLE 5.3 – Analyses chimiques des éléments majeurs ( SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

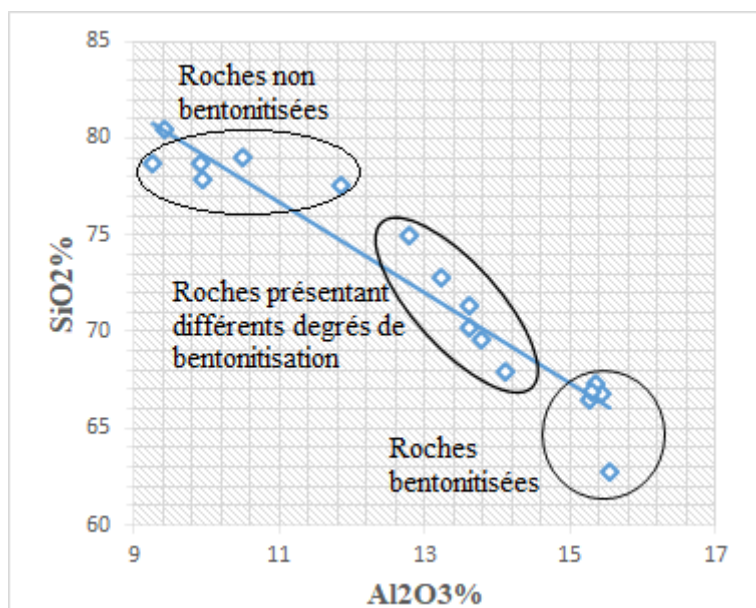


FIGURE 5.7 – Diagramme SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Bouhrara.

Ech	MgO (%)	CaO (%)
RHB2	0,0576	0,384
Rh-S	0,1176	0,4214
RHB1	0,1666	0,4508
RSHBC1	0,147	0,5194
RHB1	0,1666	0,5292
IgR	0,2548	0,441
Rcp a.l	0,3626	0,3626
REHBC1	0,5376	0,5664
IGHB1	0,539	0,5586
BHB2C	1,1858	0,6762
AB2C	0,1424	0,5664
HBC2	1,358	0,9603
BHBC1	1,3034	0,9016
HBC1	1,3426	0,9114
Bento HB1	1,2936	0,8624
PB-HB1C	1,2642	0,882

TABLE 5.4 – Analyses chimiques des éléments majeurs ( MgO/CaO)

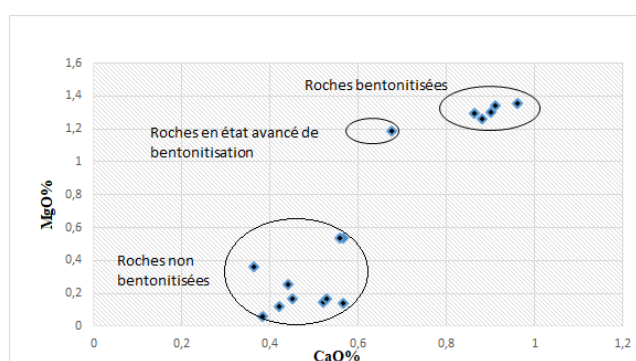


FIGURE 5.8 – Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Bouhrara.

## 5.5 Conclusion

A l'issue de ce chapitre on peut confirmer que :

Les caractéristiques minéralogiques des 4 dômes rhyolitiques de Hammam Bouhrara sont identiques (plagioclases [albite-oligoclase : An~20], sanidine, biotites du type Annite-Syderophylite et des tufs pyroclastiques constitués essentiellement de montmorillonite). Cela confirme leur origine commun (même magma) ; ils appartiennent tous aux rhyolites calco-alcalines.

Les calculs d'équilibre des feldspaths dans les roches nous a permis d'estimer que la température de mise en place des 4 dômes rhyolitique est d'environ 600°C. On a pu aussi remarquer une zonalité thermique qui est en allant vers le centre des dômes.

Les variations chimiques les plus typiques observées dans les terrains bentonitisés à Hammam Bouhrara sont : une réduction très notable en silice (SiO<sub>2</sub>) (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 SiO<sub>2</sub> est accompagnée d'une augmentation en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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.

# Chapitre 6

## Étude Néotectonique

### 6.1 Introduction

Ce chapitre a pour but d'analyser les accidents en relation directe avec la mise en place du volcanisme mio-plio-quadernaire de la moyenne Tafna afin de déterminer le potentiel de déformation thixotropique des dépôts rhyolitiques ; De mettre en évidence les grande accident qui est permet la mis en place de volcanisme de notre secteur d'étude

### 6.2 Interprétation du modèle numérique de terrain (MNT)

#### 6.2.1 Contexte général de l'interprétation

L'objectif de cette étude est l'identification des failles de secteur, principalement celles associées au volcanisme rhyolitique. Notre interprétation va passer par :

- Etudier et analyser les travaux réalisés antérieurement,
- Réaliser 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
- Analyser et étudier la MNT combinée à l'imagerie satellitaire et aérienne (fig6.1).
- 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.

Le but de cette étude est de localiser et déterminer la géométrie (longueur, profondeur, direction, pendage) des failles de cite étudié.

**Donc :** La direction principale de la carte linéamentaire il ressorte une direction préférentielle de d'érection (NE SW)

