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



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du grade de Master En Sciences de la Terre Spécialité : Ressources minérales, géomatériaux et environnement Par

M. HAMADENE AZZEDINE & M. BOUMENDIL MOHAMED ILYES

Thème

ANALYSE DU CONTEXTE DE BENTONITISATION DES TERRAINS VOLCANOGENES RHYOLITIQUES DE LA MOYENNE TAFNA. ETUDE PETROGEOCHIMIQUE COMPARATIVE ENTRE GISEMENTS (HB-AT).

Soutenu publiquement le 24 Décembre 2020, devant le jury composé de :	
M ^{me} IZRI D Maitre-assistante A à l'UMMTO	Présidente
M. BOUKHEDIMI M ^{ed} A Maitre de conférence B à l'UMMTO	Encadreur
M. ZEGHOUANE H Maitre de conférence B à l'UMMTO	Examinateur
M. LOUNIS R Maitre-assistant A à l'UMMTO	Examinateur

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Ce travail est le résultat d'un dur et long labeur et fruit de beaucoup de sacrifices ; nos remerciements vont tout d'abord au Créateur de l'univers qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en bonne santé pour mener à bien cette année d'étude. On tient aussi à adresser nos remerciements à nos familles, qui nous ont toujours poussé et encouragé à continuer nos études. Ce présent travail n'aurait pu voir le jour sans leurs soutiens constants, qui nous assurent des bases solides nous permettant de persévérer et de nous surpasser.

Nos remerciements les plus sincères et chaleureux vont à, Mr. BOUKHEDIMI qui nous a proposé ce sujet et nous a orienté, soutenu, et motivé. Le mérite d'un mémoire appartient certes à l'auteur, mais également à son directeur qui l'encadre. Ses précieux conseils, critiques constructives et sa disponibilité nous ont énormément aidé non seulement à confectionner ce mémoire mais aussi durant notre parcours universitaire.

Nous remercions aussi Mme IZRI pour avoir fait le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Nos reconnaissances et nos remerciements vont aussi à Mr. ZEGHOUANE et Mr. LOUNIS pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions également tous nos enseignants qui, par leurs efforts et leur enseignement, nous ont fait partager leur passion pour cette discipline, qu'est la Géologie.

Et enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de près pour la réalisation de ce mémoire.

Résumé:

Les deux grands gisements de bentonite de l'oranie occidentale, à savoir le gisement associé au dôme rhyolitique de Ain Torba et le gisement associe au dômes rhyolitiques Hammam Boughrara se localisent plus précisément, au sein du domaine tellien dans le bassin de la moyenne Tafna, et se développent dans la plaine de Maghnia.

Cette étude essentiellement consacrée à ces deux gisements, a révélé pétrographiquement que les deux dômes rhyolitiques ainsi que les deux dépôts pyroclastiques sont très similaires. Géochimiquement les deux gisements appartiennent aux rhyolites calco alcalines. Quant à l'étude structurale, elle a montré que les deux sites se développent au niveau de deux failles différentes de direction atlasiques. Enfin l'analyse des isotopes a révélé que ces gisements de bentonites sont liés à l'hydrothermalisme qui s'effectue avec les eaux superficielles de l'Oued Tafna.

Mots clés : Gisement, Bentonite, Hydrothermalisme, Dôme, Pyroclastite, Rhyolite, Séismite, Déformation thixotropique, Volcanisme.

Abstract:

The two large bentonite deposits of the western Oranie, namely the deposit associated with the rhyolitic dome of Ain Torba and the deposit associated with the rhyolitic hammam Boughrara domes are located more precisely, within the Tellian domain in the middle Tafna basin, and thrive in the Maghnia Plain. This study essentially devoted to these two deposits, revealed petrographically that the two rhyolitic domes as well as the two pyroclastic deposits are very similar. Geochemically the two deposits belong to the alkaline calco rhyolites. As for the structural study, it showed that the two sites develop at the level of two different faults in the Atlas direction. Finally, isotope analysis has revealed that these bentonite deposits are linked to the hydrothermal action that takes place with the surface waters of Oued Tafna.

Keywords: Deposit, Bentonite, Hydrothermalism, Dome, Pyroclastite, Rhyolite, Seismite, Thixotropic deformation, Volcanism.

ملخص

تقع رواسب البنتونيت الكبيرة في القطاع الوهراني الغربي، وهي الرواسب المرتبطة بالقبة الريوليتية لعين التربة والودائع المرتبطة بالقبة الريوليتية لحمام بوغرارة تقع، بشكل أكثر دقة، داخل نطاق التل في حوض تافنة الأوسط وتزدهر في سهل مغنية. هذه الدراسة المكرسة بشكل أساسي لهذه الرواسب، كشفت من الناحية البتروغرافية أن القباب الريوليتية بالإضافة إلى رواسب الحمم البركانية متشابهة جدًا. من الناحية الجيوكيميائية، تنتمي الرواسب إلى القلوية كالكو ريوليت. أما بالنسبة للدراسة التكتونية فقد بينت أن الموقعين يتطوران على مستوى صدعين مختلفين في اتجاه الأطلس. أخيرًا، كشف تحليل النظائر أن رواسب البنتونايت هذه مرتبطة بالمنبع المائي الحراري مع المياه السطحية لوادي تافنة.

الكلمات المفتاحية ترسيب، بنتونايت، قبة، بايروكلاست، ريوليت، زلزالي، تشوه متغير الانسيابية، البراكين

SOMMAIRE

Remerciements	1
Résumé	2
Liste des figures	5
CHAPITRE I: INTRODUCTION GENERALE	8
1. Introduction	9
2. But et méthodologie du travail	9
2.1- But du travail	9
2.2- Méthodologie du travail	9
3. Climat, faune et flore	10
1.1- Climat	10
1.2- Végétation	10
1.3- Faune	10
4. Historique des travaux	10
5. Notre apport	12
CHAPITRE II : GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE	13
1- Cadre Géographique	14
1.1- Situation géographique de la région de l'Oranie	14
1.2- Situation géographique du gisement étudié	15
2- Cadre Géologique	16
2.1- Stratigraphie	17
2.2- Magmatisme	18
CHAPITRE III: GEOLOGIE LOCALE DU SECTEUR D'ETUDE	20
1- Stratigraphie du secteur	21
2- Volcanologie du secteur	23
2.1- Introduction	23
2.2- Dynamisme volcanique rhyolitique de la région	24
3- Conclusion	26
CHAPITRE IV : PETROGRAPHIE DES FACIES	27
1 - Introduction	28
2. Généralités sur les Bentonites	29
2.1- Définition	29
2.2- Origine	29
2.3- Caractéristiques	29

2.4- Classification schématique des minéraux argileux	30
2.4.1- Critères de classification	30
2.4.2- Description des grandes catégories	30
2.5- Utilisations de la bentonite	32
3 - Etude macroscopique	33
3.1 - Les Rhyolites	33
3.2 - Les tufs pyroclastiques	36
4 - Etude microscopique	37
4.1 - Aperçu sur les rhyolites	37
4.1.1 - Les Textures	37
4.1.2 - Description des Phénocristaux	38
4.1.3 - La Mésostase	41
4.1.4 - Séquence de cristallisation	43
4.2 - Les tufs pyroclastiques	44
4.2.1 - Description des ignimbrites	45
4.3 - Les facies bentonitisés	46
5 - Conclusion de la pétrographie des faciès	47
CHAPITRE V : GEOCHIMIE DES RHYOLITES	48
1 - Introduction	49
2 - Nomenclature et classification des laves	49
3 - Différentiation des faciès bentonitisés et faciès non bentonitisés	51
3.1 - Les éléments majeurs	51
3.1.1 - Diagramme Al ₂ O ₃ /SiO ₂	51
3.1.2 - Diagramme MgO/CaO	52
3.2 - Degré d'altération des rhyolites	53
3.2.1 - Diagramme de perte au feu (LOI)	53
3.3 - Relation entre la bentonitisation et l'hydrothermalisme	54
4 - Conclusion de la géochimie des rhyolites	55
CHAPITRE VI : RELATION ENTRE LA TECTONIQUE ET LA	
BENTONITISATION	57
1 – Introduction	58
2 – Les déformations du secteur d'étude	59
2.1 – Déformations classiques	59
2.2 – Déformations non-classiques	64
3 – Conclusion de l'étude tectonique	68
CHAPITRE VII: CONCLUSION GENERALE	69

Liste des figures

Figure	Intitulé	Page
	CHAPITRE II : GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE	I
Fig N°1	Image Google Earth montrant la subdivision de l'Oranie	15
Fig N°2	Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes de la chaîne des Maghrébides (d'après Durand–Delga et Fontboté, 1980). Notez que l'Oranie dans le rectangle rouge	15
Fig N°3	Croquis de localisation du secteur d'étude	16
Fig N°4	Carte litholigique de la région d'étude (Rouse et al., 1974)	17
Fig N°5	Le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N. Laridhi Ouzaa (1994)	19
Fig N°6	Localisation et âge du volcanisme néogène de l'Oranie (in Medini, 2010)	19
C	HAPITRE III : GEOLOGIE LOCALE DU SECTEUR D'ETUD	E
Fig N°1	Esquisse géographique du bassin de la Tafna (Perrodon 1957)	21
Fig N°2	Succession lithologique sommaire dans le secteur de Hammam Boughrara	22
Fig N°3	Coupe à travers la vallée de la moyenne Tafna	22
Fig N°4	Carte géologique de Hammam Boughrara	23
Fig N°5	Coupe géologique E-O de l'Oranie (M.A BOUKHEDIMI)	23
Fig N°6	Vue panoramique du piton rhyolitique de Hammam Boughrara	24
Fig N°7	Processus de mise en place des dômes rhyolitiques de la région	25
	CHAPITRE IV : PETROGRAPHIE DES FACIES	
Photo N°01	Vue Panoramique de la carrière de Roussel	28
Fig N°1	Principales familles des minéraux argileux	31
Fig N°2	Classification générale des minéraux argileux	32

Photo N°2	La rhyolite massive du piton d'Ain Torba	33
Photo N°3	Echantillon d'une rhyolite perlitique prélevé de la carrière de Roussel	34
Photo N°4	Deux échantillons de bentonite prélevés de la carrière de Roussel	35
Photo N°5	La rhyolite perlitique du piton de Hammam Boughrara de couleur gris- blanchâtre montrant un aspect fluidale : la fluidalité étant bien soulignée par des minéraux oxydés	35
Photo N°6	Les dykes basaltiques recoupant la formation rhyolitique d'Ain Torba	36
Fig N°3	Classification des roches ignées pyroclastiques selon Fisher	36
Photo N°7	Ignimbrite	37
Micro- photo N°1	Vue sous microscope optique polarisant d'une rhyolite contenant quelques quartz automorphes baignant dans la mésostase rhyolitique hyaline.	39
Micro- photo N°2	Vue microscopique d'une rhyolite à texture perlitique qui contient un plagioclase	39
Micro- photo N°3	Vue au microscope polarisant d'une rhyolite à texture perlitique contenant un plagioclase.	40
Micro- photo N°4	Vue microscopique d'une rhyolite perlitique non-bentonitisée qui contient une biotite	40
Micro- photo N°5	Vue microscopique d'une rhyolite bentonitisée contenant des minéraux opaques (ferromagnésiens)	41
Micro- photo N°6	Vue microscopique d'une mésostase (rhyolite) à structure perlitique	42
Micro- photo N°7	Vue microscopique d'une rhyolite perlitique de Hammam Boughrara	42
Micro- photo N°8	Vue microscopique d'une rhyolite perlitique d'Ain Torba	42
Micro- photo N°9	Vue microscopique d'une biotite emprisonnée dans un quartz	43
Micro- photo N°10	Vue microscopique des tufs pyroclastiques bentonitisés de Ain Torba	44
Micro- photo N°11	Vue microscopique des tufs pyroclastiques non bentonitisés de Hammam Boughrara	44
Micro- photo N°12	Vue microscopique d'une ignimbrite présentant une fluidalité	45
Micro- photo N°13	Image du microscope polarisant ci-jointe montre le développement de l'argilitisation suivant les contours perlitiques de la rhyolite perlitique d'Ain Torba	46

Micro-	Imaga du migragganique nologiaent montre la début de la hantonitication de la	47
photo N°14	Image du microscopique polarisant montre le début de la bentonitisation dans les tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara	4/
Micro-	Image du microscopique polarisant montre un stade avancé de bentonitisation	47
photo N°15	dans les tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara	
	CHAPITRE V : GEOCHIMIE DES RHYOLITES	•
Fig N°1	Nomenclature des laves rhyolitiques de Hammam Boughrara et de Ain Torba (Diagramme de Harker)	49
Fig N°2	Diagramme SiO2 vs Na2O + K2O (Cox et al. 1979; LeMaitre et al. 1989; Irvine et Baragar 1971) de classification de types de roches alcalines et subalcalines	50
Fig N°3	Diagramme AFM des séries volcaniques de Ain Torba et de Hammam Boughrara	50
Fig N°4	Diagramme SiO2/Al2O3 permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisées de la région	51
Fig N°5	Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de la région	52
Fig N°6	Diagramme des analyses chimiques de la perte au feu (LOI) et la silice (SiO ₂)	53
Fig N°7	Variation en isotopes d'Hydrogène et de l'H ₂ O dans les faciès rhyolitiques de la région	54
C	HAPITRES VI : RELATION ENTRE LA TECTONIQUE ET L. BENTONITISATION	A
Fig N°1	-	A 58
	BENTONITISATION	1
Fig N°1	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en	58
Fig N°1 Fig N°2	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques	58
Fig N°1 Fig N°2 Fig N°3	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques superposés sur les failles actives	58 59 60
Fig N°1 Fig N°2 Fig N°3 Fig N°4 Planche N°1	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques superposés sur les failles actives Failles en extrados (N 60, 70 SE) Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7	58 59 60 61
Fig N°1 Fig N°2 Fig N°3 Fig N°4 Planche	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques superposés sur les failles actives Failles en extrados (N 60, 70 SE) Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7 (BOUKHEDIMI 2010) Répartition spatiale du volcanisme de la moyenne Tafna. Alignement	58 59 60 61 62
Fig N°1 Fig N°2 Fig N°3 Fig N°4 Planche N°1 Fig N°5	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques superposés sur les failles actives Failles en extrados (N 60, 70 SE) Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7 (BOUKHEDIMI 2010) Répartition spatiale du volcanisme de la moyenne Tafna. Alignement volcanique et la défluviation de l'oued Tafna par les monts de Fellaoucene	58 59 60 61 62 63
Fig N°1 Fig N°2 Fig N°3 Fig N°4 Planche N°1 Fig N°5 Fig N°6	BENTONITISATION Taux de rapprochement Afrique – Eurasie La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir) Schéma structural de la région d'étude montrant les dômes rhyolitiques superposés sur les failles actives Failles en extrados (N 60, 70 SE) Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7 (BOUKHEDIMI 2010) Répartition spatiale du volcanisme de la moyenne Tafna. Alignement volcanique et la défluviation de l'oued Tafna par les monts de Fellaoucene Schéma résumant la classification des déformations non classiques	58 59 60 61 62 63

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction:

Dans le cadre du projet mémoire de fin d'étude Master en Ressources minières, nous avons entrepris une étude qui concerne le contexte de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques du bassin de la moyenne Tafna (Oranie occidentale).

Le travail consiste à une étude détaillée des terrains volcanogènes bentonites de la région de la moyenne Tafna dont lesquelles on va rechercher les guides de prospection pour les bentonites de ces régions.

En Algérie les gisements bentonitiques les plus importants se trouvent dans la partie nord-ouest du pays dans la région de l'Oranie, ils ont été exploités depuis les années 1950, dont deux gisements importants : le gisement de Maghnia (Hammam Boughrara), et le gisement de Mostaganem.

Dans la plaine de Maghnia, les terrains volcanogènes rhyolitiques marquent tout le territoire. Ces terrains montrent localement des gisements d'argiles bentonitiques.

Ce mémoire est structuré en sept chapitres :

Le premier fournit un aperçu général sur les bentonites.

Le deuxième chapitre s'intéresse à la géologie régionale de l'Oranie.

Le troisième chapitre c'est la géologie locale du secteur d'étude ainsi que son dynamisme volcanique.

Dans le quatrième chapitre on fait la pétrographie des facies (macroscopique et microscopique).

Le cinquième consiste en la géochimie des rhyolites.

On discutera au sixième chapitre de la relation tectonique-bentonitisation.

On terminera notre travail par une conclusion générale.

2. But et méthodologie du travail :

2.1. But du travail:

L'objectif de notre travail est de :

- Déterminer le contexte de cette bentonitisation (contexte de tectonique active ou pas)
- Etudier les caractéristiques pétrogéochimiques associées aux deux gisements de la région : le gisement lié au dôme de Hammam Boughrara et celui lié au dôme de Ain Torba.
- Effectuer une étude comparative entre les deux gisements les plus importants de la région sur le plan pétrographique, géochimique et tectonique.

2.2. Méthodologie du travail :

Pour ce travail on dispose de :

- o Photos aérienne et satellites (Landsat).
- o Lames minces de différents facies étudiés.
- o Résultats d'analyses géochimiques : éléments majeurs et perte au feu.
- o Echantillons prélevés sur le terrain (rhyolite et bentonite).

Sur Terrain,

- Observations des affleurements présents dans la région d'étude.
- Prise de photos de terrains des différents facies rencontrés.
- O Description macroscopique des facies étudiés (rhyolite, perlite, ignimbrite et pyroclastite).

Au laboratoire,

- O Description microscopique des différents facies rencontrés sur le terrain
- Comparaison entre des lames minces prélevées à Hammam Boughrara et d'autres à Ain Torba.
- o Analyse des données géochimiques des facies bentonitisés et sains.

3. Climat, faune et flore :

1.1. Climat

L'Oranie possède un climat méditerranéen caractérisé par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé. Pendant l'été, les précipitations deviennent rares, voir inexistantes. L'anticyclone subtropical recouvre la région pendant près de quatre mois. En revanche, la région est bien arrosée pendant l'hiver. Les faibles précipitations (294 mm de pluie) et leur fréquence (72,9 jours par an) sont aussi caractéristiques de ce climat, plus sec que le reste du Nord Algérien dû aux basses latitudes, et la position d'abri favorisée par des chaînes montagneuses du sud espagnole et du Rif.

1.2. Végétation :

La végétation halophile a fait l'objet de plusieurs études scientifiques approfondies. Il en ressort que « les zones humides de la région d'Oran présentent une biodiversité floristique qui mérite protection et conservation ».

Les bassins versants, qui entourent la région sont couverts de forêts de pin d'Alep, d'Eucalyptus, de chêne-liège et de Thuya.

1.3. **Faune:**

De nombreuses espèces migratrices d'oiseaux séjournent dans les zones humides de l'Ouest oranais. Le lac abrite deux espèces en nombre important qui dépassent souvent le 1 % international : le flamant rose et le tadorne de Belon.

4. HISTORIQUE DES TRAVAUX :

L'Oranie a fait l'objet de plusieurs études géologiques (stratigraphiques - paléontologiques - pétrographiques).

- Ainsi M. RENOU (1846) étudie les formations nummulitiques des Tessala. Ces travaux furent suivis par ceux de L. VILLE et M. BAYLE (1854), qui apportent des précisions stratigraphiques, puis en (1856) L. VILLE édite la carte minéralogique et géologique de la province d'Oran.

Cette période de reconnaissance s'achève avec la publication du mémoire de A. POMEL (1871).

- Les premières études concernant les gisements éruptifs sont attribuées à G. VELAIN (1874) donnant une description pétrographique succincte des roches éruptives des îles Habibas.
- POUYANNE (1877) signale la présence de basalte dans la moyenne Tafna, ce qui est confirmé par les travaux de CURIE et FLAMAND (1890-1899). Ces derniers donnèrent aussi un aperçu pétrographique sur la région de Tifaraouine et des îles Habibas.
- L.GENTIL (1903) dans ses travaux sur le bassin de la Tafna a publié une étude plus détaillée sur les massifs volcaniques de la moyenne et la basse Tafna, reconnu le Tifaraouine, les îles Habibas et la région de Ain Timouchent, cette étude est complétée par la publication d'une dizaine de cartes géologiques sur la province d'Oran » levées à 1/50 000 et 1/20 000.
- A. LACROIX (1893 1927) dans ses ouvrages "la minéralogie de la France et de ses colonies", et "les enclaves des roches volcaniques" a apporté de nouvelles connaissances minéralogiques et chimiques des roches volcaniques de l'Oranie.
- J. DELAPARENT (1945) et G. MILLOT (1953) reprennent et complètent l'étude géologique et minéralogique de la région.
- G. SADRAN (1958) a étudié le volcanisme récent de la région et publié diverses analyses chimiques des roches éruptives.
- En 1971, puis 1978 l'ORGM et SONAREM ont effectué une estimation économique des gisements Bentonitiques de Hammam Boughrara.
 - B. FENET (1975) et P. GUARDIA (1975) actualisent les données structurales et géodynamiques de l'Oranie.
 - H. BELLON et R. BROUSSE (1977), et BELLON et GUARDIA (1980) publient des résultats de datations radiométriques (K/Ar) et attribuent au volcanisme Oranais un âge moi-plio-quaternaire (9- 4,5 1 Ma).

En 1979 SIDAM (Société industrielle Canadienne) réévalua les réserves d'argiles Bentonitiques de la région de Maghnia et publia des rapports sur leurs qualités.

- M.BENEST (1982) a étudié la tectonique et la microtectonique des monts de Tlemcen.
- Les travaux de G. THOMAS (1984) ont été consacrés à l'analyse géodynamique du bassin intramontagnard du bas Chélif et l'extrémité orientale de la Moyenne Tafna.
- M.MEGARTSI (1985) précise les données volcanologiques et pétrologiques du volcanisme de l'Oranie Nord Occidentale. Il étudie notamment le volcanisme calco-alcalin miocène situé dans la zone Tifaraouine
- Bouzedjar, et le volcanisme alcalin mioplio-quaternaire de la basse Tafna, les Souhaita, et de Ain Timouchent.
- LEMOU et KOUDIL (1993) ont montré l'appartenance des laves miocène des secteurs de Ain Roumana et Hadjrat El Kahla (moyenne Tafna) à la série calco-alcaline à tendance alcaline.
- ABAD (1993) dans son étude des laves quaternaires de la région de Ghazaouet établit une carte géologique à 1/25000, et confirme le caractère alcalin des laves émises dans ce secteur.
- Les travaux de M. GUENDOUZ (1994) sont consacrés à l'étude de l'évolution géomorphologique et géodynamique des monts des Traras.
- A-LOUNI-HACINI et Al (1995) complètent les datations (K/Ar), actualisent et mesurent le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie.

A ces travaux s'ajoutent les travaux accomplis par plusieurs sociétés industrielles, sur les gisements d'argile bentonitique apparus dans les milieux volcanogènes de la région.

- En 1992 l'ORGM division de Sidi-Bel-Abbès a rédigé un rapport sur les travaux de révisions des argiles Bentonitiques de Hammam Boughrara (site Dar Embarek).
- En 1994 SIDAM a réalisé des cartes de distributions des paramètres chimiques et physiques des Bentonites de la région de Maghnia.

- Khadîdja GRAINE (2000) met en évidence les différents facteurs conduisant à la bentonitisation dans les milieux volcanogènes de la région de Hammam Boughrara.
- ENOF groupe de BENTAL (2002) publie : 'le projet de développement des gisements d'argiles Bentonitiques de Maghnia et Mostaganem'.
- A. LOUNI (2002) a mis en évidence le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin par des analyses géochimiques.
- En 2003 Boukhedimi étudie en détail les facies rhyolitiques de la région et met en évidence une coulée ignimbritique à Hammam Boughrara.
- En 2004, Belmouhoub, dans sa thèse de Magister, a étudié la minéralisation sulfurée associée aux roches volcaniques du massif de Tifaraouine.
- En 2005, Remaci a apporté sa contribution dans sa thèse, à travers une étude de pétrologie et de géochimie des associations tardi hercyniennes de l'Oranie.
- En 2007, Benali s'est focalisé sur le magmatisme tertiaire de tous le nord algérien, et lui a consacré une thèse où il a abordé le cadre géodynamique et les implications metallogeniques
- En 2008, Bendoukha, a réalisé dans sa thèse, une étude dynamique, pétrographique et géochimique du volcanisme de la Basse Tafna. Il met en évidence trois épisodes volcaniques majeurs (strombolien à la base puis phréatomagmatique et enfin strombolien au sommet)
- En 2009, Bendoukha et al ont contribué dans un article en apportant de nouvelles données sur les caractères dynamiques et géochimiques du volcanisme alcalin Mio-Plio-Quaternaire de l'Oranie nord occidentale.
- En 2010 Boukhedimi met en évidence des failles en relation avec la bentonitisation et détermine l'origine hydrothermale de la bentonite de Hammam Boughrara en utilisant les isotopes d'hydrogène. Il établit le lien entre la pétrographie et le développement de la bentonitisation à Hammam Boughrara.
- En 2011, Saad et Zerka ont utilisé la télédétection pour l'étude de la fracturation dans les monts de Traras
- 2012, Dehima réalisé une étude sur la minéralisation ferrifère de Béni Saf où elle a précisé la nature hydrothermale de la minéralisation.
- En 2014, Renac, Louni et al ont étudié la pétrogenèse et l'altération hydrothermale météorique des rhyolites du massif volcanique de Maghnia (Tlemcen).
- En 2016 Boukhedimi met en évidence des déformations synsédimentaires et co-sismique dans la région.
- En 2017 Boukhedimi établit la relation entre l'activité des failles et le développement de la bentonitisation à Hammam Boughrara et à Mostaganem.
- En 2018 S. Mahcene encadrée par M.Boukhedimi travail sur la tectonique cassante et bentonitisation à Hammam Boughrara.

5. NOTRE APPORT:

- Etudier la pétrographie et déterminer les facies les plus favorables à la bentonitisation.
- Analyser les données géochimiques des facies bentonitisés et sains afin de retrouver les marqueurs géochimiques de cette bentonitisation.
- Analyser le contexte macro-tectonique de la région, c'est-à-dire déterminer si la bentonitisation de la région se développe dans un contexte de tectonique active ou pas.

CHAPITRE II : GEOLOGIE REGIONALE DE L'ORANIE

Ce chapitre traitera la géologie régionale de l'Oranie où se situent Hammam Boughrara et Ain Torba dans notre secteur d'étude.

1. Cadre géographique :

1.1. Situation géographique de la région de l'Oranie :

En français, le terme Oranie vient de la ville d'Oran qui est une déformation de Wahrân. L'Oranie est une région de l'Ouest algérien comprenant tout le nord-ouest de l'Algérie et correspond approximativement aux wilayas suivantes : Oran, Ain-Temouchent, mascara, Mostaganem, Ghilizane, Saida, Sidi Bel Abbès, Tlemcen, Tiaret. La capitale de la région est la ville d'Oran. Cette région d'Algérie est limitée à l'est par la moyenne vallée de chalef, à l'ouest par la région de l'oriental (Maroc), au nord par la mer méditerranée et au sud par les hauts plateaux occidentaux, elle se caractérise aussi par la proximité des côtes espagnole, la distance entre la wilaya de Ain-Timouchent et Almeria est de 94KM à 180km. L'oranie correspond au tell occidental, cependant certain lui ajoutent les wilayas du sud jusqu'à la wilaya de Béchar comme le journal le quotidien d'Oran mais cette région est aussi appelée 'le sud oranais'. La superficie de cette région est de 63 277 km².

L'Oranie fait partie du nord-ouest algérien, et représentée par des terrains telliens (fig.2), de deux types :

- -Bassins telliens
- -Monts telliens

Les Bassins : - de Mostaganem(Ghilizane)

-de Hābra

-de la moyenne et basse Tafna

-du sahel d'Oran

-du M'sirda Souahlia

Les Monts: -Beni Chougrane

-Tessala

-Traras

-Tlemcen

-Murdjadjo

-Arzew

Ces bassins sont encadrés par ces monts telliens

Bassin de Tafna encadré:

Au sud par les monts de Tlemcen

Au nord par les monts de Fellaoucene

Bassin de Mostaganem encadré:

Au sud par Beni Chougrane

L'Oranie est décomposée en trois parties (voir fig.1):

- -la partie orientale : s'étend de l'est de Oued Chlef jusqu'à Arzew
- -la partie centrale : s'étend de la plaine de Hābra (Arzew) jusqu'à Sahel d'Oran (les Andalouses)
- -la partie occidentale : Sahel d'Oran (les Andalouses) jusqu'aux frontières algéro-marocaine.

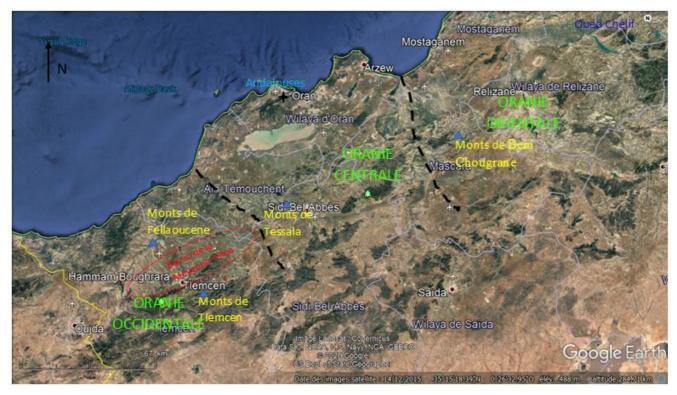


Fig.1: image Google Earth montrant la subdivision de l'Oranie (Monts et Bassins)

1.2. Situation géographique du gisement étudié :

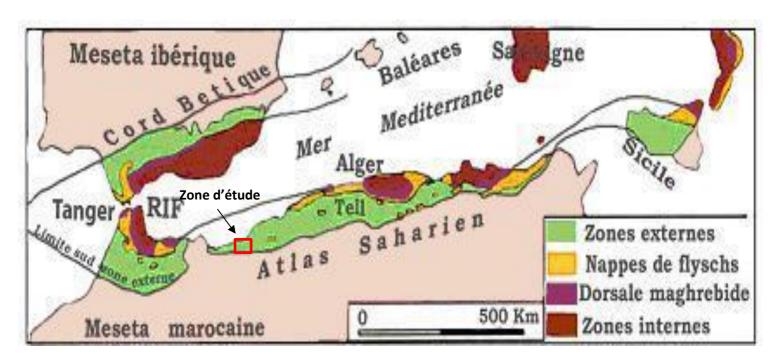


Fig.2 : Carte structurale schématique de la chaîne des Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes de la chaîne des Maghrébides (d'après Durand–Delga et Fontboté, 1980).

Le secteur étudié (voir fig.3) où se trouve les deux gisement bentonitique est situé au Nord de la plaine de Maghnia. Cette dernière se trouve entre deux massifs atlasiques, en l'occurrence, les monts de Traras et la chaine du Fellaoucene au Nord et les monts de Tlemcen au Sud dont l'altitude dépasse souvent les 1000 mètres.

Le gisement bentonitique est localisé à 30 Km à l'Ouest de la wilaya de Tlemcen et à 15 Km au NE de la ville de Maghnia.

D'une superficie de 7245 km², le bassin de la moyenne Tafna s'étend, à l'extrême ouest de l'Oranie, entre 1° et 2 de longitude ouest et de 34 à 35 3 de latitude nord. Quatre grandes unités morphostructurales, d'orientation commune WSW-ENE, se succèdent du sud vers le nord : Les monts de Tlemcen, qui sont les plus hauts reliefs de la région (1848 m au Dj. Tenouchfine), ont une structure monoclinale, massive, avec une topographie tabulaire entrecoupée de nombreux escarpements et abrupts.

En contrebas, la plaine de Maghnia et de la moyenne Tafna est un fosse d'effondrement à remplissage sédimentaire qui reçoit les influences hydro climatiques de trois domaines différents: les Traras, les monts de Tlemcen et le Maroc nord-oriental.

• Massif d'altitude plus modeste, les Traras ont une structure plus complexe due aux contrecoups des mouvements alpins (nappes de charriage, chevauchements, plissements et fractures) à de nombreux remplissages sédimentaires ainsi qu'à des épanchements volcaniques.

C'est une montagne dissymétrique : le versant septentrional est plus long que la retombée méridionale, caractérisée par une grande variété lithologique (granites, schistes, divers calcaires, grès, marnes et formations volcaniques).

• Enfin, le littoral, en continuité structurale avec le versant nord des Traras, se caractérise par de longs glacis couverts profondément incisés par de nombreux petits oueds, qui surplombent la mer par des falaises à fort commandement (50 à plus de 100 m).

La zone la plus aride est constituée par une enclave abritée par le flanc sud-est des Traras, située dans la plaine de Maghnia dans la partie

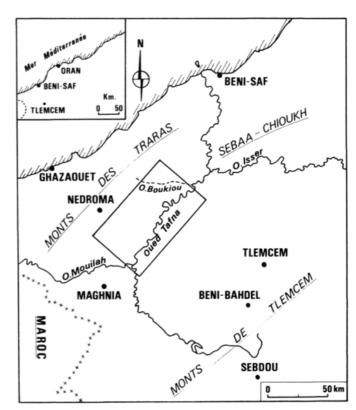


Fig. 3 : Croquis de localisation du secteur d'étude

située dans la plaine de Maghnia dans la partie la plus basse.