#### 6.2.2 Cartographie de volcanisme de secteur d'étude :

**Les centres d'émissions volcaniques de secteur d'étude sont alignés d'une direction atlasique NE-SW**

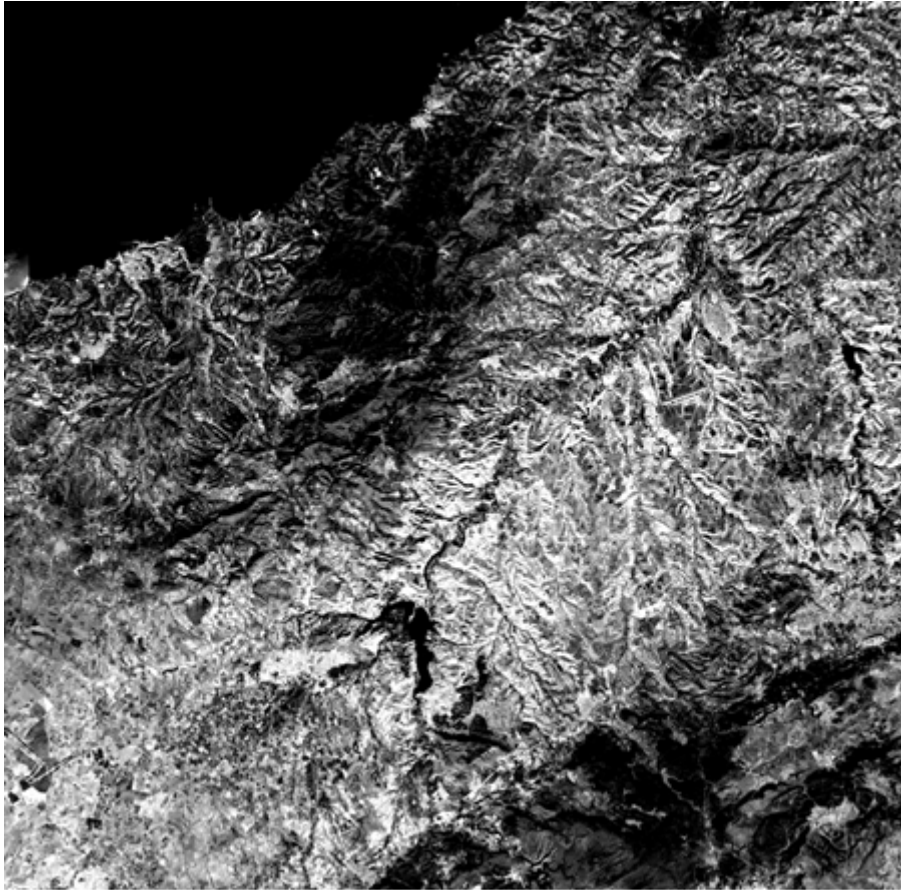


FIGURE 6.1 – photos sous forme MNT moyenne Tafna

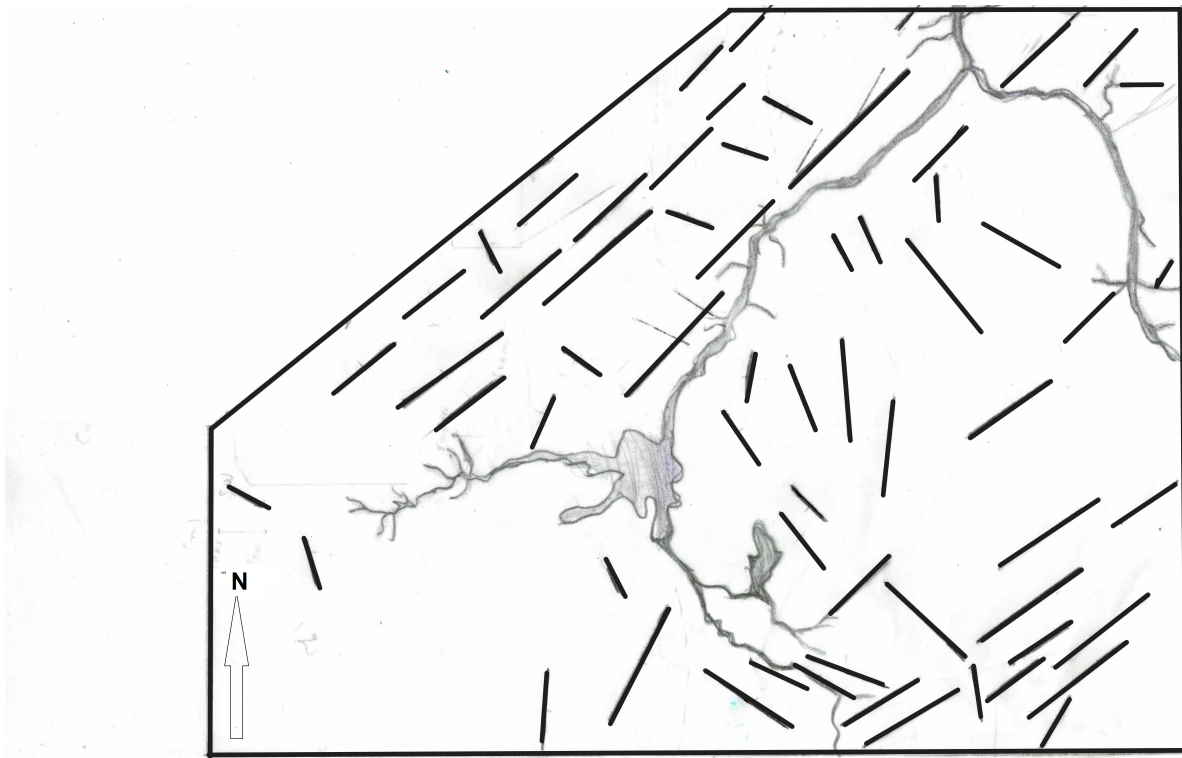


FIGURE 6.2 – carte linéamentaire du secteur d'étude (Hammam Bouhrara)