2. Cadre géologique :

Dans la région immédiate des gisements, les formations les plus anciennes sont les roches volcanosédimentaires composant la partie supérieure du miocène. Ces roches sont plissées en un synclinale très ouvert dont le plan axial montre une direction NNW-SSE (SONAREM, 1972). Le flanc ouest de ce synclinal est composé de couches de volcanoclastites rhyolitiques plus ou moins bentonitisées, de direction NW-SE avec un faible pendage vers l'est (10 à 20°).

Ce flanc ouest de la séquence est recoupé par un dôme de rhyolite de dimension importante (environ 265 000 m² de section). Autour de ce dôme, et d'un autre plus petit situé au nord, se distribuent les carrières de Roussel et Torba.

L'intrusion de ce dôme de rhyolite aurait eu une influence déterminée sur le processus de bentonitisation, puisque la meilleure qualité de bentonite se trouve à proximité du dôme et diminue ensuite au fur et à mesure qu'on s'en éloigne.

2.1. Stratigraphie:

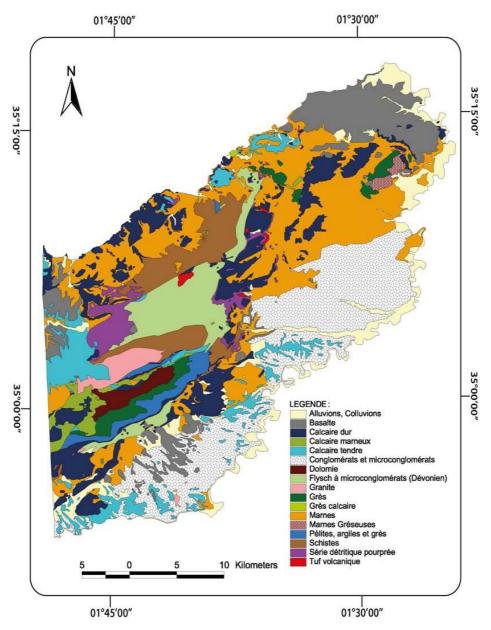


Fig.4: Carte lithologique de la région d'étude (Rouse et al., 1974)

Le Paléozoïque : affleure dans les monts de Traras et de Fellaoucene situés dans la partie septentrionale du domaine atlasique. Les granites de Nedroma d'âge Viseen recoupent les terrains provoquant un métamorphisme de contact matérialisé par des cornéennes.

Le Jurassique : affleure entièrement dans la chaine de Fellaoucene.

La majeur partie de l'Oranie est représenté par le Jurassique inférieur carbonaté, constitué de calcaires compacts, massifs, dolomies épaisses, et oolithiques à M'Sirda ainsi que des calcaires graveleux. quant au Jurassique moyen et supérieur il représente la partie Est de Fellaoucene qui est caractérisé par des calcaires argileux, calcaires marneux et des grés.

Le Cénozoïque : représenté dans les Andalouses (Sahel d'Oran).

Le Paléocène : visible à Sbaa Chioukh, constitué essentiellement de marnes grises à petits lits de calcaires argileux.

L'Eocène : représenté par des affleurements gréseux qui apparaissent dans les formations miocènes d'Ain Timouchent et de la Basse Tafna.

Le Miocène : série continentale constituée par des marnes, répandu dans toute la région, Le Miocène post nappe affleure de part et d'autre de la Tafna, et au nord des Sbaa Chioukh, et à Beni Saf.

Lors du Miocène post nappe, les Traras et la chaine de Fellaoucene sont épargnés par la transgression. Les formations marines ont formé deux bassins l'un oriental et l'autre occidental.

Le bassin oriental est limité à M'Sirda et correspond à une formation marneuse à microfaunes, surmontée d'une dalle calcaire. Quant au bassin occidental, il est constitué de grès rouges d'origine alluviale.

Le Plio-Quaternaire : comprend deux types de formations ; l'une est continentale dominée par des dépôts conglomératiques, l'autre est marine représentée par des marnes ou marnes argileuses.

2.2. Magmatisme:

L'Oranie a connu une intense activité volcanique depuis le Miocène jusqu'au Plio-Quaternaire. 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, l'un d'âge Messinien, 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.

L'autre épisode d'âge Plio-Quaternaire réparti en laves basaltiques dans les secteurs d'Ain Timouchent, de la basse Tafna, de Fellaoucene et de Souhalia.

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 : effusifs d'âges Miocène produits uniquement à l'Ouest de l'Oranie,

strombolien du Plio-Quaternaire enregistré dans la basse Tafna, puis un dynamisme phréatomagmatique.

Notre région d'étude est concernée par ce type de volcanisme et qui sera ensuite confirmé par l'étude géochimiques

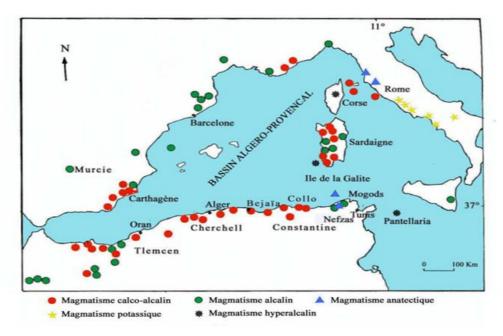


Fig.5 : le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N. Laridhi Ouzaâ (1994)

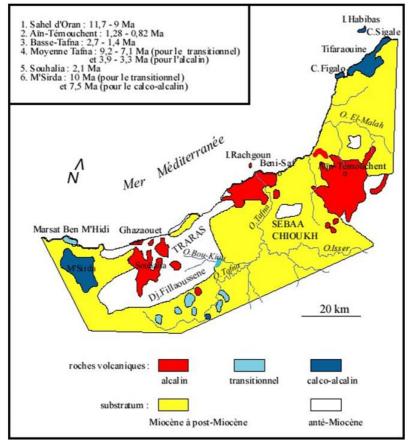


Fig.6: Localisation et âge du volcanisme néogène d'Oranie (in Medini, 2010)

CHAPITRE III : GEOLOGIE LOCALE DU SECTEUR D'ETUDE

Notre secteur d'étude se situe au nord-ouest de l'Algérie, et fait partie de l'oranie occidentale (domaine tellien) et plus précisément dans le bassin de la moyenne Tafna. Ce bassin présente un aspect de fossé intra montagneux, il est encadré par deux chaînes Atlasique, les monts de Tlemcen au Sud; les Traras, le Fellaoucene au Nord (Fig.1).

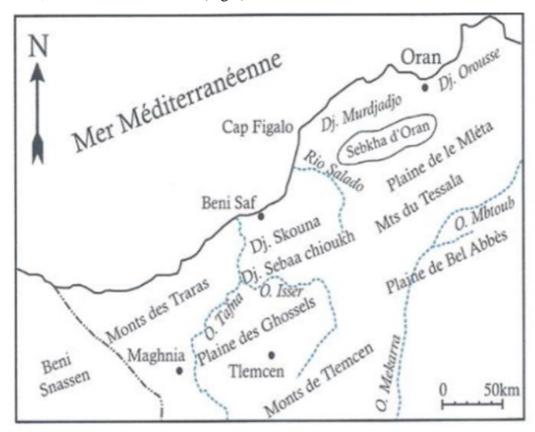


Fig.1: Esquisse géographique du bassin de la Tafna (Perrodon 1957)

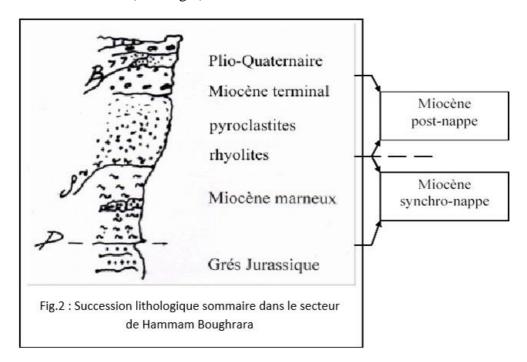
1. Stratigraphie du secteur :

La majorité des affleurements de notre secteur sont d'âge Miocène et Pliocène.

Tout d'abord, à la base, le jurassique représenté par des grés qui affleurent dans quelques endroits, en suite viennent les formations miocènes marneuse synchro nappes affleurant dans l'oued Tafna, et reposent en discordance sur le jurassique gréseux, puis un important épisode volcanique au miocène post nappe, composé essentiellement de rhyolites, de tufs pyroclastiques ainsi que des ignimbrites. Cette série peut parfois être recoupé par des dykes basaltiques et des intrusion de lave basique. Les roches acides de la région (rhyolites perlitiques et tufs pyroclastiques) peuvent être transformées localement en argile bentonitique, tant dis que les rhyolites dures sont moins touchées par la bentonitisation.

Ensuite on a les formations du pliocène continentale représenté par des grés, sables meubles ainsi que des argiles sableuses et de lentilles de calcaires. Ces formations discordantes sur les terrains volcanosédimentaire du miocène ne dépassent pas 100m d'épaisseur.

Et Enfin on arrive au formations plio quaternaire alluviennes composés de dépôts remaniés des terrasses de l'oued Tafna. (Voir fig.2).



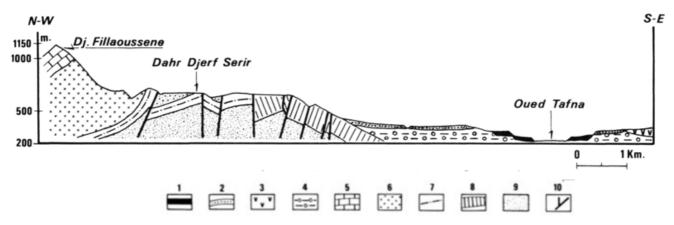


Fig. 3 : Coupe à travers la vallée de la moyenne Tafna

Légende :

- 1 : terrasses alluviales indifférenciées
- 2 : couverture limoneuse à dalle calcaire des glacis du Quaternaire ancien
- 3 : coulée de basalte plio-quaternaire
- 4 : Mio-Pliocène marneux et conglomératique
- 5 : dolomies massives du Kimmeridgien
- 6 : grès à calcaires de l'Oxfordien supérieur
- 7 : petites, argiles et grès du Callovo-Oxfordien
- 8 : calcaires massifs ou dolomies du Lias moyen
- 9 : terrains primaires détritiques et schisteux
- 10 :failles.

2. Volcanologie du secteur :

2.1. Introduction:

Le piton de Ain Torba situé à l'ouest de l'oued Tafna étant le plus important gisement de la région suivi du piton de Hammam Boughrara à l'est. Tous deux affleurent sous forme de massifs érodés bien visibles sur les cartes géologiques. Plus au nord on remarque la présence du petit dôme de Bled er Rakiza, comme on peut aussi noter l'existence de quelques gisements enfouis dans cette région. Ces dômes sont constitués essentiellement de rhyolites, pyroclastites et de bentonites.

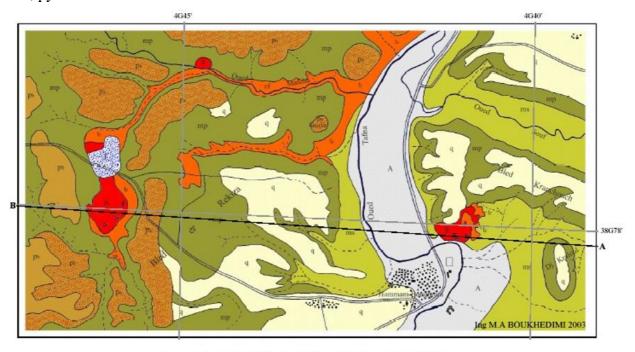


Fig.4 : Carte Géologique de Hammam Boughrara (e=1/20 000) réduite en (e=1/24 200) pour la mise en page

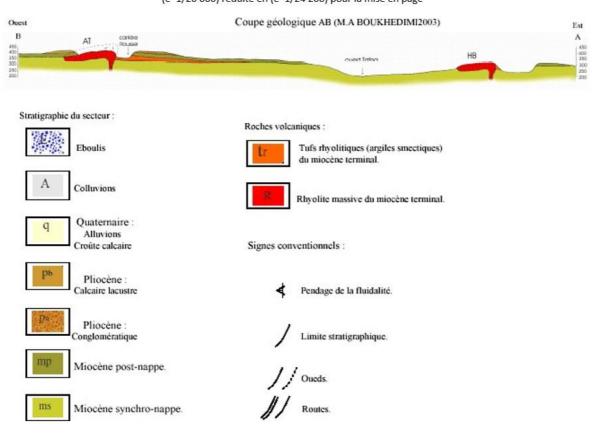


Fig.5: Coupe géologique E-O de l'Oranie (M.A BOUKHEDIMI)



Fig.6: Vue Panoramique du piton rhyolitique de Hammam Boughrara

Le piton rhyolitique de Hammam Boughrara, étant le plus visible dans la nature nous permet de distinguer plusieurs faciès à étudier. On peut voir macroscopiquement les bordures perlitiques, les rhyolites massives au centre, puis des tufs pyroclastiques consolidés a la base du dôme, et l'oued Tafna tout au nord.

2.2. Dynamisme volcanique rhyolitique de la région :

Puisque le dôme de Hammam Boughrara est bien visible sur le terrain, l'étude volcanologique s'est faite par rapport aux évidences du terrain de Hammam Boughrara (fig07).

Les autres dômes présentent la même structure que le dôme rhyolitique de Hammam Boughrara (structure en dôme, bordure perlitique, dépôts pyroclastique...) donc on propose le même scénario de mise en place pour les autres dômes.

La température de mise en place de ces dômes rhyolitiques calculée à partir de l'équilibre des feldspaths dans les roches (Boukhedimi 2010) est d'environ 600°C et présente une zonalité thermique qui va de l'extérieur vers l'intérieur (cœur du dôme).

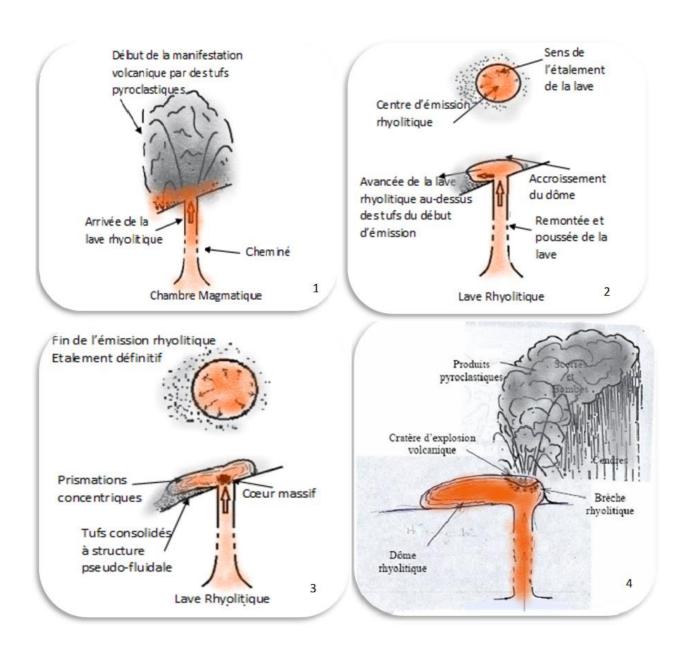


Fig.7: Processus de mise en place des dômes rhyolitiques de la région (les auteurs)

Résumé du processus de mise en place des dômes rhyolitiques :

- 1- En premier temps, on a la remontée de la lave rhyolitique et manifestations des tufs pyroclastiques accompagnés de cendre et de bombes volcaniques.
- 2- En second temps, l'avancée de la lave rhyolitique sur les tufs pyroclastiques, et son étalement sur la surface accompagné de diminution de températures va créer des zonations allant du cœur jusqu'à la périphérie
- 3- A la fin de l'émission rhyolitique, on a un étalement définitif des laves sur les tufs pyroclastiques consolidés (qui peuvent parfois former des ignimbrites).
- 4- Un autres épisode volcanique explosif (avec un magma riche en gaz) va se manifester et déchiqueter le dôme et former un cratère qui va être remplie par la suite de tufs pyroclastiques.

3. Conclusion:

Les laves rhyolitiques originaires de la formation des principaux dômes de la région étudiée se sont manifestées à partir du Miocène post-nappe.

L'analogie qui existe entre les différents dômes du secteur d'étude, nous a permis de proposer un scénario sommaire et unique de mise en place des dômes rhyolitique de la région.

Il est à noter que cette bentonitisation se développe dans l'immédiat des appareils volcaniques et que l'appareil volcanique de Ain Torba étant le plus grand il a généré l'essentiel des gisements de bentonites. Ce constat fort intéressant nous permet de dire que dans notre secteur d'étude, il y a un lien entre la bentonitisation et la dynamique volcanique dans le secteur.

Cela a donné naissance aux divers faciès rhyolitiques qu'on va étudier dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE IV : PETROGRAPHIE DES FACIES

1. Introduction:

Dans le bassin de la moyenne Tafna on distingue : des rhyolites et des pyroclastites. Les rhyolites présentent une morphologie caractéristique de dômes (voir chapitre précèdent). L'essentiel des pyroclastites et des tufs pyroclastiques se développent autour des dômes rhyolitiques.

Macroscopiquement comme microscopiquement, les dômes rhyolitiques présentent des caractères pétrographiques analogues, et vu leur rapprochement géographique, il s'agit certainement de la même chambre magmatique à l'origine de ces dômes et des tufs associés. L'étude pétrographique comparative des différents dômes va confirmer ce constat.



Photo 01 : Vue Panoramique de la carrière de Roussel Ain Torba

2. GENERALITES SUR LES BENTONITES :

2.1 Définition :

La bentonite est une argile colloïdale dont le nom vient de Fort Benton dans le Wyoming aux Etats Unis, connue aussi sous le nom de terre à foulon.

Elle peut être considérée comme une smectite étant essentiellement constituée de montmorillonite : (Na, Ca) 0.33 (Al, Mg) 2Si₄O₁₀ (OH)₂ (H₂O) (80%), qui est une argile, ce qui explique sa capacité de rétention d'eau car la montmorillonite est un type de smectite particulièrement gonflante, on trouve également d'autres minéraux comme le quartz, le mica, le feldspath, la pyrite ou la calcite.

2.2 Origine:

Les bentonites sont des argiles d'origine volcanique, constituées principalement de montmorillonite ; l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entrainent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de fort Benton (Wyoming, Etats-Unis).

Elle contient plus de 75% de montmorillonite; cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la vienne (France). La bentonite est une dénomination de la montmorillonite. Cette dernière a été découverte dans des gisements argileux situes près de la montmorillonite dans la vienne, en France. Contiennent au moins 75% de montmorillonite. 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 gypses, de carbonates ... etc. (BOUGDAH ,2007).

2.3 Caractéristiques :

La bentonite montre des propriétés plastiques gonflantes, qui favorisent l'introduction de molécules d'eau à cause de la présence des cations volumineux entre les feuillets.

Ces matériaux argileux sont caractérisés par la superposition des feuillets élémentaires. Entre ces feuillets se situent des actions échangeables, principalement Ca et Na. Pour cela il existe trois principaux types de bentonites qui sont commercialisées (BRGM 1983).

- -Des bentonites naturelles
- -Des bentonites sodiques naturelles
- -Des bentonites sodiques artificielles obtenues par, échanges des ions Ca des bentonites calciques naturelles par des ions Na, grâce à un ajout de Na2 CO3.

2.4 Classification schématique des minéraux argileux :

2.4.1 Critères de classification :

Nombre de feuillets :

On distingue trois types d'accolement :

- 1 couche d'octaèdres (O) et 1 couche de tétraèdres(T) : phyllites 1/1 ou T.O.
- 1 couche d'octaèdres, insérée entre deux couches de tétraèdres : phyllites 2/1 ou T.O.T.
- un feuillet de type 2/1 avec une couche d'octaèdres supplémentaires, isolée dans l'espace interfoliaire : phyllites2/1/1 ou T.O.T.O.

> Substitutions atomiques :

On subdivise les trois catégories précédentes selon le taux de substitution des atomes et leur lieu (Si <-->Al ou Al <--> Mg, Fe : substitution dioctaédrique ou trioctaédrique), et la nature des cations compensateurs.

> Espacement des feuillets :

Selon les minéraux, et les constituants qui se logent dans les espaces interfoliaires, ceux-ci présentent des largeurs différentes.

2.4.2 Description des grandes catégories :

Kaolinite : C'est une phyllite 1/1 sans substitution. Le feuillet est neutre. La distance de la surface d'un feuillet à celle du feuillet suivant est de 0,7 nm (7 angströms (Å)), sa formule est : Si2 Al2 O5 (OH)4 ou Si4 Al4 O10 (OH)8.

Illites : phyllites 2/1, avec des substitutions foliaires, compensées électriquement par des ions K en position interfoliaire. L'équidistance moléculaire est de 1 nm. Formule générale : (Si4-x Al-x) (Al, M1, M2)2 O10 (OH)2 K. La glauconite est le pôle ferrique de l'illite.

Smectites : (anciennement montmorillonites) : le modèle est le même que celui des illites, mais avec une moindre organisation dans l'empilement des feuillets : chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Ce désordre et la faible charge des feuillets facilitent leur écartement. Dans cet espace peuvent se loger divers cations, de l'eau et des molécules organiques d'encombrement divers, d'où une équidistance réticulaire variant de 1 à 1,8 nm, et la grande variété des minéraux de cette famille.

Notons qu'en géologie économique, on nomme bentonites les smectites exploitables commercialement. Pour le sédimentologue, par contre, ce terme désigne un lit argileux issu de l'altération de cendres volcaniques, et pouvant contenir des smectites, mais aussi de la kaolinite, des minéraux interstratifiés et des zéolites.

Chlorites : leur structure est, là encore, semblable à celle des illites et des smectites, mais l'espace interfoliaire est occupé par une couche d'hydroxydes de natures variées. Cette couche octaédrique supplémentaire est stable, et l'équidistance réticulaire est fixe, et de 1,4 nm.

Minéraux argileux interstratifiés : dans ces minéraux alternent des feuillets avec des espaces interfoliaires de largeurs différentes, déterminables seulement si cette alternance est régulière. Ces minéraux sont les étapes de transformation d'un minéral argileux à l'autre.

Minéraux en lattes, sépiolite et attapulgite : ils sont composés, non de feuillets, mais de rubans à trois couches accolées en quinconce. La couche octaédrique comprend 8 cations (Mg) pour la sépiolite, 5 pour l'attapulgite (Mg, Al, Fe).

Fig.1: principales familles de minéraux argileux

Phyllites 1/1: kaolinite (Al), serpentines (Mg), halloysite (H_2O)

Phyllites 2/1:

- sans substitution: pyrophyllite (Al), talc (Mg)
- avec substitutions tétraédiques, selon un taux x :
 - + x > 0,6; compensation interfoliaire par :

cations hydrophobes (K, Na): illites, micas, glauconites

cations hydrophiles (Ca, Mg): vermiculites

+ x < 0,6, avec possibilité de substitutions octaédriques : smectites

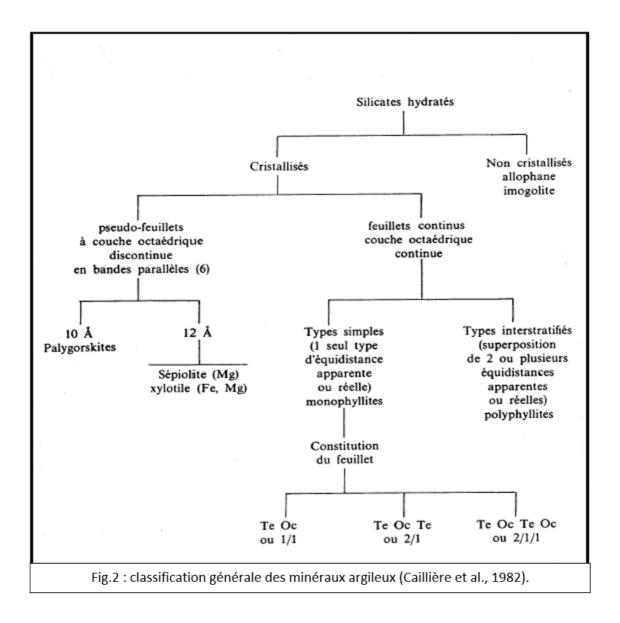
(montmorillonite et beidellite : Al; nontronite : Fe; saponite et stévensite : Mg)

Phyllites 2/1/1: chlorites (surtout Mg), berthiérine (Fe)

Phyllites intermédiaires : interstratifiés réguliers ou irréguliers (ex. : illite-smectite, chlorite-

vermiculite, kaolinite-smectite)

Pseudophyllites (argiles fibreuses, Mg): palygorskite, sépiolite



2.5 Utilisations de la Bentonite :

- > Dans le domaine pétrolier, pour la fabrication des boues de forages aqueuses qui s'agit d'eau mélangée avec la bentonite.
- En pharmacie, la bentonite est connue pour sa capacité d'absorber et d'éliminer les toxines, les métaux lourds, les impuretés et les produits chimiques.
- En fonderie, elle sert de liant dans la fabrication des moules en sable pour la fonderie.
- ➤ En génie civile, particulièrement dans l'étanchéité des édifices, la construction des digues, la pose de canalisation et l'édification des tunnels.
- > Dans l'industrie alimentaire pour clarifier les jus de fruits.

3. Etude macroscopique:

3.1. Les Rhyolites :

La rhyolite est une roche ignée à grains fins à haute teneur en silice. Sa couleur pâle est généralement grise ou rose. La teneur en minéraux de la lave rhyolitique est similaire à celle du granit, de l'obsidienne, de la pierre ponce et du tuf. Formées à partir de magmas granitiques qui se sont partiellement refroidis en remontant à la surface de la terre, toutes ces roches ignées contiennent de grandes quantités de silice et contiennent du quartz, du mica, des amphiboles et du feldspath orthoclase.

On les retrouve dans tous les dômes de la région étudiée, vu qu'elles sont le composant principales d'un dôme rhyolitique. Ce sont des roches compactes (dépend du degré de bentonitisation de la roche) de couleur blanchâtre à grisâtre (photo 4), peuvent avoir une structure perlitique (rhyolite formée sous tranche d'eau).

A Ain Torba on retrouve des rhyolites massives de couleur grisâtre tandis que à Hammam Boughrara on retrouve essentiellement des alternances argileuses-pyroclastites de couleur jaunâtre a blanchâtre.



Photo 02 : Rhyolite massive du piton d'Ain Tourba (à gauche) et de Hammam Boughrara (à droite)



Py : argile pyroclastique. Rh : rhyolite compacte. Ox : oxydation (rouge noirâtre).

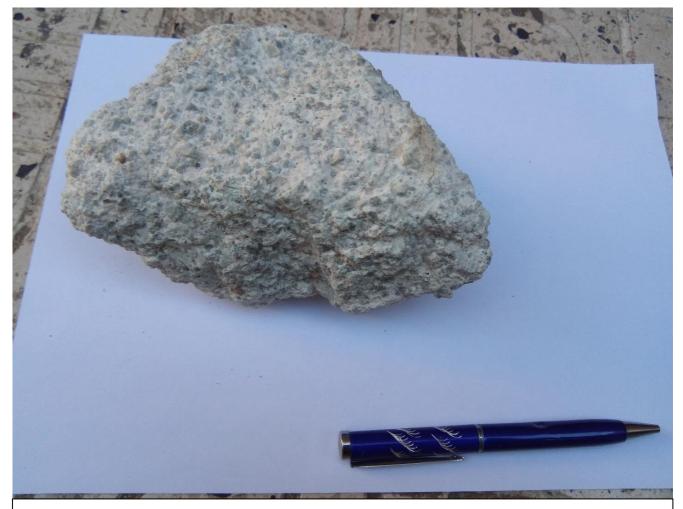


Photo 03 : Echantillon d'une rhyolite perlitique prélevé de la carrière de Roussel

A l'affleurement, les rhyolites de Hammam Boughrara montrent souvent une patine d'altération jaune sale. Les minéraux sont englobés dans une pâte de couleur claire grisâtre. On discerne parfois à l'œil nu quelques cristaux de quartz limpides, et de feldspath; les biotites et les oxydes ont souvent une forme de bâtonnets de taille millimétrique et de teinte marron foncé ou noire.

Ces rhyolites présentent en général une fluidalité bien nette (Photo 5), qui est fréquemment soulignée par les minéraux oxydés.

La périphérie des dômes est constituée de rhyolites perlitiques montrant, elles aussi, une fluidalité bien nette par endroit.

Ces rhyolites apparaissent généralement sous forme massive ; mais peuvent présenter des structures prismatiques ; ou mamelonnées ; leur couleur sale, et leur état friable témoigne de leur degré d'altération très élevé localement.

Dans le dôme rhyolitique de Ain Torba, ces rhyolites perlitiques, ont une couleur très proche de celle de l'argile bentonitique qui les bordent, témoignant ainsi de leur état de bentonitisation très avancé (photo04).

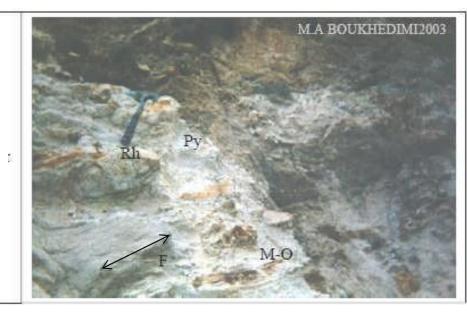


Photo 04 : Deux échantillons de bentonite prélevés de la carrière de Roussel.

Dans la carrière de Roussel (Ain Torba) on peut citer la présence que deux dykes basaltiques certainement d'âge quaternaire qui traversent le dôme rhyolitique de Ain Torba (photo06).

F : sens de Fluidalité. M-O : Minéraux Oxydés.

Photo 05: la rhyolite perlitique du piton de Hammam Boughrara de couleur grisblanchâtre montrant un aspect fluidale: la fluidalité étant bien soulignée par des minéraux oxydés.



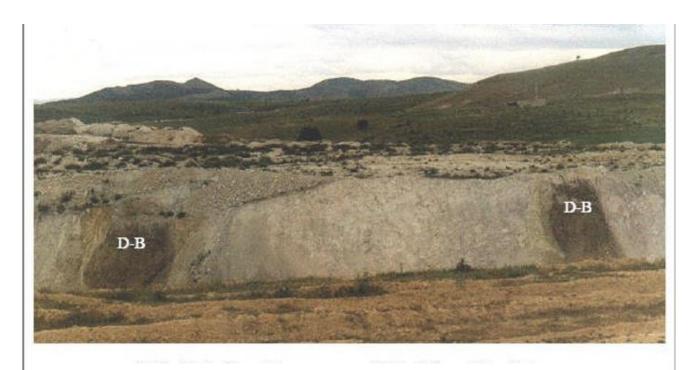


Photo 06 : Les dykes basaltiques recoupant la formation rhyolitique d'Ain Torba

3.2. Les tufs pyroclastiques :

Les roches pyroclastiques sont particulières à cause de leur double genèse. Elles sont volcaniques de par l'origine de leurs constituants primaires et elles sont sédimentaires de par leur mode de dépôt. La classification des roches pyroclastiques est alors basée sur la granulométrie de ses minéraux et de ses fragments. La granulométrie permet de séparer les pyroclastes en trois catégories ; les cendres, qui ont moins de 2 mm de diamètre, les lapillis (entre 2-64 mm) et les bombes ou blocs (plus de 64 mm). La figure ci-dessous (Fig.7) indique également la terminologie employée pour désigner les dépôts pyroclastiques consolidés (ignimbrite). Parmi ces derniers, on peut distinguer les tufs qui à leur tour, se classent en fonction de la nature de leurs constituants : les tufs vitreux renferment plus de 50% de verre, les tufs à cristaux renferment plus de 50% de cristaux divers et les tufs lithiques qui renferment plus de 50% de fragments de roches.

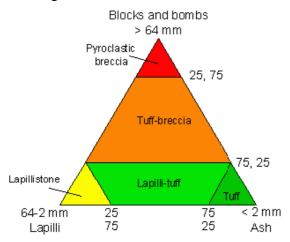


Fig.3 : Classification des roches ignées pyroclastiques selon Fisher

Les pyroclastites retrouvées dans le dôme de Ain Torba sont souvent de couleur blanchâtre composé essentiellement de fragments de roches volcaniques, de taille centimétrique à millimétrique, et d'une multitude de minérales dont le quartz, les feldspaths et quelques ferromagnésiens, tous emballés dans une matrice plus ou moins fine argilitisée.

Les Ignimbrites:

Ce sont des Roches à texture chaotique. Leur présence à la base des dômes, et leur structure pseudo-fluidale à fluidale marquée notamment par les fiammes (lambeaux de roches étirées), indiquent qu'ils ont été soudés à chaud. Ces tufs pyroclastiques consolidés à structure pseudo-fluidale montrent tous les traits d'une ignimbrite (photo 08).



4. Etude microscopique :

4.1. Aperçu sur les rhyolites :

Au microscope, les rhyolites du dôme de Hammam Boughrara et du dôme de Ain Torba présentent aussi des caractères analogues d'un point de vu de textures, phénocristaux et mésostase.