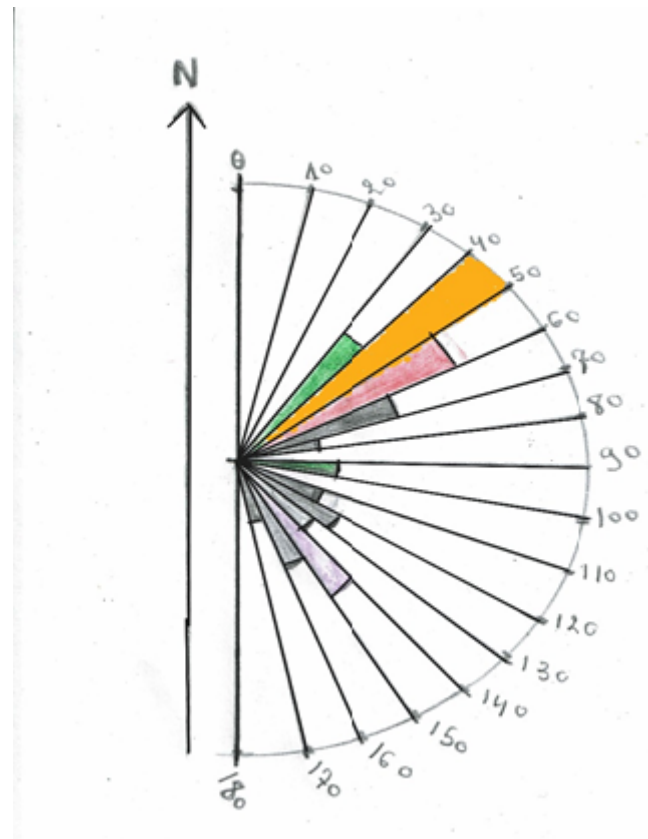


FIGURE 6.3 – Rosace de direction des linéaments de Hammam Bougrara

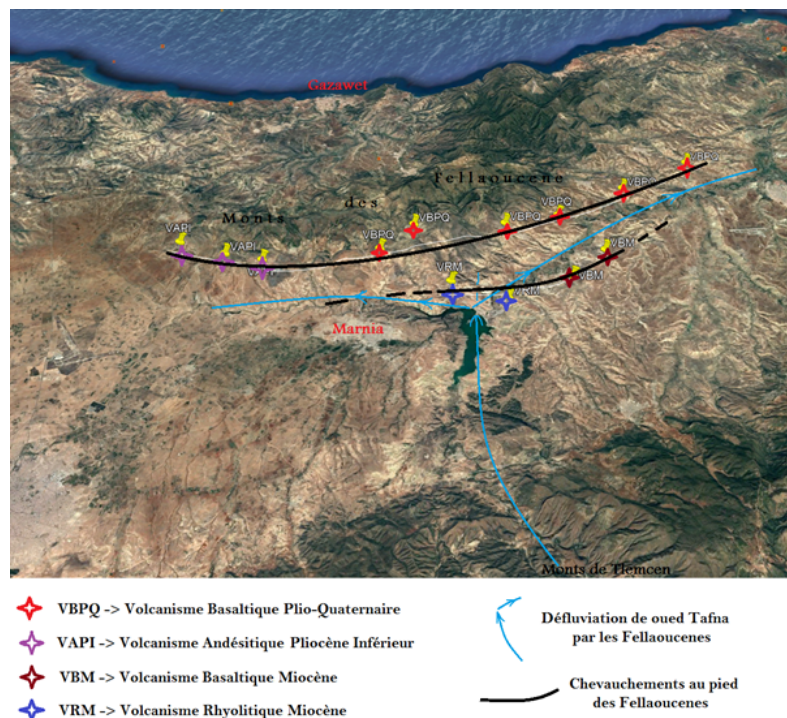


FIGURE 6.4 – Centres d'émissions volcaniques de la Moyenne Tafna et Souahlia

### 6.3 les etapes de la réalisation de la carte Néotectonique de secteur d'étude :

a-Calage de l'MNT sur la wilaya de tlemcen

b-Dégérialisation des faille active cartographie

c- projection de la Séismicité de la région d'étude

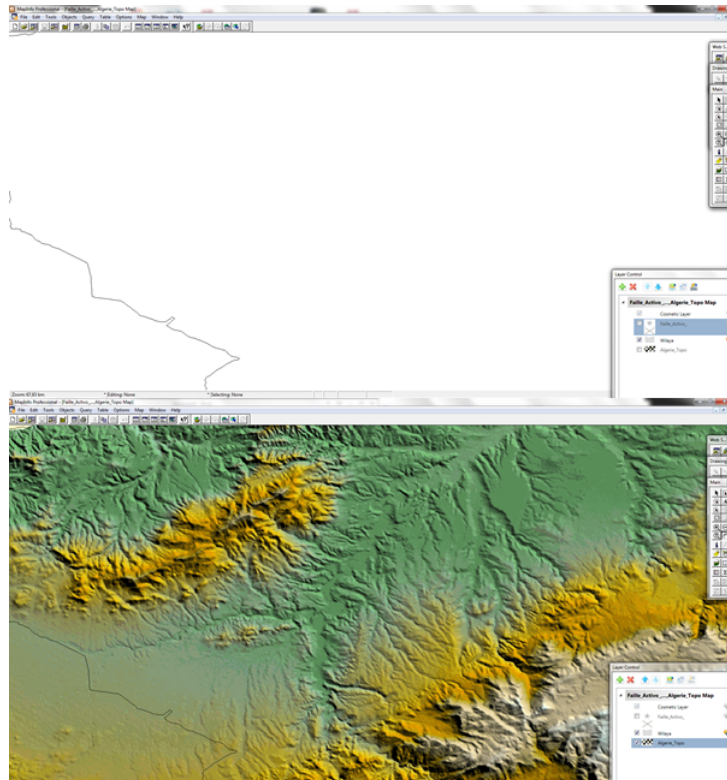


FIGURE 6.5 – calage de l'MNT sur la wilaya de tlemcen

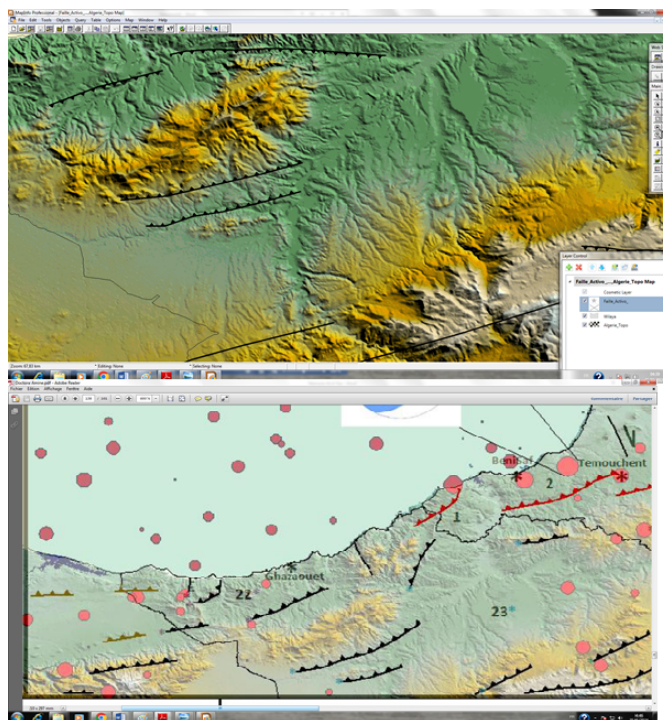


FIGURE 6.6 – carte qui montre la dégitalisation des faille active cartographie

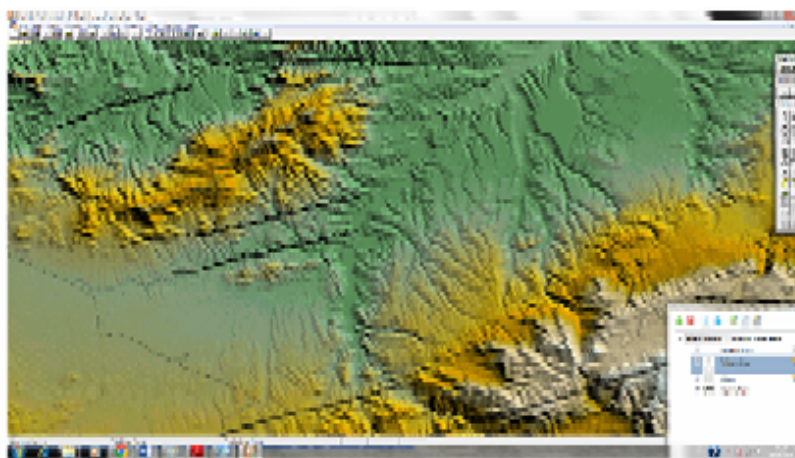


FIGURE 6.7 – carte montre la projection de la sèismicité de la région d'étude

## d-digitalisation de la géologie de secteur

### 6.3.1 Interprétation

Il est difficile d'identifier les failles en utilisant l'observation directe basée sur les travaux de terrain, surtout lorsque la couverture sédimentaire est importante, comme c'est le cas dans notre domaine d'étude. Il est crucial d'adopter d'autres méthodes.

Une interprétation basée sur les outils d'observation indirecte est devenue cruciale en raison des contraintes financières et temporelles, comme l'analyse des MNT combinée à l'imagerie

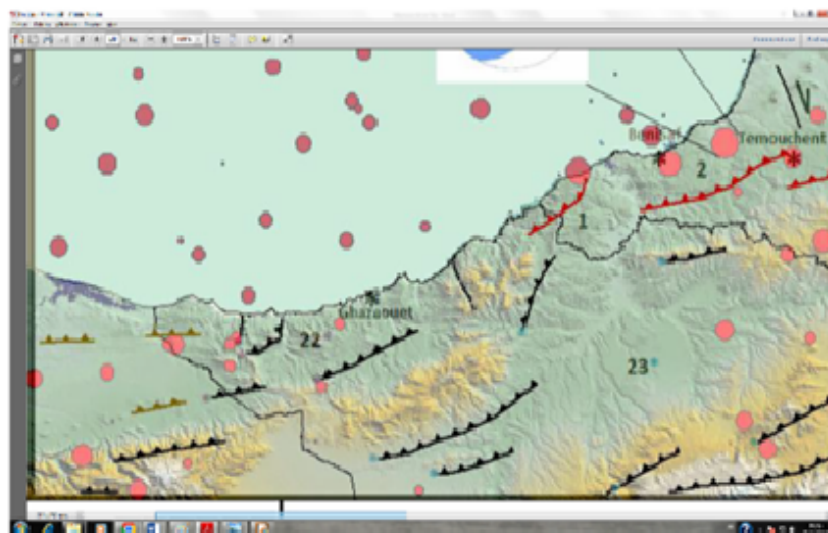


FIGURE 6.8 – une carte qui montre la digitalisation de la géologie de secteur d'étude

satellitaire ou autre. Cette approche actuellement employée par les chercheurs utilise des cibles précises du terrain (failles, défluviations, escarpement morphologique).

Grâce au MNT, il est possible de reconstruire la structure du terrain et de reprendre l'étude des traces laissées par les failles sur le sol.

Pour les failles non visibles, cas de la région de Hammam Boughrara, l'identification se fait à l'aide 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 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.
- Une 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).

Une remarque particulièrement intéressante est l'alignement du volcanisme cénozoïque de la moyenne Tafna sur la carte géologique, ce qui permet de comprendre la direction et l'emplacement des accidents utilisés lors de sa construction. Effectivement, cette étude, principalement fondée sur la télédétection à partir des images satellites, des photographies aériennes et des données satellites de la région, met en évidence de manière évidente les lignes de direction atlasiques (N40) en fonction de 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.

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.

## 6.4 Analyse granulométrique

Afin de déterminer le potentiel de déformation thixotropique des dépôts rhyolitiques nous avons effectué une étude granulométrique ainsi qu'une analyse micropaléontologique

Cette étude a donné les résultats suivants :

### 6.4.1 - Analyse microfossile : nous avons retrouvé les microfossiles suivants :



FIGURE 6.9 – Il s'agit de Globorotalia margaritae typique du miocène supérieur –pliocène inférieur à moyen des terrasses marines plio-quaternaires de la Tafna .

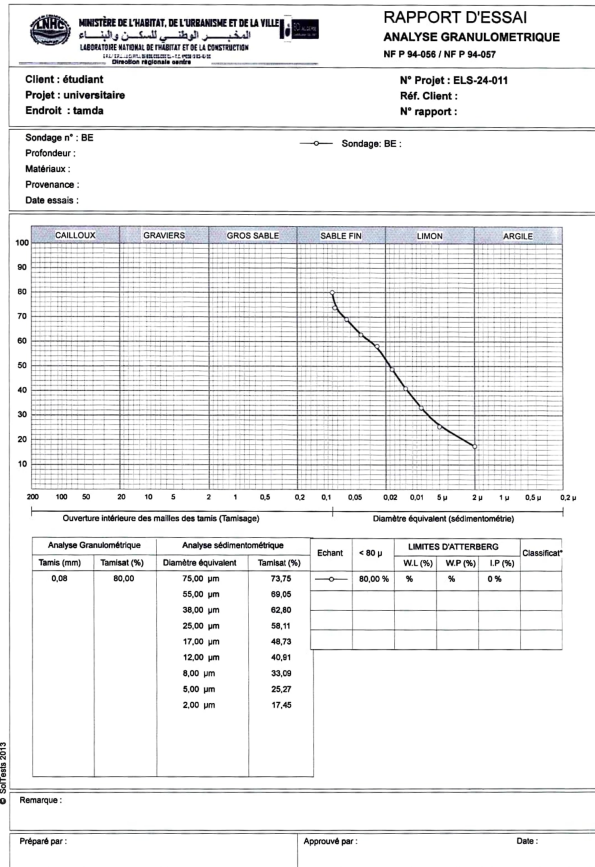


FIGURE 6.10 – analyse granulométrique des dépôt sables fin à grossier

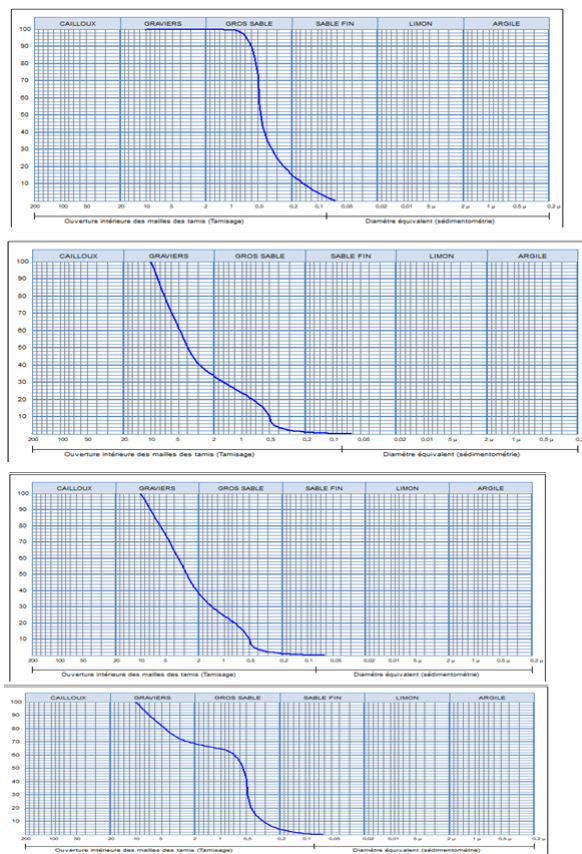


FIGURE 6.12 – courbe granulométrique

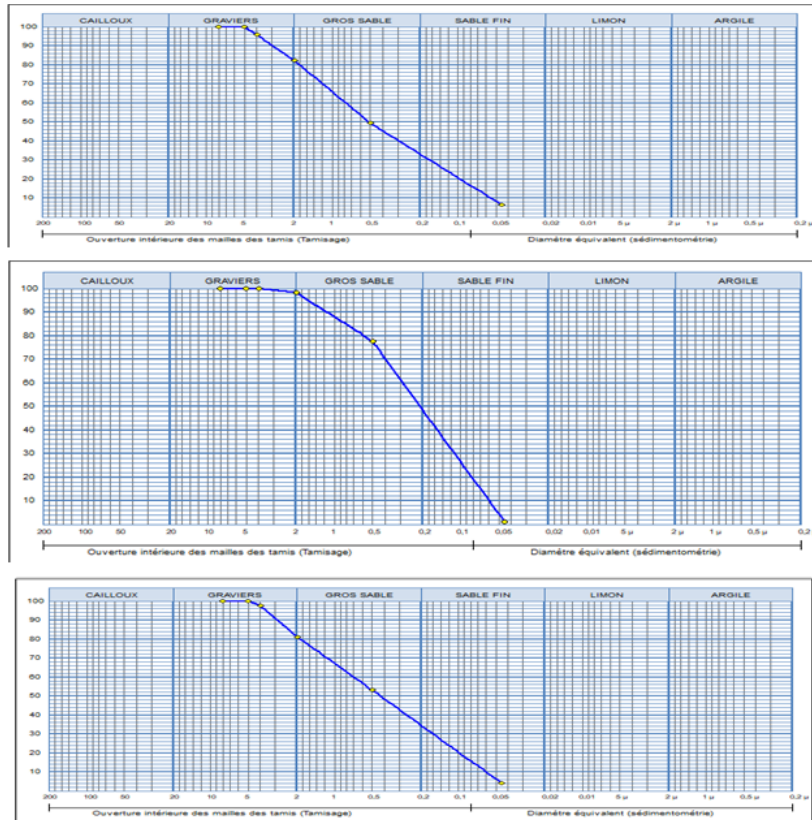


FIGURE 6.11 – les courbes granulométriques

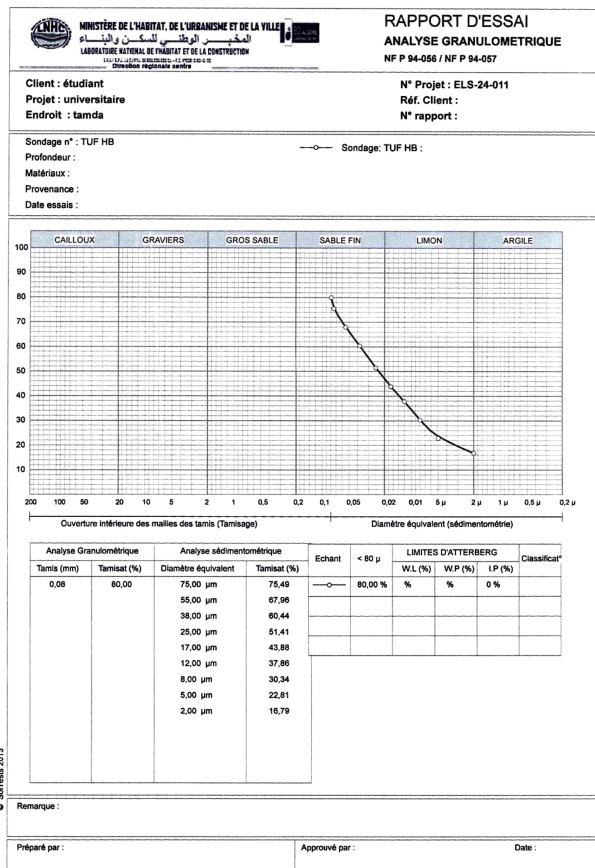


FIGURE 6.13 – analyse granulométrique des dépôt sables fin à grossier

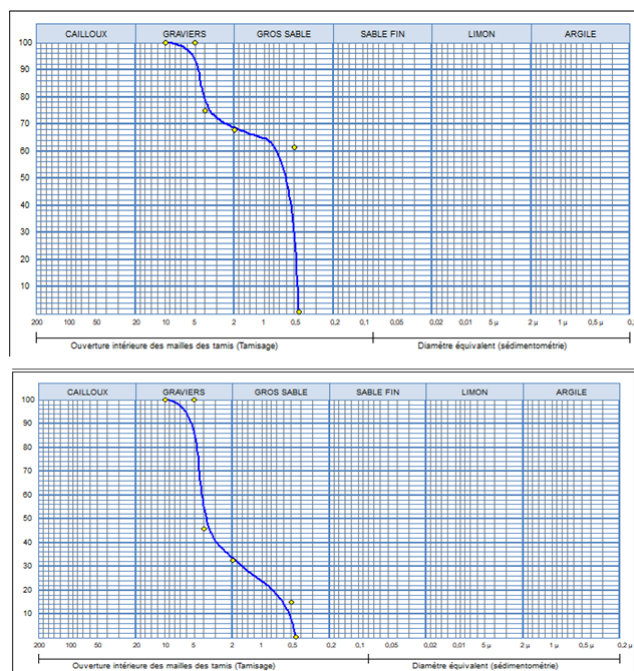


FIGURE 6.14 – les courbes granulométrique des différent échantillon

FIGURE 6.15 – Les dépôts analysés par granulométrie sont essentiellement des sables fin à grossier milieu idéal au développement des déformations thixotropiques notamment des seismites.