4.1.1. Les Textures :

Le tableau qui suit résume les différents types de textures des rhyolites qu'on retrouve dans les différents dômes rhyolitiques de la région.

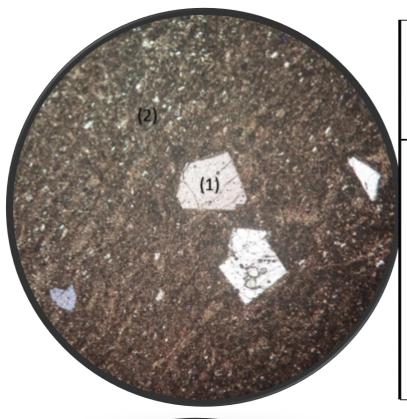
Type de texture	Description
Hyaline porphyrique fluidale	L'aspect fluidale de la roche provient de l'orientation des microlitiques suivant la même direction. On la retrouve dans la périphérie des dômes.
Hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale	La fluidalité est marquée par un soulignement régulier des microlites. Cette texture se trouve essentiellement à la bordure des dômes.
Hyaline porphyrique à tendance cryptocristalline	De fins cristaux de quartz cryptocristallin et de feldspaths constituent la mésostase
Hyaline porphyrique à tendance microlitique	L'aspect microlitique est le résultat de l'abondance des microlites dans la phase vitreuse

1.1.1. Description des phénocristaux :

Les dômes rhyolitiques de la région étudiée présentent des caractéristiques et compositions minéralogique plus ou moins analogues, avec divers phénocristaux contenus dans les rhyolites de Hammam Boughrara et de Ain Torba, cette fraction phénocristalline présente une zonalité à partir de la périphérie des dômes a environ 6%, et vers le centre des dômes ou elles peuvent atteindre jusqu'à 20%.

Le tableau qui suit résume la description des minéraux contenus dans les rhyolites de la région.

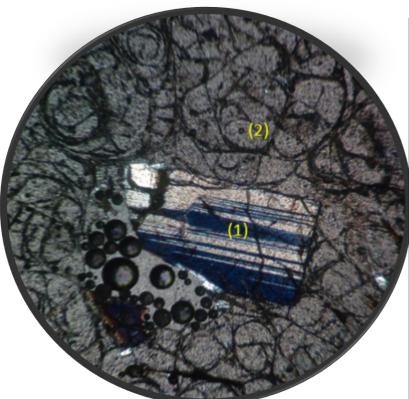
Phénocristaux	Description
Quartz (voir micro-photo 1)	Le quartz comprend environ 25 à 35% de la rhyolite, se présentant sous forme de phénocristaux zonés. Il présente généralement des anneaux pseudoconcentriques (texture boule de neige), où la corrosion et la cristallisation des excroissances ultérieures de quartz se sont produites. les quartz montrent une extinction roulante, témoignant ainsi des contraintes dues à l'écoulement de la lave, et contiennent fréquemment des inclusions vitreuses.
Plagioclase (voir micro- photo 2)	Le feldspath plagioclase comprend moins de 15% de la rhyolite. Il est sous une forme rectangulaire (inférieure à 1,2 cm). Les sections de plagioclase sont souvent zonées et craquelées et ces fractures sont soulignées par des minéraux d'altération.
Sanidine (voir micro-photo 3)	Le feldspath potassique constitue environ 45–55% de la rhyolite et se trouve sous forme de phénocristaux de 0,75–2 cm avec zonation par secteur de sablier
Biotite (voir micro-photo 4)	La biotite constitue moins de 5% de la rhyolite. elle se présente sous forme de prismes isolés ou en bâtonnets qui peuvent atteindre jusqu'à 3 mm de long, sa couleur est généralement marron et son pléochroïsme est fort variant de brun rouge à jaune marron.
Ferromagnésiens (voir micro-photo 5)	Les minéraux opaques sont rarissimes et ne dépassent pas les 1%. Ils peuvent se présenter sous forme de microcristaux ou en sections automorphes prismatiques.



Micro-photo 01 : Vue sous microscope optique polarisant d'une rhyolite contenant quelques quartz automorphes baignant dans la mésostase rhyolitique hyaline.

Légende :

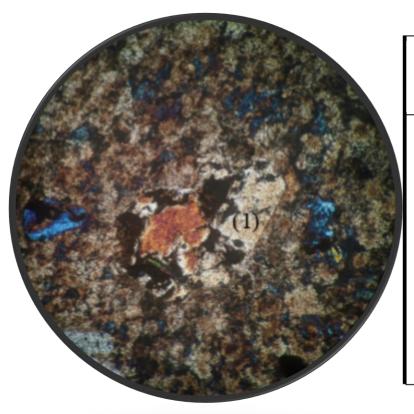
- (1) Quartz
- (2) Mésostase hyaline



Micro-photo 02 : Vue au microscope polarisant d'une rhyolite à texture perlitique contenant un plagioclase.

Légende :

- (1) Plagioclase
- (1) Perles (Mésostase perlitique)



Micro-photo 03 : Vue microscopique en lumière polarisée et analysée d'une rhyolite non bentonitisée à sanidine.

Légende :

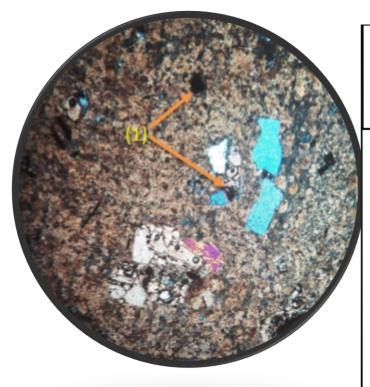
(1) Sanidine



Micro-photo 04 : Vue microscopique d'une Rhyolite perlitique non bentonitisée contenant une biotite

Légende :

- (1) Biotite
- (1) Perles (Mésostase perlitique)



Micro-photo 05 : Vue sous microscope optique en lumière analysée et polarisée d'une rhyolite bentonitisée contenant des minéraux opaques (ferromagnésiens).

Légende:

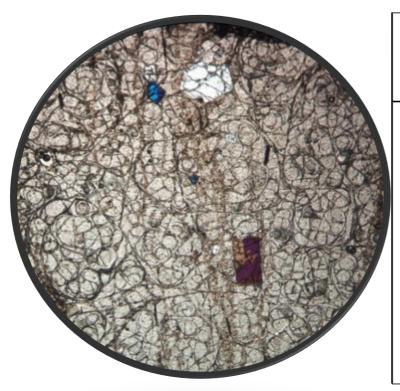
(1) Minéraux opaques (ferromagnésiens)

1.1.2. La mésostase :

Les rhyolites de Hammam Boughrara ainsi que celles de Ain Torba présentent sous microscope une mésostase très abondante qui peuvent atteindre jusqu'à 95% du volume totale de la roche. Sa couleur varie d'un brun sombre à incolore.

Les bordures des dômes de notre secteur d'étude sont caractérisés par une mésostase à structure perlitique (micro-photo 6) de couleur beige à blanchâtre.

La rhyolite dure présente une mésostase hyaline ou beignent divers phénocristaux tel que les quartz, plagioclases, biotites et quelques ferromagnésiens.



Micro-photo 06 : Vue microscopique d'une mésostase (rhyolite) à structure perlitique

Légende :

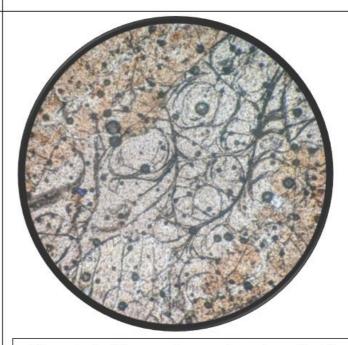
(1) Minéraux opaques (ferromagnésiens)

Hammam Boughrara



Micro photo 07 : vue microscopique d'une rhyolite perlitique de Hammam Boughrara

Ain Torba

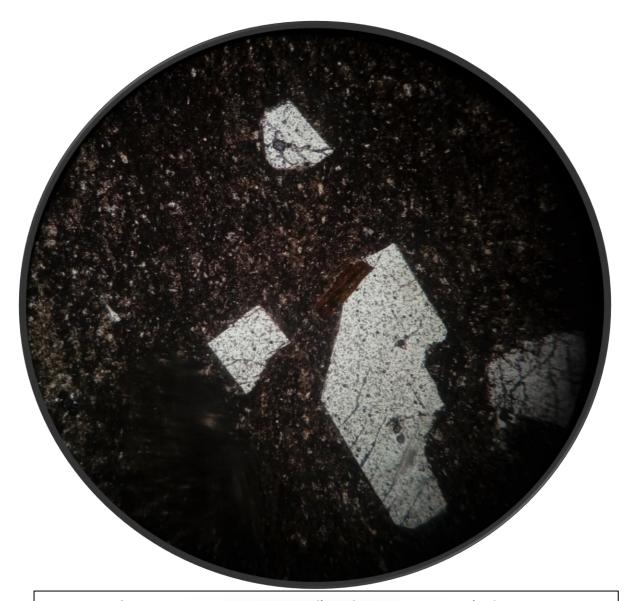


Micro photo 08 : vue microscopique d'une rhyolite perlitique d'Ain Torba

La vue microscopique montre que les deux rhyolites sont plus ou moins analogues.

1.1.3. Séquence de cristallisation :

En 1928 Bowen a montré qu'au cours du refroidissement d'un magma initial, la cristallisation des minéraux se fait dans un ordre défini, en fonction de la nature du magma, des conditions de pression et température. Les premiers minéraux à cristalliser seront évidemment les minéraux de hautes températures tel que les ferromagnesiens (minéraux opaques), suivit par les plagioclases, biotites et aussi par la sanidine. Ces derniers peuvent parfois être emprisonnés dans du quartz. (voir micro-photo 9)



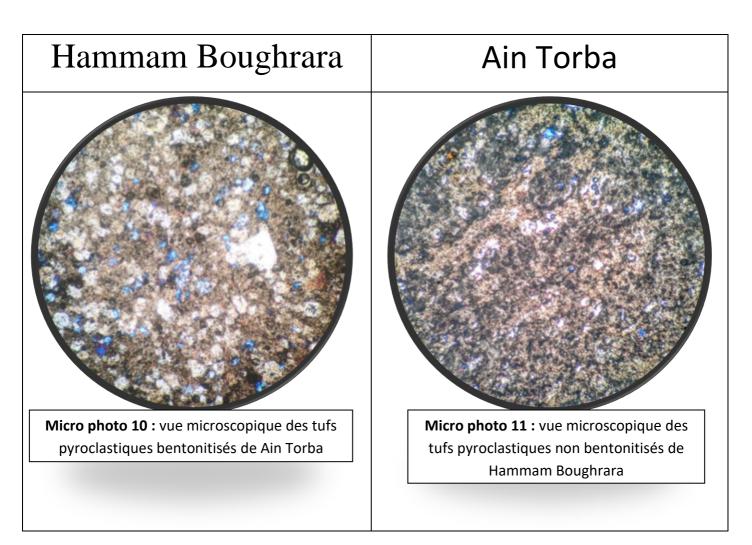
Micro-photo 09 : Vue microscopique d'une biotite emprisonnée dans un quartz

Remarque : Cela signifie donc que cette biotite s'est formée avant le quartz.

1.2. Les tufs pyroclastiques :

Lors de leurs entrainements dans des dépression, les cendres volcaniques vont se consolider à l'aide d'un ciment pour ensuite former des tufs pyroclastiques. Il s'agit donc de formations mixtes, volcano-sédimentaires, qui sont souvent finement stratifiées d'origine marine ou continentale. A Ain Torba comme à Hammam Boughrara, ces produits volcano-sédimentaires se présentent sous diverses formations variées : tufs chaotiques, tufs soudés, ignimbrites, nuées ardentes.

La phase	Description
La phase de liaison (micro-photo 10)	Matrice abondante, avec un ciment rare peut être siliceux, ferrugineux ou carbonaté.
(micro-photo 10)	Sa couleur est variable et va d'un brun sombre à un brun claire. Mais peut aussi virer au jaune par effet de bentonitisation.
La phase clastique (micro-photo 11)	Très variable et chaotique, composée de fragments de minéraux et débris essentiellement de plagioclases et de quartz Cette phase peut constituer jusqu'à 60% du volume totale de la roche mais son pourcentage est très versatile puisqu'elle peut aussi être dans certains cas presque absente où seule la matrice argileuse est visible.



1.2.1. Description des ignimbrites :

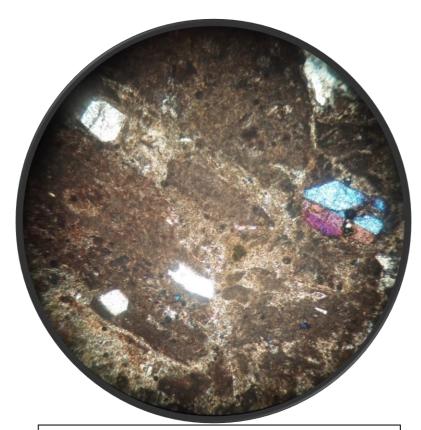
Elles ont été aperçues dans la base des dômes rhyolitiques de Ain Torba et de Hammam Boughrara.

Ce sont des roches pyroclastiques soudées à chaud, et contiennent d'abondants clastes juvéniles aplatis appelés fiammes orientés avec une texture fluidale à pseudo-fluidale.

Les écoulements moins soudés ont tendance à être blancs ou grisâtres, tandis que les écoulements intensément soudés sont souvent gris foncé à noir.

Les ignimbrites se forment en raison de l'emplacement d'écoulements pyroclastiques à haute température qui se compactent sous leur propre poids.

La minéralogie d'une ignimbrite est principalement contrôlée par la chimie du magma source. La gamme typique de phénocristaux dans les ignimbrites est la biotite, le quartz, la sanidine ou plagioclase.

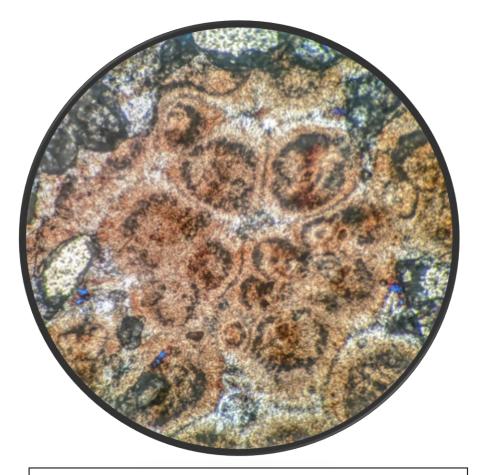


Micro photo 12 : vue microscopique d'une ignimbrite présentant une fluidalité (suivant la même direction)

1.3. Les faciès bentonitisés :

Les facies les plus affectés par la bentonitisation sont les pyroclastites et les rhyolites perlitiques en raison de leur porosité (la bentonitisation s'effectue avec les eaux hydrothermales). Tant dis que les rhyolites dures sont difficiles à bentonitiser (rhyolite compacte). Les rhyolites et les tufs pyroclastiques de Ain Torba et de Hammam Boughrara sont ponctuellement bentonitisés et par conséquent deviennent plus friable et adapte une couleur jaunâtre.

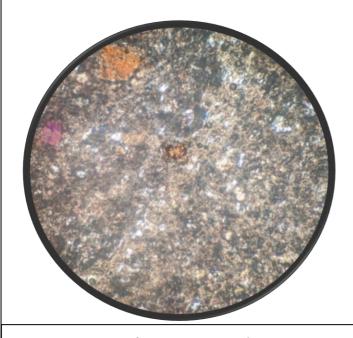
On a constaté que ce phénomène d'altération affecte surtout le dôme rhyolitique d'Ain Torba, par contre celui de Hammam Boughrara reste très peu touché par ce phénomène.



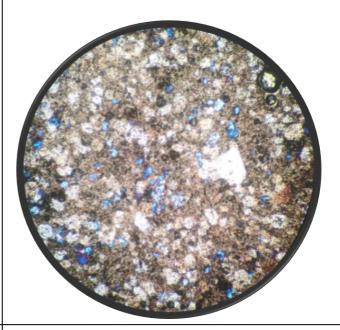
Micro photo 13 : image du microscope polarisant ci-jointe montre le développement de l'argilitisation suivant les contours perlitiques de la rhyolite perlitique d'Ain Torba

Hammam Boughrara

Ain Torba



Micro-photo 14 : image du microscopique polarisant montre le début de la bentonitisation dans les tufs pyroclastiques de Hammam Boughrara



Micro-photo 15 : image du microscopique polarisant montre un stade avancé de bentonitisation dans les tufs pyroclastiques de Ain Torba

La bentonitisation se développe essentiellement dans la matrice argileuse bien que les éléments détritiques sont moins touchés.