Tamis	Mar 02	Mar 05	Mar 06	Mar 07	Mar 11	Mar 12	All 01	All 10	All 03	All 04	All 08	All 09
1.0	87.9	99.6	99.5	99.6	99.5	99.6	66	64.9	67.5	66	23.8	24.4
0.5	77.75	99.5	99.41	99.45	99.3	99.2	49.46	61.47	53.21	52.82	15.03	14.48
0.250	55	17.3	11.60	19.9	12.11	18.3	37	6.0	38.5	39.9	2.0	2.10
0.125	28.2	6.6	4.00	7.60	4.2	7.2	24.4	1.8	21.8	27.8	0.18	0.19
0.008	19.0	3.2	1.80	2.5	1.90	2.1	16.4	1.7	16.5	20.10	0.17	0.17
0.063	12.0	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	11.8	1.6	11.20	15.90	0.16	0.16

## 6.5 Analyse des déformations

Nos investigations de terrains nous ont montrées que les déformations à caractère thixotropiques peuvent se trouver dans toutes les séries sédimentaires de l’Oranie, que ce soit le substratum anté-Néogène (fig6.16), la couverture Néogène ou Quaternaire.

Nous nous intéresserons dans ce mémoire essentiellement aux déformations thixotropiques affectant les dépôts des terrasses Quaternaires et notamment du Pléistocène Post-Calabrien(entre 781 000 à11 700 ans avant le présent) et de l’Holocène (11 700 ans avant l’ Anthropocène(l’âge industriel)) et cela pour trois raisons :

1- Ces formations sont constituées de terrasses marines et alluviales, ce qui les rend riches en eau, et sont principalement constituées de sédiments détritiques (grès, sables et argiles). Ainsi, il s'agit de milieux qui pourraient être liquéfiés et qui pourraient contenir ce genre de déformations.

2- Les séismites quaternaires sont les preuves les plus fiables de l'activité tectonique récente et actuelle liée au régime néotectonique. En effet, on estime généralement que le cycle sismique dure des centaines d'années et parfois des milliers d'années. Au cours de cette période, il est nécessaire d'atteindre le stade sismique. En d'autres termes, il est impossible de fixer des contraintes au niveau d'une faille active pendant des centaines de milliers d'années ou des millions d'années sans atteindre le stade sismique.

. A titre d'exemple, une séismite Miocène datée de 15 millions d'années (Langhien : miocène syncho-nappes oranais), ne peut témoigner que de l'activité d'une structure tectonique issue du régime tectonique d'il y a 15 millions d'années. Si ce régime tectonique est toujours en cours on devrait retrouver des séismites tout le long de la série Mio-Plio-Quaternaire dont le Post-Calabrien. Donc une séismiteanté-Quaternaire (Miocène et Pliocène oranais) voire même anté-Néogène (Jurassique et Crétacé oranais) ne peut constituer, à elle seule, une preuve de l'activité néotectonique observée aujourd'hui.

3- La 3ème raison pour laquelle nous nous sommes intéressés essentiellement aux déformations thixotropiques Post-Calabriennes est que les dépôts du Miocène, du Pliocène et du Pléistocène inférieur (Calabrien) sont contemporains de la mise en place du volcanisme en Oranie occidentale. Ce volcanisme de par son activité peut être à l'origine de ces déformations . Autrement dit, les déformations concernées par cette tranche d'âge, ont une origine tectonique incertaine et ne peuvent pas être des témoins fiables d'une activité de structuration tectonique .



FIGURE 6.16 – Dyke volcano-sédimentaire

### 6.5.1 Typologie :

Les dépôts liquifiés Quaternaires de l'Oranie présentent de nombreux types de déformations typiques des sédiments meubles. On peut les résumer de la manière suivante :

- Les sismoslumps sont des structures qui se forment dans les formations sédimentaires à stratifications horizontales, représentant des plis dysharmoniques de taille décamétrique. Les sédiments superficiels sont liquéfiés, ce qui leur permet d'être utilisés pour l'enregistrement de la succession des séismes (Marco et al, 1996). Ken et ses collègues, 2001).

- Les cuvettes de type thixotrope. Ces déformations ont l'apparence de creux ou de « cuvettes » dont les parois présentent des éléments asymétriques. On les trouve à différents niveaux des terrasses côtières d'Oran. (fig 6.19). Plusieurs auteurs (e.g. Montenat et al 2007) pensent que le pendage asymétrique des parois est lié au basculement (tectonique) des sédiments contemporains à la formation de la «cuvette»,

- Les structures en coins thixotropiques, correspondent à des déformations en forme de V intercalées dans des lits de sable essentiellement (fig6.20). Elles sont observées dans les dépôts des terrasses calabrienne et post-calabriennes notamment les dépôts de plage et d'avant plage (sables et grès). Plusieurs auteurs (e.g. Black 1983 ; Thorson et al. 1986 ; Montenat et al 2007) pensent que souvent ces structures se forment à proximité des failles qui ont été actives pendant la sédimentation. Les coins thixotropiques observés dans les dunes récentes (Holocène) de l'Oranie se localisent essentiellement au niveau du plateau de la Terga à proximité des failles actives de la région d'AinTemouchent et au nord du Murdjajou. On note aussi la présence de ces déformations dans la région de Ghazaouet et dans le plateau de Mostaganem où elles sont très répandues .Ces déformations seraient révélatrices de l'existence de failles actives dans ces régions.

- des intrusions plastiques représentées par des volcans de sable et des structures en diapir(fig 6.17), existent aussi, dans les terrasses quaternaires de l'Oranie. On trouve des restes de (cône) de volcans de sable représentés par des structures de croute dure de formes coniques aplaties rattachées à des dykes nourriciers (cheminée) de même nature sont observées à plusieurs niveaux des terrasses Tyrrhéniennes. Les volcans de sable sont des structures sédimentaires très communes observées à la surface lorsque de forts séismes se produisent (Montenat et al, 2007). Au niveau de la région de Guazaouet) les structures en diapir sont très répandues dans les formations de sables fins à grésifiés des terrasses Tyrrhéniennes. Ce sont des diapirs à matériels fins (sables fins et silts). (structures extrusives ).

- les dykes sédimentaires sont très fréquents dans les terrasses oranaises, ils sont formés par l'introduction d'un matériel, soit sous pression ou par simple remplissage des fissures pré-existantes ou des fissures au-dessus (Montenat et al., 1991). Plusieurs auteurs (e.g. Lowe 1976 ; Beaudoin et Fries 1982 ; Montenat et al 2007) les considèrent comme des indices caractéristiques de la paléo-liquéfaction. En Oranie les dykes observés sont représentés essentiellement par des dykes d'injection. Ces derniers résultent de l'injection du matériel liquéfié à travers des fissures résultant d'une fracturation hydraulique ("jacking") (Lowe 1976). Dans les terrasses oranaises ces dykes apparaissent sous forme de matériel durci fin traversant verticalement les lits sédimentaires

- Les veines minérales sont un type de dykes remplis non pas de sédiments, mais de minéraux tels que la calcite, le gypse, la dolomite, le quartz et parfois la barytine ou les sulfures. Un réseau de fracturation hydraulique peut être observé dans le tracé des veines suite à un séisme (Sibson, 1977 ; Cosgrove, 1995 ; Brothers et al 1996 ; De Jossineau et al., 2005). En général, les veines minérales se forment à des niveaux assez profonds, souvent près d'une faille active (Montenat et al, 2007). Selon Bruel (1997), cette méthode a drainé les fluides minéralisés



FIGURE 6.17 – Déformation plastique des sables fins, observée dans les dépôts de terrasse calabrienne

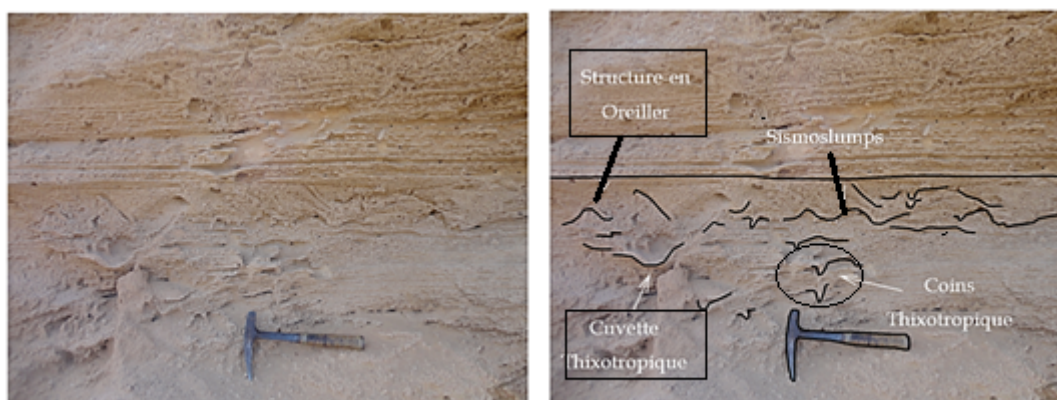


FIGURE 6.18 – Divers déformations induites par un séisme (évidence de la liquéfaction, Coins thixotropique Sismoslumps, Cuvettes thixotropique et Structures en oreiller) observées dans les dépôts des dunes récentes (Holocène )

expulsés vers les fissures des réseaux hérités ou des réseaux provenant de la fracturation. Au niveau du plan de glissement d'une faille, on observe la formation de veines et de remplissages minéralisés en calcite.

- des failles de classement (ou de triage) sont aussi observées à plusieurs niveaux des terrasses quaternaires de l'Oranie. Elles correspondent à de petites failles normales affectant un ou plusieurs lits sédimentaires sans que les sédiments sous-jacents et contigus ne soient affectés par ces failles. Ces failles post-dépôt montrent, du sommet à la base : la zone liquéfiée, zone de blocailles (décombres) désorganisée et une zone faillée en gradin, avec un contact progressif entre ces zones et le fond et une limite nette au sommet (Seilacher, 1969).

### 6.5.2 Discussion

Plusieurs observations concernant les déformations thixotropiques dans les dépôts Quaternaires de l'Oranie ont été regroupées dans ce mémoire. Les déformations de ce genre sont causées par des perturbations vibratoires qui peuvent être d'origines variées. En effet, les vi-

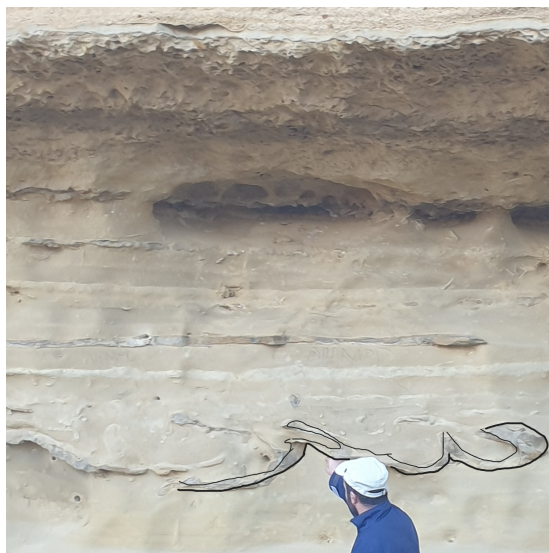


FIGURE 6.19 – Cuvettes thixotropiques des dépôts de terrasses Tyrrhéniennes.

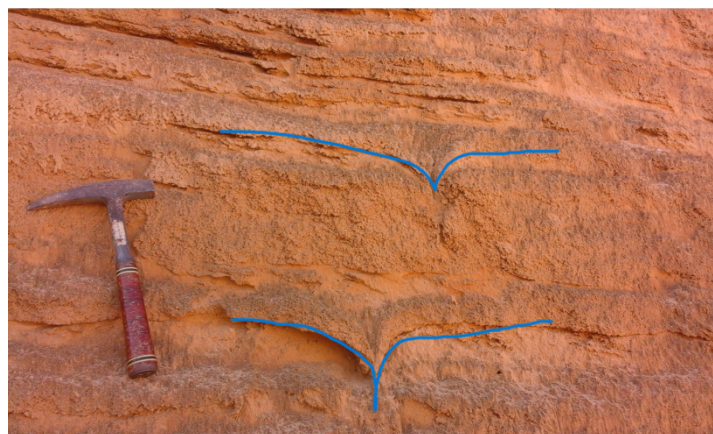


FIGURE 6.20 – Coins thixotropique (Structures en coins) développés dans les dépôts du Tyrrhénien.

brations peuvent être provoquées par un tremblement de terre, cependant, les ondes de choc qui découlent de turbulences ou d'éboulements dans une pente (par exemple, des glissements de terrains ou des chutes de blocs) peuvent également être des facteurs déclencheurs potentiels pour ce genre de déformations (Plaziat et Ahmamou 1998 ; Montenat et al. 2007). Les vibrations causées par des explosions volcaniques, humaines ou des impacts météorologiques peuvent également entraîner des déformations thixotropiques. Cependant, les raisons suivantes s'appuient sur l'origine sismique de nos constatations :

- (1) on peut exclure l'origine volcanique et anthropique. En effet, nous nous sommes intéressé aux dépôts du Quaternaire post-volcanique (Calabrien terminal, Pléistocène Post-Calabrien et Holocène) et anté-Anthropocène c'est-à-dire avant l'époque industrielle.

- (2) une origine par impact météorique peut, elle aussi, être exclue à cause de la répétitivité verticale des déformations observées dans les séries sédimentaires de l'Oranie . En plus, on ne connaît pas de cas concret d'impact météorique important en Oranie.

- (3) il est difficile de considérer que nos observations sont liées à des phénomènes de pentes vu "l'absence de pentes importantes" dans la morphologie de terrasses des dépôts étu-

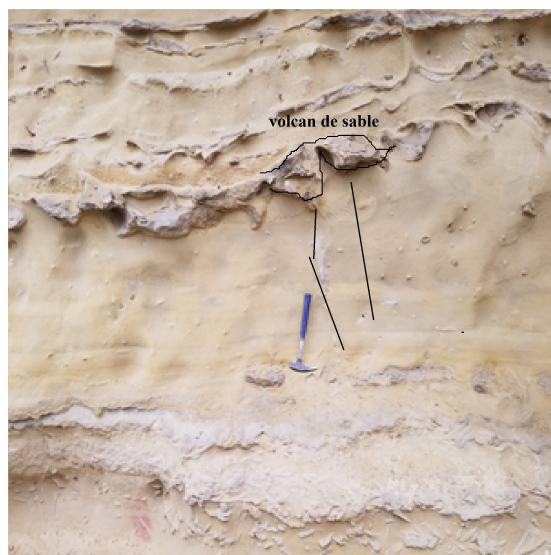


FIGURE 6.21 – Cône de volcans de sable formé rattaché à un dyke (cheminée) nourricier de même nature, observé dans une terrasse Tyrrhénienne