2. Conclusion de la pétrographie des facies :

L'étude pétrographique des différentes lames mince et des échantillons, que ce soit ceux de Ain Torba ou de Hammam Boughrara, montre une analogie des facies des deux dômes.

La bentonitisation se développe surtout au niveau des plans de fluidalité, des points de porosité ainsi que dans les perles et la matrice argileuse.

Ce phénomène d'altération touche essentiellement les facies suivants :

- Rhyolites perlitiques
- Tufs pyroclastiques et ignimbrites

Tandis que les facies moins poreux sont moins touchés par la bentonitisation :

- Rhyolites Dures

Donc il y'a une relation entre les rhyolites et la bentonitisation, c'est que cette dernière se développe au niveau des perles et des fluidalités.

CHAPITRE V : GEOCHIMIE DES RHYOLITES

1. Introduction:

Dans ce chapitre, on va se baser sur les différents diagrammes et données géochimiques, pour déterminer la nomenclature des laves rhyolitique, les facies les plus affectés par la bentonitisation, ainsi que le degré d'altération des roches, et enfin déterminer la source des eaux responsables du phénomène de bentonitisation dans la région étudiée.

2. Nomenclature et classification des laves :

En se fondant sur les différentes compositions chimiques des échantillons prélevés à Ain Torba et a Hammam Boughrara, on fait la classification et la nomenclature des laves rhyolitiques, et cela en projetant les résultats d'analyses chimiques sur les diagrammes de Harker, de Cox et al et AFM qui suivent, les échantillons de Ain Torba sont représentés en bleu, et ceux de Hammam Boughrara en couleur rouge.

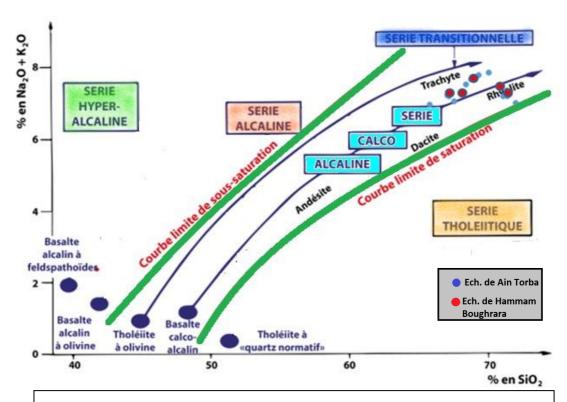


Fig.1 : Nomenclature des laves rhyolitiques de Hammam Boughrara et de Ain Torba (diagramme de Harker).

Après avoir projeté les données des échantillons prélevés (voir annexe : tableau 1) sur les diagrammes de Cox et al, Harker ainsi que le diagramme AFM qui suit, la majorité des points des roches saines tombent dans le même champ qui représente la série calcoalcaline, donc les laves rhyolitiques de Ain Torba ainsi que celles de Hammam Boughrara sont calco-alcaline.

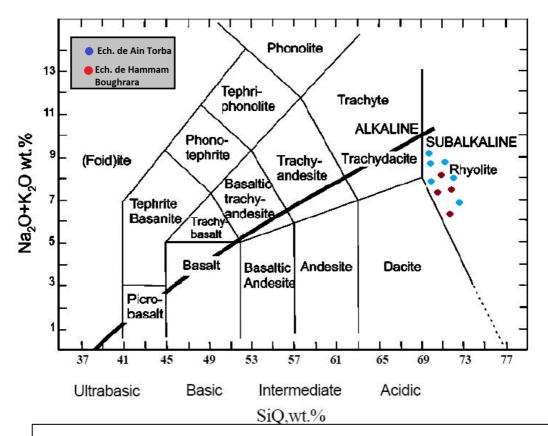


Fig.2 : Diagramme SiO_2 vs $Na_2O + K2O$ (Cox et al. 1979 ; LeMaitre et al. 1989 ; Irvine et Baragar 1971) de classification de types de roches alcalines et subalcalines

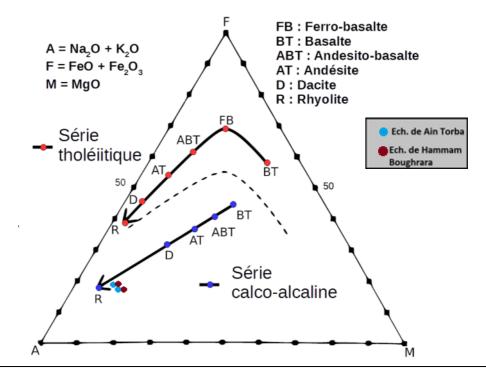


Fig.3 : diagramme AFM des séries volcaniques de Ain Torba et de Hammam Boughrara

3. Différentiation des facies bentonitisés et facies non bentonitisés :

3.1. Les éléments majeurs :

Ces deux diagrammes nous ont permis de différentier les faciès bentonitisés des faciès sains :

3.1.1. Le diagramme Al₂O₃/SiO₂:

Les rhyolites de Hammam Boughrara et de Ain Torba montrent des teneurs en oxyde d'alumine variables, parfois élevées.

Les roches non bentonitisées présentent des teneurs faibles en Al2O3 (comprises entre 9,2% et 10,5%) et une forte teneur en SiO2 (comprises entre 78% et 81%), Les roches bentonitisées montrent une teneur élevée en Al2O3 (comprises entre 11,8% et 15,5%) et une teneur faible en SiO2 (comprises entre 62% et 68%).

En allant du premier groupe de roches vers le deuxième, on remarque une augmentation progressive Al2O3 et diminution de SiO2. Cela peut être est expliqué par le lessivage hydrothermales de la silice.

On projette les valeurs des analyses SiO_2/Al_2O_3 depuis le tableau des analyses chimiques SiO_2/Al_2O_3 (voir annexe : tableau 3) :

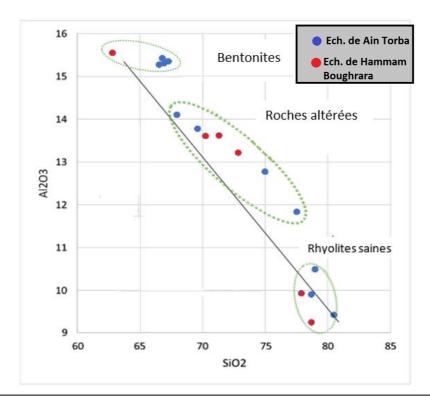


Fig.4 : Diagramme SiO2/Al2O3 permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de la région.

3.1.2. Le diagramme MgO/CaO:

Dans le diagramme MgO/CaO, les échantillons bentonitisés sont riches en MgO (comprise entre 1,2% et 1,4%) et CaO (comprises entre 0,8% et 1%) tandis que des roches non bentonitisées montre des teneurs plus au moins faibles en MgO (comprises entre 0,1% et 0.6%) et CaO (comprises entre 0,3% et 0,6%).

Tous les facies en relation avec la bentonite sont des rhyolites calco-alcalines, ils sont plus riches en MgO, CaO et Al2O3 et montrent une diminution importante en silice SiO2 due au lessivage hydrothermal.

On projette les valeurs des analyses MgO/CaO depuis le tableau des analyses chimiques MgO/CaO (voir annexe : tableau 4) :

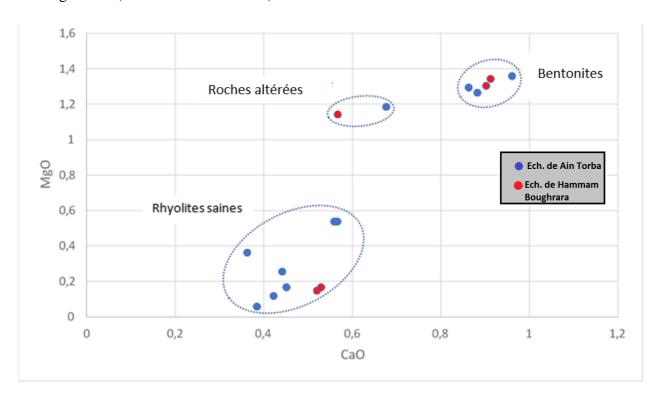


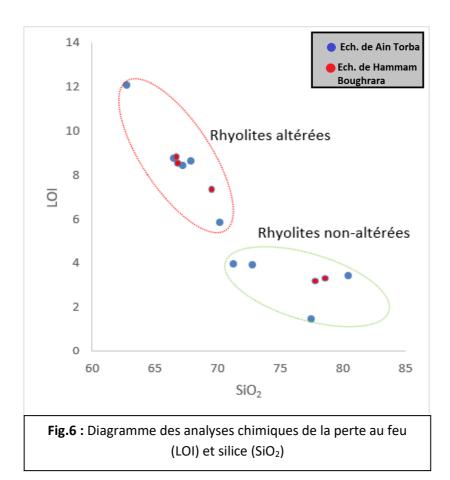
Fig.5 : Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de la région.

3.2. Degré d'altération des rhyolites :

3.2.1. Le diagramme de perte au feu (LOI) :

La perte au feu est généralement importante, elle est comprise entre 1,5% et 9% et peut atteindre les 12%. Une corrélation négative entre la perte au feu et les teneurs en SiO2 peuvent être observée, c'est à dire que la perte au feu diminue quand les teneurs en silice augmentent. Ceci peut être expliqué par la diminution des minéraux hydratés (tel que la biotite) en fonction de l'augmentation du quartz.

Dans le diagramme ci-dessous des pertes au feu en fonction des teneurs en SiO2, la projection des données des analyses chimiques des rhyolites de Hammam Boughrara et de Ain Torba depuis le tableau (voir annexe : tableau 2) a pour but de définir le degré d'altération.



La perte au feu (LOI) des rhyolites altérées sont comprises entre 5,5% et 12%, alors que celle des rhyolites non-altérées sont entre 1,5% et 4%.

3.3. Relation entre la bentonitisation et l'hydrothermalisme :

L'étude du fractionnement isotopique dû au cycle de l'eau permet de retrouver l'origine des eaux, et dans notre cas, l'origine des eaux responsables de la bentonitisation à Hammam Boughrara et à Ain Torba.

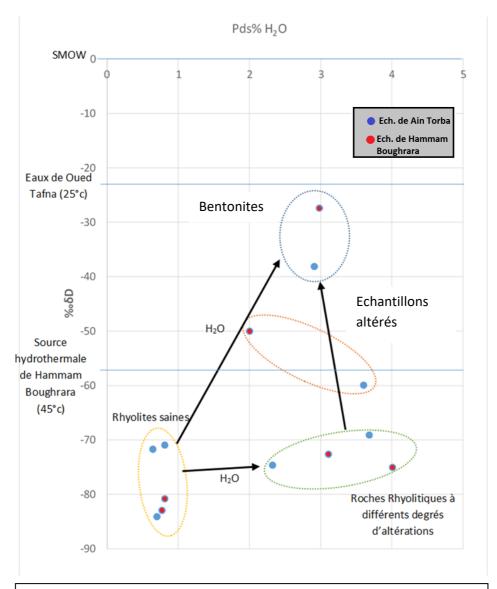


Fig.5: Variation isotopique d'Hydrogène et de l'H2O dans les faciès rhyolitiques de la région selon (Boukhedimi 2017).

Points projetés sur le diagramme à partir des données du tableau d'analyses isotopiques faites sur différents échantillons de la région (voir annexe : tableau 5)

Dans le diagramme au-dessus, les rhyolites saines montrent un rapport isotopique en δD (compris entre -85 à -70). Alors que les rhyolites bentonitisées présentent un rapport isotopique en δD (compris entre -40 à -30). Donc tous les faciès bentonitisés sont riches en eau.

Les eaux juvéniles ont une signature isotopique en Deutérium (réseau juvénile -80) lors de la formation et mise en place des dômes rhyolitiques. Et les rhyolites saines montrent alors cette signature typique.

Alors que les rhyolites bentonitisés montrent une signature isotopique de -28 qui est proche des signatures thermales des eaux d'Oued Tafna et Hammam Boughrara, preuve que la bentonitisation s'est faite avec des eaux non juvénile mais plutôt hydrothermales. Si cette altération s'est faite par des eaux météoriques elle serait générale et non pas localisée. C'est donc la reprise des eaux de l'oued Tafna par la source hydrothermale de Hammam Boughrara.

4. Conclusions de la géochimie des rhyolites :

Les différentes analyses faites à l'aide des divers diagrammes utilisés précédemment sur les échantillons rhyolitiques de Hammam Boughrara et Ain Torba ont aboutis aux constats suivants :

Les laves rhyolitiques qui ont formé les différents dômes rhyolitiques de la région sont de nature calco-alcaline.

On peut distinguer les rhyolites saines des rhyolites altérées à partir des analyses de perte au feu réalisées sur les différents échantillons car les teneurs en eau des échantillons altérées sont plus élevées que les rhyolites non altérées qui montrent des teneurs élevées en silice.

Les facies bentonitiques sont plus riches en MgO, CaO et Al₂O₃ et montrent une diminution importante en silice (SiO₂) due au lessivage hydrothermal.

Les rapports isotopiques sont très élevés dans les facies bentonitisée (confirmé par les isotopes d'hydrogène)

Ce qui prouve que la bentonitisation s'est faite avec les eaux de l'oued Tafna qui ont été reprises par la source hydrothermale de Hammam Boughrara.

Les résultats de l'étude comparative entre le gisement de Hammam Boughrara et celui de Ain Torba sont résumés dans le tableau qui suit :

Etudes	Gisement de Hammam	Gisement de Ain Torba	
	Boughrara		
Tailles et affleurements	Piton d'environ 2 Km de diamètre -> le 1/3 du piton est sous une couverture plioquaternaire	Piton d'environ 4 Km de diamètre -> les 2/3 du piton sont sous une couverture plioquaternaire Le gisement de Ain Torba est beaucoup plus important en taille et en émissions que celui de Hammam Boughrara.	
Mode de gisements	Dôme rhyolitique avec des dépôts pyroclastiques associésbentonitisation se développe dans l'immédiat de l'appareil volcanique	Dôme rhyolitique avec des dépôts pyroclastiques associés. -bentonitisation se développe dans l'immédiat de l'appareil volcanique -l'appareil volcanique de Ain Torba étant le plus grand a généré l'essentiel des gisements de bentonites.	
Pétrographie	-dôme composé de rhyolites massives et d'une bordure perlitique qui surmonte des ignimbrites. Les dépôts pyroclastiques se développent autour du dôme	-dôme composé de rhyolites massives et d'une bordure perlitique qui surmonte des ignimbrites. D'importants dépôts pyroclastiques se développent autour du dôme	
Géochimie	-Rhyolites calco alcaline Terrains bentonitisés enrichie en Al ₂ O ₃ - CaO - MgO - avec signature isotopique en deutérium proche des eaux hydrothermales de la source de Hammam Boughrara	-Rhyolites calco alcaline Terrains bentonitisés enrichie en Al ₂ O ₃ - CaO - MgO - avec signature isotopique en deutérium proche des eaux hydrothermales de la source de Hammam Boughrara	

CHAPITRE VI : RELATION ENTRE LA TECTONIQUE ET LA BENTONITISATION

1. Introduction:

L'Oranie se situe dans une frontière active de plaques au niveau de la convergence de l'Afrique et de l'Eurasie (figure 1). Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 5 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de la faille génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface. Les principales failles actives sont localisées au niveau du Tell.

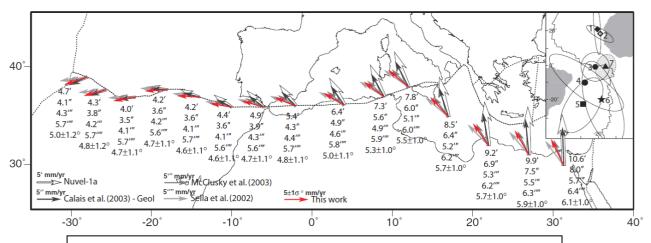


Fig. 1: Taux de rapprochement Afrique – Eurasie (Serpelloni et al 2007)

L'Oranie a connu plusieurs séismes destructeurs dont le plus célèbre est celui du 09 octobre 1790 d'intensité Io = X, (Io = échelle MSK) qui fut l'un des plus violents séismes du pourtour méditerranéen du 18ème siècle. Ce séisme a mis fin à l'occupation espagnole de la ville d'Oran (capitale de l'Oranie) assiégée depuis des décennies par les troupes arabes, en causant la destruction quasi-totale de la ville et de ses murailles et en faisant plus de 3.000 victimes, soit près du tiers de la population (Alfred Salinas., 2004). Ce séisme a été ressenti jusqu'à Malte et a généré un tsunami qui a touché tout le bassin algérien (notamment les côtes espagnoles à Almeria et Carthagène). En plus de ce séisme, deux autres séismes historiques ont marqué l'Oranie : il s'agit du séisme de Mascara de mars 1819 (Io = X) qui a causé des dégâts importants à la ville de Mascara en faisant plusieurs victimes et le séisme d'El Boudj (El Kalaà) du 29 novembre 1887 (I0=IX-X) qui a fait plus de 20 victimes en détruisant complètement plus de 80 maisons. Ces deux séismes ont été bien ressentis dans toute l'Oranie centrale et orientale.