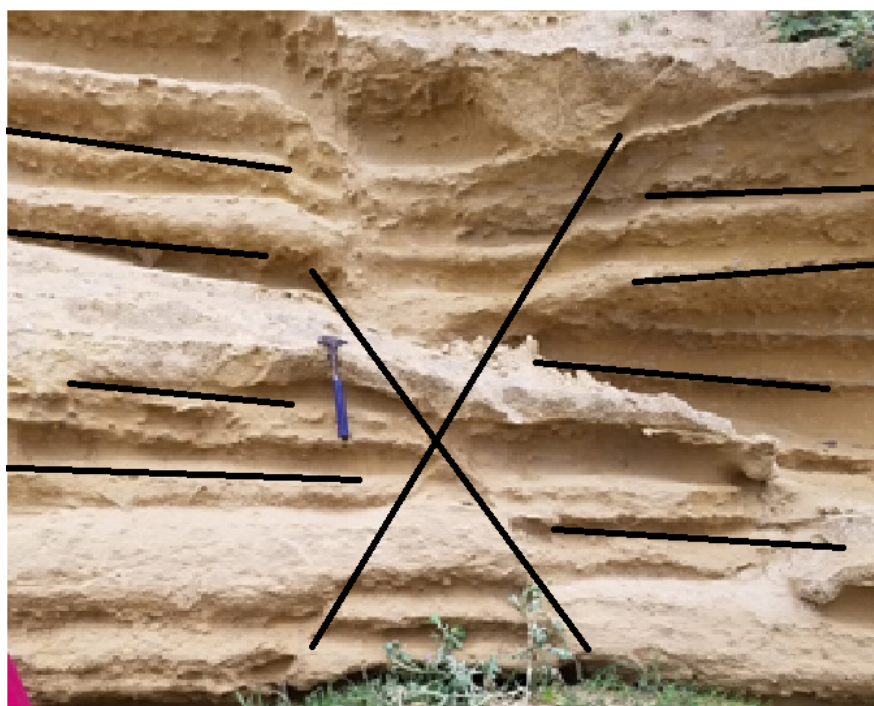


FIGURE 6.22 – Failles de triage (classement) développée dans les dépôts du Tyrrhénien

diés. En effet, nous nous sommes intéressés essentiellement aux terrasses marines et fluviales caractérisées par des stratifications horizontales à subhorizontales ( $\leq 5^\circ$ ). Bien entendu, les faibles pentes peuvent être à l'origine de structures en Slumps (Alsop and Marco 2013), mais ne peuvent pas expliquer la grande diversité des déformations thixotropiques observées dans les terrasses oranaises (Photo.04) et notamment la présence de dykes sédimentaires, de volcans de sables (Fig6.21) et les cuvettes et structures en coins thixotropiques (fig6.19).

- (4) la grande diversité des déformations caractéristiques des sédiments meubles obser-

vées, aux mêmes niveaux de terrasse (fig6.20), suggère l'action, en même temps, de différents mécanismes à l'origine de ces déformations. Deux principaux mécanismes peuvent être à l'origine des séismes selon Montenat et al 2007 : (i) la liquéfaction des sédiments générés par les ondes superficielles de cisaillement et l'expulsion violente de l'eau et des sédiments liquéfiés, générées par des ondes de compression. Ces mécanismes observés dans les terrasses oranaises caractérisent les chocs sismiques.

- (5) l'occurrence et la répétitivité verticale (dans le temps) de ces déformations dans ces terrasses Quaternaires suggère un mécanisme cyclique/répétitif comme le tremblement de terre (réurrence sismique).

- (6) le contexte de limite de plaque et de tectonique active régionale suggère la présence de failles actives dans la région qui pourrait être la source des séismes à l'origine des déformations observées. Dans le site n°10 on peut voir une relation directe entre l'occurrence de la faille et le développement des veines minérales. Dans le site n°11 (fig6.22) on peut voir la relation entre les différents jeux de la faille syn-sédimentaire et le développement de différents niveaux de séismes. Ces deux failles montrent des rejets de l'ordre du mètre ( $\geq 1\text{m}$ ) ce qui suggère l'occurrence de séismes forts de magnitude  $M \geq 6$  selon Wells and Coppersmith's empirical relationship Magnitude-Surface Displacement (1994).

- (7) la distribution spatiale très large de ces déformations sur toutes les terrasses Quaternaires oranaises (plus de 250 km de côtes) suggère une grande source d'énergie comme l'énergie libérée lors d'un phénomène sismique.

## 6.6 Conclusion

En résumé, notre étude laisse peu de doutes quant à l'origine des déformations thixotropiques observées dans les dépôts Quaternaires post-Calabriens. Effectivement, ces dépôts sont principalement constitués de terrasses marines et alluviales, principalement constituées de matériaux détritiques susceptibles de se liquéfier (sables, silts, argiles...). On a observé différents types de déformations typiques des paléo-liquéfaction sur tout le long de ces terrasses. Les dykes sédimentaires, les sismoslumps, les cuvettes thixotropes, les coins thixotropes, les volcans de sable, les intrusions plastiques (structures en diapir), les failles de triage et les veines minérales sont principalement concernés.

Les déformations syn-sédimentaires sont très répandues dans l'espace et leur répétition verticale dans la série Quaternaire de l'Oranie sont très répétitives dans le temps. Cette fréquence est due à la période de retour des tremblements de terre causés par les failles actives de la région. D'où l'interprétation de ces déformations dans cette thèse comme des déformations co-sismiques et leur classement comme des séismes causés par des paléo-séismes. En effet, la seule explication possible pour cette répétitivité verticale de ces déformations dans les séries sédimentaires de l'Oranie, leur grande diversité et leur vaste diffusion spatiale est l'origine sismique.

Le catalogue de sismicité algérien peut être enrichi grâce à ces séismes, qui peuvent également servir de guides de prospection pour la cartographie.

# Chapitre 7

## Conclusion générale

L'ensemble des études effectuées au cours de ce travail, ont permis d'arriver à des résultats intéressants en terme de l'origine de phénomène de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara et de permettre ainsi de suggérer une histoire pour ce phénomène.

-L'étude volcanologique a indiqué que la dynamique changeante du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara a permis d'avoir une variation lithologique (avec des rhyolites massives, fluidales, perlitiques ou ignimbritiques, des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques), ce qui a entraîné de la bentonitisation dans quelques endroits, notamment 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 se développe essentiellement dans les rhyolites perlitiques, tufs pyroclastiques et ignimbrites tandis que les rhyolites compactes sont moins touchées par la bentonitisation.

-L'étude géochimique a indiqué des variations chimiques considérables dans les faciès bentonitisés notamment une diminution importante en silice  $\text{SiO}_2$  (lessivage) et une augmentation notable en alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ainsi de mettre en évidence que les faciès riches en eau sont les plus touchés par la bentonitisation.

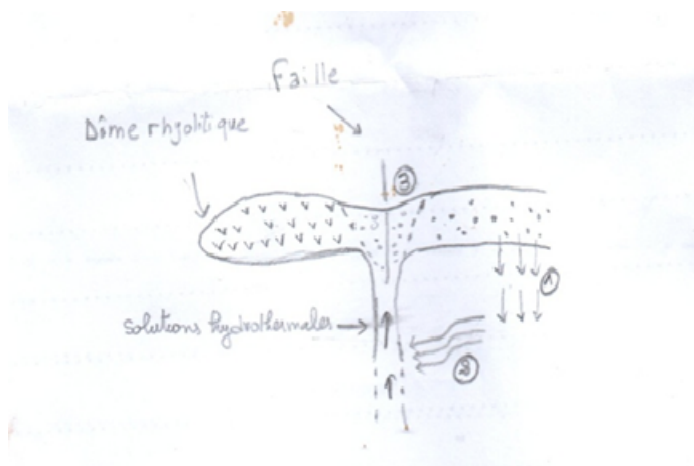
-L'étude des isotopes d'hydrogène nous apprennent que les rapports isotopiques  $\delta\text{D}$  sont nettement différents et supérieurs dans les terrains bentonitisés. Donc Cela peut être expliqué par un échange d'isotopes avec les eaux superficielles (ayant un  $\delta\text{D}$  supérieur aux eaux juvéniles).

- L'étude morphotectonique nous a permis de mettre en évidence que les appareils volcaniques de la région de Maghnia (moyenne Tafna) sont alignés selon la direction atlasique NE\_SW, et que les carrières d'argile bentonitique se localisent dans l'immédiat des linéaments (failles) relevées.

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  $\delta\text{D}$  différentes des terrains rhyolitiques non bentonitisés; nous mènent à la conclusion suivante :

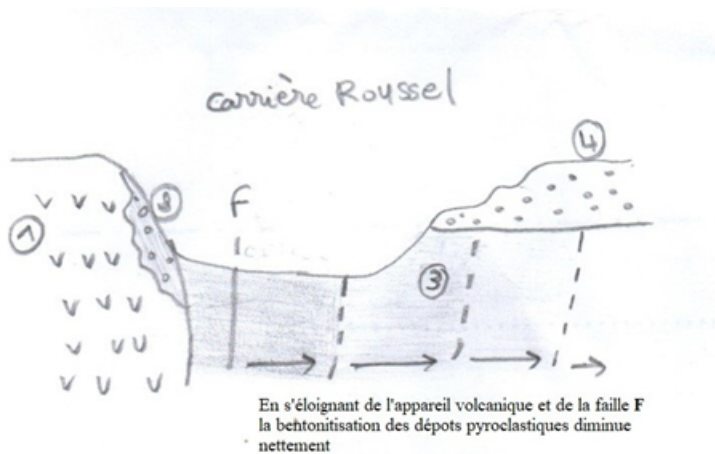
- La dynamique du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara qui s'est poursuivie par un recyclage (reprise) des eaux superficielles a permis une différenciation chimique des faciès rhyolitiques, donnant ainsi naissance aux gisements d'argiles bentonitiques.

-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.

**Légende :**

- 1) Infiltration des eaux superficielles
- 2) Reprise des eaux superficielles par l'appareil volcanique
- 3) Altération hydrothermale des tufs et rhyolites

FIGURE 7.1 – schémas montrant l'origine du processus de bentonitisation à Hammam Boughrara

**Légende :**

- 1) Dôme rhyolitique d'Ain Torba
- 2) Bordure perlitique
- 3) Dépôts pyroclastiques
- 4) Couverture quaternaire

FIGURE 7.2 – Approche schématique de la structure actuelle de dôme de Ain Tourba

**Le Modèle de bentonitisation à Hammam Boughrara** L'ensemble des résultats obtenues à partir des études et analyses réalisés au cours de ce travail nous permet de proposer le modèle suivant quant à l'origine de phénomène de bentonitisation à Hammam Boughrara :

L'emplacement de ces gisements de bentonites est contrôlé par des failles de direction NW-SE et NNE-SSW. Le long de ces failles les solutions hydrothermales issues des eaux superficielles (ayant un  $\delta D$  différent) reprise par l'appareil volcanique, altèrent intensément les pyroclastites et imposent leur signature isotopique  $\delta D$ . En s'éloignant de ces failles, la bentonitisation diminue, voire même, absente.

Cette histoire explique la structure actuelle à Hammam Boughrara, qui se manifeste dans le dôme d'Ain Torba schéma ci-dessous :

Dans le gisement de Roussel, encore en activité, toutes les pyroclastites à l'aplomb de la faille NO-SE (N40) et près 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 cendreuse, 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.

Donc, comme résultat on peut dire que la bentonitisation se développe depuis le cratère volcanique et s'accroît le long de la faille F (N40). Au-delà de ces derniers, la bentonitisation est atténuée, voire même, absente.

# Bibliographie

- [1] -AKEB Rym et MEZOUAR Aouda (2000) : Contribution à l'étude des Bentonites de Hammam Boughrara (Maghnia-Tlemcen) Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie, Option Géologie Minière ; IST/USTHB, 89p
- [2] - AOUNE-SEGHIR F. et BACHOUCHE S. (2011) : « Contribution à l'étude géologique du gisement de bentonite des carrières Roussel, RM, Bab et Dar-Embarek (Hammam Boughrara, Maghnia, Tlemcen) » ; Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Géologie, Option Géologie Minière ; IST/USTHB, 83p
- [3] - BOUKHEDIMI (2008) : Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara (Maghnia, Algérie Nord occidental) ; Thèse de Magistère en géologie (Structurologie-Pétrologie-Géochimie), Université d'Oran, 102p ;
- [4] - B. Meroufel ; Adsorption des polluants organique et inorganiques sur des substances naturelles Kaolin racines de calatropis procera et Noyaux de dattes, thèse de Doctorat Université Lorraine 2015.
- [5] - BOUGDAH N, 2007. Etude d'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, Université Kasdi Merbah Ouargla. P6.
- [6] -Bellon, H., Guardia, P., et Magné, J., (1984). Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale). Conséquences géodynamiques. Géol. Méditerranéenne, XI, 255-264.
- [7] -Bendoukha, R., 1987. Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quadernaire de la basse Tafna (Oranie occidentale), Thèse Magister, USTHB (Alger).
- [8] -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.
- [9] -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.
- [10] -Bendoukha, R., 1987. Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quadernaire de la basse Tafna (Oranie occidentale), Thèse Magister, USTHB (Alger).
- [11] -Bellon, H., Guardia, P., et Magné, J., (1984). Les associations volcaniques du Miocène-supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale). Conséquences géodynamiques. Géol. Méditerranéenne, XI, 255-264.

- [12] -CHAA HALIMA (2011) : Contribution à l'étude géologique du processus de Bentonitisation des argiles des carrières de Dar M'Barek et Torba (Hammam Boughrara- Maghnia-Tlemcen) ; Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en géologie, Option : Ressources Minérales et Environnement, IST/USTHB
- [13] -Fenet, B., (1975). Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse Nord-Maghrebines : Les monts djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. Thèse, Sci., Univ., Nice. P 301.
- [14] -Irvine, T.N., Baragar, W. R. A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of Earth sciences, 8, 523-548. (France). 289p.
- [15] -Laridhi-Ouazaa, N. (1994). Etude minéralogique et géologique des épisodes magmatiques mésozoïques et miocènes de la Tunisie. Thèse d'Etat, Université de Tunis II, 466 pp.
- [16] -LeBas, M.J., LeMaitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of petrology, 27, 745-750.
- [17] -Louni-Hacini A (2002) La transition du magmatisme calco-alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie (Algérie Nord Occidentale). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.198p.
- [18] - Messaoud Hasnia 2014 (effet de la T°c sur la qualité de la bentonite et caractérisation physio-chimique par FTIR au niveau de la société BENTAL- Unité de Mostaganem.
- [19] -Megartsi M (1985) Le volcanisme mio-plio-quadernaire de l'Oranie nord occidentale (géologie, pétrologie, géodynamique). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.295p.
- [20] -Medini, S., 2010. Les minéralisations hydrothermales liées à l'activité volcanique calco-alcaline du complexe des M'Sirda (Oranie nord occidentale), Mémoire Magister. Univ, Oran.
- [21] -Megartsi M (1985) Le volcanisme mio-plio-quadernaire de l'Oranie nord occidentale (géologie, pétrologie, géodynamique). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.295p.
- [22] -Plan d'exploitation de l'ENOF Unité Meghnia Octobre 2023
- [23] -Perrodon A. 1957 : Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale
- [24] -Roussel, J., 1973. Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie 1716-1970, Bull. Soc; Hist. Natur. Afrique du Nord., 64 (3), 2pp. 11-227.
- [25] -ROUSE J. W., HAAS R. H., SCHELL J. A., DEERING D. W. & HARLAN J. C., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation.
- [26] - Réserve des gisements (Plan d'exploitation ENOF, Oct, 2023
- [27] - S. Mouaziz ; préparation et caractérisation des bentonites modifiées par des sels Bisimidazolium –App a l'adsorption du bleu de Toleon Mémoire de Master Université Abou Bekr Belkaid ; Tlemcen, 2012.

- [28] -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.
- [29] -Roussel, J., 1973. Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie 1716-1970, Bull. Soc; Hist. Natur. Afrique du Nord., 64 (3), 2pp. 11-227.
- [30] -Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. 133, 191–213.
- [31] -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.