L'époque instrumentale montre les séismes les plus importants de par leurs intensités I0≥VIII et/ou magnitude M≥5.5 sont : le séisme de Mascara du 18 aout 1994 (MS= 5.9) dans les Beni Chougrane qui a fait 172 morts et plus de 300 blessés ainsi qu'environ 1000 édifices détruits ou endommagés et le séisme de Ain Timouchent du 22 décembre 1999 (MS= 5.8) qui a fait plus de 28 morts et 150 blessés. Ce dernier a provoqué de sérieux dommages dans la ville d'Ain Temouchent et ses villages limitrophes.

Plus récemment, le 6 juin 2008 un autre séisme (Mw= 5.5) a fait trembler les villes côtières de l'Oranie centrale (notamment Oran et Arzew) en causant plusieurs fissuration et effondrements partiels ainsi que plusieurs chutes de blocs et glissements de terrains sur la côte oranaise. Ce séisme a fait 1 victime et 11 blessés.

Le secteur d'étude comprend de la déformation classique (failles et plis) et non classique (séismites). Notre région est affectée par une tectonique souple soulignée par un pli anticlinal et une tectonique cassante représentée essentiellement par les failles du type atlasique.

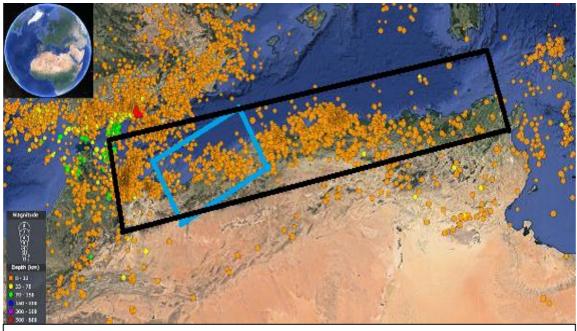


Fig. 2 : La sismicité associée (marge Algérienne en rectangle Blue – Oranie en rectangle noir)

2. Les déformations du secteur d'étude :

Le secteur d'étude comprend de la déformation classique (failles et plis) et non classique (séismites). Notre région est affectée par une tectonique souple soulignée par un pli anticlinal et une tectonique cassante représentée essentiellement par les failles du type atlasique.

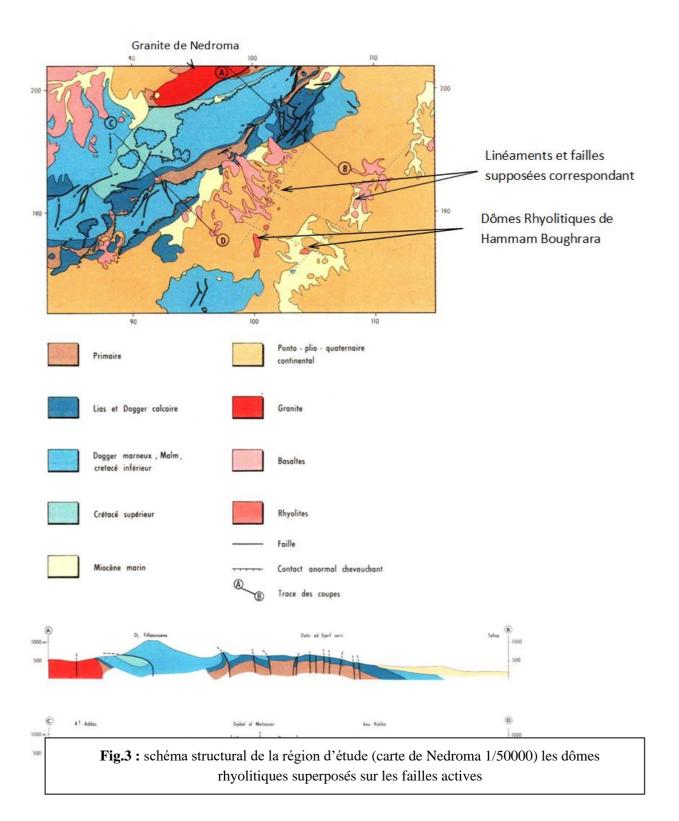
2.1. Déformation Classique :

Il y'a un rapprochement entre la plaque africaine et l'Eurasie (0,5 cm/an) qui génère le soulèvement de la croute (Yelles et al 2006), engendrant d'importantes failles de direction atlasique dans la région.

Les contraintes orientées NW-SE génèrent des failles NE-SW appelées failles atlasiques. Les appareils volcaniques de la région de Hammam Boughrara suivent la direction de ces failles (fig.1) où les gisements bentonitiques se développent, notamment Ain Torba et Hammam Boughrara.

La compression à l'origine du soulèvement des monts des Trara, a aussi provoqué la formation du bassin de la moyenne Tafna.

Les indices de compressions tectoniques récentes peuvent être observés dans les dépôts néo-quaternaire, ainsi, on peut remarquer sur le terrain, des plis anticlinaux Plio-Quaternaire montrant des failles en extrados (fig.2), témoignant ainsi de la présence de l'activité tectonique récente assez importante.



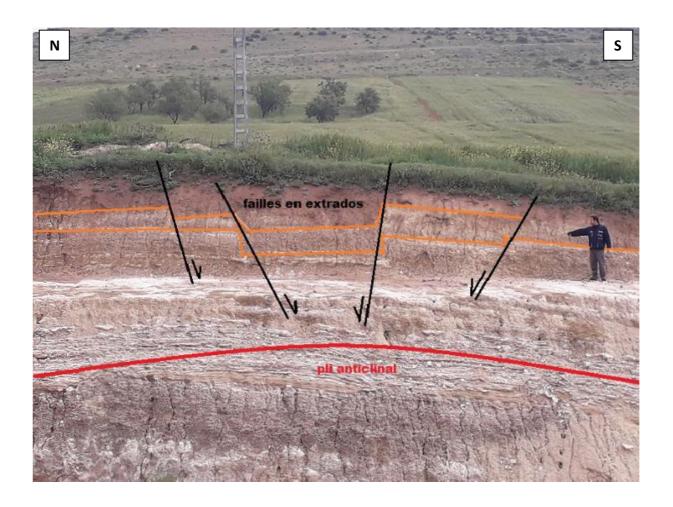


Fig.4: Failles en extrados (N 60, 70 SE)

Cette activité néotectonique a été accompagnée par un volcanisme Mio-Plio-quaternaire intense au sein de cette région.

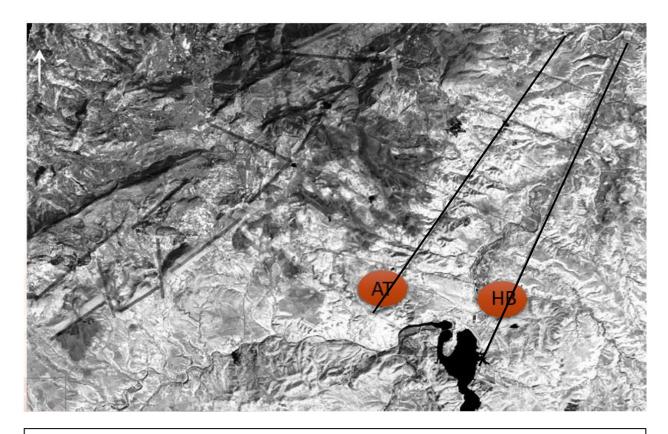


PLANCHE 1 : Ortho-image de la région d'étude effectuée à partir de l'image Landsat7 (Boukhedimi 2010)

Sur cette image on a rajouté les accidents atlasiques du Fellaoucene (en gras) et les principaux linéaments et failles supposées. (HB: hammam Boughrara, AT: Ain Torba)

Les cercles en rouge représentent les dômes rhyolitiques de la région.

Les deux gisements (Hammam Boughrara à l'est et Ain Torba à l'ouest) se localisent au niveau des failles atlasiques.

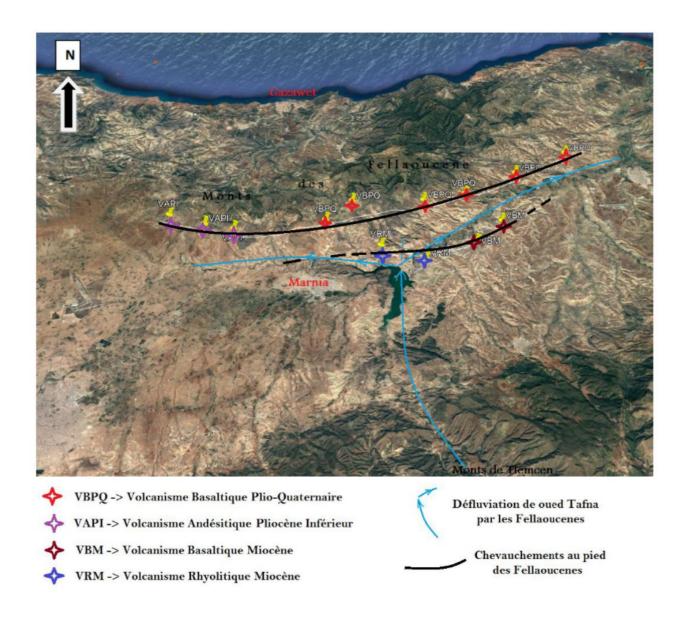


Fig.5 : Répartition spatiale du volcanisme de la moyenne Tafna.

Alignement volcanique et la défluviation de l'oued Tafna par les monts de Fellaoucene

2.2. Déformation non-classique :

Ces déformations concernent essentiellement les SSD (Soft Sediments Deformations).

Elles ne montrent pas de sens de raccourcissement défini donc pas de σ1, elles correspondent à des liquéfactions déclenchées par des vibrations dans les sédiments meubles (Seilacher, 1969 ; Plaziat et Ahmamou., 1998 ; Boukhedimi.,2017).

Il s'agit de déformations dues au comportement thixotropique (non-classique) des sédiments non consolidés et saturés en eau.

Le mécanisme déclencheur de ces déformations thixotropiques est le phénomène vibratoire de diverses origines dont les choc sismique, effondrements gravitaires (glissements de terrains, chutes de blocs), explosions volcaniques, impacts météoriques, explosions anthropiques.

Ces déformations se produisent généralement en surface ou à faible profondeur, et sont donc des déformations synsédimentaires.

Les SSD ont la particularité de ne pas obéir au schéma classique de la déformation (stade élastique, stade plastique, point de rupture) c'est-à-dire on ne peut pas placer un σ1 sur ces déformations (Boukhedimi et al.,2016).

Sur le terrain, les séismites apparaissent comme des structures sédimentaires influencées par des déformations souples, souvent superposées à des structures sédimentaires non perturbées.

Elles peuvent parfois être constituées des structures combinant des déformations souples et cassantes avec des ruptures des roches dures et/ou des injections de sédiments meubles. Exemple des Dykes de sable qui comprennent des dykes intrusifs qui sont formés par l'intrusion de matières à partir d'une source sous-jacente et les dykes neptuniens formés par introduction d'un matériau, soit sous pression ou par simple remplissage des fissures préexistantes.

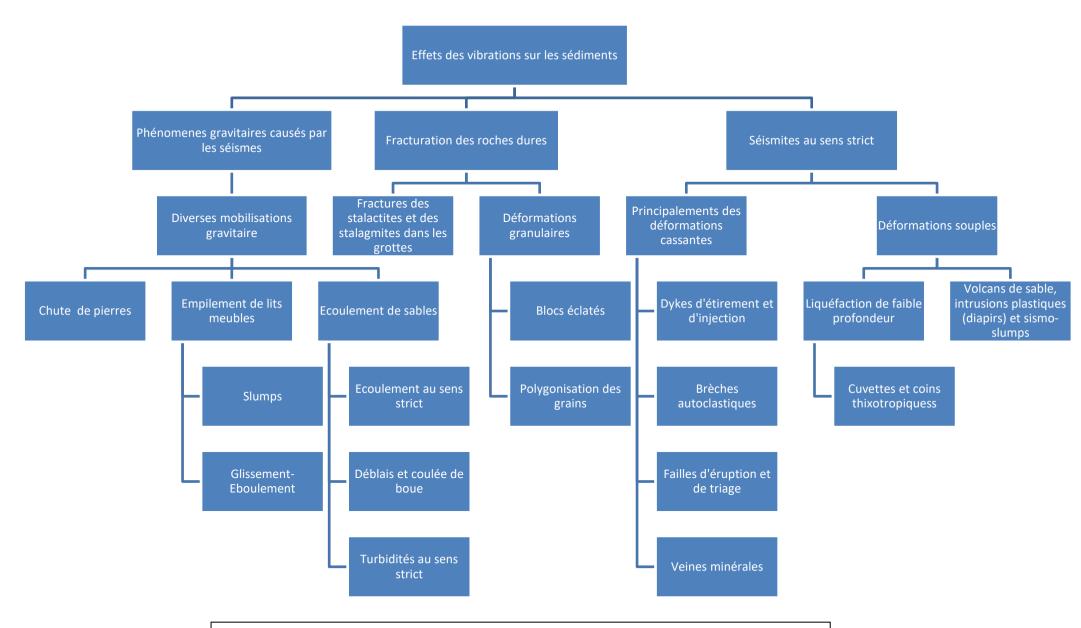


Fig.6: schéma résumant la classification des déformations non-classiques (Montenat et al 2007)

Les déformations thixotropiques proches des dômes rhyolitiques de Ain Torba et de Hammam Boughrara sont d'origine volcanique.

Les volcanites sont très proches des appareils volcaniques, alors que les séismites sont aperçue plus au loin.

La présence de séismites est une preuve de la présence de failles actives dans cette région notamment sous formes de fracturations hydrauliques et dykes d'injections de sables dans les terrasses alluviales Quaternaires et du Pléistocène supérieur, et témoigne aussi de l'activité récente des retro-chevauchements du secteur de la moyenne Tafna et Trara.

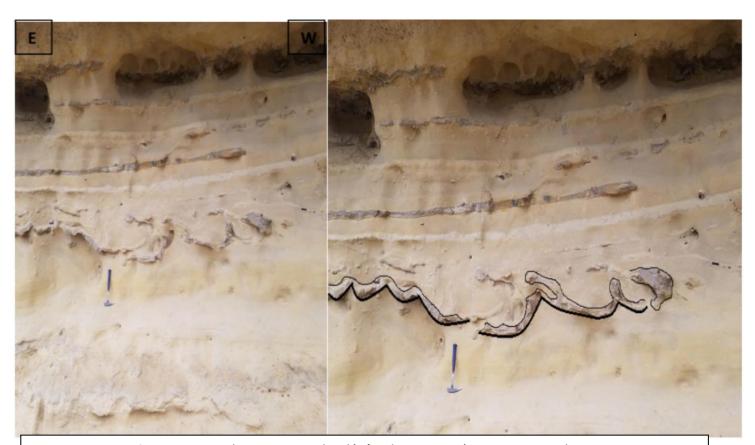


Fig.7 : Cuvettes thixotropiques des dépôts de terrasses à Hammam Boughrara

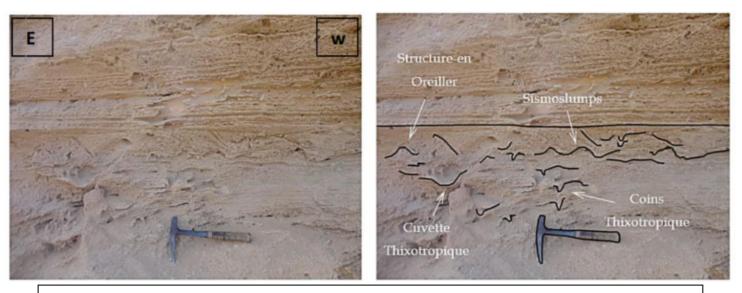


Fig.8: Les différentes déformations induites par un séisme a Hammam Boughrara



Fig.9 : Evidence de fracture hydraulique avec injection de matériel liquéfié (Dyke d'injection) au niveau du barrage de Hammam Boughrara

3. Conclusion de l'étude tectonique :

L'étude tectonique a permis de mettre en évidence des linéaments pouvant correspondre à des accidents expliquant la répartition géographique de ce volcanisme et de l'activité sismique. Les gisements bentonitiques de Hammam Boughrara et de Ain Torba se développent au niveau des failles atlasiques actives (NE-SW), déduites par la présence de déformations non classiques (essentiellement séismites et volcanites) par hydrothermalisme.

Les déformations thixotropiques observées à Hammam Boughrara sont aussi une preuve de la présence de failles actives dans la région.

Les carrières d'argile bentonitique se localisent au voisinage des failles atlasiques.

Ce tableau ci-dessous montre que les deux gisements sont identiques sur le plan tectonique.

Etude	Gisement de Hammam Boughrara	Gisement de Ain Torba
Tectonique	-Gisement se trouve au niveau de failles atlasiques -la région contient des séismites preuve d'activité de failles	-Gisement se trouve au niveau de failles atlasiques -La région contient des séismites preuve d'activité de failles

CHAPITRE VII: CONCLUSION GENERALE

Pour conclure, l'ensemble des études faites au cours de ce mémoire dans la région de la moyenne Tafna aboutissent aux inférences suivantes :

Pétrographiquement et géochimiquement les facies retrouvés à Ain Torba ainsi qu'à Hammam Boughrara, en relation avec la bentonite sont des rhyolites calcoalcalines.

L'appareil volcanique de Ain Torba considéré comme le plus grand (piton d'environ 4 Km de diamètre) a généré l'essentiel des gisements de bentonites. Le dynamisme volcanique du secteur d'étude a conduit aux différents facies pétrographiques dont la rhyolite, perlite, ignimbrite et pyroclastite.

Ainsi, la pétrographie des faciès a montré que la bentonitisation se développe dans les milieux rhyolitiques, essentiellement dans les pyroclastites et les rhyolites perlitiques en raison de leur porosité. La rhyolite dure est difficile à bentonitiser. Cette bentonitisation se développe dans les faciès rhyolitiques à partir des argiles (matrice, minéraux argileux), des points de porosité, des plans de fluidalités et de perles.

Géochimiquement, les bentonites de Hammam Boughrara aussi bien que celles de Ain Torba montrent une signature isotopique en deutérium proche des eaux hydrothermales de la source de Hammam Boughrara, cela peut être expliqué par un échange d'isotopes avec les eaux superficielles (ayant un δD supérieur aux eaux juvéniles) reprises par l'appareil volcanique dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation de la région, preuve que la bentonitisation des milieux rhyolitiques a été causé par cette source.

L'étude tectonique a montré que les gisements de bentonites se localisent au niveau de failles atlasiques marquées entre autres par des alignements volcaniques. La bentonitisation se développe donc mieux dans les zones de failles.

L'Etude macro-tectonique montre que les sites de bentonitisation à Ain Torba ainsi qu'à Hammam Boughrara, présentent de la déformation thixotropique en séismites preuve de l'activité sismique de failles atlasiques en relation avec la bentonitisation.

Tout cela signifie que l'activité sismique combinée au milieu rhyolitique favorable au développement de la bentonite et à la présence de la source hydrothermale de Hammam Boughrara, ont conduit à la présence de gisements localisés au niveau des failles (Boukhedimi 2017), en s'éloignant de ces failles actives, la bentonitisation s'atténue.

Le contexte de bentonitisation à Hammam Boughrara et à Ain Torba est un contexte de tectonique active où les deux gisements présentent des caractères pétrogéochimiques analogues.

ANNEXE:

Tableaux des analyses chimiques :

Ech	LOI	Si02 (%)	AI203 (%)	Fe203 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na20 (%)	K20 (%)
Rh-S	3,1801	77,8708	9,9372	0,735	0,0294	0,1176	0,4214	2,9694	3,3418
BHBC1	8,7661	66,5224	15,2782	0,8036	0,049	1,3034	0,9016	2,2442	4,116
HBC1	8,8151	66,7674	15,4252	0,931	0,049	1,3426	0,9114	2,156	4,1258
RHB2	3,4368	80,4672	9,4272	0,912	0,0192	0,0576	0,384	2,8704	2,8992
HBC2	8,63785	67,9388	14,1038	1,0573	0,0776	1,358	0,9603	3,1719	2,7063
RSHBC1	1,4798	77,5082	11,8384	0,98	0,0784	0,147	0,5194	3,2144	3,9298
AB2C	7,3008	69,6	13,776	1,0752	0,0768	1,1424	0,5664	3,6	2,976
BHB2C	12,054	62,7984	15,5526	0,8428	0,0294	2,6166	1,421	2,3226	3,3026
RHB1	3,9151	72,8336	13,2202	0,9702	0,0882	0,1666	0,5292	3,92	4,0768
IGHB1	3,9396	71,295	13,622	0,8722	0,0686	0,539	0,5586	4,1748	3,4888
Bento HB1	8,4378	67,2574	15,3566	1,0584	0,049	1,2936	0,8624	2,401	4,0964
PB-HB1C	8,4917	66,9144	15,3076	1,1466	0,049	1,2642	0,882	2,3226	4,2826
RCp,a,I	3,3173	78,6744	9,261	0,9702	0,0098	0,3626	0,3626	3,2046	3,087
BHB2C	5,8408	70,2268	13,6122	1,323	0,0784	1,1858	0,6762	3,969	3,2928
RHB1	3,0086	78,9586	10,4958	0,8918	0,049	0,1666	0,4508	3,0772	3,3712
REHBC1	1,536	74,9664	12,7776	1,3536	0,0576	0,5376	0,5664	4,08	4,1376
IgR	3,038	78,6744	9,9078	0,9506	0,0294	0,2548	0,441	3,2536	3,2928

Tableau 1 : Analyses chimiques des éléments majeurs faites sur différents échantillons des dômes rhyolitiques

Ech	LOI	Si02 (%)
AT0	3,1801	77,8708
BHBC1	8,7661	66,5224
HBC1	8,8151	66,7674
RHB2	3,4368	80,4672
HBC2	8,63785	67,9388
RSHBC1	1,4798	77,5082
AT1	7,3008	69,6
внв2С	12,054	62,7984
RHB1	3,9151	72,8336
IGHB1	3,9396	71,295
Bento HB1	8,4378	67,2574
PB-HB1C	8,4917	66,9144
AT2	3,3173	78,6744
внв2С	5,8408	70,2268
RHB1	3,0086	78,9586
REHBC1	1,536	74,9664
IgR	3,038	78,6744

Tableau 2 : Analyses chimiques de la perte au feu (LOI) et silice (SiO_2)

Echantillons	SiO2(%)	AI2O3 (%)
AT1	78,6744	9,261
RHB2	80,4672	9,4272
IgR	78,6744	9,9078
AT0	77,8708	9,9372
RHB1	78,9586	10,4958
RSHBC1	77,5082	11,8384
REHBC1	74,9664	12,7776
RHB1	72,8336	13,2202
ВНВ2С	70,2268	13,6122
IGHB1	71,295	13,622
AT2	69,6	13,776
HBC2	67,9388	14,1038
ВНВС1	66,5224	15,2782
HBC1	66,7674	15,4252
Bento HB1	67,2574	15,3566
PB-HB1C	66,9144	15,3076
ВНВ2С	62,7984	15,5526

Tableau 3 : Analyses chimiques SiO2/Al2O3 faites sur différents échantillons de la région

Echantillons	MgO (%)	CaO (%)
RHB2	0,0576	0,384
AT0	0,1176	0,4214
RHB1	0,1666	0,4508
RSHBC1	0,147	0,5194
RHB1	0,1666	0,5292
lgB	0,2548	0,441
AT1	0,3626	0,3626
REHBC1	0,5376	0,5654
IGHB1	0,539	0,5586
внв2С	1,1858	0,6762
AT2	1,1424	0,5664
HBC2	1,358	0,9603
ВНВС1	1,3034	0,9016
HBC1	1,3426	0,9114
Bento HB1	1,2936	0,8624
РВ-НВ1С	1,2642	0,882

Tableau 4 : Analyses chimiques MgO/CaO faites sur différents échantillons de la région

Echantillons	°/oo dD	Pds% H2O
AT0	-80,8	0,81
RHB1	-82,9	0,77
RSHBC1	-84,1	0,7
RHB2	-71,7	0,64
IgR	-70,9	0,81
RHB1al	-75,0	4,01
BHB2Cs	-72,6	3,11
IGHB1	-74,6	2,32
AT2	-69,1	3,68
HBC2	-59,9	3,6
Bento HB1	-50,0	2
BHB2Cb	-46,8	4,29
BHBC1	-38,1	2,91
HBC1	-27,4	2,98

Tableau 5 : Analyses isotopiques faites sur différents échantillons de la région

BIBLIOGRAPHIE:

- Perrodon A. 1957 : Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale
- 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.
- Seilacher A (1969) Fault-graded beds interpreted as seismites. Sedimentology 13:15-159
- Durand-Delga M. (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.
- Irvine, T.N., Baragar, W. R. A., 1971. A guide to the chimical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of Earth sciences, 8, 523-548. (France). 289p.
- 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.
- 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.
- Sims JD (1975) Determining earthquakes recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. Tectonophysics 29:141–152
- Fenet, B., (1975). Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogenèse Nord-Maghrebines : Les monts djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. Thèse, Sci., Univ., Nice. P 301.
- Guardia P (1975) Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Thèse de doctorat en géologie. Université de Nice
- Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. 133, 191–213.
- Tapponnier (1977) Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée, poinçonnement et écrasement rigide plastique. Bull. Soc. Géol. France, 19, 3, p. 437-460.
- Durand Delga M (1980) Méditerranée occidentale, étape de sa genèse et problèmes structuraux liés à celle-ci. Mém. Soc. Géol. France, 10
- Durand-Delga, M. et Fontboté, J.M. (1980) : Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. 26th International Geological Congress. Colloque C5 : Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. Mémoires Bureau Recherche Géologique et Miniere, 11 : 65-85.
- Bellon, H. (1981), Chronologie radiométrique (K-Ar) des manifestations magmatiques autour de la Méditerranée occidentale entre 33 et 1 Ma, in Sedimentary Basins of Mediterranean Margins, edited by F.C. Wezel, Tecnoprint, Bologna.

- 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.
- WCC 1984 (Woodward Clyde Consultants) Seismic micro-zonation of Ech-Cheliff region, Algeria. Report prepared for CTC, 1 Algiers, Algeria, 145p.
- Benhallou, H., 1985, Les catastrophes sismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité de l'Algérie. USTHB. Alger. Thèse d'Etat : 294 p.
- Megartsi M (1985) Le volcanisme mio-plio-quaternaire de l'Oranie nord occidentale (géologie, pétrologie, géodynamique). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.295p.
- Texier JP, Raynal JP, Lefevre D (1985) Nouvelles propositions pour un carde chronologique raisonné du Quaternaire marocain. C.R. Acad. Se., Paris, 301, 2, p. 183-188
- Thomas G (1985) Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le Bassin du Bas Chélif occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire. Thèse Es-Sciences, Pau, 594 p.
- El Robrini, M. (1986), Evolution morpho-structurale de la marge algérienne occidentale (Méditerranée occidentale) : Influence de la néotectonique et de la sédimentation. Thèse de doctorat, 164 pp., Université Paris IV.
- 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.
- Bendoukha, R., 1987. Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quaternaire de la basse Tafna (Oranie occidentale), Thèse Magister, USTHB (Alger).
- Ramdani M, Tadili B, El Mrabet T (1989) The present state of knowledge on historical seismicity of Morocco. Proceedings of the symposium on Calibration of historical earthquakes in Europe and recent developments in intensity interpretation, European Seismological Commission, Sofia 23-28 August 1988, Cursos y Seminarios 3, Instituto Geografico Nacional, Madrid, 258-279
- Plaziat JC, Poisson AM (1992) Mise en évidence de plusieurs séismes majeurs dans le Stampien supérieur continental au Sud de Paris : enregistrement sédimentaire de la tectonique oligocène. Bull Soc Geol Fr 8:541–551
- 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.
- Obermeier SF (1996) Use of paleoliquefaction-induced features for paleoseismic analysis. An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and strength of Holocene paleo-earthquakes. Eng Geol 44:1–6.doi:10.1016/S0013-7952(96)00040-3

- Boudiaf A (1996) Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie) : utilisation des modèles numériques de terrains (MNT) et de la télédétection pour la reconnaissance des structures tectoniques actives : contribution à l'évaluation de l'aléa sismique. Thèse de doctorat en Géologie et paléontologie. Univ Montpellier 2.
- Boudiaf A, Ritz JF and Philip H (1998) Drainage diversions as evidence of propagating active faults: example of the El Asnam and Thenia faults, Algeria, Terra Nova, 10, 236-244.
- Plaziat JC, Ahmamou M (1998) Les différents mécanismes à l'origine de la diversité des séismites, leur identification dans le Pliocène du Saïss de Fès et de Meknès (Maroc) et leur signification tectonique. Geodinamica Acta (Paris) 11:183–203
- El Azzouzi, M., Bernard-Griffiths, J., Bellon, H., Maury, R.C., Pique, A., Fourcade, S., Cotten, J., Hernandez, J., 1999. Evolution of the sources of Moroccan volcanism during the Neogene. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Series IIA Earth and Planetary Science 329, 95–102.
- Moretti M (1999) Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in middlelate Pleistocene aeolian deposits (Apulian foreland, southern Italy). Sedimentary Geology 135 - 167–179
- Boughacha M-S (2001) French translation of a spanish document written by Lopez Marinas, J. M., and Salord, R. (1990), La période séismique Oranaise de 1790 à la lumière des archives espagnoles (University of Sciences and Technology, Houari Boumediene, Algiers, Algeria, 2001).
- Bouhadad Y, Laouami N (2002) Earthquake hazard assessment in the Oran region (northwest Algeria). J. Natural Hazard, 26, 3, 227-243.
- 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.
- 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.
- Stich, D., Ammon, C.J., and Morales, J. (2003), Moment tensor solutions for small and moderate earthquakes in the Ibero-Maghreb region., J. Geophys. Res., 108, 2148, doi:10.1029/2002JB002057.
- Yelles-Chaouche AK, Djellit H, Beldjoudi H, Bezzeghoud M, Buforn E (2004) The Ain Temouchent (Algeria) Earthquake of December 22nd, 1999, Pure appl. geophys., 161, 607–621.
- Moussa K (2006) Etude d'une Sebkha : la Sebkha d'Oran (Ouest algérien). Thèse de doctorat (sédimentologie). FSTGAT/Université d'Oran.205p.
- Stich, D., Serpelloni, E., Mancilla, F. de L., and Morales, J. (2006), Kinematics of the Iberia-Maghreb plate contact from seismic moment tensors and GPS observations, Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2006.08.004.
- Yelles-Chaouche AK, Boudiaf A, Djellit H, Bracene R (2006) La tectonique active de la région nord-algérienne. C. R. Geoscience 338 (2006) 126–139

- Machane D, Bouhadad Y, Cheiklounis G, Chatelain JL, Oubaiche EH, Abbes K, Guillier B, Bensalem R (2008) Examples of geological and geomorphological hazards in Algeria. Journal Natural Hazards 45:295–308
- Belabbes S (2008) Caractérisation de la déformation active par l'Interférométrie Radar (InSAR) : Failles sismiques aveugles et cachées de l'Atlas Tellien (Algérie) et du Rif (Maroc) le long de la limite des plaques Afrique-Eurasie. Thèse de doctorat-Géophy-Université Louis Pasteur-Strasbourg I 226p.
- 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.
- Medini, S., 2010. Les minéralisations hydrothermales liées à l'activité volcanique calcoalcaline du complexe des M'Sirda (Oranie nord occidentale), Mémoire Magister. Univ, Oran.
- Maouche S, Meghraoui M, Morhange C, Belabbes S, Bouhadad Y, Haddoum H (2011) Active coastal thrusting and folding, and uplift rate of the Sahel Anticline and Zemmouri earthquake area (Tell Atlas, Algeria). Tectonophysics 509 :69–80. doi: 10.1016/j.tecto.2011.06.003, 10.1016/j.tecto.2011.06.003 #_blank
- Suzuki, W.; Aoi, S.; Sekiguchi, H.; Kunugi, T. (2012). Source rupture process of the 2011 Tohoku-Oki earthquake derived from strong-motion records. Proceedings of the fifteenth world conference on earthquake engineering. Lisbon, Portugal.
- El Azzouzi, M., Bellon, H., Coutelle, A., Réhault, J.-P., 2014. Miocene magmatism and tectonics within the Peri-Alboran orogen (western Mediterranean). Journal of Geodynamics, SI: Geodynamic evolution of the Alboran domain 77, 171–185. doi: 10.1016/j.jog.2014.02.006
- Boukhedimi MA, Louni-Hacini A, Bouhadad Y, Ritz JF, Machane D, Benhamouche A, Bourenane H (2016) « Evidence of seismites in coastal Quaternary deposits of western Oranie (northwestern Algeria) » J Seismol DOI 10.1007/s10950-016-9616-2
- Boukhedimi, M A., 2017. La néotectonique du nord-ouest algérien et ses conséquences sur la répartition spatiale de la sismicité et du volcanisme et l'hydrothermalisme récents de l'Oranie. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre.