



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



UMMTO

Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques, Agronomiques et Géologiques
Département des Sciences Géologiques

UMMTO

MEMOIRE

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

**COMPARAISON ENTRE LES CONTEXTES DE BENTONITISATION A
HAMMAM BOUGHRARA (ORANIE OCCIDENTALE) ET A
MOSTAGANEM (ORANIE ORIENTALE)**

Propose :

- M. BOUKHEDIMI M^{ed}. A

Etudie Par :

M. CHABANI EL FAROUK
M. KHELIF MAHDI

Soutenu le:

Devant le jury composé de :

M. HAMIS.A Maitre-assistant à l'UMMTO..... Président

M. BOUKHEDIMI M^{ed}. A Maitre de conférences B à l'UMMTO..... Encadreur

M^{me} IZRI.D Maitre-assistant A à l'UMMTO.....Examineur

Année universitaire 2019/2020

Table des matières

Remerciements

Table des abréviations

Listes des figures et tableaux

Résumé

Historique des travaux

Chapitre 1 : Introduction et Cadre Géographique

I) INTRODUCTION	12
I-1-a) Définition de la Bentonite	
I-1-b) Origine	
I-1-c) Caractéristiques	
I-1-d) Principales Utilisations	
I.2) But de travail	14
I.3) Méthodologie.....	15
II) SITUATION GEOGRAPHIQUE	16
Climat	
Topographie	
Hydrographie	

Chapitre 2 : Cadre géologique

Introduction.....	20
Cadre géologique et structural.....	22
Stratigraphie.....	24
Volcanisme.....	27
Tectonique.....	27

Chapitre 3 : Etude Volcanologique

Introduction.....	29
Histoire volcanologique.....	31
Conclusion.....	41

Chapitre 4 : Etude Pétrographique

Introduction.....	43
Définition	43
a) Rhyolite	
b) Bentonite	
c) Bentonitisation	

<i>Description macroscopique</i>	<i>44</i>
--	-----------

- a. Rhyolite*
- b. Les perlites*
- c. Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques*
- d. Tufs consolidés massifs (ignimbrites)*

<i>Description microscopique</i>	<i>51</i>
--	-----------

<i>I. Les Rhyolites</i>	<i>51</i>
-------------------------------	-----------

- a) Les textures*
- B) La mésostase*
- c) Les phénocristaux*
- d) Séquence de cristallisation*
- e) Les altérations*

<i>II. Les pyroclastites.....</i>	<i>57</i>
-----------------------------------	-----------

- d) La phase de liaison*
- e) La phase clastique*

<i>III. Cas des tufs consolidés massifs (ignimbrites).....</i>	<i>61</i>
--	-----------

<i>CONCLUSION</i>	<i>62</i>
-------------------------	-----------

Chapitre 5 : Etude Géochimique

<i>Introduction.....</i>	<i>64</i>
--------------------------	-----------

<i>Minéralogie.....</i>	<i>64</i>
-------------------------	-----------

<i>Nomenclature et classification des laves</i>	<i>65</i>
---	-----------

<i>Mise en évidence des changements géochimiques dans les faciès bentonitisés.....</i>	<i>67</i>
--	-----------

- Les éléments majeurs*
- Les éléments en traces*
- Analyse granulométrique*
- Résultats des isotopes*

<i>Conclusion.....</i>	<i>75</i>
------------------------	-----------

Chapitre 6 : Etude morphotectonique.....

<i>Introduction.....</i>	<i>77</i>
--------------------------	-----------

<i>La Thixotropie</i>	<i>81</i>
-----------------------------	-----------

- = » Région de Hammam Boughrara*
- = » Région de Mostaganem*

<i>Conclusion.....</i>	<i>96</i>
------------------------	-----------

Chapitre 7 : Conclusion Générale.....

<i>Bibliographie.....</i>	<i>100</i>
---------------------------	------------

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir aidé et de nous donner le courage et la volonté pour mener ce modeste travail à terme.

Nos premiers et profonds remerciements s'adressent à notre professeur et promoteur Monsieur M^{ed}.A.BOUKHEDIMI qui nous a proposé le thème, a accepté de nous diriger tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui nous a aidés avec son savoir, ses conseils, son expérience, dans le travail. Et un grand merci pour ses corrections et ses propositions d'amélioration du travail.

Nos profonds remerciements à monsieur HAMIS.A d'avoir accepté la présidence de notre jury,

Nous remercions également madame IZRI.D membre du jury et examinatrice de notre travail.

On remercie également toute l'équipe pédagogique du Département des Sciences Géologiques de TAMDA. Particulièrement à l'ingénieur de labo Madame ABDERRAHMANI Farida et OUARDI Mounia, pour leurs aide à la réalisation de ce mémoire, qui ont mis à notre disposition le laboratoire et le matériel nécessaire.

Nous remercions tous nos ami(e)s qui nous ont soutenu et encouragé tout le long de notre travail, les camarades de la promotion et les ami(e)s de la cité universitaire.

Nous tenons enfin à remercier tous les gens qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à notre formation, et à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Table des Abréviations

N	Nord	Qz	Quartz
S	Sud	Ox	Oxyde de Fer
E	Est	H₂O	L'eau
W	Ouest	Ca/Na	Calcium/Sodium
NE	Nord Est	CaCl₂	Chlorure de Calcium
SW	Sud-Ouest	NaCl	Chlorure de Sodium
NW	Nord-Ouest	LPA	Lumière Polarisée Analysée
SE	Sud Est	SMOW	Standard Mean Océan Water
ENE	Est Nord Est	LPN	Lumière Polarisée naturelle
WSW	Ouest Sud-Ouest	HB	Hammam Boughrara
SSE	Sud Sud Est	Most	Mostaganem
NNW	Nord Nord Ouest	δD	Le rapport isotopique
Km	Kilomètre	Ech	Echantillons
m	Mètre	%	Pourcentage
mm	Millimètre	Ni	Nickel
Th	Température d'Homogénéisation	Sn	Etain
Te	Température eutectique	Pb	Plomb
°C	Degré Celsius	Rh	Rhyolite
Eq	Équivalent	Fig.	Figure
GX	Grossissement	PPM	Partie Par Million
E	Echelle	Bt	Biotite
MgO	Oxyde de magnésium	Kv	Kilos-volte
³H	le tritium	s	Seconde
²H (D)	Deutérium	Std	standard
UMMTO	Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou	USTHB	Université des sciences technologique Houari Boumediene

Chapitre 1

FIG 1 – Localisation géographique des gisements de bentonite de Hammam Boughrara et Mostaganem(**P.18**).

Chapitre 2

Fig 1:Contexte géologique de l’Oranie nord occidentale (in Megartsi. 1985)(**P.21**).

Fig 2 : Colonne lithostratigraphique synthétique des dépôts Mio-Plio-Quaternaires de l’Oranie(**P.22**).

Fig. 3 : Carte géologique de la bordure occidentale du Dahra. Echelle : 1/200.000 (A.Perrodon, 1957) (**P.24**).

Fig 4: Colonne stratigraphique synthétique «Mostaganem » (**P.25**)

Fig 5 : Succession lithologique de Hammam Boughrara(**P.26**)

Fig.6 : Couche d’argile bentonitique 14.F de couleur gris sombre. (Mostaganem) (**P.27**)

Chapitre 3

Figure 1 : Répartition et âge du volcanisme Néogène d’Oranie Nord-Occidentale (in Coulon et al, 2002)(**P.31**)

Figure 2:Contexte géologique de l’Oranie Nord-Occidentale (in Megartsi, 1985)(**P.31**).

Figure 3 : Modélisation de la croissance d'un dôme au cours du refroidissement. (A. Gourgaud et K. Kelfoun 1994)(**P.32**).

Figure 4 : scénario de mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara(**P.34**).

Figure 5 : Schématisation simulant une éruption pyroclastique conduisant à l'apparition d'un cratère d'explosion volcanique à l'intérieur du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara(**P.35**).

Figure 6 : Cartographie des formations volcaniques de la Moyenne Tafna(**P.36**).

Figure 7 : Position stratigraphique des produits éruptifs du flanc Sud du Djebel Fillaoucène. (D’après bendoukha, 2008)(**P.37**).

Figure8 :modèle numérique de terrain représentant le dôme rhyolitique de hammam Boughrara (réalisée par Surfer 7.0)(**P.38**).

Figure 9 : Vue panoramique (Nord-Sud) du piton rhyolitique de Hammam Boughrara avec l'approche schématique(**P.39**).

Figure 10 : Les Tufs consolidée à structure pseudo-fluidale situé à la base du dôme rhyolitique(**P.40**)

Figure 11 : Vue panoramique montrant le cratère de Hammam Boughrara et les dépôts pyroclastiques associés(**P.40**).

Figure 12 : Le dôme de coulée rhyolitique de Hammam Boughrara(**P.41**)

Figure 13 : Localisation des gisements d’argiles bentonitiques de Hammam Boughrara(**P.42**).

Chapitre 4

Photo 1.a : Couche d’argile bentonitique de couleur gris sombre « Mostaganem »(**P.46**).

Photo 1.b : Couche d’argile bentonitique de couleur gris sombre « Mostaganem »(**P.46**).

Photo 2 : Rhyolite de HB montrant un aspect prismatique et fluidale(**P.47**).

Photo 3 : Rhyolite perlitique du piton de HB de couleur gris blanchâtre « aspect fluidale »(P.48).

Photo 4 :La pyroclastite au niveau du piton rhyolitique de HB(P.49).

Photo 5 : aspect hétérométrique des constituants de la pyroclastite de HB(P.49).

Photo 6 :La pyroclastite massive associé au cratère de HB(P.50).

Photo 7 : Tufs consolidés massifs à structure pseudo-fluidale(P.51).

Lame 1 : vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara a texture hyaline a grande perlites bentonisé(P.53).

Lame2 : Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaloporphyrique perlitique à tendance fluidale(P.54).

Lame 3 : Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughraraà texture hyaloporphyrique perlitique à tendance fluidale(P.55).

Lame 4 Vue microscopique de la rhyolite de Mostaganem à texture hyaline porphyrique perlitique(P.55)

Lame 5 : Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaloporphyrique perlitique bentonitisé à tendance fluidale(P.57).

Lame 6 : Vue microscopique de la pyroclastite de Hammam Boughrara(P.59).

Lame 7 : Vue microscopique de la pyroclastite de Mostaganem(P.60).

Lame 8Vue microscopique de la pyroclastite de Mostaganem(P.60)

Lame 9 : Cas ou la sanidine et la Biotite sont englobées par le Quartz(Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara)(P.61).

Lame 10 : Cas de fluidalité apparente (Vue microscopique de la rhyolite de HammamBoughrara)(P.61).

Lame 11 :Vue microscopique de tufs consolidés massif (ignimbrites) de Hammam Boughrara(P.62).

Chapitre 5

Tableau 1 :Composition chimique des échantillons d'argiles bentonitique de la région de Hammam Boughrara(P.66)

Tableau 2: Composition chimique des échantillons d'argiles bentonitique de la région de M'zila (P.66)

Figure 1 : Classification de COX et al. Positionnée sur un diagramme de HARKER alcalins-silice(P.67)

Figure 2: Diagramme $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara et Mostaganem(P.69)

Figure 3 : Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara et Mostaganem(P.70)

Figure 4 : Variation des éléments en traces dans les faciès rhyolitiques de Hammam Boughrara(P.71).

Tableau 3 :analyse chimiques des éléments en trace Ni, Sn, Pb et Th(P.71).

Tableau 4 : Le pourcentage d'argile – silt – sable des échantillons d'argiles bentonitique de M'zila(P.73)

Figure 5 : Diagramme triangulaire permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Mostaganem(P.73)

Figure 6 : Variation en isotopes d'Hydrogène et en eau dans les faciès rhyolitiques de Hammam Boughrara(P.75)

Chapitre 6

Fig. 1 : Carte schématique structurale de l'ouest de l'Algérie, (d'après Wildi 1983, modifiée par A. Boutaleb 2003, sans échelle)(P.79)

Fig. 2 : Esquisse structurale de l'Oranie au cours du premier cycle post- nappes (Période de transtension) (Thomas, 1982)(P.81).

Fig. 3 : Esquisse structurale du Tell méridional oranais, après l'épisode compressif du deuxième cycle miocène post- nappes (Thomas, 1982)(P.81).

Fig 4 : Domaines structuraux de l'Algérie du Nord (Durand Delga et Fontboté, 1980) et sismicité associée(P.83)

Fig. 5 : Classification des effets des séismes sur les sédiments selon Mentanat et al 2007(P.84).

Photo 1 : Cuvettes thixotropiques des dépôts de terrasses Tyrrhéniennes(P.85).

Photo 2 : Coins thixotropique(P.85)

Photo 3 : Divers déformations induites par un séisme(P.85)

PLANCHE 1 : MNT de la région d'étude effectué à partir de l'image Landsat7(P.87).

PLANCHE 2 : Ortho-image de la région d'étude effectué à partir de l'image Landsat7. (Accidents atlasiques du Fillaoucène (en gras) et les principaux linéaments et failles)(P.87)

PLANCHE 3 : MNT du secteur d'étude sur lequel on peut voir l'importance des directions NE-SW et NW-SE et la relation directe avec l'emplacement des dômes rhyolitiques en pointillés de couleur rouge(P.88).

Fig.6 : Schéma structural de la région d'étude(P.89)(linéaments et

failles en relation avec les dômes)

Fig.7 : Coupe morphotectonique de la région d'étude (moyenne Tafna, Hammam Boughrara)(P.90)

Fig.8 : Superposition de la carte géologique de L'Algérie du Nord au 1/200 000 sur le MNT de la région des Traras-Moyenne Tafna(P.91).

Fig.9 : Positions des gisements d'argiles bentonitiques de Hammam Boughrara (moyenne Tafna) en flèches noires(P.92).

Fig.10 : image satellitaire montrant un dôme de la région d'étude(P.93).

Fig.11 : Carte linéamentaire de la région de M'zila. Mostaganem(P.94).

Fig. 12 : Rosace de direction des linéaments de la région de M'zila(P.94).

Photo. 4 : Photo montrant la discordance des marnes bleues sur les grès de base(P.95).

Photo. 5 : Une faille normale synsédimentaire dans des grès d'épaisseur centimétrique(P.96).

Photo. 6 : Fracture minéralisée en calcite(P.96).

Photo. 7 : Une série de décrochements à mouvement dextre dans un grès micacé de taille décimétrique(P.97).

Résumé

Les faciès rhyolitiques de Hammam Bouhrara et Mostaganem sont parmi les plus anciens témoins de l'activité volcanique du Cénozoïque dans l'Oranie (nord occidental de l'Algérie). Les produits volcaniques (rhyolites et dépôts pyroclastiques) projetés par des centres d'émissions repartis des deux côtés de l'Oranie (orientale et occidentale) se répartissent sur plus de 300km², la bentonitisation apparue dans ces milieux volcanogènes est à l'origine des plus grands gisements d'argile bentonitique en Algérie. Cette bentonitisation n'est pas quelconque, mais très localisée. Les différentes études menées, et notamment l'analyse morphotectonique basée sur la télédétection à partir des images satellitaires, des photographies aériennes et des modèles numériques de terrains combinée aux investigations de terrains et aux études pétrographiques et volcanologiques, montrent clairement que la bentonitisation à Hammam Bouhrara et Mostaganem se développe au niveau le cratère volcanique (centre d'émission) et s'intensifie le long de la faille (N40). En s'éloignant de ces derniers, la bentonitisation diminue jusqu'à sa disparition.

La bentonitisation à Hammam Bouhrara et à Mostaganem est donc liée au fonctionnement de l'appareil volcanique combiné à l'hydrothermalisme et à la tectonique active

Une différenciation chimique a été mise en évidence au niveau des terrains rhyolitiques bentonitisés, en plus ; ces derniers présentent une signature isotopique en hydrogènes δD différente des faciès rhyolitiques sains. Cette signature est à rattacher à un hydrothermalisme avec des eaux superficielles ayant des rapports isotopiques en deutérium δD différents de ceux inscrits dans les faciès rhyolitiques sains, qui sont rattachés aux eaux juvéniles lors de la mise en place.

Tous ces résultats nous ont menés à la conclusion suivante :

Le recyclage (reprise) des eaux superficielles par les structures tectoniques actives à Hammam Bouhrara et Mostaganem a permis, une différenciation chimique des faciès rhyolitiques, conduisant à la bentonitisation localisée. Cette dernière est fonction de facteurs géologiques relatifs à la tectonique cassante, au faciès et à la dynamique du volcanisme. Ces facteurs contrôlent directement la localisation, la répartition (tonnages) et le degré de bentonitisation.

Historique des travaux

L'exploitation des deux gisements d'argiles bentonitiques a commencée au début des années 1930.

• La région de Maghnia (gisement de Hammam Boughrara) :

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.

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 Tifraouine 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, reconnue le Tifraouine, 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.

En 1972, la SONAREM a exposé un rapport sur les résultats des travaux de recherche et de prospection géologique exécutés sur le gisement d'argile bentonitique de Hammam Boughrara.

B.FENET 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 Moï-Plio-Quaternaire (9-4,5-1Ma).

M.BENEST (1982) a étudié la tectonique et la microtectonique des monts de Tlemcen.

M.MEGARTISI (1985) précise les données volcanologiques et pétrographiques du volcanisme de l'Oranie Nord Occidentale. Il étudie notamment le volcanisme Calco-alcali

Miocène situe dans la zone Tifraouine-Bouzedjar, et le volcanisme alcalin moi-plio-quaternaire de la basse Tafna, les Souhaita et de Ain Timouchent.

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).

LEMOU et KOUDIL (1993) ont montré l'appartenance des laves Miocène des secteurs d'Ain Roumana et Hadjerat El Kahla (moyenne Tafna) à la série Calco-alcaline à tendance alcaline.

-ABAD (1993) dans son étude des laves Quaternaire 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 de Traras.

-En 1994, SIDAM a réévalué les réserves de Roussel I, dans le cadre d'une étude de faisabilité préliminaire et réalisé des cartes de distribution des paramètres chimiques et physico- chimiques des bentonites de la région de Maghnia.

- A.LOUNI HACINI et AI (1995) complètent les datations (K/Ar), actualisent et mesurent le passage du volcanisme Calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie.

-Khadidja GRAINE (2000), met en évidence les différents facteurs conduisant à la bentonitisation dans les milieux volcanogènes de la région de Hammam Boughrara.

- A.LOUNI (2002) a mis en évidence le passage du volcanisme Calco-alcalin au volcanisme alcalin par des analyses géochimiques.

-ENOF group de BENTAL (2002) publie : le projet de développement des gisements d'argiles Bentonitiques de Maghnia.

• La région de Mostaganem (gisement de M'zila) :

En 1972, la SONAREM a exposé un rapport sur les résultats des travaux de recherche et de prospection géologique exécutés sur le gisement d'argile bentonitique de M'zila.

En 1977, SIDAM a effectué des échantillonnages et des essais technologiques sur la bentonite de Mostaganem. Suite aux observations effectuées sur le terrain.

En 1994, SIDAM a établi des calculs préliminaires et classer les réserves de quatorze couches selon leur qualité, dans le cadre d'une étude de développement des argiles bentonitiques de la région de Mostaganem.

ENOF group de BENTAL (2002) publie : le projet de développement des gisements d'argiles Bentonitiques de Mostaganem.

CHAPITRE I
INTRODUCTION
ET CADRE
GEOGRAPHIQUE

I.a INTRODUCTION :

Du Miocène au Quaternaire, Dans la région nord occidental de l'Algérie une forte activité volcanique intermittente s'est produite sur de vastes zones. Les produits d'éruption le long de la côte méditerranéenne marquent une activité magmatiquesurtoute l'Algérie nord occidentale.

Les produits rhyolitiques de la moyenne Tafna et Mostaganemsontparmi les plus anciens témoins de l'activité volcanique cénozoïque d'Oranie. Les produits volcaniques (rhyolite et produits pyroclastiques) émis par les centres d'émission répartis des deux côtés (Oranie orientale et occidentale) de l'Oued Tafna et oued chlef sont répartis sur une superficie de plus de 300 kilomètres carrés.

Le gisement d'argile bentonitique de Mostaganem est l'un des plus importants gisements exploitables du Nord- Ouest algérien.

Les travaux réalisés comprennent une étude détaillée pétrographique des faciès des deux régions ; Hammam Boughrara et Mostaganem (Nord-ouestAlgérien).Le but est de déterminer l'origine de cette bentonitisation.

1 Définition de Bentonite :

Le terme bentonite a été proposé en 1898 pour désigner une argile au toucher savonneux appartenant à la formation "Benton shale" et affleurant dans la région de Rock River (Wyoming, Etats Unies) où la première exploitation de bentonite aurait été découverte en 1890.

Les bentonites sont, par définition de matériaux argileux essentiellement composés des smectites (la montmorillonite faisant partie du groupe des smectites)

Les bentonites sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe des Montmorillonites. Ce sont des argiles qui présentent les propriétés d'hydratation les plus développées.

- **Origine :**

C'est l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riches en verre entraînant la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des smectites. 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).

- **Caractéristique :**

Ces minéraux argileux sont constitués par la superposition de feuillets élémentaires. Entre ces feuillets se situent des cations échangeables, principalement Ca ou Na. De ce fait, il existe trois grands types de bentonites qui sont commercialisés :

- des bentonites calciques naturelles.
- des bentonites sodiques naturelles (Wyoming - U.S.A.)
- des bentonites sodiques artificielles obtenues par échange des ions Ca des bentonites calciques naturelles par des ions Na, grâce à un ajout de Na_2CO_3 .

Humidité : < 12 %

PH (5 %) 8-11

Granulométrie : 75 μ pour la bentonite poudre 0,5 – 1,7 mm pour la bentonite grain.

Taux de gonflement : 25 à 27 ml/2g

Composition minéralogique : Montmorillonite : 80 %, Silice cristalline (Quartz et Cristobalite) < 3 %.

- **Principales Utilisations :**

Les bentonites sont utilisées essentiellement, en :

- Fonderie.
- Forage : la bentonite rentre dans la composition des boues de forage. Elle a pour but de lubrifier et refroidir l'appareil, de consolider les parois du forage, de remonter à jour les débris (cuttings).
- Bouletage du minerai de fer.
- La nourriture animale.
- Génie Civil : pour la création de voiles d'étanchéité d'excavations, l'injection de coulis de ciment (la présence de bentonite permettant le maintien en suspension du ciment).
- Céramique.
- Pharmacie : pour certaines préparations.
- Peintures et vernis : émulsion.
- Agriculture : support de produits insecticides et fongicides.
- Décoloration des huiles minérales et végétales.

- ***But de travail :***

Le but de ce travail est de mener une étude détaillée sur la bentonitisation de Hammam Boughrara et Mostaganem. À cette fin, nous menons des études géologiques, pétrographiques, minéralogiques, géochimiques et granulométriques sur les faciès touchés par la bentonitisation qui composent le gisement.

Enfin, nous essayons d'expliquer la formation de cette bentonite

- *Une étude détaillée des différents faciès de rhyolite (dôme et sédiments pyroclastiques) à Hammam Boughrara et Mostaganem.*
- *Étude détaillée de la structure et du modèle de dépôt du dôme.*
- *Proposer un scénario pour dériver la structure actuelle de ces dômes.*
- *Mettre en évidence les principaux changements géochimiques (éléments principaux, traces et isotopes) qui affectent les terrains bentonitisés.*
- *Comparer les résultats obtenus des études des deux régions ; Hammam Boughrara et Mostaganem.*
- *La compréhension des gisements actuels pour la recherche des guides de prospections de Bentonites.*

L'objectif global est de trouver l'origine du processus de bentonitisation affectant les faciès rhyolitique de Hammam Boughrara et de Mostaganem

➤ **Problématique :**

Dans les deux régions d'étude montrant localement des gisements d'Argile Bentonitiques sont des terrains volcanogènes rhyolitiques.

Notre travail consiste à déterminer les facteurs déclencheurs de cette bentonitisation localisée.

Pourquoi la bentonitisation se développe uniquement dans les terrains volcanogènes rhyolitique ?

Méthodologie :

Pour mener à bien ce travail, nous suivons les étapes suivantes :

a - Un travail de terrain :

La visite du site comprenait une description des différents faciès bentonitisés étudiés.

Dans cette étude, nous avons échantillonné et décrit des faciès bentonitisés sur le terrain et levé géologique de terrain.

b - Un travail de laboratoire :

Dans le travail de laboratoire, nous avons fait des études de lames minces et pétrographiques.

- **Etude pétrographique :**

Cette étude consiste à une description microscopique détaillée d'une vingtaine de lames minces de faciès associés à la bentonitisation intercalés avec les couches d'argiles bentonitiques.

- **Etude géochimique:**

Dans cette étude, on utilise les analyses chimiques et les éléments majeurs des faciès rhyolitiques de Hammam Boughrara et Mostaganem et aussi des analyses granulométriques pour déterminer le pourcentage de fraction d'argile dans l'échantillon d'argile bentonitique de Hammam Boughrara et Mostaganem.

***I.b* SITUATION GEOGRAPHIQUE :**

- **Gisement de Mostaganem**

La carrière d'argile du nom du "site de M'zila" est à 35 km de Mostaganem et à 10 km à l'est du village d'Achastas. Le site est accessible et le relief est inégal et atteint une centaine de mètres.

Par conséquent, certaines parties du gisement ne conviennent pas au type d'exploitation minière (tranchée peu profonde). Parce que le terrain est trop raide.

- **Hammam Boughrara :**

La zone d'étude où se trouve le gisement de bentonite est situé dans la partie nord de la plaine de Maghnia. Cette dernière est située entre deux parcelles amorphes : dans ce cas, les montagnes Traras et Fillaoucène au nord et les montagnes Tlemcen au sud dépassent généralement 1 000 mètres d'altitude.

Le gisement de bentonite est situé à 30 kilomètres à l'ouest de Tlemcen Willaya et à 15 kilomètres au nord-est de la ville de Maghnia.

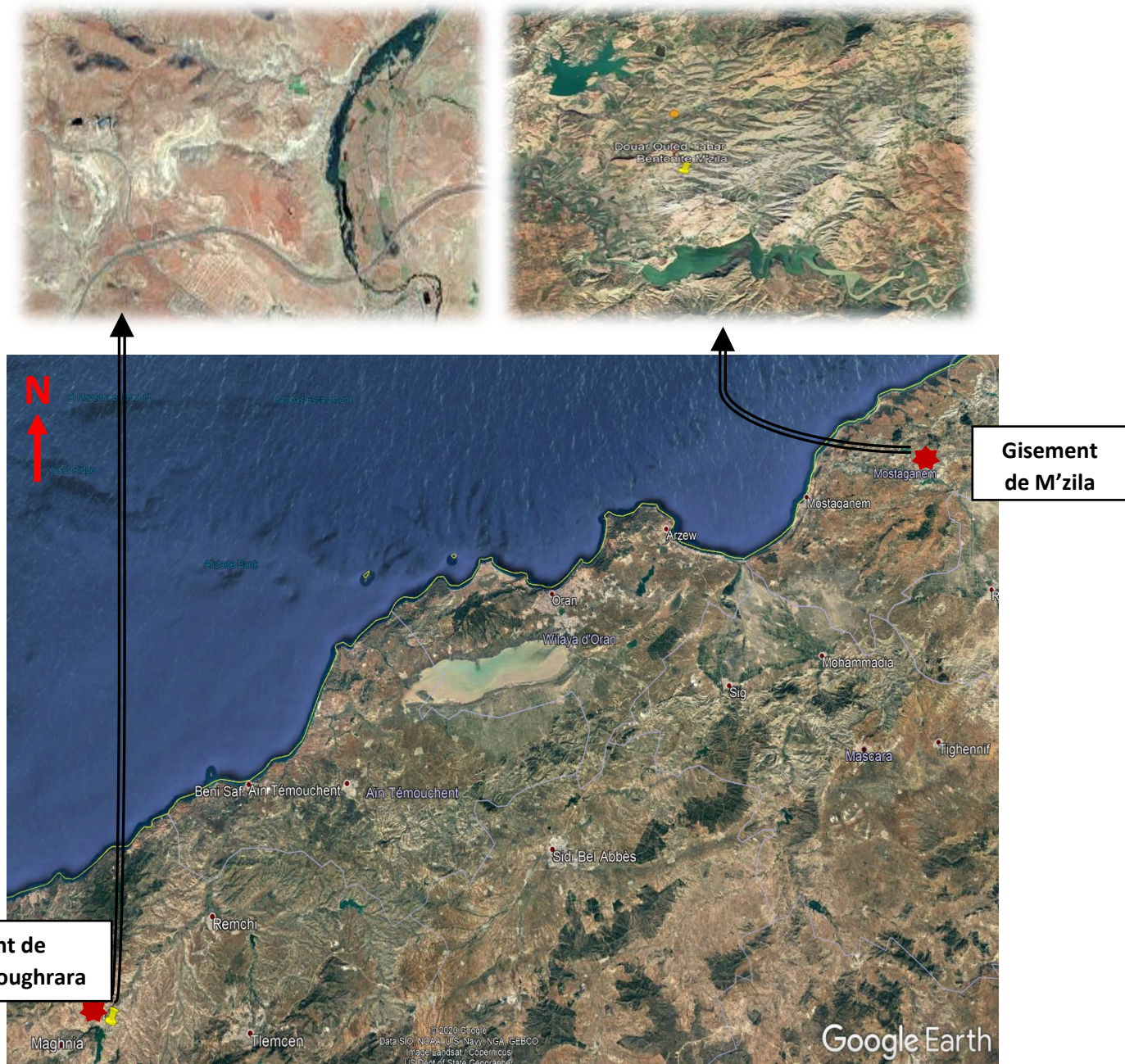


FIG 1 – Localisation géographique des gisements de bentonite de Hammam Boughrara et de Mostaganem

- **Climat :**

La zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. C'est l'une des zones les plus humides d'Algérie, avec des précipitations annuelles comprises entre 400 et 1 000 mm d'eau. La température moyenne en été et en hiver est de 25 ° C et 11 ° C, respectivement. En été, le vent de sirocco sec et très chaud (connu localement sous le nom de Chehili) souffle au nord du désert du Sahara.

- **Topographie :**

Les principales caractéristiques topographiques de cette partie du mont Oran sont marquées par les alignements de l'atlas SW-NE en relief, qui sont séparés par des dépressions dans la même direction.

La plaine de Maghnia se situe entre deux montagnes de l'Atlas. Le massif hercynien de Traras s'étend au sud, les montagnes Fillaoucène au nord et les montagnes Tlemcen au sud (la hauteur de ces montagnes dépasse généralement 1000 m). Il est situé sur la bordure nord du plateau, avec une altitude ne dépassant pas 500m au-dessus du niveau de la mer.

- **Hydrographie :**

Le réseau hydrologique est très développé et suit la division structurelle de la zone. Il est dense et profond, généralement avec des vallées courtes et étroites. Chaque année, de nombreux oueds qui sillonnent les ravins sont entourés de montagnes dans les ravins, qui sont alimentées par le ruissellement de surface, qui se joint quelques jours par an, et se fond dans la rivière Tafna presque permanente via le ruissellement de surface. La rivière est longue de 177 kilomètres et prend sa source dans les montagnes de Tlemcen.

CHAPITRE II

CADRE

GEOLOGIQUE

Géologie régionale :

II.a INTRODUCTION :

L'Oranie se trouve entre deux grands domaines structuraux fondamentalement différents par la nature des dépôts et par le style tectonique, dans lesquelles se sont mises en place les roches volcaniques néogène (**figure1**), comprenant les massifs paléozoïques avec sur leur bordures méridionale les éléments de la chaîne calcaire et le domaine tellien « Tell algérien », où sont représentées des nappes de glissement, vers le sud, des nappes ont glissé dans un bassin Miocène, alors qu'au Nord elles recouvrent des zones autochtones ou para-autochtones plus ou moins métamorphiques.

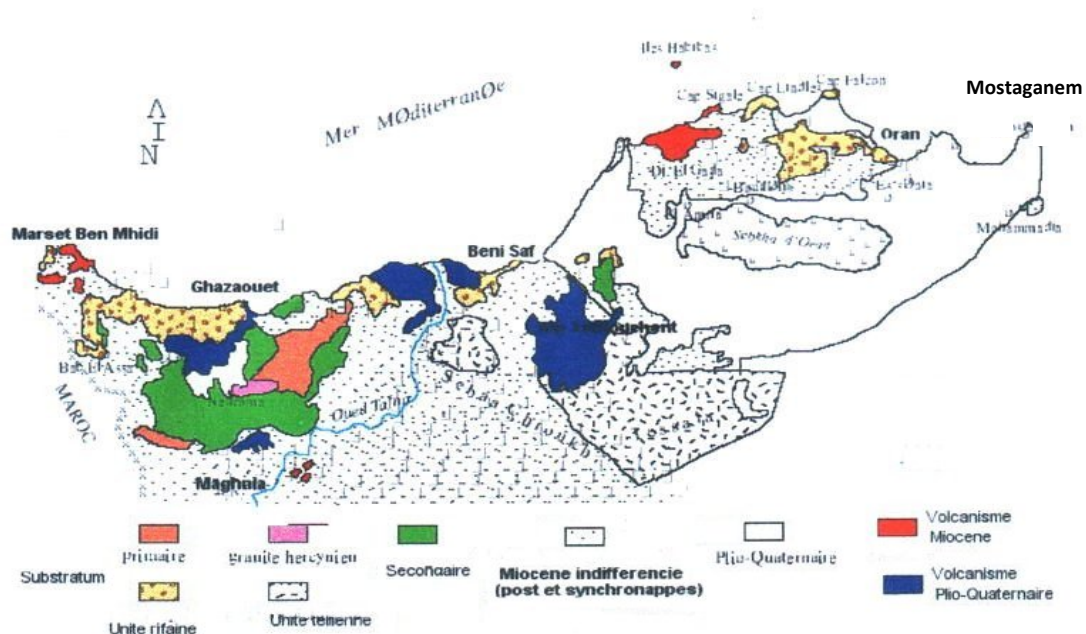


Fig 1. : Contexte géologique de l'Oranie nord occidentale (in Megartsi. 1985)

Dans la zone dite tellienne d'Oranie, la chaîne de montagnes composée des terrains autochtones présente un couvert secondaire plissé " chaîne de Fillaoucène et massif de Traras ; c'est une extension de l'Atlas. Ils constituent la zone dite atlasique. En première approximation, ils forment une zone élevée par rapport à la zone tellurique qui les entoure.

L'Oranie est subdivisée par trois grandes parties ; Occidentale « Frontières marocaine – Sahel », Centrale « Sahel – Arzew » et Orientale « Arzew – Oued Chélif » Elle est représentée par des terrains telliens de deux types : les bassins telliens et les Monts telliens

- Bassins Telliens :

« Mostaganem, Ghelizane, Habra, M'Léta, Moyenne et basse Tafna, Sahel Oran, M'sirda, Souahlia »

- Monts Telliens :

« Beni chougran, Traras, Tessala, Tlemcen, Merdjadja, Arzew »

Les bassins telliens sont encadrés par les monts telliens où le bassin de la moyenne Tafna est encadré par les monts de Tlemcen et Traras au nord, et le bassin de Mostaganem est encadré par les monts de Beni chougran.

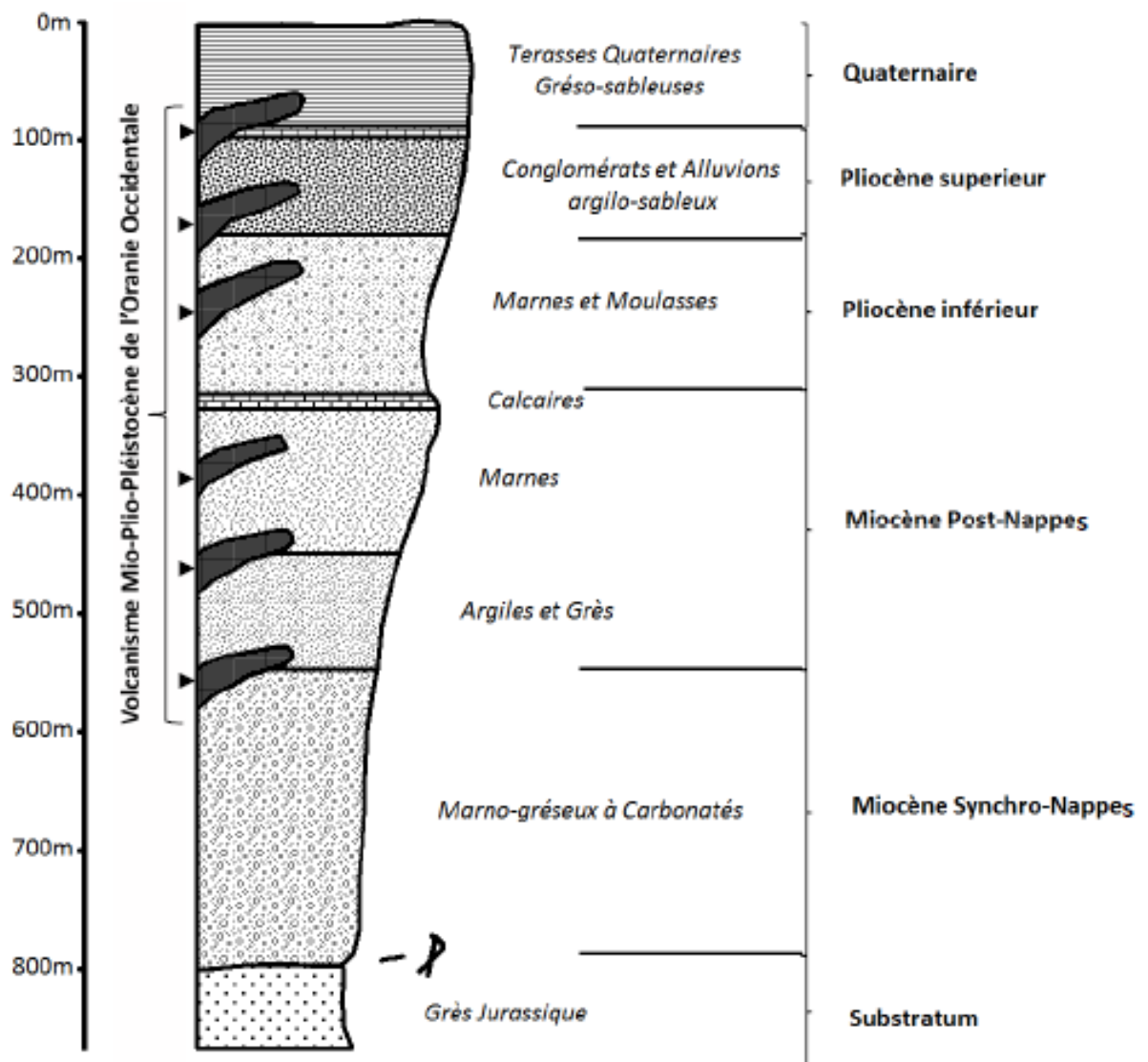


Fig 2 : Colonne lithostratigraphique synthétique des dépôts Mio-Plio-Quaternaires de l'Oranie. Established from the notices of geological maps of Northwestern Algeria at (1/50000) & (1/100000) scale and field observations (in Boukhedimi 2017)

STRATIGRAPHIE :

Après les cycles anté et synchro nappes, le bassin du Bas Chélif a été le site de forts dépôts sédimentaire du miocène post nappe au quaternaire, mais il existe encore des différences dans les strates les plus anciennes.

La sédimentation est très importante au cours du Miocène dont l'épaisseur dépasse les 2000m.

Les principales zones de cette zone sont le Miocène et le Pliocène. Ces structures dessinent des plis synchronisés, les côtés des pierres du Jurassique supérieur (Lusitanien) étant exposés.

- **Miocène :**

Les formations du Miocène affleurent le long de l'Oued Tafna et reposent en discordance sur les formations du Jurassique supérieur. La série du Miocène débute par des roches sédimentaires représentées par des calcaires massifs, des marnes finement litées de couleur grise, des lentilles et passées de tufs basaltiques et de Basalte. Cet ensemble est surmonté par des calcaires et des filons carbonatés de couleur grise avec des lits de grès bruns puis par des marnes grises à fines passées gréseuses. Des argiles carbonatées de couleur grise à verdâtre apparaissent à ce niveau. L'allure des dépôts décrits est presque horizontale. La coupe se termine par une assise volcano-détritique constituée par des rhyolites, des perlites et des Obsidiennes. Ces roches volcaniques sont localement transformées en argile bentonitique. Cet ensemble repose en discordance sur l'assise sédimentaire du Miocène. L'épaisseur totale des dépôts Miocène peut atteindre environ 250m

- **Le Pliocène :**

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

- **Le Quaternaire :**

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

Postérieurement aux cycles anté et syncro nappes, le bassin du Bas Chélif était le siège d'une puissante sédimentation allant du Miocène post nappes au Quaternaire qui repose en discordance sur les formations les plus anciennes(Fig. 3).

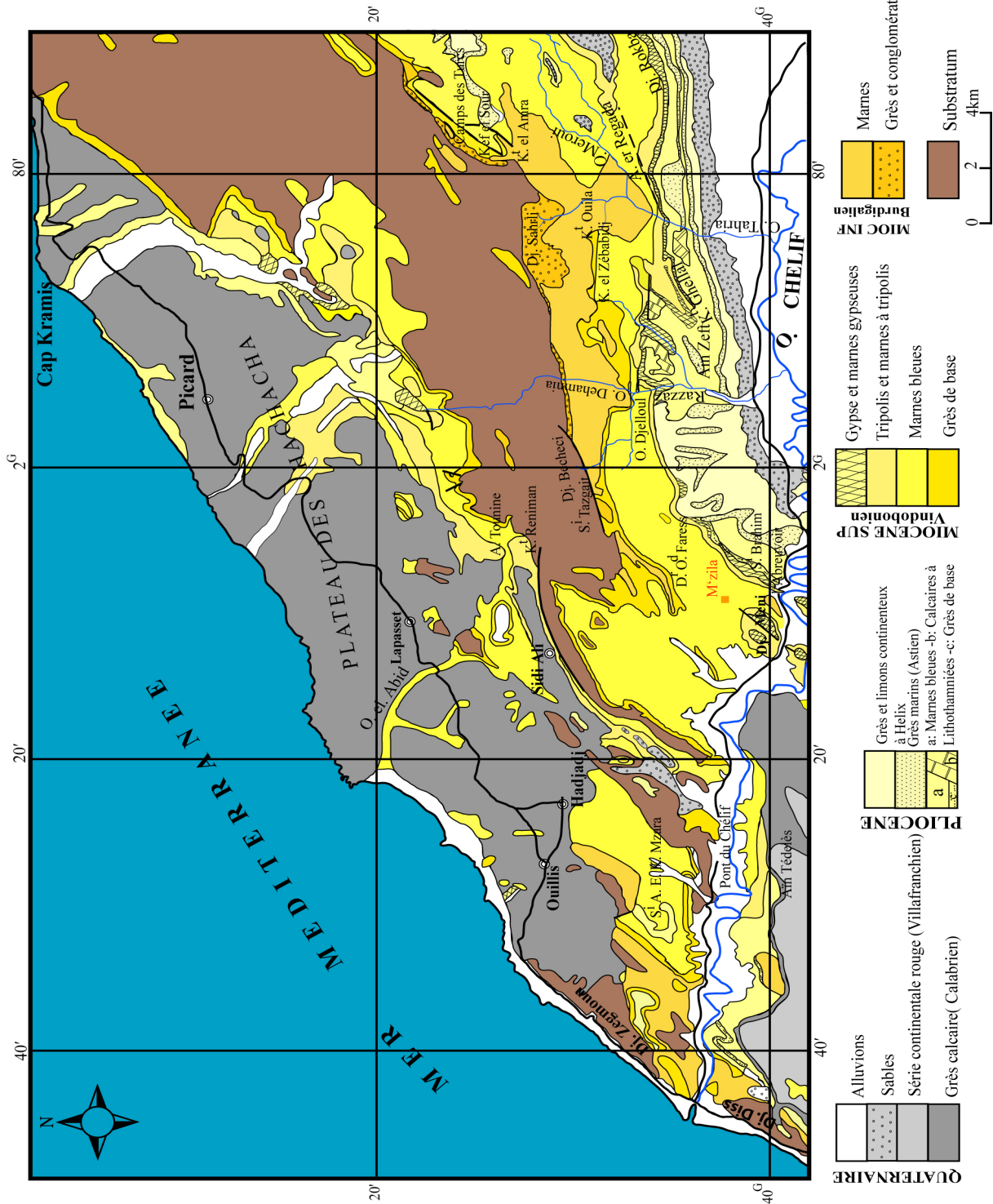


Fig 3. Carte géologique de la bordure occidentale du Dahra. Echelle : 1/200.000 (A.Perrodon, 1957)

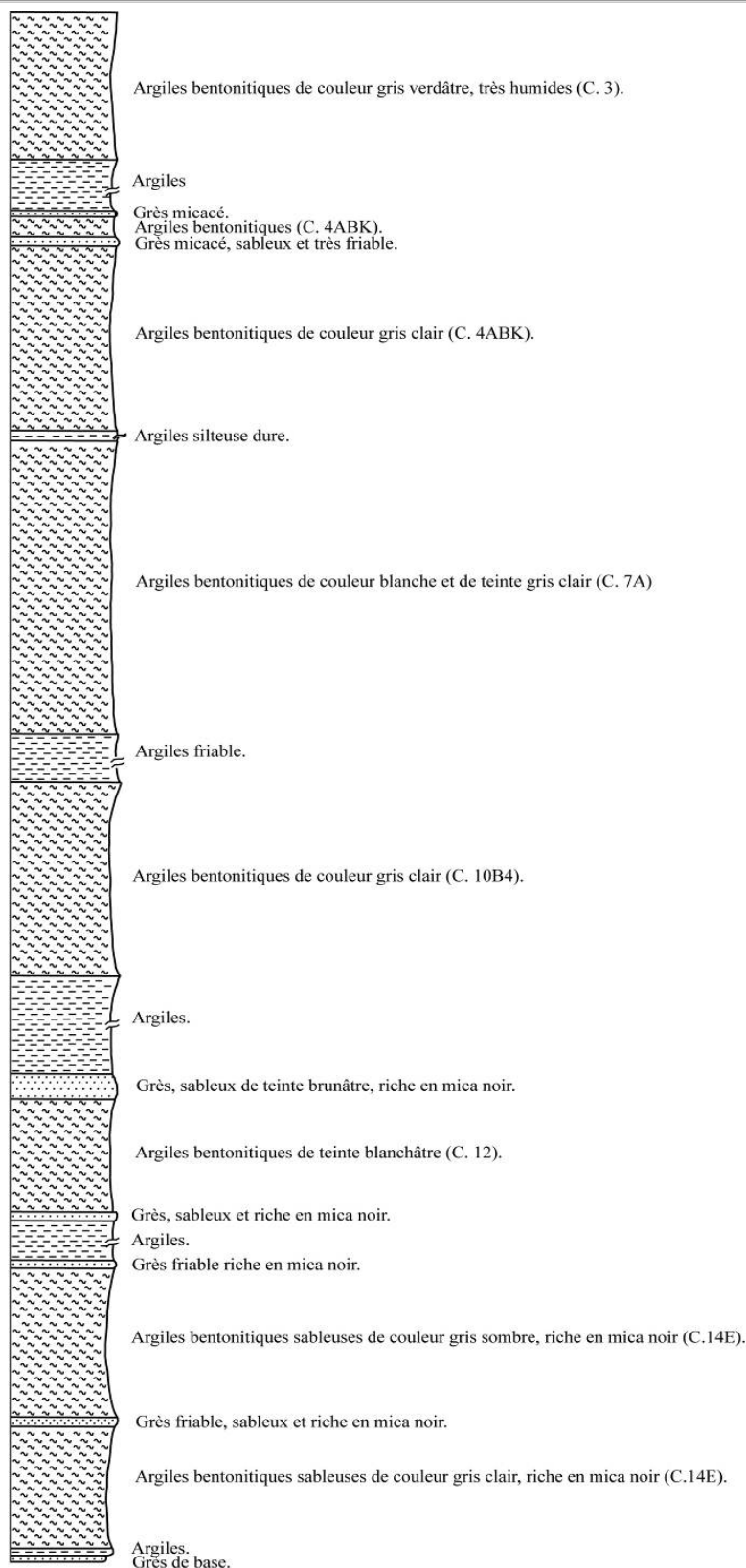


Fig4 : Colonne stratigraphique synthétique « Mostaganem » (ENOF,2002).

Géologie locale:

II.b Les grands traits géologiques de la plaine de Maghnia et Mostaganem :

- Gisement de Hammam Bouhrara (Maghnia) :

Dans la zone proche des dépôts rhyolitiques, les formations les plus anciennes sont les roches volcano-sédimentaires qui composent la partie supérieure du miocène.

Ces roches sont plissées en un synclinal 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 Bab, R-M, 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 à mesure qu'on s'en éloigne.

Le bassin de la moyenne Tafna correspond à une dépression Tertiaire qui présente un aspect de fossé intramontagneux, encadré par deux chaînes Atlasiques, les monts de Tlemcen au Sud ; les Traras, le Fillaoucène (1136m) et la moitié occidentale de la chaîne de Tessala au Nord.

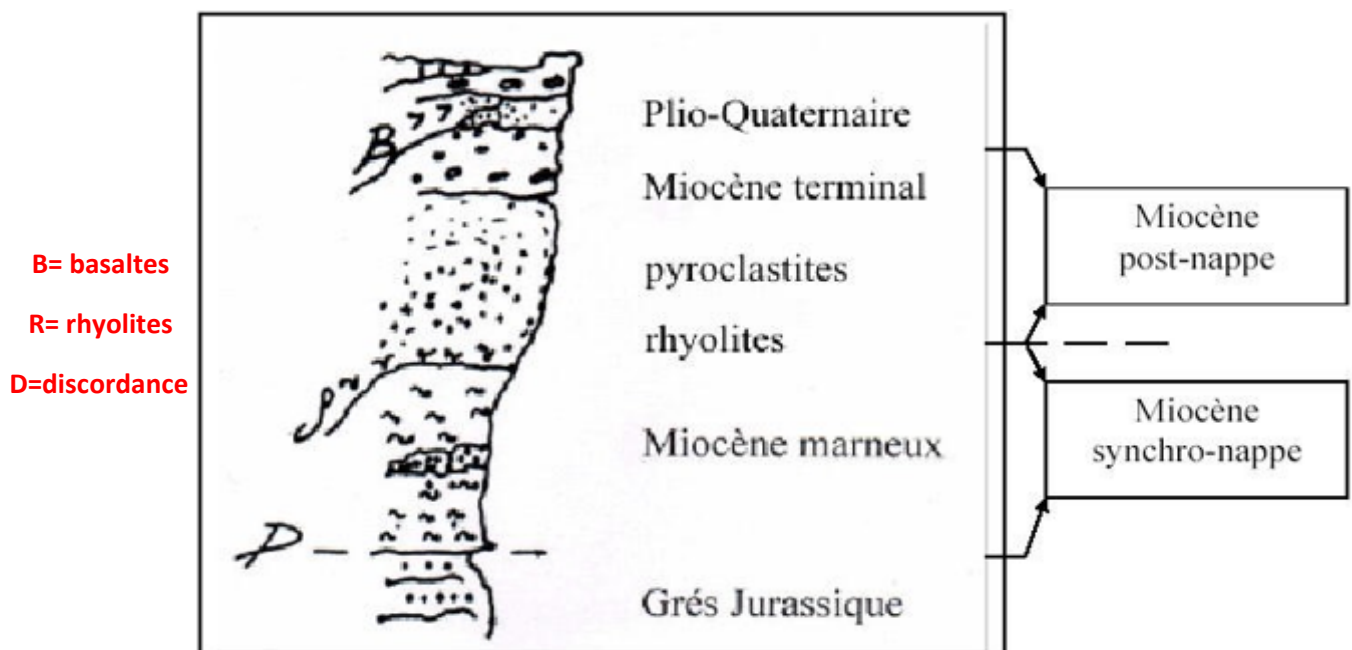


Fig5 : Succession lithologique de Hammam Bouhrara (Boukhedimi, 2003).

- **Gisement de M'zila (Mostaganem) :**

Dans la zone de dépôt de M'zila, la séquence du miocène supérieure exposée dans la zone de carrière à la base commence par une épaisse couche de Marne bleu comprimé. Ce dernier est recouvert de couches d'argile bentonite qui interstartifiées avec le grès biotitique. Cette séquence est couverte par Marne argileuse.

Quatorze (14) couches d'argile bentonite ont été identifiées dans le gisement. Ils sont numérotés de 1 (le plus récent, vers le haut) à 14 (le plus ancien, vers la base). Seules les couches importantes sont affichées sur le plan.

Les couches sont plissées en une structure synclinale, dont l'axe est incliné vers l'ouest à un angle d'environ 25 °. Du côté nord du pli, les couches sont orientées dans le sens est-nord-est et sont inclinées de 20 à 40° sud, à l'exception de la 14e couche, qui a une chute plus brutale (environ 55 °). Du côté sud du synclinal, la strate adopte la direction nord-est et s'incline de 10 à 35° degrés nord-ouest (Figure 6).

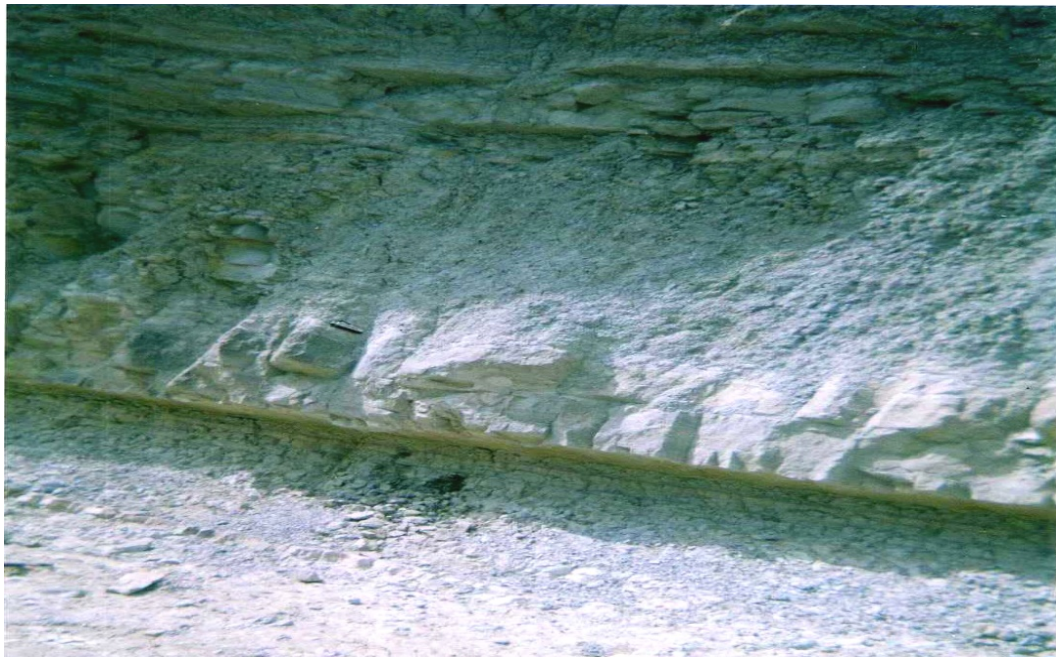


Fig 6. : Couche d'argile bentonitique 14.F de couleur gris sombre.(Mostaganem by Boukhedimi).

II.d Volcanisme :

La partie nord-ouest de l'Oranie était le principal site d'activité volcanique du Néogène au Quaternaire, couvrant la majeure partie de la région de Mohammedia jusqu'à la frontière de la région Frontière Algéro-Marocaine.

Le plus ancien volcan du Mio-Plio-Quaternaire de nos zones d'étude commence par le volcanisme intense au Miocène supérieur jusqu'au quaternaire, précédé par l'émission des Rhyolites de Hammam Bouhrara poursuivi par les andésites au Pliocène puis par des basaltes au Quaternaire.

Il y a quatre dômes indépendants de rhyolite dans cette zone, qui traversent les sédiments mésozoïques et du Miocène. Ces pitons sont les suivants : Ain Torba (1), Hammam Bouhrara (2), oued el Maleha (3), bled Rekiza (4). Ils sont généralement associés à de l'argile smectique (formations rocheuses clastiques) et à des matériaux de kaolin retravaillés.

On y trouve un dôme associé au gisement de Bentonite exploité dans notre région d'étude qui est traversé par deux petits filons basaltiques de faible extension (entre 2 et 6 m d'épaisseur). Une coulée basaltique de faible épaisseur (1 à 1.5 m) d'âge Plio-quaternaire vient clôturer ce cycle volcanique.

II.e Tectonique :

La déformation structurale de l'Atlas tellien est la plus active en Afrique du Nord avec son activité sismique le long de l'atlas tellien. Elle est liée à la convergence actuelle dans la Plaque Afrique-Eurasie. Et conduit à la fermeture progressive du bassin du Néogène, et chercher à établir la chaîne Tellienne.

La région d'étude est caractérisée par des plis synclinaux et tectonique cassante représentées par des failles de l'Atlas.

Les gisements de M'zila et de Hammam Bouhrara sont constitués par des terrains argileux, dont la plasticité ne nous permet pas de déterminer nettement les déformations qui affectent la région. Pour mettre en évidence la tectonique de la région d'étude nous avons réalisé une carte linéamentaire à partir de l'étude des photos aériennes à une échelle de 1/20000

CHAPITRE III

ETUDE

VOLCANOLOGIQUE

- **INTRODUCTION :**

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

L'Oranie nord occidentale a été le siège d'une importante activité volcanique néogène à quaternaire. Elle couvre des grandes surfaces qui s'est déroulée depuis la région de Mohammadia à environ 80 Km au Sud-est d'Oran, jusqu'aux confins de la frontière algéro-marocaine (**Figure 01**)

Ce volcanisme montre un changement de composition : Calco-alcalin au Miocène, à alcalin au Plio-Quaternaire. Cette évolution, qui apparaît généralisée à l'ensemble du pourtour de la Méditerranée occidentale, est attribuée :

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

A Hammam Boughrara les rhyolites présentent une morphologie caractéristique d'un dôme. L'essentiel des pyroclastites et des tufs pyroclastiques se développent autour de ces dômes rhyolitiques.

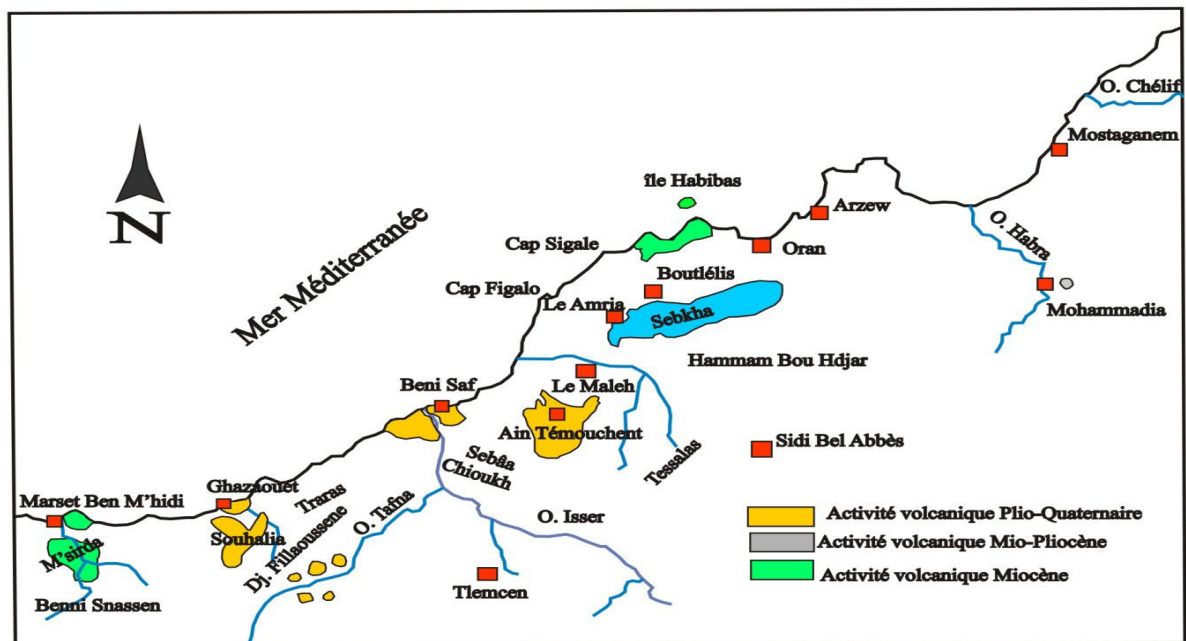


Fig1 : Répartition et âge du volcanisme Néogène d'Oranie Nord-Occidentale (in Coulon et al, 2002)

Les gisements volcaniques d'âge Plio-quaternaire de l'Oranie nord-occidentale se placent dans le domaine externe de la chaîne alpine dans lequel Guardia (1975) a pu distinguer : une zone atlasique et une zone tellienne (**Fig.2**).

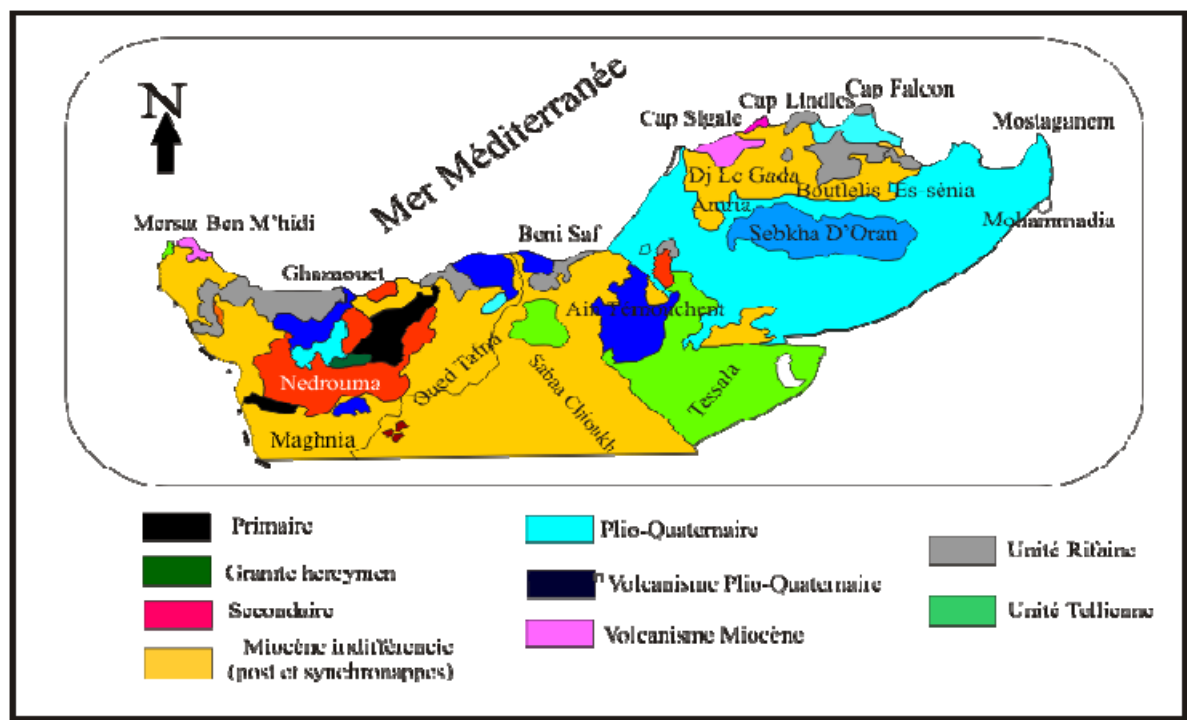


Fig2:Contexte géologique de l'Oranie Nord-Occidentale (in Megartsi, 1985).

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

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

- **Histoire volcanologique :**

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

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

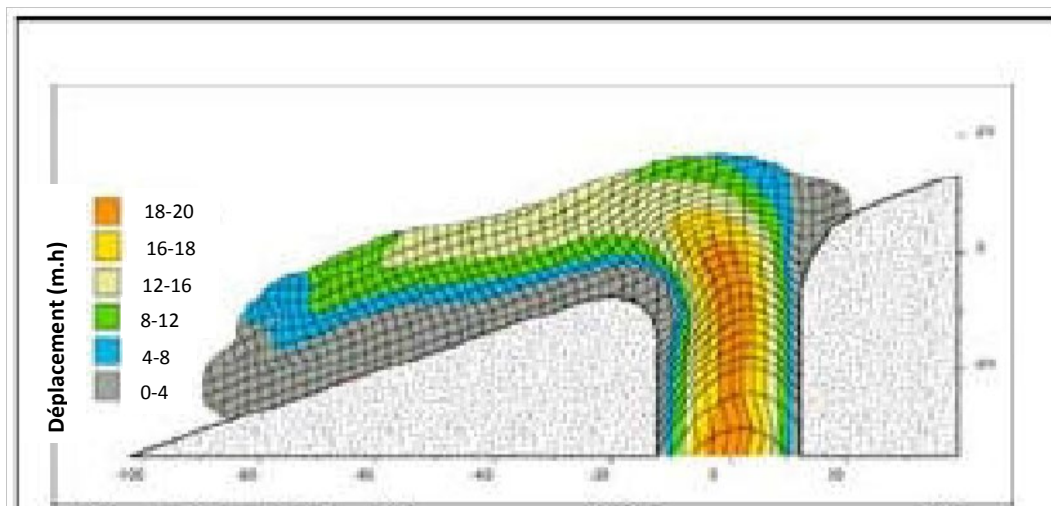


Fig3 : Modélisation de la croissance d'un dôme au cours du refroidissement. (A. Gourgaud et K. Kelfoun 1994)

Tout ceci permet d'admettre le scénario suivant (**figure4**) :

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

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

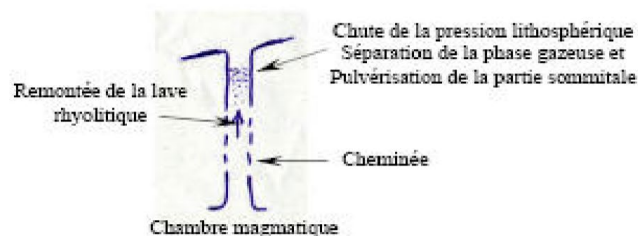
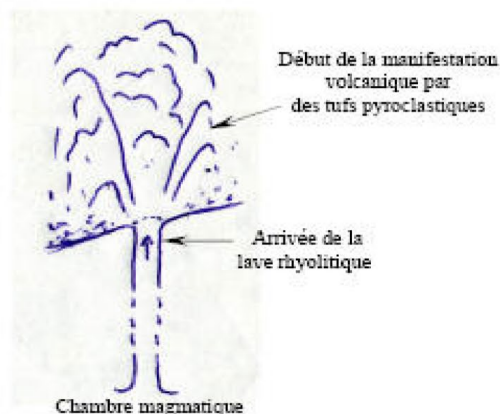
Le flux de chaleur et l'action mécanique apportés par la mise en place du dôme vont permettre à ces tufs d'être soudés à chaud et d'acquérir une structure pseudofluidale et des caractères ignimbritiques.

Sous l'effet de la poussée du magma le dôme va croître et s'étaler. Le coefficient d'étalement pour le dôme de Hammam Boughrara $\zeta = \text{hauteur/diamètre} = 80\text{m}/800\text{m} = 0.1 < 1$ donc il s'agit de dômes à grand étalement. (Les résultats sont obtenus par différences finies grâce au logiciel FLAC)

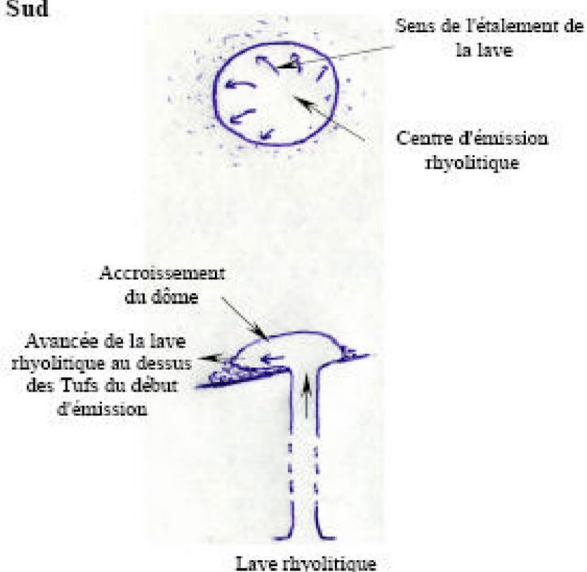
Cet étalement va être accompagné par une baisse de température. Rappelons que dans les essais mécaniques, la diminution de la température provoque l'abaissement du seuil de plasticité et le rapprochement du point de rupture du matériel rocheux.

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

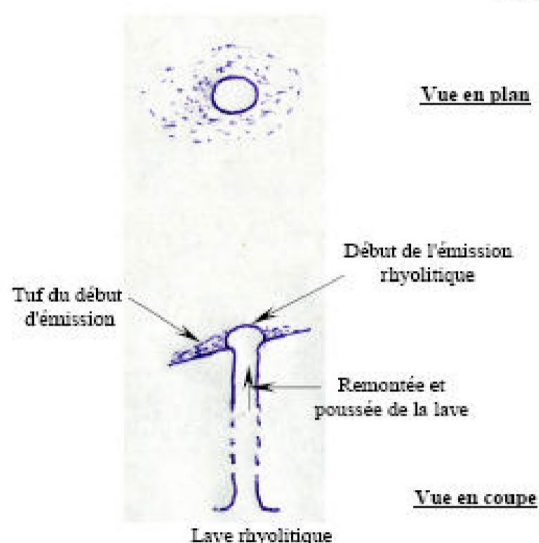
Figure 4 : scénario de mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara (Boukhedimi, 2003).



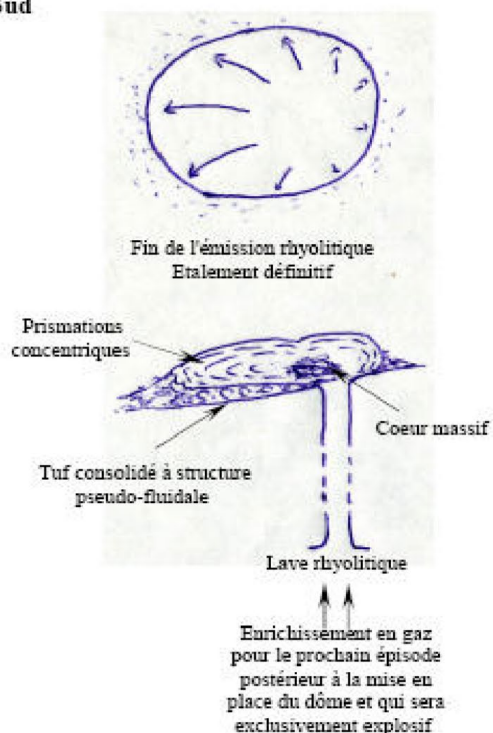
Sud



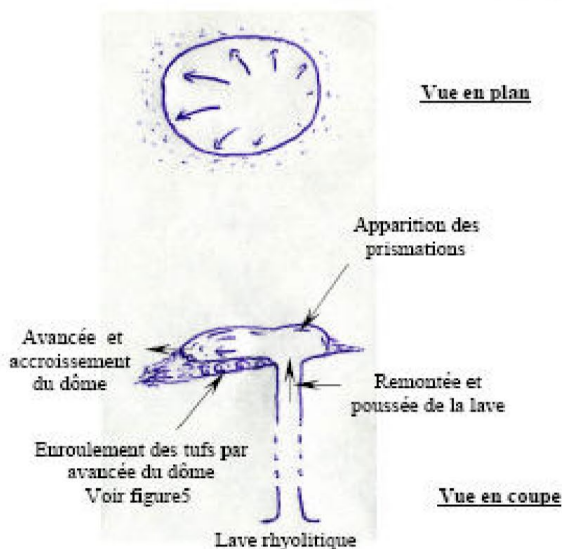
Nord



Sud



Nord



Plus tard, et après la mise en place des dômes rhyolitiques, un magma plus riche en gaz, se manifeste à nouveau, en déclenchant des éruptions pyroclastiques explosives et en donnant naissance aux cratères d'explosions volcaniques à l'intérieur des dômes rhyolitiques. (Figure 5)

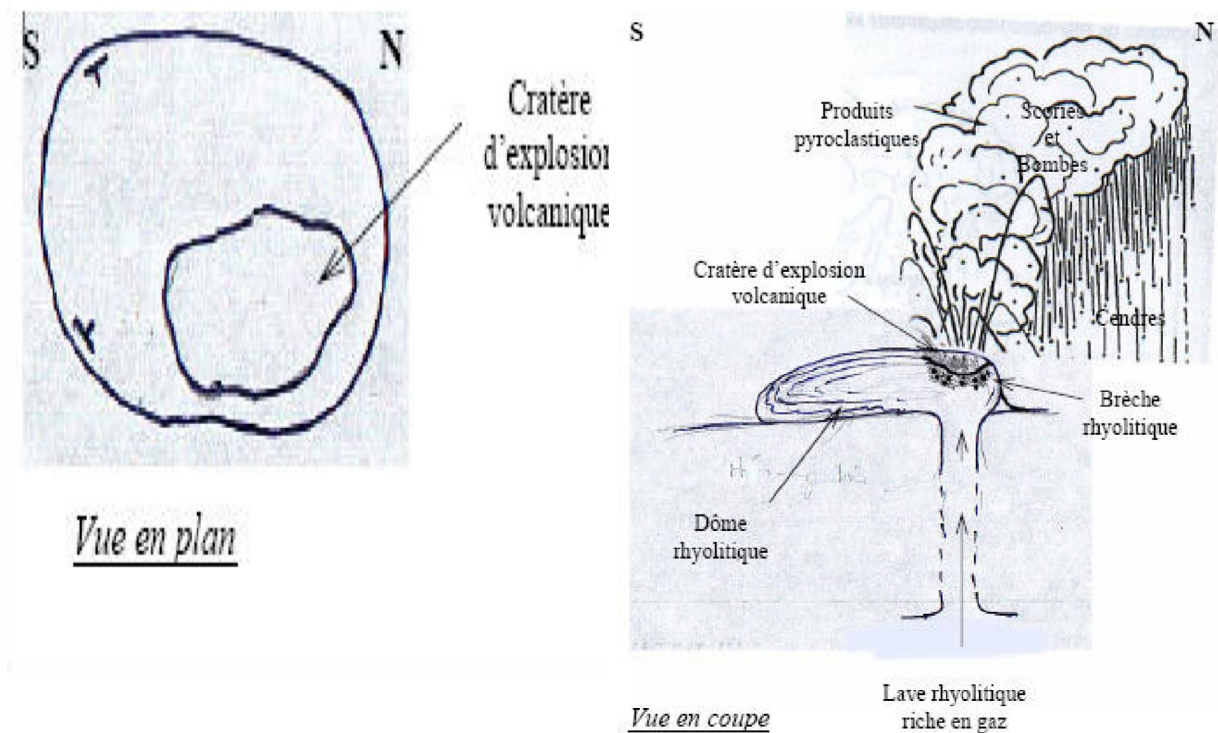


Fig5 : Schématisation simulant une éruption pyroclastique conduisant à l'apparition d'un cratère d'explosion volcanique à l'intérieur du dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara (Boukhedimi, 2003).

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

• Le massif éruptif de la Moyenne Tafna :

Localisé à peu près à 150 Km au Sud-ouest d'Oran, il comprend les secteurs de Hadjra El Kahla et de Ain Romana, situés en rive droite de la Tafna, et celui du flanc Sud de djebel Fillaoucène en rive gauche ; représenté par des coulées basaltiques alcalines reposent sur des formations du Miocène synchronappe et sont interstratifiées dans les sédiments miocènes post nappe premier cycle (**Figure, 6**).

Dans cette région, l'activité a débuté par la mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Bouhrara. La coulée basaltique de Hadjerat El Kahla surmonte une coulée rhyodacitique interstratifiées dans le Miocène post nappe premier cycle, la coulée basaltique, achève cette activité volcanique sur la rive droite de la Moyenne Tafna (**Bellon et al, 1984**).

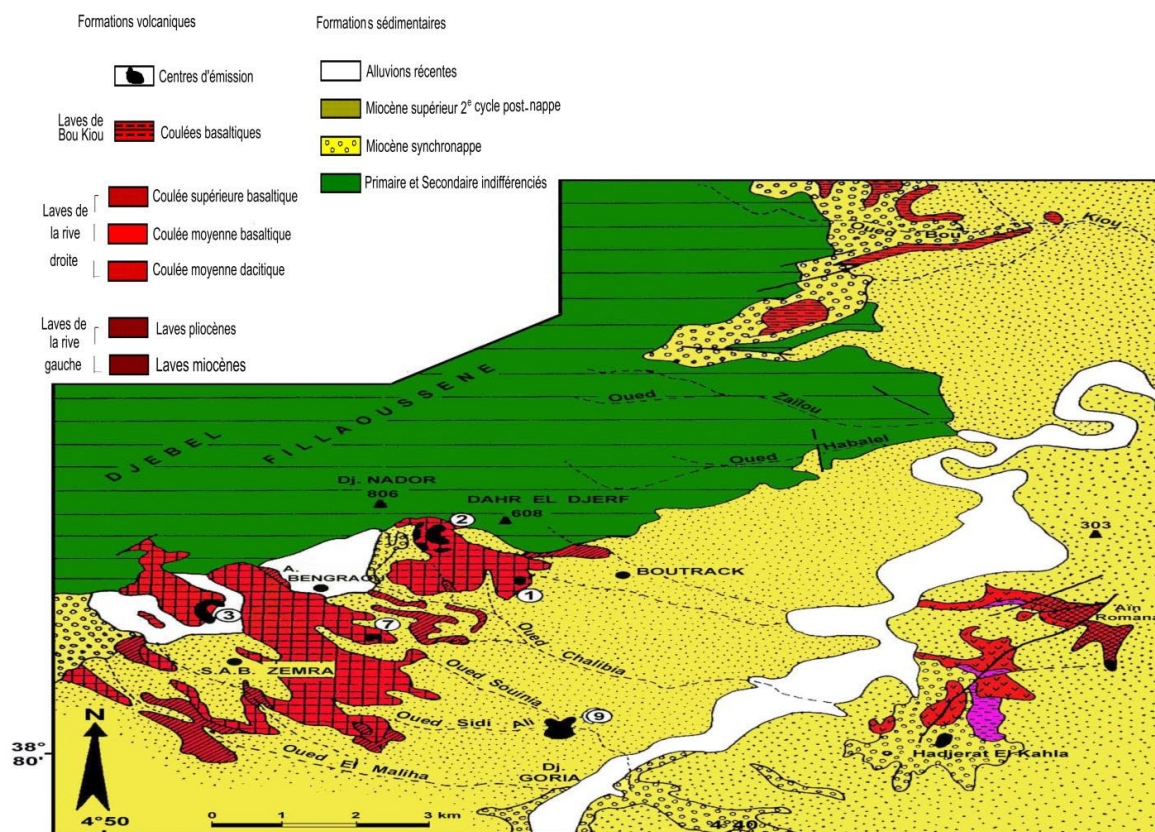


Fig6 : Cartographie des formations volcaniques de la Moyenne Tafna (Bellon et al, 1984).

Les manifestations volcaniques de la Moyenne Tafna ont débuté autour de 4 Ma, elles se rapportent à quatre appareils principaux : ceux de Ain El Maâden, de Ain Fateh, de Boutrack et de Sidi Ali Benzomra. Les coulées basaltiques ont été subdivisées, en fonction de la distribution des phases minérales en trois groupes F1, F2 et F3, et qui montrent, globalement une diminution détaillée des phénocristaux depuis les coulées inférieures jusqu'aux coulées supérieures (**figure 7**).

A- Groupe F1 ; englobe trois coulées rapportées aux volcans de Ain El Maâden et de Ain Fetah. Ce sont des roches microlitiques porphyriques à phénocristaux de plagioclase, clinopyroxène de type augite et d'olivine.

B- Le groupe F2 ; comprend trois coulées attribuées au volcan de Sidi Ali Benzomra. Les roches montrent assez souvent le faciès « brûlures de soleil ». Elles sont globalement microlitiques porphyriques à la base et contiennent très peu de phénocristaux, notamment de clinopyroxènes, qui deviennent microlitiques dans la partie sommitale.

C- Le groupe F3 ; est représenté par une seule coulée attribuée au volcan de Boutrack. La lave est à texture microlitique porphyrique comprenant des phénocristaux clinopyroxène et de plagioclase.

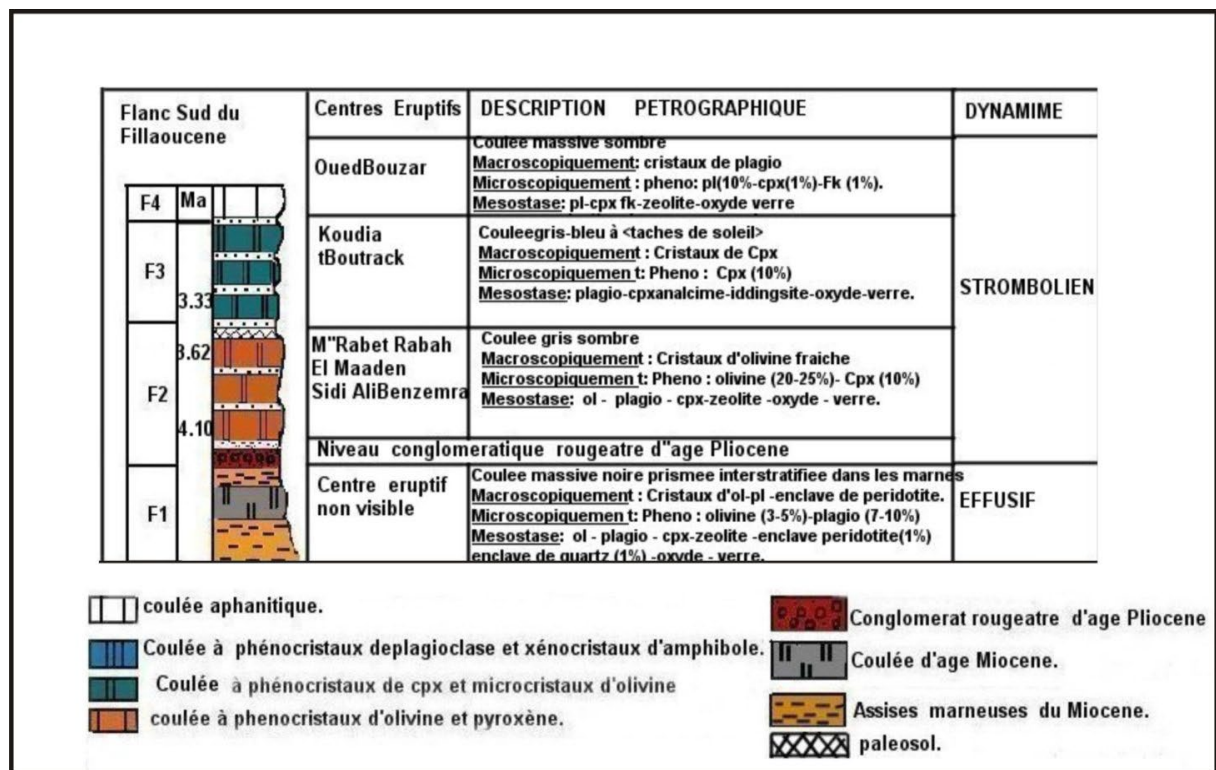


Fig7 : Position stratigraphique des produits éruptifs du flanc Sud du Djebel Fillaoucène. (D'après bendoukha, 2008).

- Morphologie et Structure :

Vu du ciel le dôme rhyolitique de Hammam Boughrara présente une structure circulaire à légèrement elliptique en forme de coupole légèrement déformée (figure 8.a) reposant sur les sédiments du miocène supérieur et qui est couverte en partie par les sédiments du miocène terminal et du Plio-quaternaire (figure 8.b)

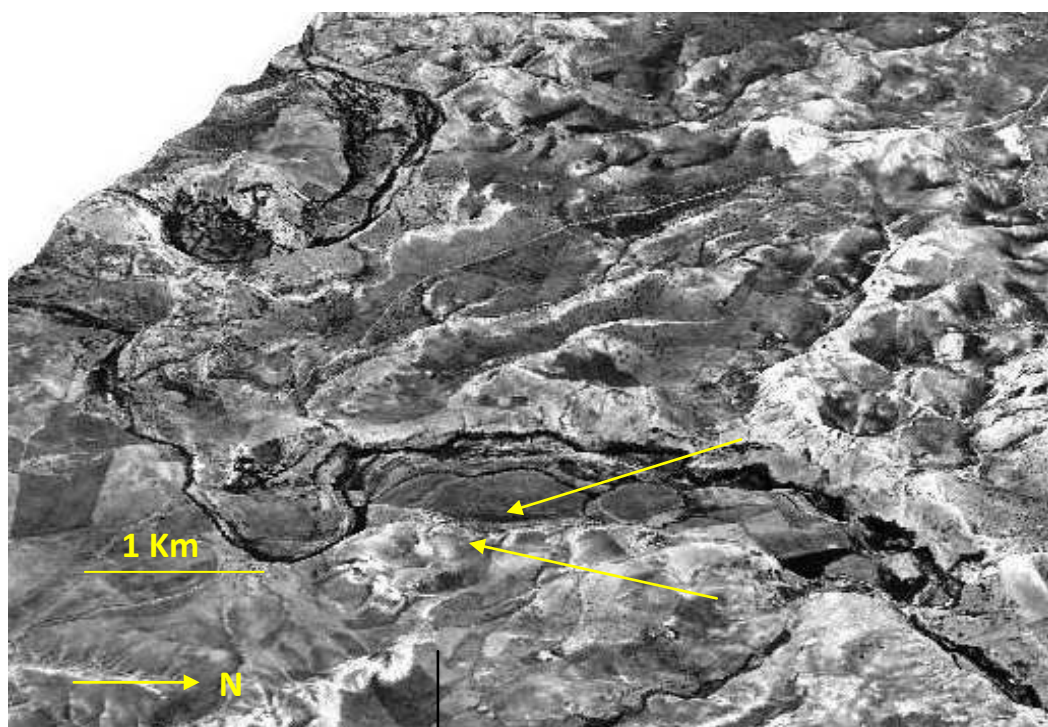


Fig8.a ci-après

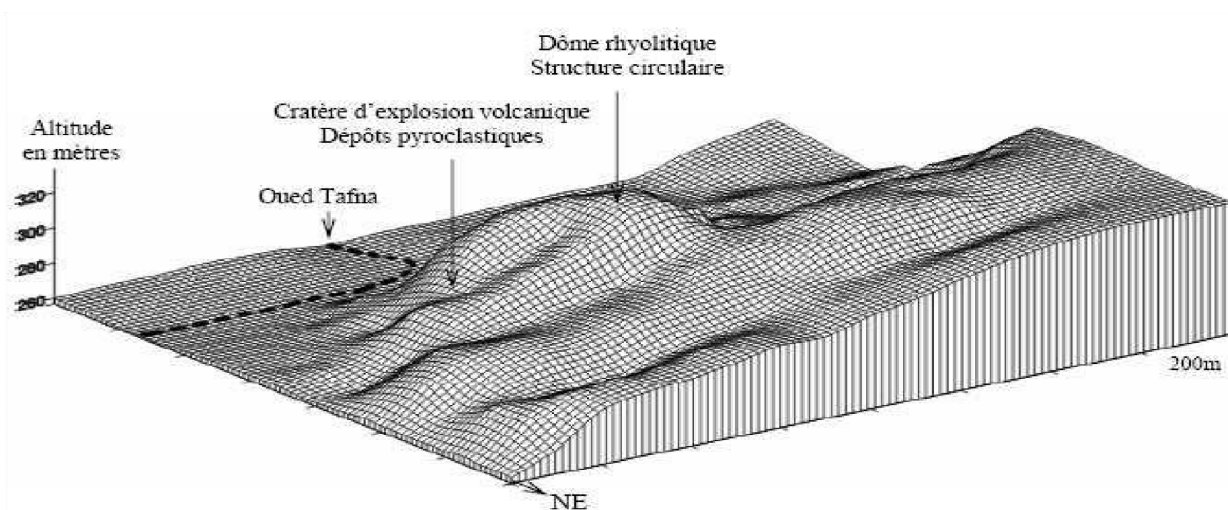


Fig8.b : modèle numérique de terrain représentant le dôme rhyolitique de hammam Boughrara (réalisée par Surfer 7.0).

La vue panoramique montre un système de fracturations concentriques qui épousent la forme générale du dôme, lui conférant ainsi une structure analogue à celle d'un bulbe d'oignon (**figure 9**).

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

La base du dôme est constituée de tufs pyroclastique à structure pseudo-fluidale (soudé à chaud), il s'agit probablement de coulée pyro-ignimbrique (**figure10**).

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

La moitié Est du dôme est déchiquetée par un cratère d'explosion volcanique et remplie par du tuf pyroclastique (**figure 11**).

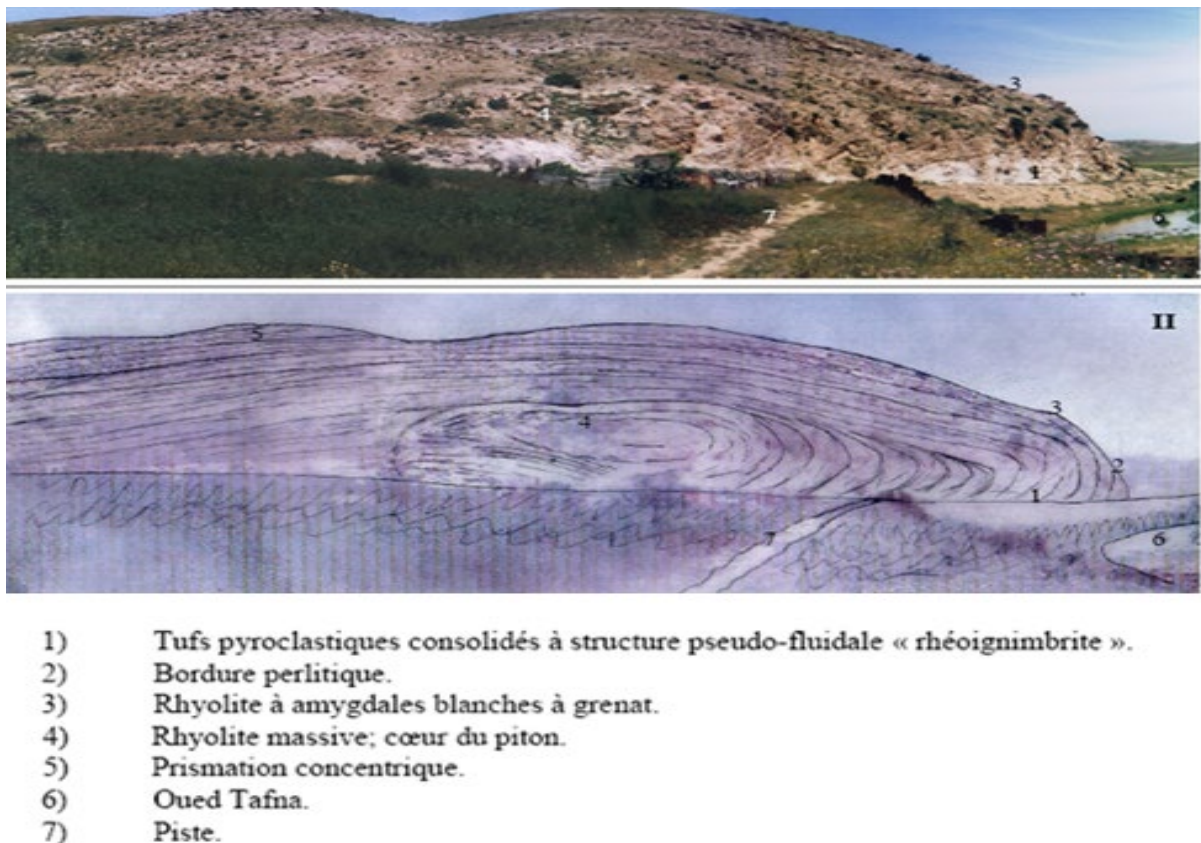


Fig9 : Vue panoramique (Nord-Sud) du piton rhyolitique de Hammam Boughrara avec l'approche schématique (M.A.Boukhedimi, 2003).



Fig10 : Les Tufs consolidée à structure pseudo-fluidale située à la base du dôme rhyolitique

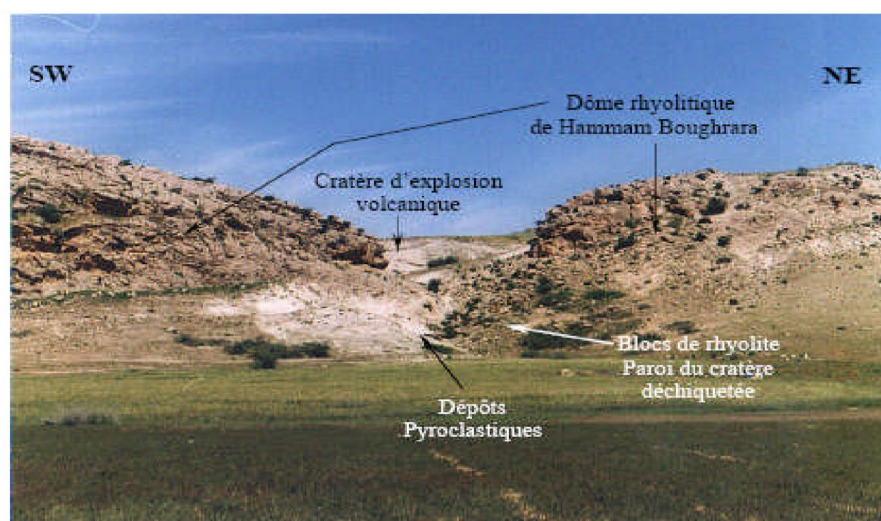


Fig11 : Vue panoramique montrant le cratère de Hammam Bouhrara et les dépôts pyroclastiques associés. (La paroi de ce cratère est localement déchiquetée).

Un volcanisme Mio-Plio-quaternaire intense dans cette région (**figure 12**).



Fig 12 : Le dôme de coulée rhyolitique de Hammam Bouhrara

- **Mostaganem :**

Le scénario du système volcanologique de la région de Mostaganem est identique qu'à de Hammam Bouhrara.

Les appareils volcaniques n'apparaissent pas sur les cartes précédentes à cause de l'érosion marine.

Conclusion à l'étude volcanologique :

La dynamique changeante du volcanisme rhyolitique de Hammam Bouhrara a permis d'avoir une zonalité lithologique (avec des rhyolites massives, fluidales, perlitiques ou à caractères ignimbritiques, des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques).

Il est à noter que cette bentonitisation se développe dans l'immédiat des appareils volcaniques (**figure .13**) 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 qu'à Hammam Bouhrara, il y a un lien entre la bentonitisation et la dynamique volcanique dans le secteur.

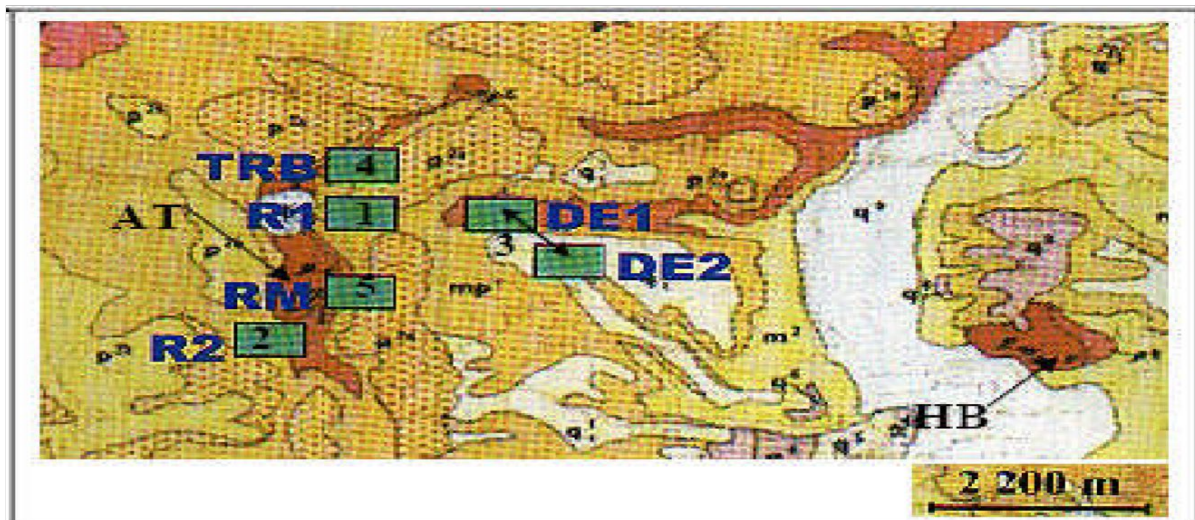


Fig. 13 : Localisation des gisements d'argiles bentonitiques de Hammam Bouhrara.

(1) Roussel, (2) Bab, (3) Dar Embarek, (4) Torba, (5) chantier RM

AT : appareil volcanique d'Ain Torba.

CHAPITRE IV

ETUDE

PETROGRAPHIQUE

1) INTRODUCTION :

A Hammam Bouhrara et Mostaganem on distingue les rhyolites et les pyroclastites. Les rhyolites ont une forme de dôme. La plupart des roches volcanoclastiques et des amas volcanoclastiques se développent autour des dômes rhyolitiques.

L'étude pétrographique d'échantillons prélevés sur le terrain des dômes rhyolitiques a permis de mettre en évidence différents faciès rhyolitiques : Dures, perlitiques, les Ignembrites et les tufs pyroclastiques.

Les faciès rhyolitiques de Hammam Bouhrara et de Mostaganem ont des caractéristiques pétrographiques similaires macroscopiquement et microscopiquement.

2) Définition :

Rhyolite :

La rhyolite est une roche volcanique, généralement leucocrate, rosée ou grise et parfois bleue. C'est une roche à structure microlitique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et biotite.

La roche se caractérise également par une faible teneur en fer et en magnésium. C'est la roche la plus riche en silice trouvée sur terre. Elle est principalement exposée au-dessus de la zone de subduction active, qui est le résultat de la fusion crustale. On la retrouve également dans les produits du rift continental ou de la différenciation basaltique des îles océaniques.

A Hammam Bouhrara elle se présente sur le terrain sous forme de roche dure au niveau des dômes rhyolitiques mais aussi sous forme de fragments de roches rhyolitiques dans les dômes pyroclastiques.

A Mostaganem elle se présente sous forme de fragments de roches rhyolitiques dans les dômes pyroclastiques.

Bentonite :

La bentonite est une argile colloïdale nommée d'après Fort Benton, Wyoming, USA (voir page 13) également connue sous le nom de décharge, elle peut être considérée comme de la montmorillonite, $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_n$ qui est une argile ce qui explique sa capacité de rétention d'eau.

On trouve également d'autres minéraux comme le quartz, les micas, les feldspaths, la pyrite ou la calcite. Les gisements de bentonites sont d'origines volcaniques et hydrothermales.

Bentonitisation :

C'est la transformation des formations volcaniques rhyolitiques formant des dômes et présentant une certaine viscosité en argile bentonitique.

3) Description macroscopique :

➤ **Rhyolite**

Ce sont généralement des roches assez dures et denses, généralement vitreuses ou localement très finement cristallines, elles se caractérisent par une ombre claire (blanc-gris), différente des caractéristiques du quartz et du feldspath, visibles à l'œil nu, et l'oxyde présente une teinte brun foncé ou noir. La biotite a généralement une forme de tige avec une taille millimétrique. Ailleurs, les niveaux pyroclastiques d'argile peuvent être vus alternants du jaune au blanc et aux couleurs grisâtre « **photo 1a, 1b** ». Ces rhyolites peuvent présenter des structures prismatiques, leur état friable témoigne de leur degré d'altération « **photo 2a, 2b** ».

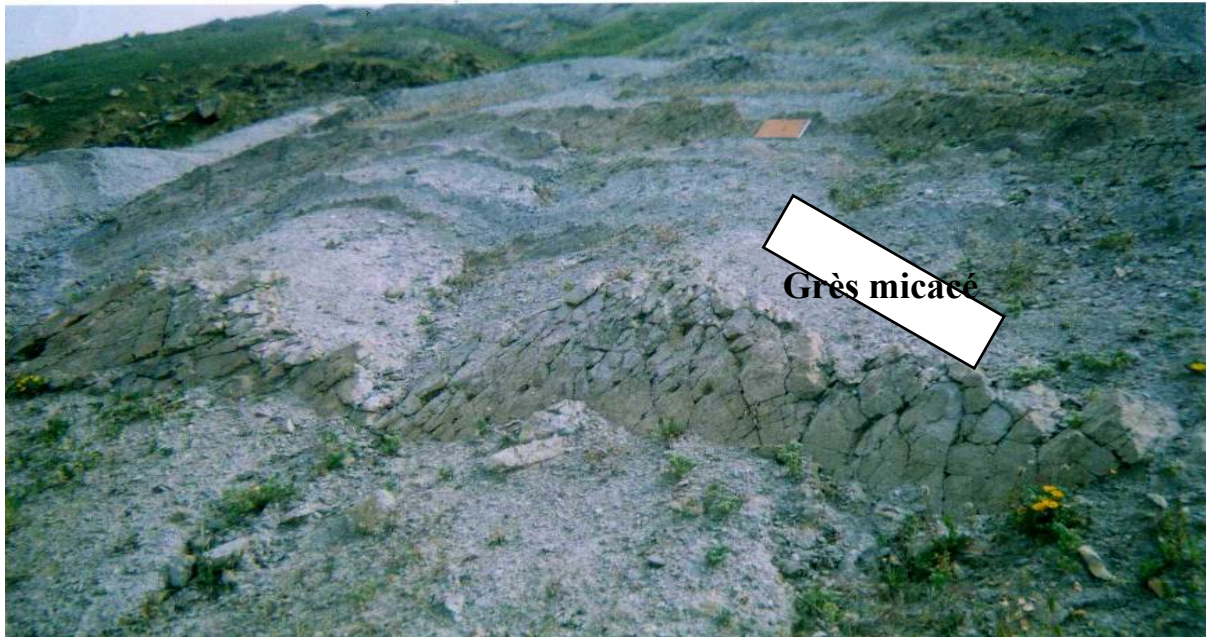
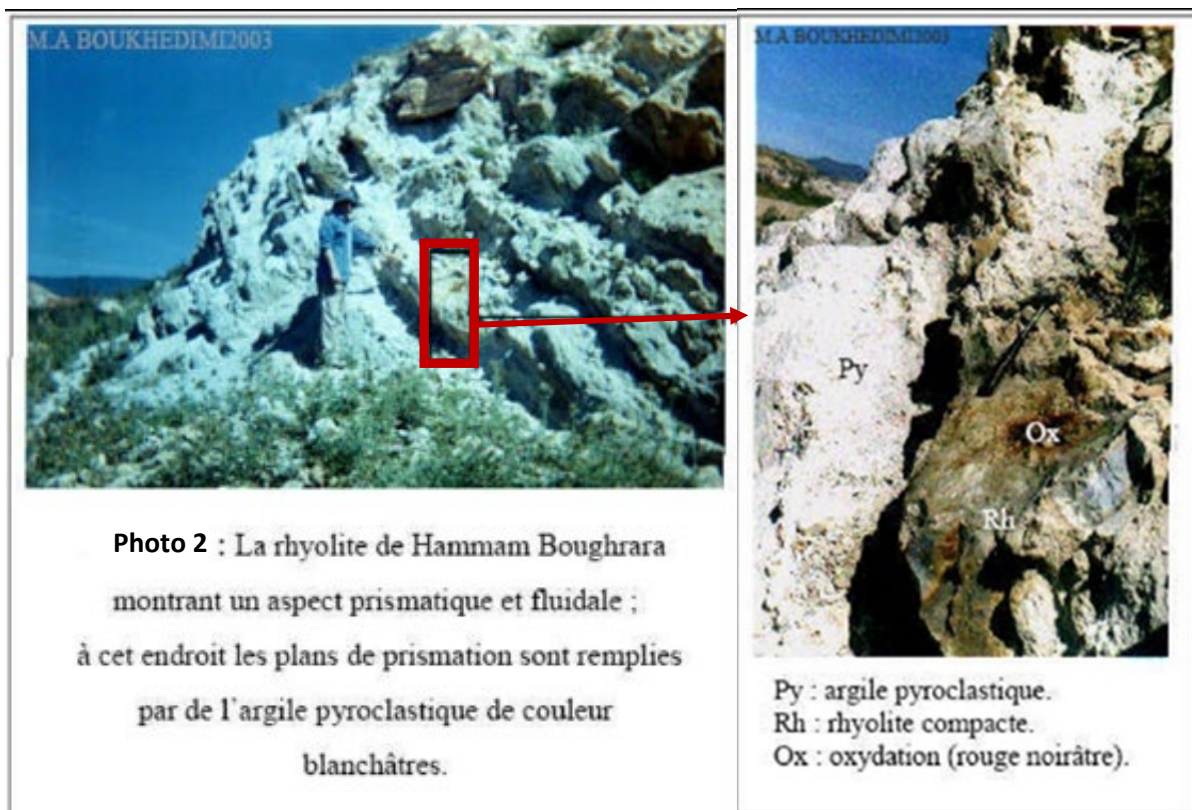


Photo 1.a Couche d'argile bentonitique de couleur gris sombre « Mostaganem ».



Photo 1.b Couche d'argile bentonitique de couleur gris sombre « Mostaganem ».



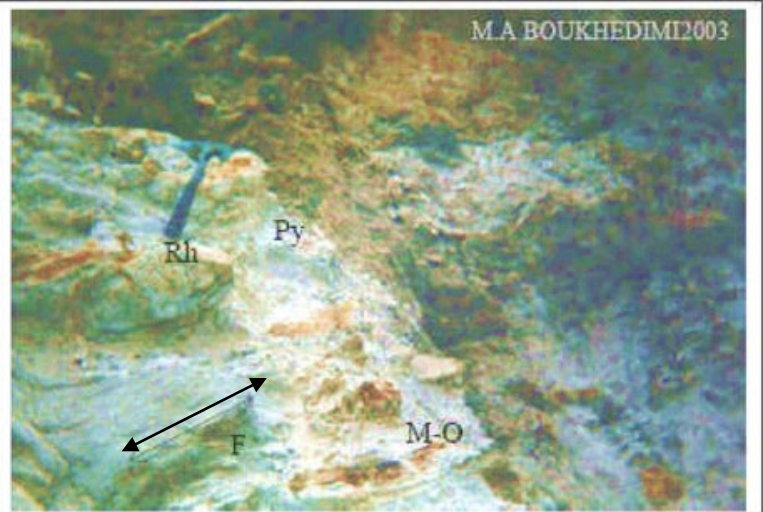
➤ Les perlites

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

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

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

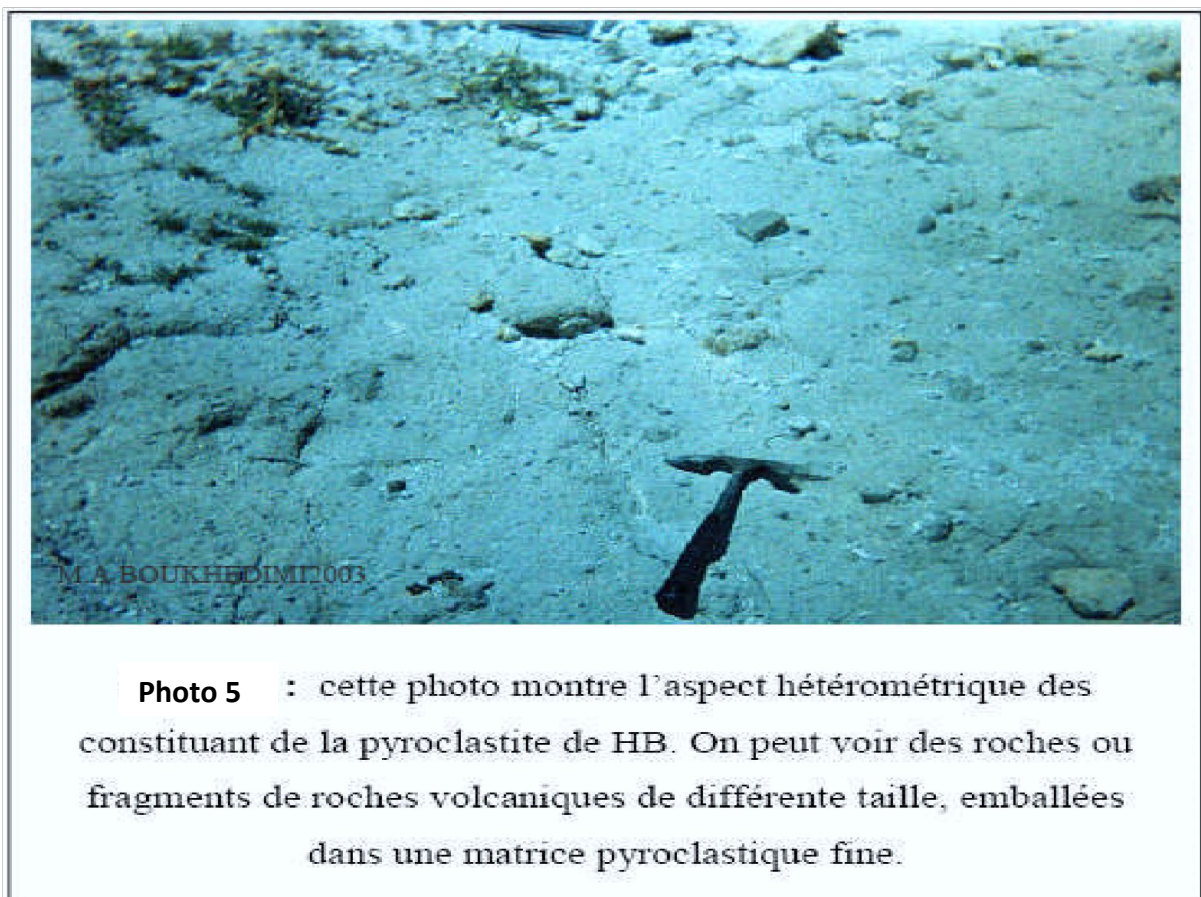
Photo 3 : La rhyolite perlitique du piton de Hammam Bouhrara de couleur gris-banchâtre montrant un aspect fluidale : la fluidalité étant bien soulignée par des minéraux oxydés.



➤ Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques :

Les pyroclastites et tufs pyroclastiques de Hammam Bouhrara et Mostaganem, sont localement bentonitisés (transformées en argile bentonitique). Ils acquièrent une couleur jaunâtre et un touché savonneux. Le dôme de Hammam Bouhrara est peu touché par ce phénomène.

Ces roches ont un aspect chaotique, monogénique (origine volcanique), et hétérométrique plus ou moins bien classées (localement mal classées), mais elles montrent une tendance générale vers une séquence à granoclassement normal « **Photo 4** » (aspect stratifié).



Ces roches apparaissent localement, sous forme de tufs volcaniques de couleur blanchâtre à verdâtre formées essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux, de taille centimétrique à millimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths et d'opales, tous emballés dans une matrice très fine de couleur grise blanchâtre « **Photo5** », plus ou moins altérée en argile.

Ces tufs pyroclastiques peuvent être plus au moins consolidés en pyroclastites. Ces dernières sont généralement friables, mais par endroit elles peuvent être assez dures. Le ciment étant généralement de nature siliceuse (remplissage en calcédoine). Les réserves les plus importantes se localisent vers la surface associées aux cratères volcaniques « **Photo 6** ».

Rh : rhyolite massive.
Py : pyroclastite massive.

Photo 6 :

La pyroclastite massive
associée au cratère de
Hammam Bouhrara.



➤ Tufs consolidés massifs (ignimbrites) :

Une ignimbrite est une roche formée de débris de lave acide issus d'une nuée ardente et soudés avant leur refroidissement, mélangés à une matrice vitreuse. Elle a un aspect de pierre ponce. Elle est principalement de couleur gris foncé à gris-bleu.

Le mot ignimbrite vient du latin, d'ignis c'est le feu, et imber c'est la pluie. Elle a souvent la composition d'une roche volcanique acide (rhyolite, dacite). Elle est principalement composée de quartz, de sanidine, d'albite et de biotite

Dans les tufs consolidés massifs à structure pseudo-fluidale de Hammam Bouhrara« **photo 7** », Leurs caractères intermédiaires entre une lave et une pyroclastite et leur texture « ignimbritique » permettent de définir une coulée d'ignimbrite à Hammam Bouhrara.



Photo 7 : tufs consolidés massifs
à structure pseudo-fluidale.

L'étude pétrographique des échantillons prélevés au niveau des différentes couches d'argiles bentonitiques étudiées Dans la région de M'zila à Mostaganem et au niveau du dôme bréchique (partie perisynclinale orientale du gisement), nous a permis de mettre en évidence les faciès suivants : les grès micacés, les argiles silteuses et les calcaires mudstones.

Macroscopiquement les grès micacés et les argiles silteuses se ressemblent mais ils diffèrent par la taille des grains. Tous les échantillons sont friables, de couleur gris sombre, sableux et riche en mica noir.

4) **Description microscopique :**

➤ **Les Rhyolites :**

a) **Les textures :**

Au microscope, les rhyolites de Hammam Bouhrara et Mostaganem montrent plusieurs textures, caractérisées par des phases vitreuses et des phénocristaux de quartz, feldspath, biotite et d'opakes, dans une mésostase composée principalement de verre volcanique.

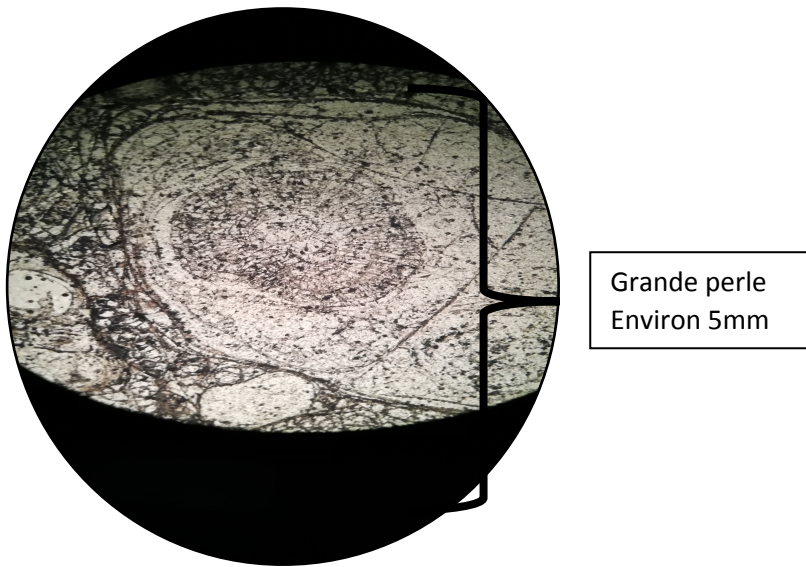
Cette texture est très diversifiée et peut être :

- Texture hyaline porphyrique fluidale : l'orientation des microlites et leur agencement autour des phénocristaux donnent parfois à la roche un aspect fluidale. Cette texture se localise essentiellement à la périphérie des dômes.

- Texture hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale : Le verre rhyolitique est sillonné par des fissures de retrait courbes dont l'intersection délimite des « perles » approximativement sphériques « **Lame2** ». La fluidalité est marquée par un soulignement régulier des microlites. Cette texture perlitique se trouve essentiellement à la bordure des dômes.

La mésostase peut être aussi localement, dans les rhyolites massives, essentiellement vers le cœur du dôme.

- Texture hyaline porphyrique à tendance Cryptocristalline : la mésostase est partiellement envahie par une fine mosaïque de quartz cryptocristallin et de feldspath.
- Texture hyaline porphyrique à tendance Microlitique : l'abondance des microlites dans la phase vitreuse donne un aspect microlitique par endroit et cela parfois au sein d'une même lame. On parle alors d'une texture hyaline porphyrique à tendance microlitique.



Lame 1 vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaline à grande perlites bentonitisés.

On y trouve parfois de grandes perlites qui apparaissent généralement au premier contact avec les fluides hydrothermaux« **Lame1** ».

b) La mésostase :

Les phénocristaux de différentes tailles sont imprégnés dans une mésostase d'aspect variable de vitreux, à tendance microlitiques ou microcristallins. Il y a une variété de couleurs, généralement brun foncé à incolore, parfois colorées par des particules opaques ou brun rougeâtre (Hydroxyde de fer). Cette mésostase représente la quasi-totalité de la roche et fréquente dans les rhyolites de Hammam Boughrara et Mostaganem.

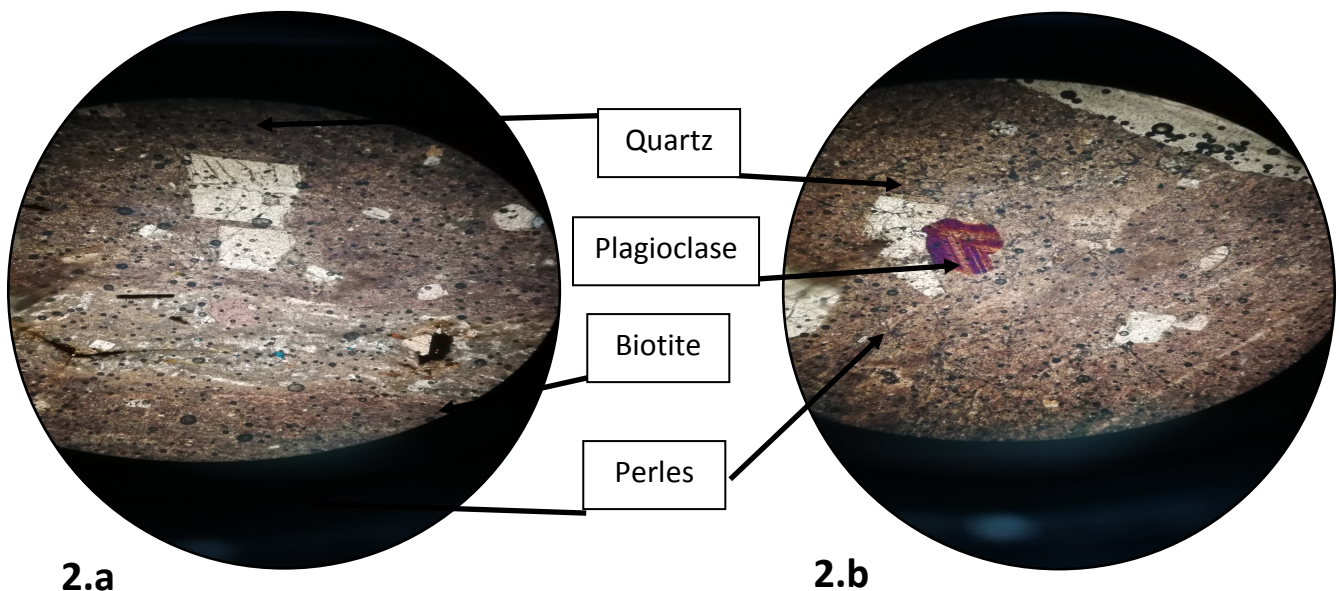
La mésostase de la rhyolite qui forme le périmètre du dôme est une structure sphérique de perlite avec un contour brun foncé sous la lumière naturelle, cette mésostase

est traversée par des veinules de recristallisations courbées de couleur brune séparant les perles vitreuses.

c) Les phénocristaux :

• Le quartz :

C'est en raison de sa résistance à l'altération que le quartz est le minéral le plus dominant, de forme anguleuse « **Lame 2** » à sub anguleuse, rarement arrondie ou sub automorphe, souvent craquelé d'origine rhyolitique, il peut s'observer sous forme de grains polycristallins à extinction uniforme ou ondulante.



Lame2 : Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaloporphyrrique perlitique à tendance fluidale

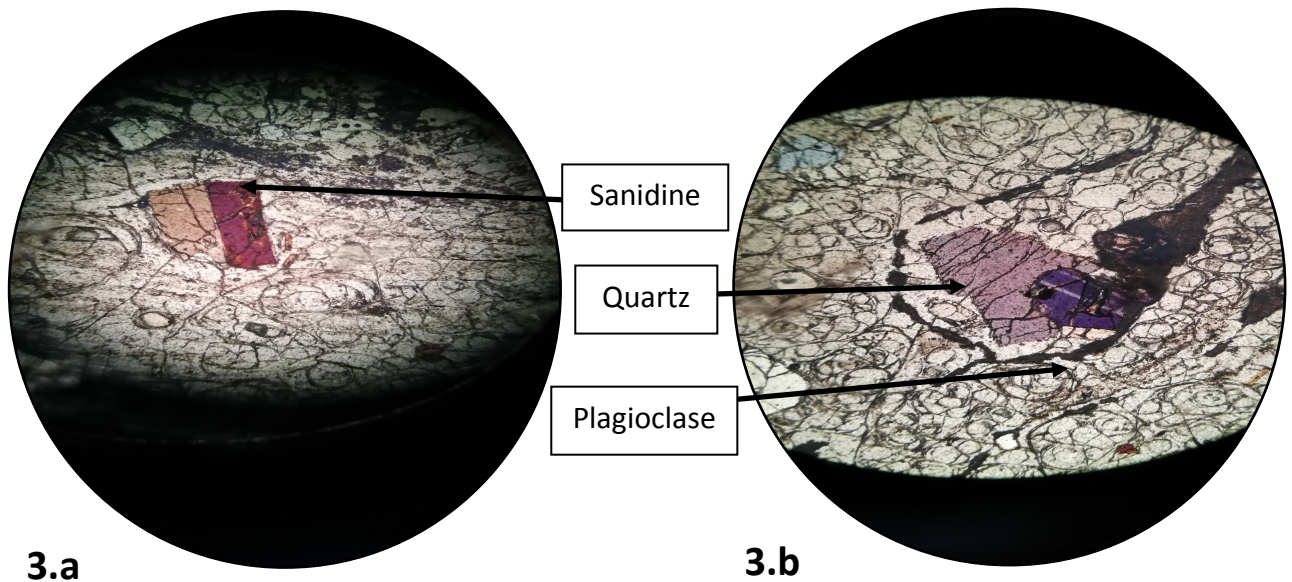
- Cette lame mince représente une Rhyolite avec une fluidalité apparente et des perles (Rhyolite fluidale perlitique) qui est une preuve du contact avec l'eau.

• Les feldspaths :

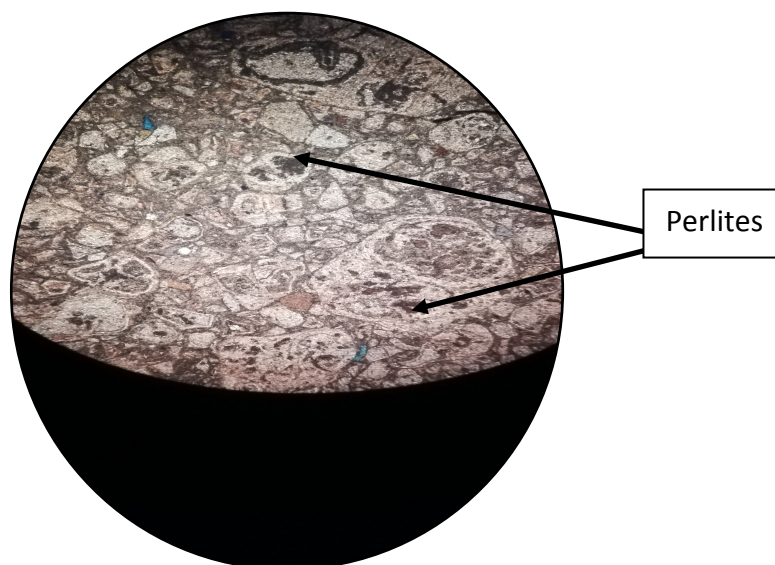
Les feldspaths constituent la phase granulaire la plus importante après le quartz. Ils sont représentés surtout par les plagioclases qui sont bien reconnaissables grâce à leur macle polysynthétique plus dominante « **Lame 2,3b** », ou à la présence de macle de Carlsbad.

Les cristaux de plagioclases sont le plus souvent zonés et craquelés. Ils sont dispersés dans la matrice, dans certaines lames, on observe un accollement de plusieurs individus.

Suite à leur fragilité et leur grande altérabilité, généralement les feldspaths ne conservent pas leur structure caractéristique, ce qui n'est pas le cas des grès du gisement de M'zila où les plagioclases sont frais. Dans quelques lames, on observe de l'orthose et de la sanidine « **Lame 3.a** ».



Lame 3 Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaloporphyrique perlitique a tendance fluidale



Lame 4 Vue microscopique de la rhyolite de Mostaganem à texture hyaline porphyrique perlitique

- **Les plagioclases :**

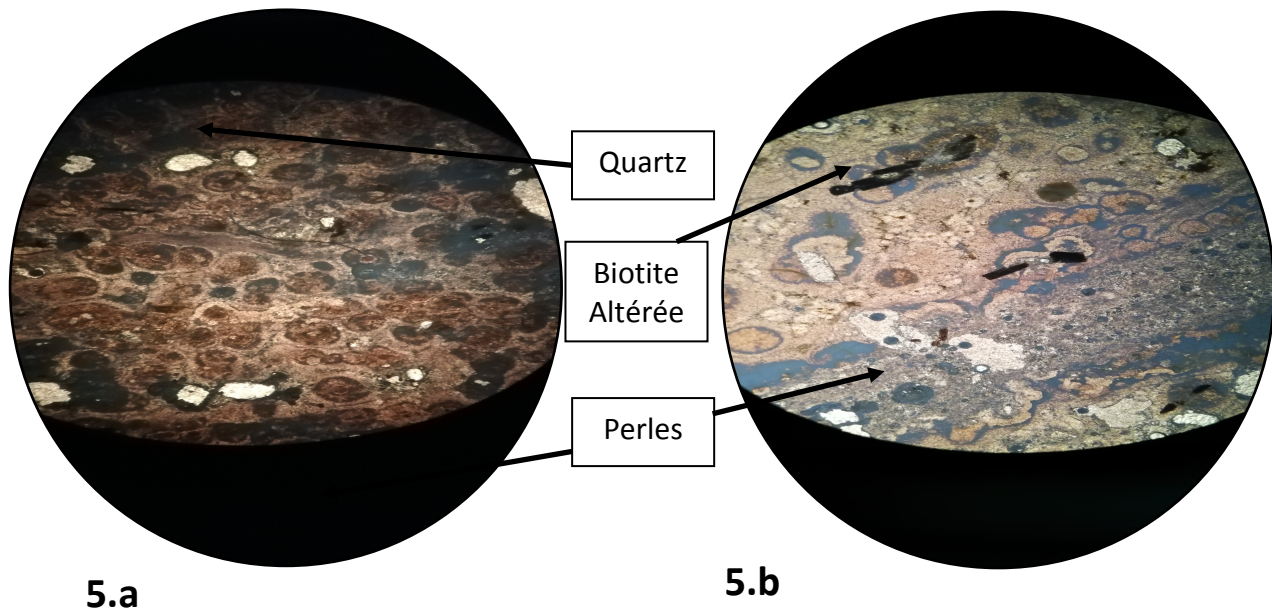
Ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou associés à d'autres individus de plagioclase, de quartz, ou de biotite. Le zonage n'est pas fréquent. Comme inclusions, le plagioclase est parfois intégré dans le quartz « **Lame 3** » ou englobe des minéraux comme les minéraux opaques.

- **Les feldspaths potassiques (Sanidine) :**

La sanidine (feldspaths potassiques à fissures d'origine thermique) est beaucoup moins abondante. Les plus gros individus atteignent une taille supérieure au millimètre. Ils sont généralement automorphes, à bords réguliers, ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou bien associés à des plagioclases, et parfois on peut rencontrer quelques inclusions de quartz et de biotite.

• **Les micas :**

Ils sont représentés par la biotite « **Lame 2.a** », et comme les plagioclases la biotite est presque toujours fraîche. Elle est très répandue, de taille variable, elle se développe en baguettes ou en fines paillettes, de couleur brun clair à brun foncé, certaines baguettes sont en voie de chloritisation ou d'oxydation. Parfois la biotite est totalement oxydée ou ces contours sont soulignés par des oxydes-hydroxydes de fer.



Lame 5 Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara à texture hyaloporphyrique perlitique bentonitisé à tendance fluidale

- Biotites :

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

d) Séquence de cristallisation :

La cristallisation des phénocristaux a commencé avec l'apparition de quelques minéraux opaques rares, parfois piégés les plagioclases et des biotites, puis des plagioclases et des biotites ont continué à apparaître, suivis de la sanidine. Ces derniers sont parfois piégés dans du quartz « **Lame 9** » qui par son apparition achève la dernière étape de cristallisation. Quelques microlites de feldspath alcalin et de quartz apparaissent dans la mésostase avant la solidification totale de la lave.

e) Les altérations:

L'argilisation, en particulier la bentonitisation, est le changement le plus important des altérations dans les rhyolites des régions d'étude.

L'hydratation de certains minéraux conduit à leur altération en donnant des minéraux opaques « **Lame 5** » "cas de la Biotite".

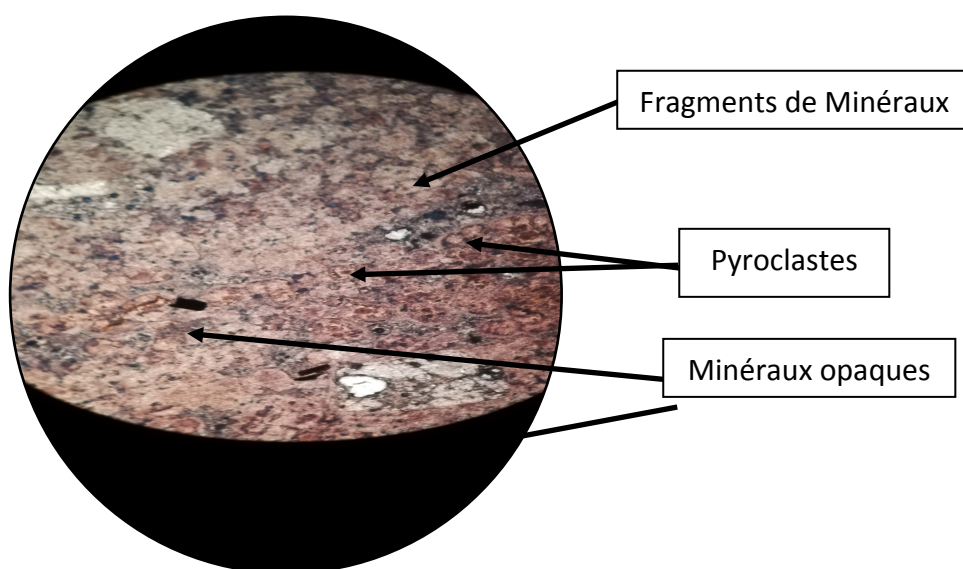
➤ Les pyroclastites:

Les échantillons de roches pyroclastiques de Hammam Bouhrara et Mostaganem montrent une phase cohésive (Phase de liaison), presque entièrement représentée par une matrice d'argile volcanique. Contenant des minéraux, des fragments de minéraux et de roches qui ont généralement les mêmes propriétés.

1) La phase de liaison :

Dans les Pyroclastes de Hammam Bouhrara « **Lame 6** » et Mostaganem « **Lame 7** », la matrice domine et le ciment est rare. Il est principalement composé de cendres volcaniques, de couleur généralement brun clair à brun foncé, parfois avec des particules d'hydroxyde de fer rouge-brun et d'opaque opaques. Cette matrice perd souvent sa couleur originelle au profit des couleurs d'altérations. La bentonitisation lui donne une couleur jaunâtre.

Les ciments sont rares, mais il en existe de nombreux types. En effet, les tufs pyroclastiques présentent généralement une phase de liaison complexe constituée d'une matrice et de ciment aux propriétés différentes.

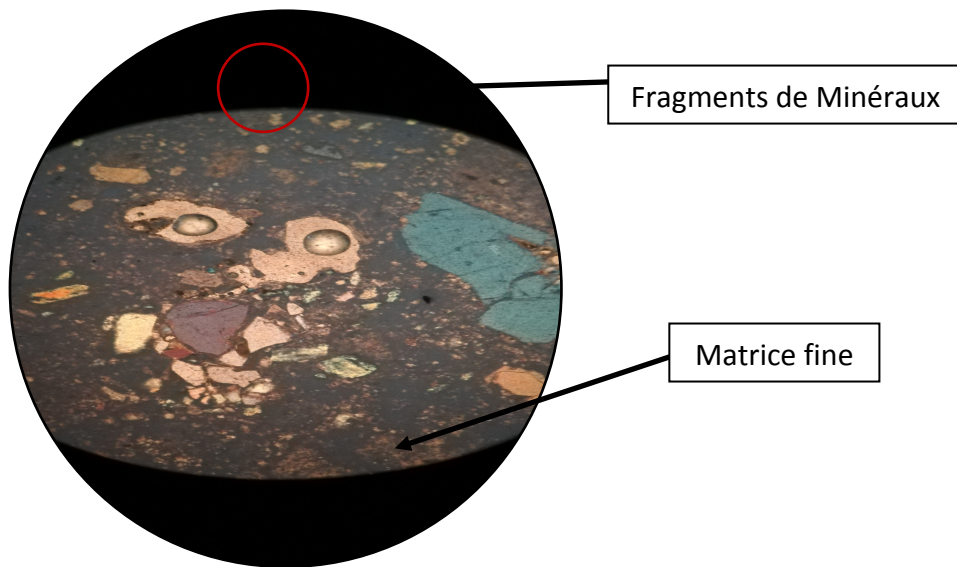


Lame 6 Vue microscopique de la pyroclastite de Hammam Bouhrara

2) La phase clastique :

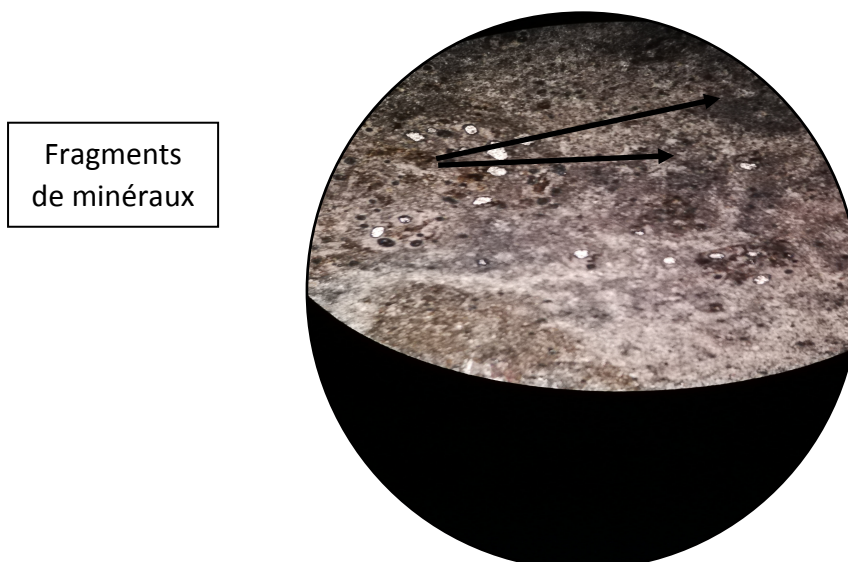
Elle est composée essentiellement de minéraux et fragments de minéraux ou des débris (surtout des quartz et des feldspaths), des fragments de verre volcanique et de roches rhyolitiques (parfois même sédimentaires) presque toujours en esquille anguleux (brèches) ; il s'agit d'éclats de différentes tailles.

Le pourcentage de la phase clastique (ou fréquence) est très variable ; en effet, la phase clastique peut constituer jusqu'à 50% du volume totale de la roche, comme elle peut être quasiinexistante (localement), dans ce cas on ne voit sur le microscope que la matrice argileuse. La phase clastique montre des éléments anguleux mal classés microscopiquement témoignant ainsi d'un transport court. Ces éléments ne montrent ni fluidalité ni orientation préférentielle. Le mode d'arrangement de ces éléments dans la matrice donne à ces roches une texture vitroclastique caractéristique des roches tufacées.

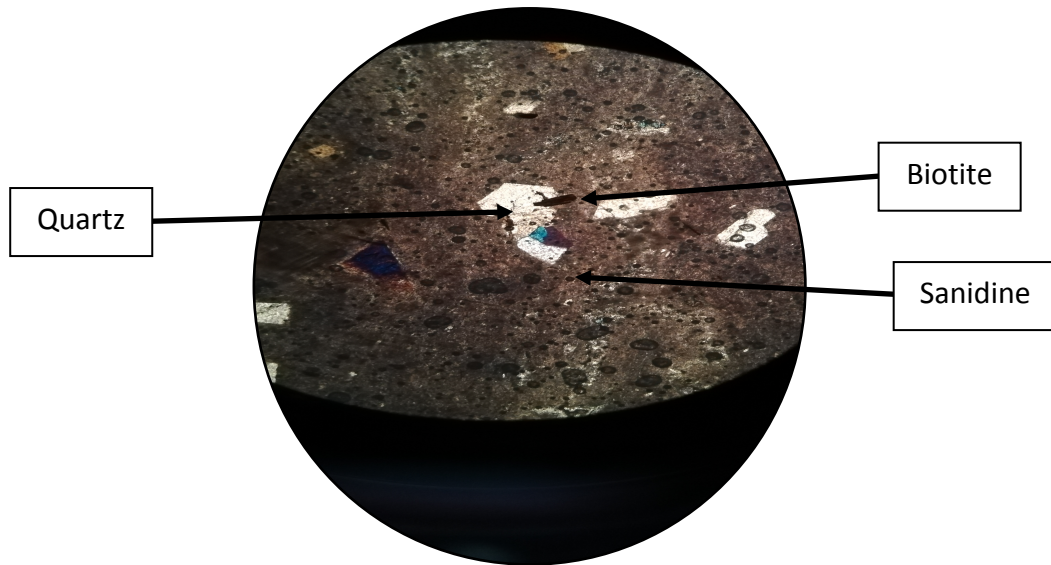


Lame 7 Vue microscopique de la pyroclastite de Mostaganem

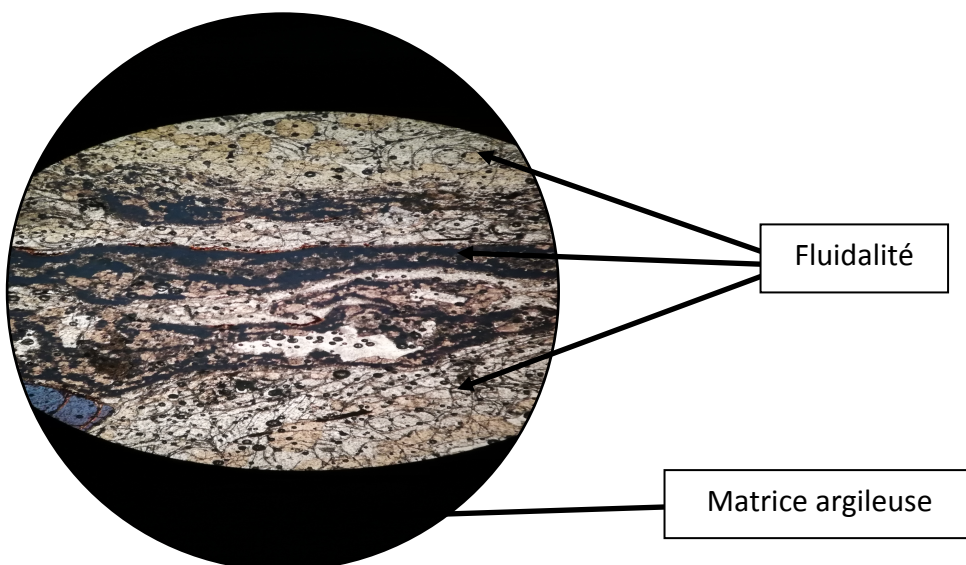
- Dans la région de Mostaganem on y trouve une matrice fine causé par le transport avec des éléments fins, Bentonitisé, fluidalité apparente ou les pyroclastites se développent.



Lame 8 Vue microscopique de la pyroclastite de Mostaganem



Lame 9 Cas où la sanidine et la Biotite sont englobées par le Quartz
(Vue microscopique de la rhyolite de Hammam Bouhrara)



Lame 10 Cas de fluidalité apparente
(Vue microscopique de la rhyolite de HammamBouhrara)

➤ **Cas des tufs consolidés massifs (ignimbrites) :**

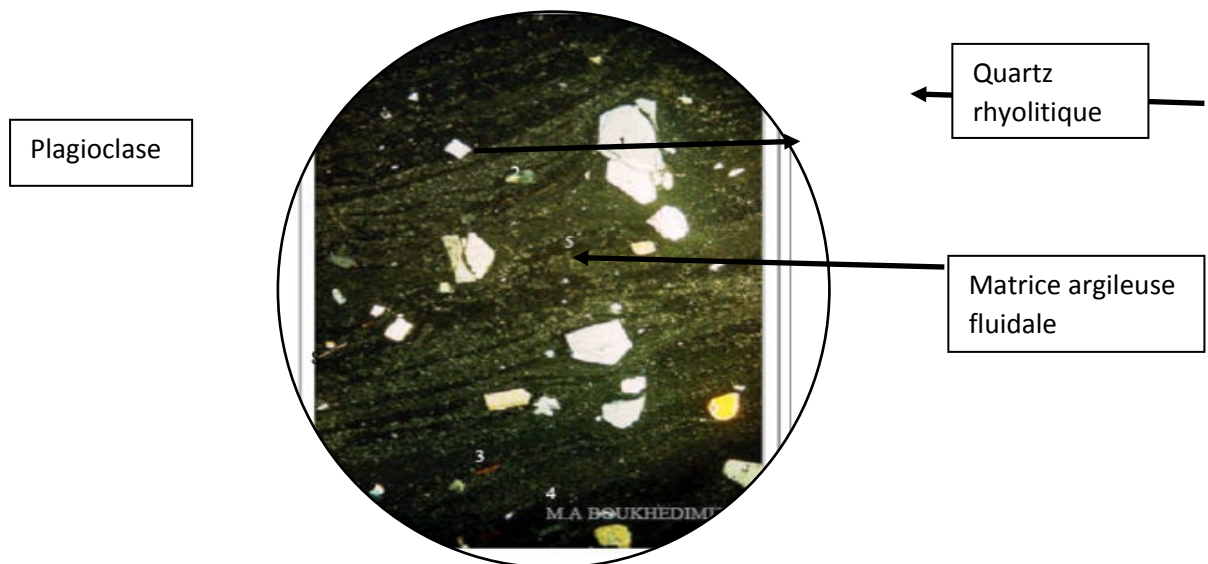
Dans les tufs consolidés massifs de Hammam Bouhrara, la structure vitreuse initiale des roches pyroclastiques a complètement disparu et une lentille plate uniforme a été obtenue« **Lame 11** ».

Ces Tufs sont soudés thermiquement à grande température, et leur caractéristique intermédiaire entre la lave, les pyroclastes et leur texture ignimbritique permet la définition d'une coulée d'ignimbrite à Hammam Bouhrara et Mostaganem.

Ces tufs présentent les mêmes éléments que ceux des pyroclastites la matrice constituée de cendres et poussières volcanique englobe :

- des minéraux ou fragments de minéraux (essentiellement du quartz et des feldspaths avec quelque rare biotites et d'opiques) souvent anguleux et craquelés, voire complètement broyés et montrant une certaine orientation.
- du verre volcanique et des fragments de roches rhyolitiques de différentes tailles ; presque toujours aplaties, exprimant ainsi une orientation préférentielle.

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



Lame 11 Vue microscopique de tufs consolidés massifs (ignimbrites) de Hammam Bouhrara.

5) CONCLUSION :

L'étude pétrographique a montré que les observations des lames minces provenant de divers échantillons de Hammam Bouhrara et Mostaganem indiquent clairement que la bentonitisation se développe dans l'argile (matrice), les microfissures, la porosité, plans de fluidalité et les perlites.

Ce qui fait que la bentonitisation touche en grande partie les rhyolites perlitiques et fluidales en raison de leur matrice argileuse, les roches pyroclastiques sont plus sensibles à l'érosion par la bentonitisation. Donc on a une relation entre les faciès rhyolitiques et la bentonitisation par leur lithologie.

L'étude microscopique des échantillons du gisement de M'zila (Mostaganem) nous a montré que la forme anguleuse des grains de quartz et la fraîcheur des feldspaths et de biotite indiquent que le matériel terrigène n'a pas subi un long transport.

La zonation des plagioclases et les quartz rhyolitiques confirment que le matériel est d'origine volcanique.

Les formations rhyolitiques dans les deux zones sont représentées par un dôme ; ces roches généralement grises, rouges ou noires sont constituées de phénocristaux dans une mésostase, généralement hyaline. Cependant, les changements observés ne sont liés qu'aux textures.

CHAPITRE V

ETUDE

GEOCHIMIQUE

- **Introduction :**

Hammam Bouhrara et Mostaganem ont des terrains volcanogènes bentonitisés

Les études de minéralogie et de géochimie ont confirmé ces données, entre autres :

- Trouvez la température de mise en place du dôme de rhyolitique.
- En comparant le chimisme et la minéralogie de ces 4 dômes rhyolitiques, il peut être confirmé qu'il s'agit du même magma qui provenait de quatre dômes.
- Confirmer que la bentonite affectera le terrain volcanique rhyolitique et découvrez les changements qui affectent ces sols.
- Explique le principe de la signature d'isotopique (ex : H₂O) qui rapprochent les terrains bentonitisés de la source de **H.B** et **MOST**.

- **Minéralogie :**

Les analyses chimiques des éléments majeurs dans les minéraux sont réalisées à l'aide de la microsonde électronique d'IFREMER.

Ces analyses ont été réalisées dans les conditions opératoires suivantes : énergie d'excitation 15 Kv, intensité du courant 20 nano-ampères et temps de comptage compris entre 20 et 30s.

Les principales phases minérales analysées sont :

➤ Les feldspaths (plagioclases et sanidine) : Les plagioclases constituent la phase minérale prédominante. Les cristaux montrent le plus souvent un zonage normal et rarement oscillatoire. La composition générale est : albite-oligoclase (~An₂₀). Les feldspaths alcalins sont du type sanidine. L'équilibre existant dans ces rhyolites entre plagioclases et feldspaths alcalin permet de déterminer la température de mise en place des dômes rhyolitiques.

➤ Les biotites : se présentent en microlites et en phénocristaux.

➤ Les tufs pyroclastiques : sont constitués essentiellement de montmorillonite.

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

Nomenclature et classification des laves :

Les affinités magmatiques et chimiques sont illustrées par des diagrammes de classification et de variation, construits sur la base de la composition chimique –Tableau 1 (Hammam Bouhrara) et tableau 2 (Mostaganem) :

Ech	LOI	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)
Rh-S	3,1801	77,8708	0,0196	9,9372	0,735	0,0294	0,1176	0,4214	2,9694	3,3418	0,0392
BHBC1	8,7661	66,5224	0,0294	15,2782	0,8036	0,049	1,3034	0,9016	2,2442	4,116	0,0294
HBC1	8,8151	66,7674	0,0294	15,4252	0,931	0,049	1,3426	0,9114	2,156	4,1258	0,0196
RHB2	3,4368	80,4672	0,0672	9,4272	0,912	0,0192	0,0576	0,384	2,8704	2,8992	0,0288
HBC2	8,63785	67,9388	0,0582	14,1038	1,0573	0,0776	1,358	0,9603	3,1719	2,7063	0,0388
RSHBC1	1,4798	77,5082	0,098	11,8384	0,98	0,0784	0,147	0,5194	3,2144	3,9298	0,049
AB2C	7,3008	69,6	0,0864	13,776	1,0752	0,0768	1,1424	0,5664	3,6	2,976	0,048
BHB2C	12,054	62,7984	0,0392	15,5526	0,8428	0,0294	2,6166	1,421	2,3226	3,3026	0,343
RHB1	3,9151	72,8336	0,1078	13,2202	0,9702	0,0882	0,1666	0,5292	3,92	4,0768	0,049
IGHB1	3,9396	71,295	0,0196	13,622	0,8722	0,0686	0,539	0,5586	4,1748	3,4888	0,049
Bento HB1	8,4378	67,2574	0,0784	15,3566	1,0584	0,049	1,2936	0,8624	2,401	4,0964	0,049
PB-HB1C	8,4917	66,9144	0,0294	15,3076	1,1466	0,049	1,2642	0,882	2,3226	4,2826	0,0392
RCp,a,l	3,3173	78,6744	0,0098	9,261	0,9702	0,0098	0,3626	0,3626	3,2046	3,087	0,1078
BHB2C	5,8408	70,2268	0,0196	13,6122	1,323	0,0784	1,1858	0,6762	3,969	3,2928	0,5586
RHB1	3,0086	78,9586	0,0196	10,4958	0,8918	0,049	0,1666	0,4508	3,0772	3,3712	0,0294
REHBC1	1,536	74,9664	0,0672	12,7776	1,3536	0,0576	0,5376	0,5664	4,08	4,1376	0,192
IgR	3,038	78,6744	0,0098	9,9078	0,9506	0,0294	0,2548	0,441	3,2536	3,2928	0,1176

Tableau 1 : Composition chimique des échantillons d'argiles bentonitique de la région de Hammam Bouhrara

Eléments	2	4	1A	2A	6	9	10	11	13	1S	2S	5S
SiO ₂	62.5	62.47	58.98	64.35	72.06	65.78	71.22	66.14	71.19	61.27	71.95	56.92
Al ₂ O ₃	17.2	16.48	14.77	13.63	12.86	13.53	12.81	12.84	13.76	17.82	13.10	14.32
Fe ₂ O ₃	3.79	4.52	4.59	4.06	2.08	3.18	2.01	2.72	2.55	3.47	2.42	4.45
CaO	2.65	2.64	2.87	2.93	2.51	3.29	0.75	3.38	0.97	2.18	0.96	5.7
MgO	3.47	3.38	2.65	2.30	1.80	2.25	1.02	2.27	3.13	3.79	2.95	2.54
K ₂ O	1.81	2.55	2.33	2.46	0.99	1.45	2.23	1.39	0.82	1.08	0.77	2.24
Na ₂ O	1.87	1.59	1.57	3.60	1.22	2.05	2.39	2.38	0.94	1.72	0.88	1.57
SO ₃	0.14	0.12	0.32	0.15	0.22	0.71	0.11	0.58	0.14	0.51	0.07	0.33
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.12	0.1	0.06	0.08	0.04	0.07	0.05	0.07	0.04	0.11
TiO ₂	0.8	0.66	0.58	0.59	0.21	0.33	0.17	0.28	0.27	0.30	0.26	0.56
PF	5.71	8.74	8.22	5.84	5.98	7.36	7.25	5.15	6.19	7.79	6.60	11.25

Tableau 1: Composition chimique des échantillons d'argiles bentonitique de la région de M'zila.

Projetés sur la figure (1) qui correspond à la Classification de Cox et al. Positionnée sur un diagramme de Harker alcalins-silice, les laves de Hammam Boughrara et Mostaganem étudiées évoluent dans le champ des rhyolites Calco-alcalines. Ces laves présentent des caractères géochimiques acides ce qui atteste d'un degré très poussé, de différenciation.

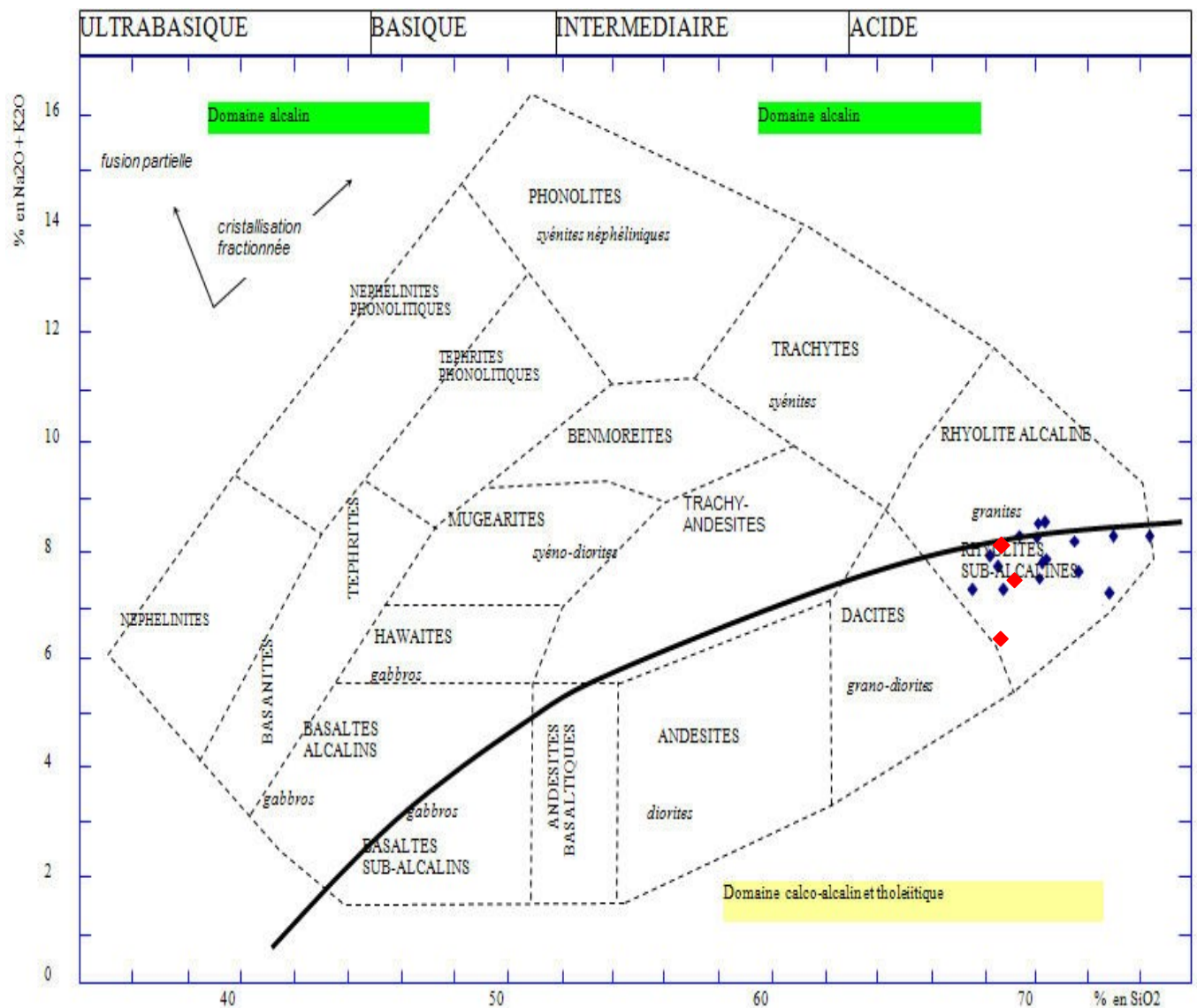


Fig.1 : Classification de COX et al. Positionnée sur un diagramme de HARKER alcalins-silice

- ◆ Rhyolite Calco-alcaline de Mostaganem
- ◆ Rhyolite Calco-alcaline de Hammam Boughrara

Comparaison de la géochimie : (mise en évidence des changements géochimiques dans les faciès bentonitisés) :

1) Les éléments majeurs :

Dans les bentonites Hammam Bouhrara et Mostaganem, les changements les plus importants d'éléments majeurs sont : le silicium (SiO_2), l'aluminium (Al_2O_3), le calcium (CaO) et le magnésium (MgO). En réalité ; nous avons observé que ces éléments évoluaient tous régulièrement, de faciès sain au faciès bentonite.

❖ **HAMMAM BOGHRARA :**

Deux diagrammes nous permettent d'identifier et de séparer avec précision les faciès bentonitisés des faciès sains :

a) Le diagramme $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$:

Ce diagramme permet de distinguer les faciès bentonitisés des faciès sains à Hammam Bouhrara avec une grande précision. En fait, tous les faciès bentonitisés ont des valeurs d' Al_2O_3 supérieures à 15% et des valeurs de SiO_2 inférieures à 67%, tandis que les faciès sains ont des valeurs d' Al_2O_3 inférieures à 11% et des valeurs de SiO_2 supérieures à 77%. Il y a des termes mitigés.

Par conséquent, le diagramme montre que la diminution périodique de SiO_2 s'accompagne d'une augmentation périodique d' Al_2O_3 , et cela depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

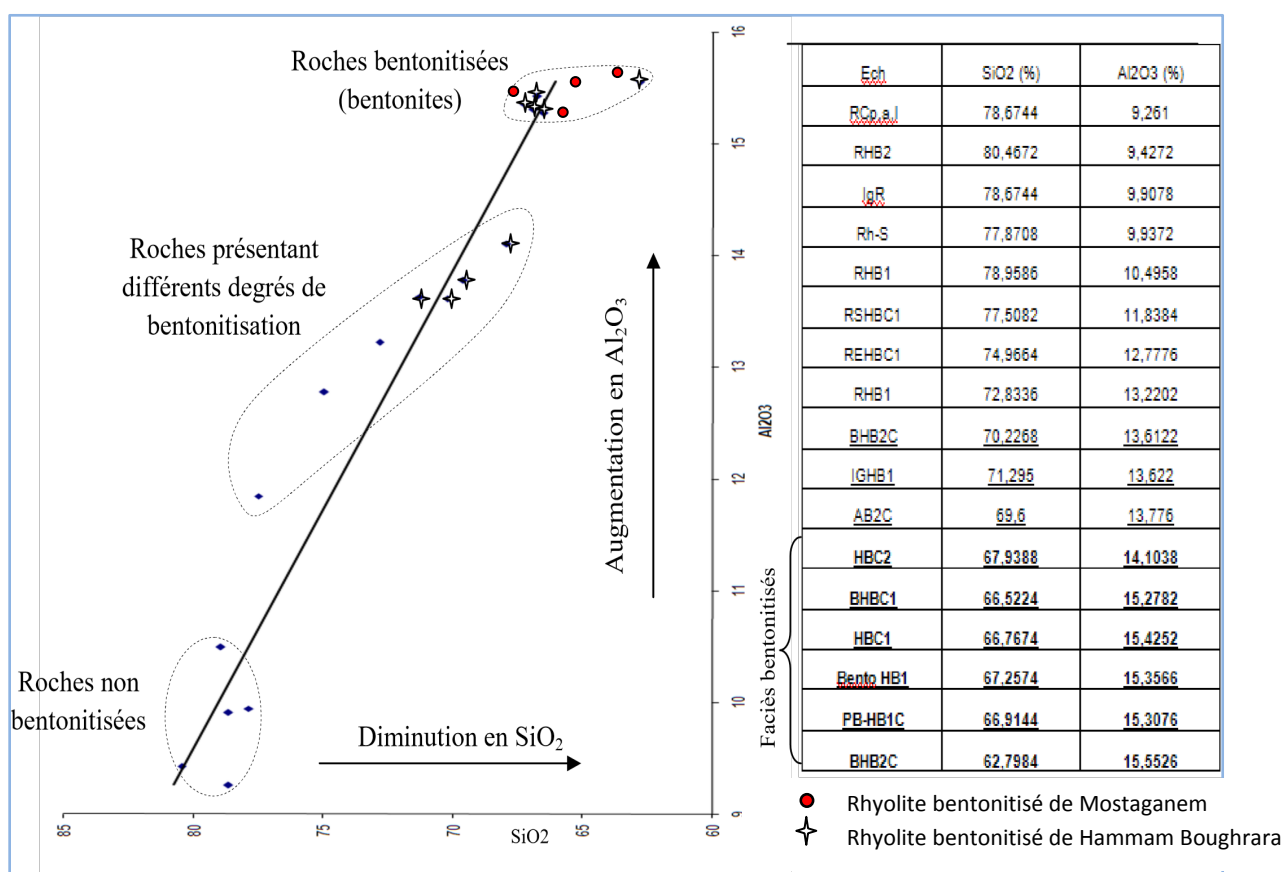


Fig.2 : Diagramme SiO₂/Al₂O₃ permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara et Mostaganem.

b) Le diagramme MgO/CaO :

Le diagramme MgO / CaO est un autre diagramme qui nous permet de distinguer avec précision la phase de bentonite de Hammam Boughrara et Mostaganem. En réalité ; sur cette figure, tous les faciès bentonitisés ont des valeurs de MgO supérieures à 1,2%, des valeurs de CaO supérieures à 0,8%, tandis que les faciès sains ont des valeurs de MgO inférieures à 0,4% et des valeurs de CaO inférieures à 0,6%. Ce diagramme montre également que depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés, une augmentent rapidement en MgO puis CaO.

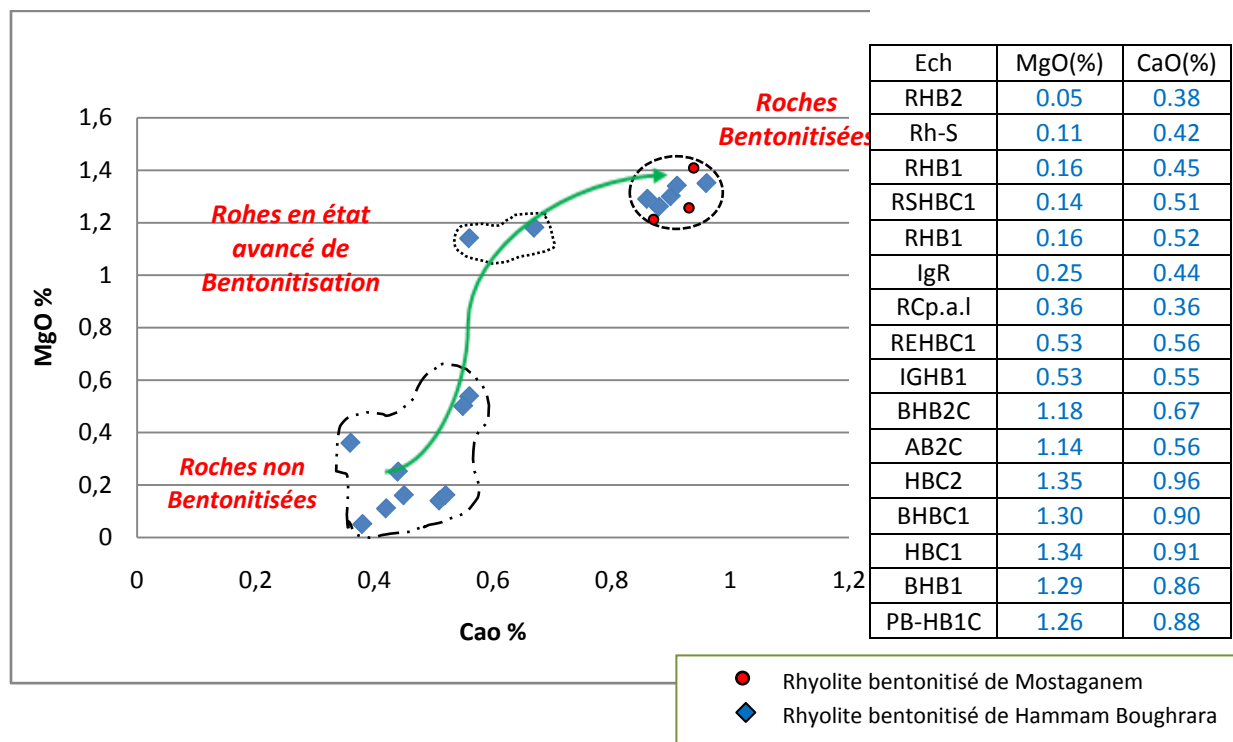


Fig.3 : Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara et Mostaganem.

2) Les éléments en traces :

Les traces que nous avons analysées permettent de distinguer les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara et Mostaganem, dont le nickel Ni, l'étain Sn, et le Thorium Th. Ces éléments montrent une évolution régulière et importante depuis les faciès saines jusqu'au faciès bentonitisés.

En général, on voit que le nickel diminue régulièrement et apparaît plus dans les faciès sains, mais moins dans les faciès bentonitisés, tandis que Sn, Pb et Th ont généralement tendance à augmenter dans les faciès bentonitisés.

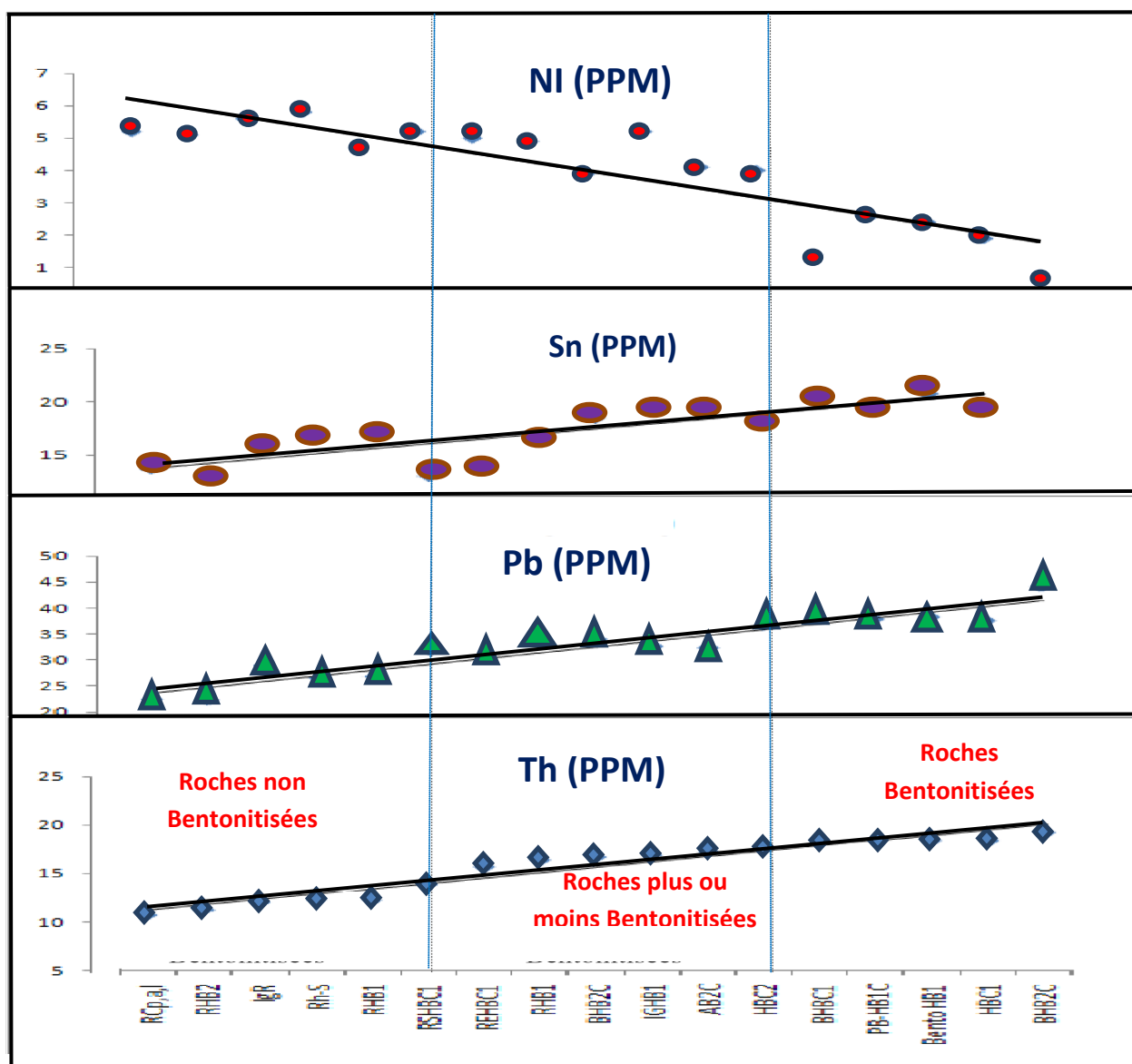


Fig.4 : Variation des éléments en traces dans les faciès rhyolitiques de Hammam Bouhrara.

Ech	Ni (PPM)	Sn (PPM)	Pb (PPM)	Th (PPM)
<u>RCp.a.I</u>	5,2	13,7	22,4	10,7
RHB2	5,1	13,4	22,3	11,2
<u>IgR</u>	5,6	15,6	28,9	12
Rh-S	5,8	16,9	26,5	12,2
RHB1	4,7	17,1	26,8	12,2
RSHBC1	5,2	10,1	31,8	13,9
REHBC1	7,5	13,7	30,4	15,7
RHB1	4,9	16,5	33,7	16,4
BHB2C	3,9	18,5	33,9	16,7
IGHB1	5,2	19,1	32,6	16,9
AB2C	4,1	19,3	32,3	17,2
<u>HBC2</u>	4	18	36,6	17,6
<u>BHBC1</u>	1,4	20,5	37,9	18,2
<u>HBC1</u>	1,9	19,6	37,5	18,4
<u>Benta HB1</u>	2,4	20,8	38,2	18,4
<u>PB-HB1C</u>	2,6	19,7	37,8	18,5
<u>BHB2C</u>	0,6	21,1	44,1	19,3

Tableau 3 : analyse chimique des éléments en trace Ni, Sn, Pb et Th

❖ MOSTAGANEM :

Analyse chimique :

L'analyse chimique de poudres fines d'argiles bentonitique a mis en évidence le pourcentage des éléments majeurs. Les résultats d'analyse sont reportés dans le tableau2.

 Interprétation :

- D'après le tableau (2) on remarque que :

Le pourcentage de la silice varie entre 56.92% (Ech. 5S de C.4) et 72.06% (Ech. 6 de C.12), le pourcentage de Al_2O_3 varie entre 17.82% (Ech. 1S de C.11) et 12.81 (Ech. 10 de C.7), ce qui permet la formation de la montmorillonite.

Tous les échantillons analysés ont un pourcentage de Fe_2O_3 supérieur au pourcentage de MgO sauf les échantillons 1S, 2S de la couche 11 et 13 de la couche 3 qui ont un pourcentage de MgO supérieur à Fe_2O_3 , cela indique que les couches 14, 12, 10B4, 7A et 4 sont des argiles ferriques alors que les couches 11 et 3 sont des argiles magnésiennes.

Le pourcentage de CaO est très élevé dans les échantillons 2, 4, 1A, 2A, 6, 9, 11, 1S et 5S, il varie entre 5.87% (Ech. 1A) et 2.18% (Ech. 1S), cela est dû à la présence de la calcite dans ces échantillons (détecté par DRX et visible au microscope).

Les échantillons 10, 13 et 2S ont un faible pourcentage de CaO qui varie entre 0.97% et 0.75% à cause de l'absence probablement de la calcite.

- **Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique par sédimentation nous a permis de déterminer le pourcentage des différentes fractions des échantillons d'argiles bentonitique de la région d'étude.

Les résultats obtenus par cette étude, sont reportés dans le tableau ci- dessous (tableau 3).

Cette méthode montre que le pourcentage d'argiles est très important dans tous les échantillons analysés sauf l'échantillon 10 qui montre un pourcentage de sables très important (> 50%).

Les pourcentages de chaque fraction sont ensuite projetés dans le diagramme triangulaire argile- silt- sable dont le but est de déterminer la granulométrie des échantillons analysés. (Figure5).

D'après le diagramme triangulaire, on constate que les échantillons 2, 4, 13, 1S et 2S sont des argiles, les échantillons 6, 9 et 5S sont des argiles sableuses, l'échantillon 10 est un limon sableux et l'échantillon 11 est une argile limoneuse.

Enfin, d'après cette classification des échantillons analysés, nous pouvons dire que les argiles bentonitiques de la région de M'zila sont de nature argileuse à sableuse.

N° d'Ech	Ech. 2 (C. 14 E)	Ech. 4 (C. 14 E)	Ech. 6 (C. 12)	Ech. 9 (C. 10B4)	Ech. 10 (C. 7A)	Ech. 11 (C. 4 ABK)	Ech. 13 (C. 3)	Ech. 1S (C. 11)	Ech. 2S (C. 11)	Ech. 5S (C. 4 A)
Pourcentage des particules %	Argile	48%	44%	28%	34%	18%	34%	58%	48%	54%
	Silt	28.76%	32.76%	24.94%	21.58%	27%	32.18%	21.41%	10.23%	25.41%
	Sable	23.24%	23.24%	47.06%	44.42%	55%	33.82%	20.59%	41.77%	20.59%

Tableau 4 : Le pourcentage d'argile – silt – sable des échantillons d'argiles bentonitiques de M'zila.

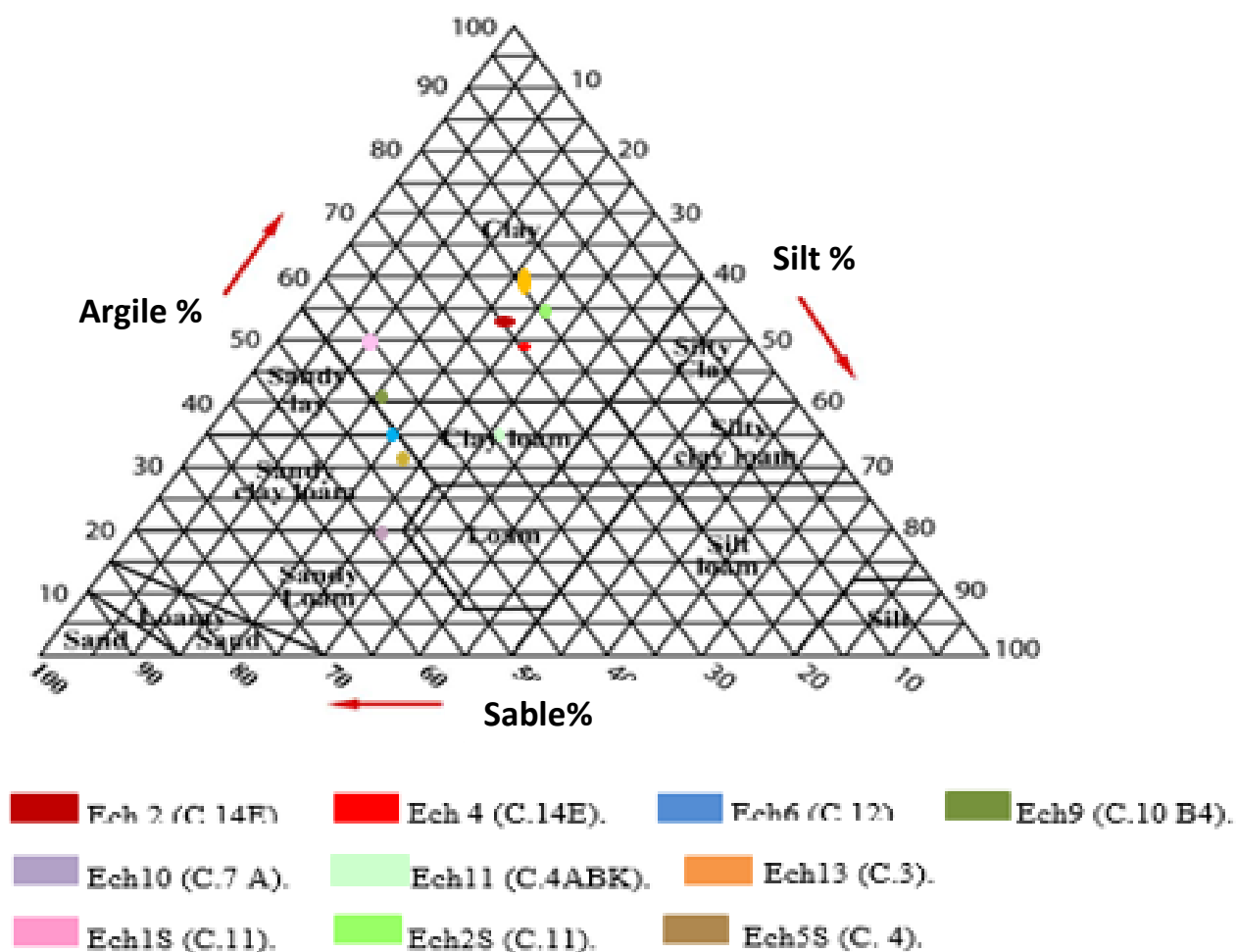


Figure 5 : Diagramme triangulaire permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Mostaganem.

3) Résultats des isotopes :

Les changements isotopiques de l'hydrogène δD à Hammam Boughrara et Mostaganem sont très importants car ils nous permettent de retracer les causes hydrothermales associées à la bentonite.

Rappel :

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

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

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

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

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

L'hydrogène existe principalement sous forme d'eau dans les roches (couche d'hydrogène, atmosphère, minéraux hydroxylés) et matériaux d'origine biologique. Il s'agit d'un système complémentaire d'oxygène utilisé dans la recherche sur l'eau.

Principe de la signature isotopique :

Dans le processus de contrôle du changement de phase (condensation, évaporation) du cycle de l'eau, les molécules d'eau "lourdes" sont moins volatiles que l'eau légère.

Par conséquent, l'étude de la fraction isotopique causée par le cycle de l'eau nous permet de retracer l'origine de l'eau, dans notre cas l'origine des eaux responsables de la bentonitisation à Hammam Boughrara et Mostaganem.

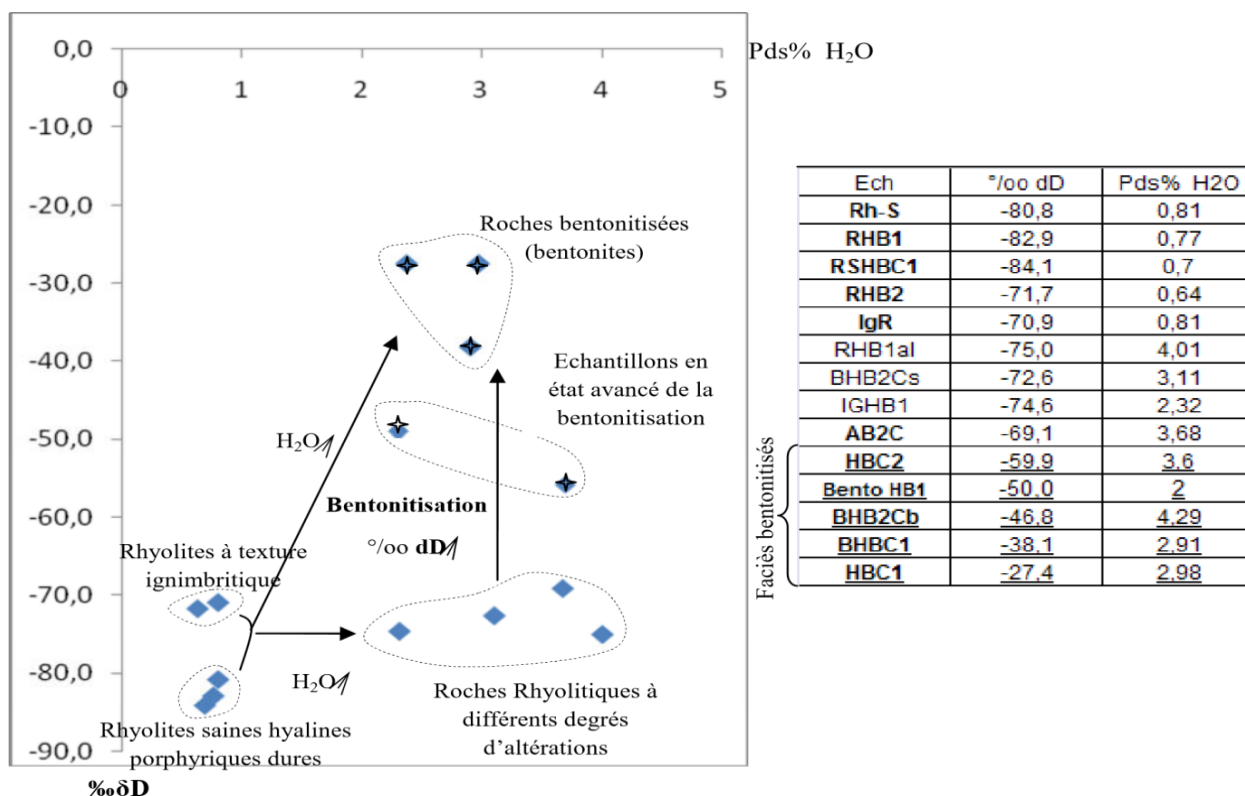


Fig.6: Variation en isotopes d'Hydrogène et en eau dans les faciès rhyolitiques de Hammam Bouhrara.

Ce diagramme de corrélation (δD ‰, H_2O %) permet de faire deux remarques très importantes (figure 6) :

- 1) Tous les faciès bentonitisés sont riches en eau (les rhyolites à faible teneur en eau sont peu ou pas de bentonite).
- 2) Le rapport isotopique δD augmente avec la bentonitisation : De $\delta D = -85$ à -80 ‰ pour les rhyolites saines, -75 à -70 ‰ pour les rhyolites ignimbritiques fluidales et pyroclastites saines ou légèrement bentonitisés (ces roches étant plus vulnérables et poreuses par leur structure (voir étude pétrographique-), -59.9 à -46.8 ‰ pour les roches en état avancé de bentonitisation et de -38 à -27.4 ‰ pour les faciès totalement bentonitisés.

- **Conclusions :**

Hamam Boughrara et Mostaganem ont des terrains volcanogènes bentonitisés et de nature rhyolitique. Ils sont riches en Alumine. Il s'agit des roches Calco-alcalin.

Les 4 dômes de Hamam Boughrara présentent des caractères minéralogiques analogues (plagioclases [albite-oligoclase : $An \sim 20$], sanidine, biotites du type annitesydrophyllite et des tufs pyroclastiques constitués essentiellement de montmorillonite) et ils appartiennent tous aux rhyolites Calco-alcalines. Ceci confirme leur origine commune (même magma).

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

Les changements chimiques les plus importants observés sur le site de bentonite de Hamam Boughrara sont:

- Réduction significative de la silice (SiO_2) (environ 10% de moins que la rhyolite saine), cela est dû au lessivage hydrothermal de la silice lors du phénomène de bentonitisation. La diminution de SiO_2 s'accompagne de l'augmentation d' Al_2O_3 , CaO et MgO.
- Les éléments en trace montrent une diminution du Ni en terrain benthique, tandis que Sn, Pb et Th augmentent.

L'analyse granulométrique par sédimentation montre que les argiles bentonitiques du gisement de M'zila sont de nature argileuse à sableuse.

Les isotopes d'hydrogène nous apprennent que les rapports isotopiques δD sont nettement différents et supérieurs dans les terrains bentonitisés.

Donc la bentonitisation s'est faite avec des eaux de nature différentes par apport aux eaux juvéniles (magmatiques). On pense à un recyclage des eaux superficielles dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation à Hamam Boughrara et Mostaganem. Cela peut s'expliquer par l'échange d'isotopes avec de l'eau avec un δD plus élevé, le rapport isotopique du substrat rocheux de bentonite a évolué.

CHAPITRE VI

ETUDE

MORPHOTECTONIQUE

• INTRODUCTION :

L'Oranie se trouve entre deux grands domaines structuraux fondamentalement différents par la nature des dépôts et par le style tectonique, dans lesquelles se sont mises en places les roches volcaniques néogène (**figure 1**)

Le domaine atlasique « Moyen Atlas marocain », comprenant les massifs paléozoïques avec sur leur bordures méridionale les éléments de la chaîne calcaire,

Le domaine tellien « Tell algérien », où sont représentées des nappes de glissement, vers le sud, des nappes ont glissé dans un bassin Miocène, alors qu'au Nord elles recouvrent des zones autochtones ou para-autochtones plus ou moins métamorphiques, des unités de flysch situées entre ces deux domaines structuraux, les recouvrent également par endroits.

La bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques n'est pas générale mais très localisée. Dans l'hypothèse de cette bentonitisation locale, qui peut s'expliquer par l'existence de failles pouvant contrôler directement la localisation du gisement. Par conséquent, une recherche approfondie en géomorphologie est nécessaire pour tester cette hypothèse.

- Le domaine Atlasique :

Il constitue l'avant pays autochtone modérément déformé de la chaîne tellienne. Cette zone composée de terrains autochtones montre un substratum paléozoïque, traversé par un pluton granitique (Le massif granitique de Nedroma), recouvert par une série mésozoïque assez bien développée.

Stratigraphiquement, la couverture comprend cinq formations sédimentaires :

- Le Permo-Trias est constitué par des intercalations détritiques et calcaires ;
- Le Lias-Dogger est formé par des niveaux carbonatés ;
- Le Callovo-Oxfordien inférieur est représenté par des pélites ;
- L'Oxfordien supérieur-Aptien est grés-carbonaté ;
- Le Crétacé supérieur comprend la formation marno-calcaire.

L'autochtone atlasique oranais est affecté par une tectonique souple (plis) et cassante (failles) acquis dès le Miocène moyen donne à la région étudiée, son caractère.

- domaine externe de la chaîne alpine ou La zone tellienne :

Des nombreux travaux régionaux réalisés sur les modalités de l'origine et de l'évolution géologique de cette région qui présente un fort héritage structural. En 1975 **Guardia** y distingue les formations géologiques suivantes :

a) l'autochtone et le para-autochtone :

- L'autochtone est représenté par :
 - des formations d'âge Paléozoïque à Mésozoïque
 - des sédiments miocènes du premier cycle post-nappes (argiles vert, grès et poudingues) et du deuxième cycle post-nappes (marnes et calcaires récifaux).
 - des formations d'âge Pliocène essentiellement gréseuses ou sableuses à la base et marneuses au sommet.
 - le quaternaire est représenté, dans la région, localement par des dépôts lacustres, des sols rougeâtres et de la croûte calcaire.
- Le para-autochtone est formé essentiellement par des formations marneuses, d'âge Serravalien (**Guardia, 1975, Bellon et al, 1984**), et qui ont charriées au sein d'un bassin miocène synchronappes.

b) l'allochtone métamorphique :

L'allochtone métamorphique s'étend depuis les monts d'Arzew, à l'est d'Oran, jusqu'à la frontière algéro-marocaine à l'ouest (**Megartsi, 1985**). Il est essentiellement constitué d'unités métamorphiques de type rifain.

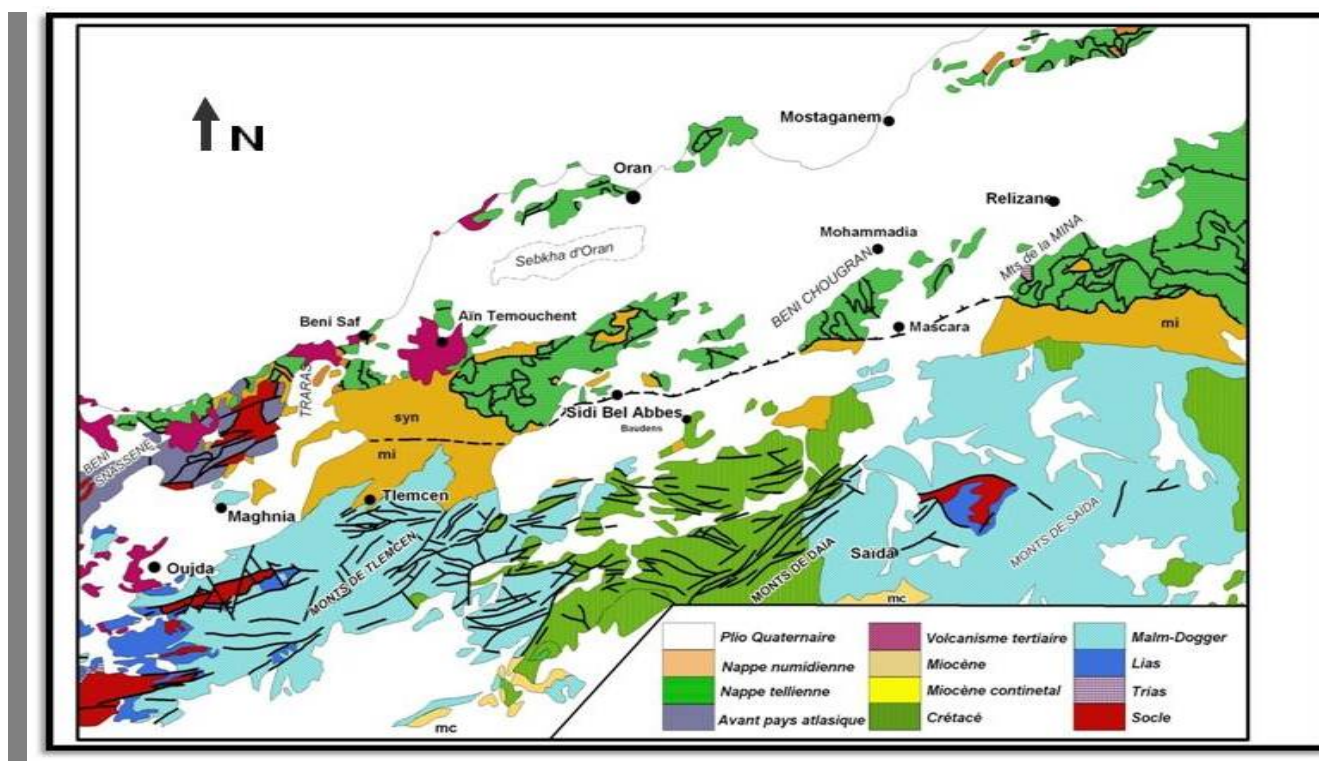


Fig1 : Carte schématique structurale de l'ouest de l'Algérie, (d'après Wildi 1983, modifiée par A. Boutaleb 2003, sans échelle)

La structuration du bassin intramontagneux du bas Chélif (Mostaganem) résulte de la superposition successive de plusieurs phases de déformation en transtension et en transpression (Thomas, 1985) :

- **La transtension "Serravalien - Tortonien":**

Les bassins losangiques résultent des décrochements distensifs senestres d'orientation SW- NE (N50° à N60°E) ainsi que des failles normales N20°E (premier cycle post nappe) « **Figure 2** ».

- **La transpression "Tortonien supérieur - Messinien":**

Ce sont des déformations compressives synsédimentaires. Elles sont caractérisées par des plis d'orientation NE - SW associés à des failles inverses de même direction (N50°E) et des décrochements dextres d'orientation E - W« **Figure 3** ».

- **La transtension "Tabianien inférieur":**

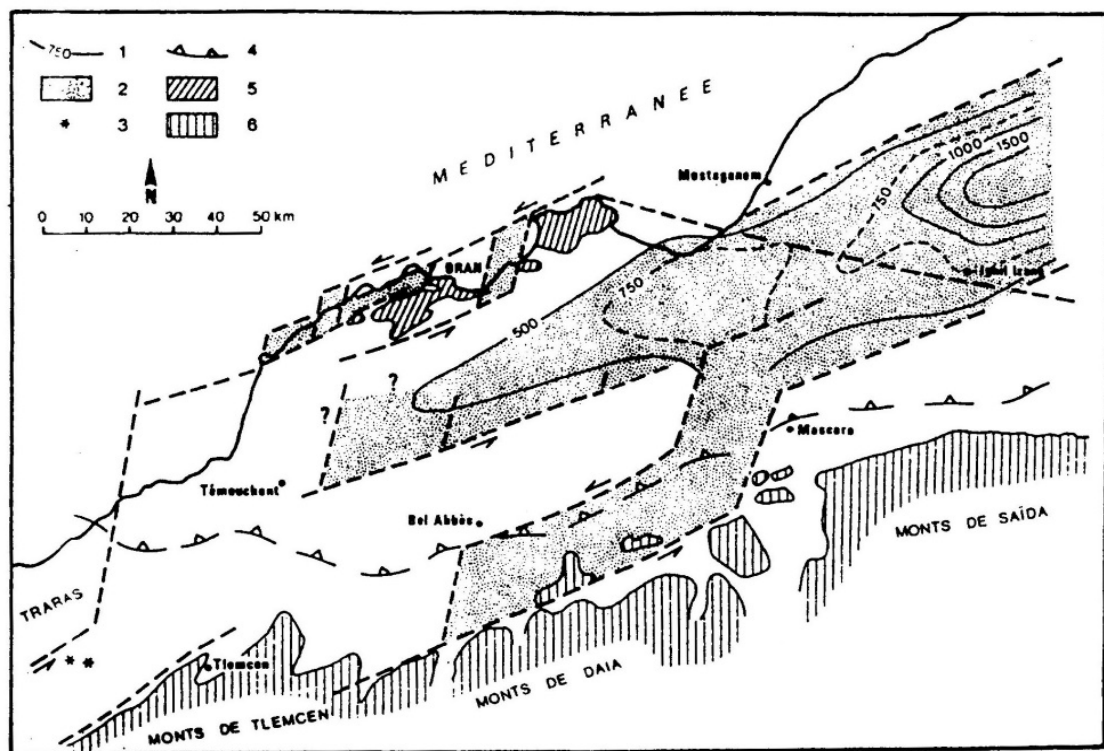
C'est une phase de déformation décrochante distensive guidée par des failles normales N20°E et des décrochements senestres N50° à N80°E.

- **La transpression "Pléistocène inférieur":**

Le jeu de grands décrochements d'orientation N140°E dans la partie occidentale et N170°E dans la partie orientale est responsable des plis NW - SE et des failles inverses.

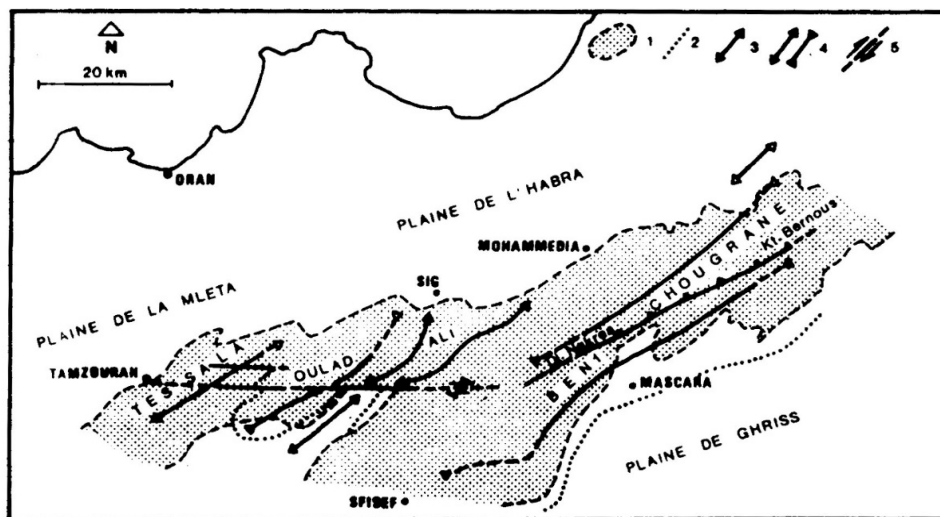
- **La transpression "Pléistocène moyen à l'actuel":**

La compression provoque le diversement des dépôts du Plio- Pléistocène inférieur vers le NW ou le SE et des failles inverses de direction N50 à N70°E (Maghraoui et al, 1996).



1. Isopache du premier cycle miocène post- nappe (d'après Perrodon,1957) ,2. Extension probable du premier cycle miocène post- nappe, 3. Volcanisme rhyolitique, 4. Front de l'allochtone, 5. Massifs à schistosité, 6. Hauts plateaux.

Fig. 2 : Esquisse structurale de l'Oranie au cours du premier cycle post- nappes (Période de transtension) (Thomas, 1982).



1. limites actuelles du Miocène post- nappe dans le Tell méridional, 2. Limite méridionale de la transgression au moment du dépôt de la formation MIIIB, 3. Axe anticlinal, identifié par ses caractéristiques structurales, 4. Axe de cuvette synclinale et de voûture anticlinal, 5. Décrochements.

Fig. 3 : Esquisse structurale du Tell méridional oranais, après l'épisode compressif du deuxième cycle miocène post- nappes (Thomas, 1982).

L'Oranie nord occidentale, est une zone à activité sismique, au vue de sa situation géographique (frontière entre les deux plaques tectoniques convergentes, Afrique et Eurasie). Cette région a connu plusieurs séismes de diverse intensité« **Figure 4** »,dont les plus important sont :Oran le 9 octobre 1790 et Mascara en mars 1819 et le 29 novembre 1887

Les Séismites, qui sont des effets induits, sont des liquéfactions d'origines sismiques que l'on retrouve dans les sédiments meubles (Montenat et al. 2007) « **Figure 5** ». Ce sont des déformations dues au comportement thixotropique des sédiments non consolidés et saturés en eau. Ces déformations sont le résultat de phénomènes vibratoire dont l'origine peut être diverse (dans le cas des séismites, l'origine est sismique). Les séismites sont des déformations synsédimentaires Co-sismiques, qui se forment lors du dépôt ou juste après (avant la lithification, elles se produisent toujours en surface), par une phase fluidisée qui peut être expulsé ou injectée.

• Thixotropie

Les mécanismes déclencheurs de ce type de déformations restent les perturbations vibratoires qui peuvent avoir différents origines. Les vibrations peuvent, en effet, être causées par un séisme, mais des ondes de chocs dues à des turbulences ou éboulements

Les faibles pentes peuvent être à l'origine de structures en Slumps (Alsop and Marco 2013), mais ne peuvent pas expliquer la grande diversité des déformations thixotropiques observées dans les terrasses oranaises et notamment la présence de dykes sédimentaires de volcans de sables et les cuvettes et structures en coins thixotropiques (**Photo.1, 2 et3**)

La grande diversité des déformations caractéristiques des sédiments meubles observées, aux mêmes niveaux de terrasse, suggère l'action, en même temps, de différents mécanismes à l'origine de ces déformations. Deux principaux mécanismes peuvent être à l'origine des séismites selon Montenat et al2007:

- la liquéfaction des sédiments générés par les ondes superficielles de cisaillement
- l'expulsion violente de l'eau et des sédiments liquéfiés, générées par des ondes décompression.

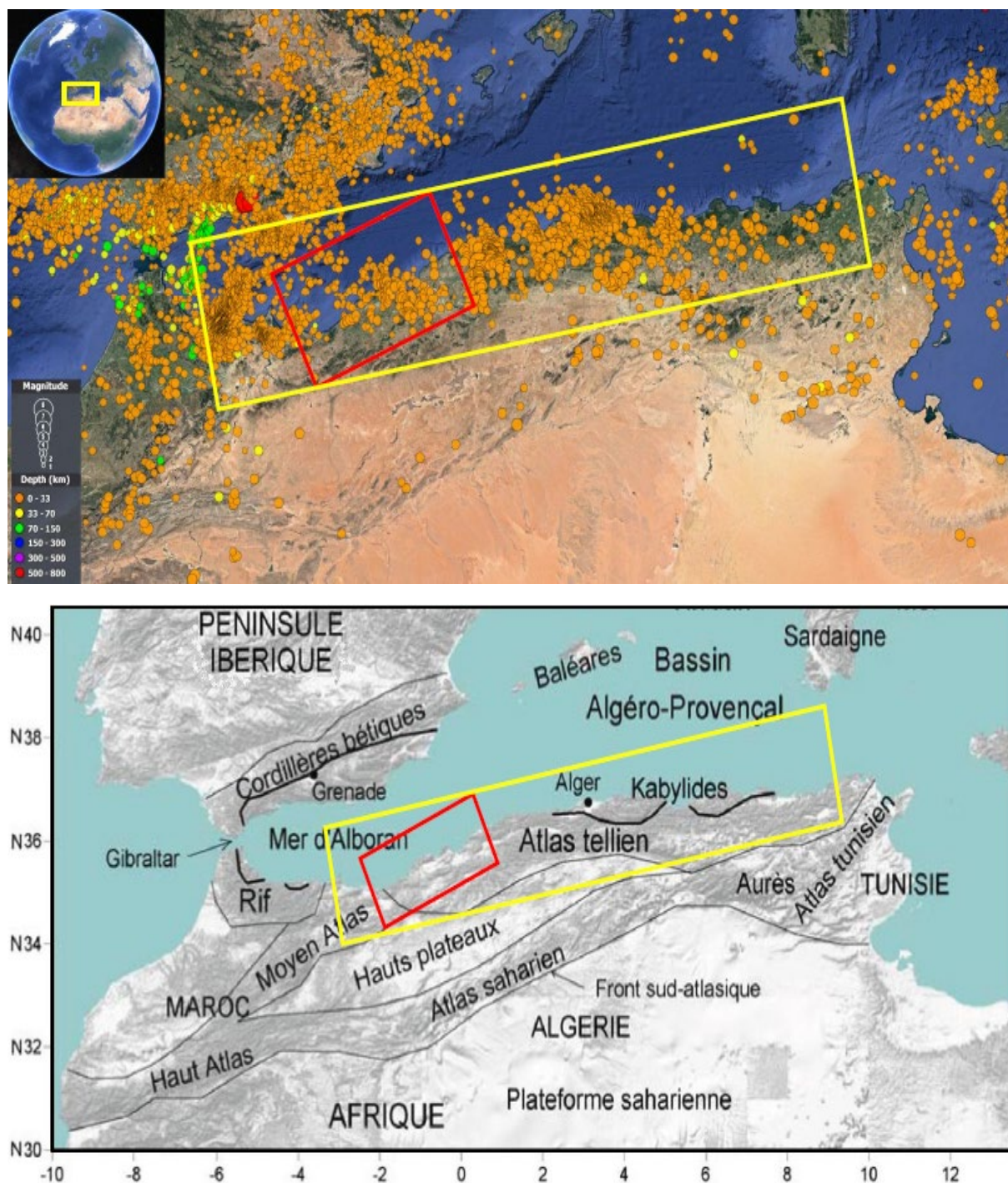


Fig. 4 : Domaines structuraux de l'Algérie du Nord (Durand Delga et Fontboté, 1980) et sismicité associée (catalogue USGS jusqu'au 31 décembre 2016) (marge algérienne en rectangle jaune - Oranie en rectangle rouge).

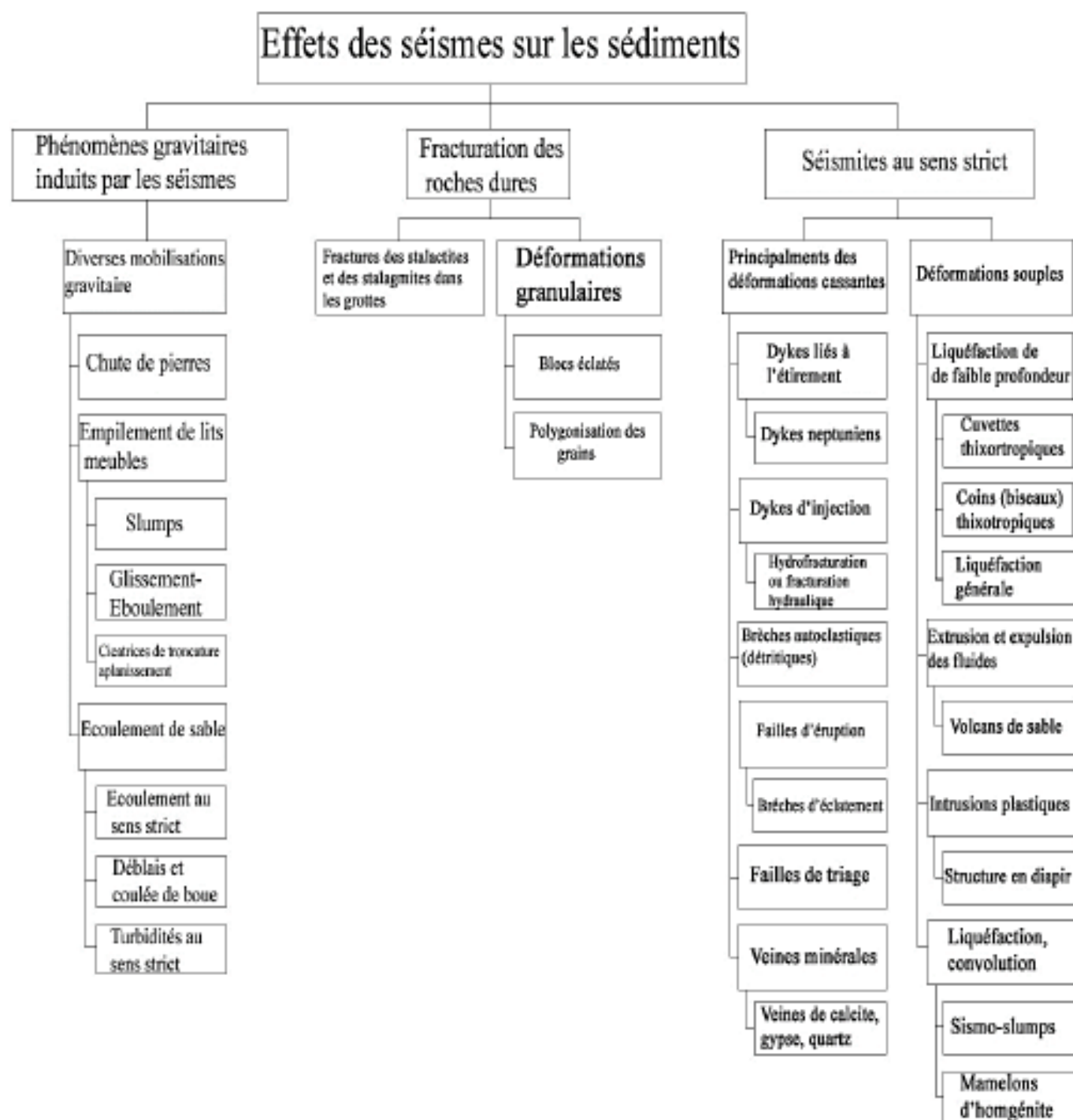


Fig. 5 : Classification des effets des séismes sur les sédiments selon Mentanat et al 2007.

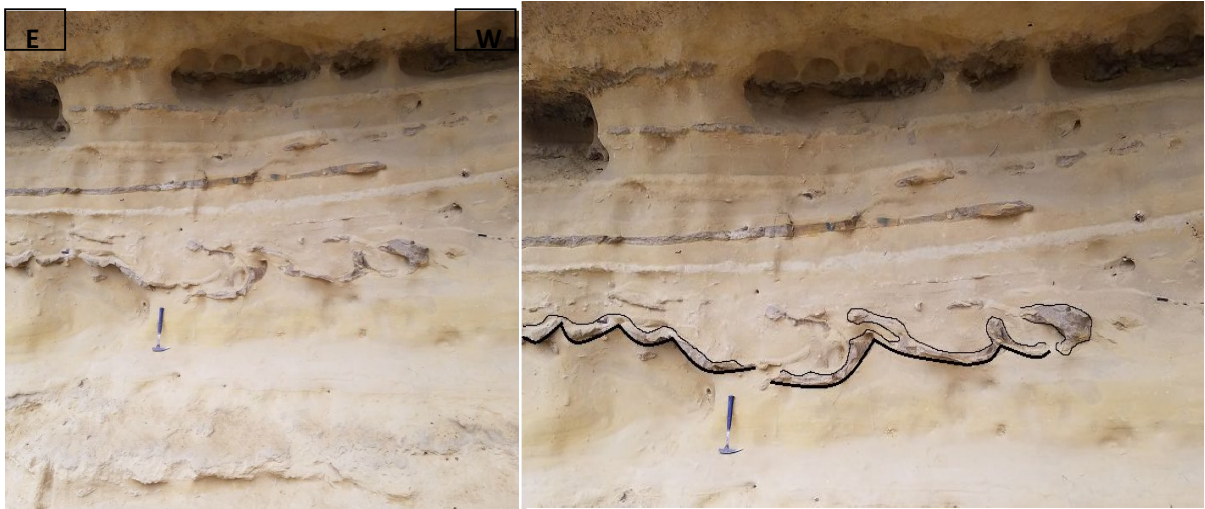


Photo 1 Cuvettes thixotropiques des dépôts de terrasses Tyrrhéniennes (Hammam Bougrara).



Photo 2 Coins thixotropique (Mostaganem)

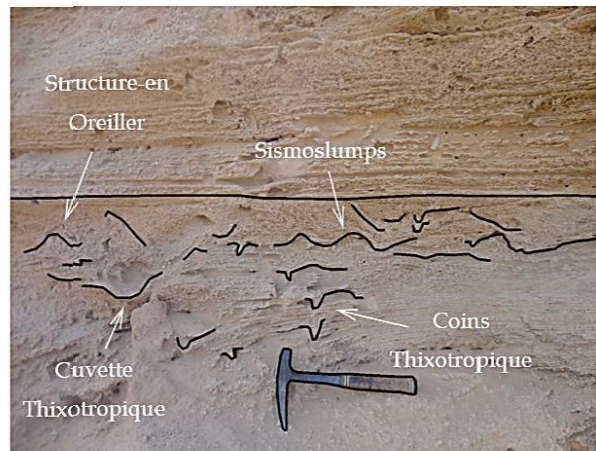


Photo 3 Divers déformations induites par un séisme (Mostaganem)

I. Hammam Boughrara :

La région est affectée par une tectonique souple marquée par un pli synclinal et une tectonique cassante représentée essentiellement par des failles de type atlasique.

L'imagerie spatiale et la modélisation numérique de la topographie (MNT) ont permis la définition morphotectonique d'une région. En effet ; les observations faites permettent une meilleure maîtrise du terrain. Des accidents en relation avec le volcanisme de la moyenne Tafna en était mise en évidence (dont le volcanisme rhyolitique).

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

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

INTERPRETATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)

Contexte général de l'interprétation :

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

- L'étude et l'analyse des travaux réalisés.
- La réalisation d'une carte structurale basée sur l'étude et l'analyse des scènes satellitaires Type Landsat et des photographies aériennes couvrant l'ensemble de la région
- Superposition des images aériennes et satellitaires sur le MNT.

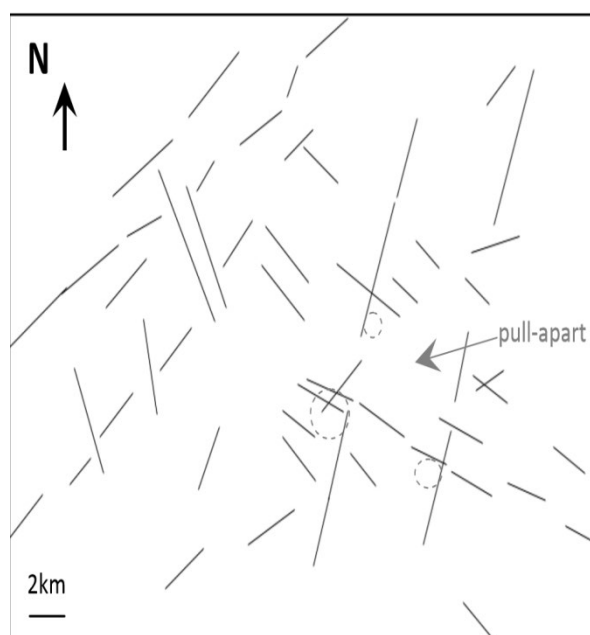
Des travaux de terrain et analyse des photos aériennes au 1/20 000. Cette étape permet d'utiliser l'ensemble des données et résultats obtenus par l'observation indirecte.



PLANCHE 1 : MNT de la région d'étude effectué à partir de l'image Landsat7.
L'observation se fait vers le NW. Au premier plan la ville et le barrage de Hammam Bou Boughrara et au fond le Fillaoucène.



2.a **PLANCHE 2 : Ortho-image de la région d'ét**



2.b **ectué à partir de l'image Landsat7.**
(Accidents atlasiques du Fillaoucène (en gras) et les principaux linéaments et failles)

Les cercles représentent les dômes rhyolitiques, ainsi on a deux familles de fractures conjuguées orientées généralement selon une direction atlasique (NESW) et une direction transverse à 90° (SE-NW) et un petit bassin s'apparentant à un bassin en «pull-apart» formé par l'extension crustale de 2 fractures« **PLANCHE 2** ».

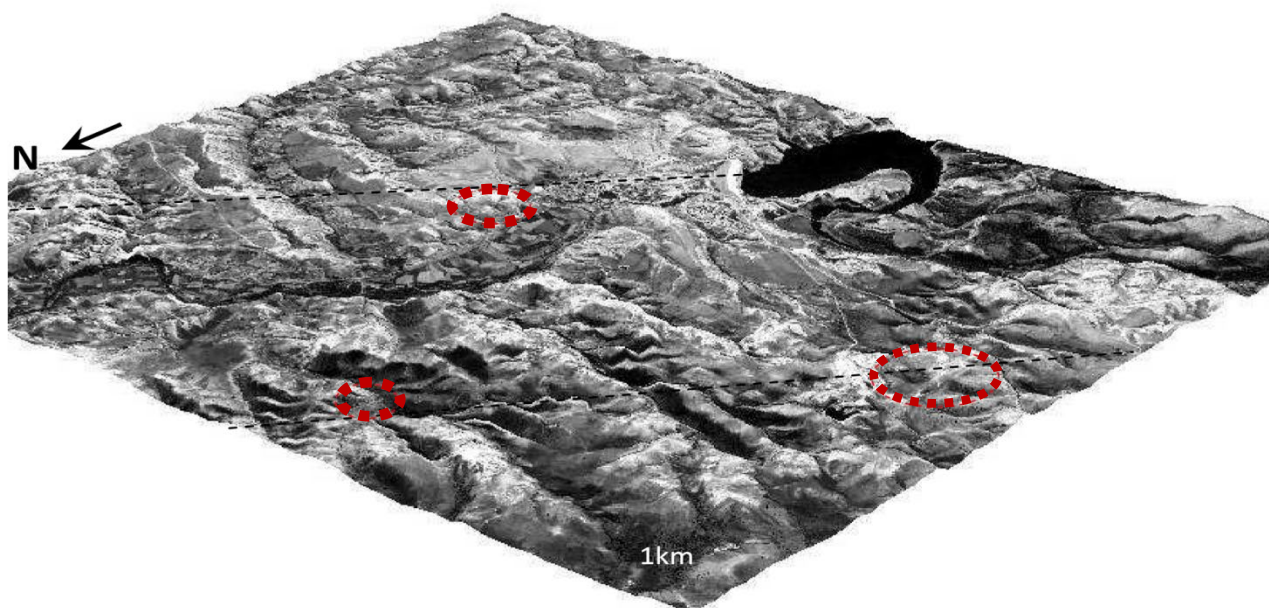


PLANCHE 3 : MNT du secteur d'étude sur lequel on peut voir l'importance des directions NE-SW et NW-SE et la relation directe avec l'emplacement des dômes rhyolitiques en pointillés de couleur rouge. « Boukhedimi 2003 »

Le volcanisme de la moyenne Tafna est remarquablement aligné dans la direction des accidents atlasiques NE-SW«**PLANCHE 2**». L'étude morphotectonique basée sur l'interprétation des images satellites, des photographies aériennes et des modèles numériques de terrains a permis de mettre en évidence des linéaments pouvant correspondre à des accidents expliquant la répartition géographique de ce volcanisme et de l'asismicité« **Figure6** ». Cette étude a permis aussi de faire une observation intéressante en ce qui concerne la bentonitisation à Hammam Bouhrara. En effet ; les carrières d'argile bentonitique se localisent au voisinage des linéaments (failles) relevés «**PLANCHE 3**».

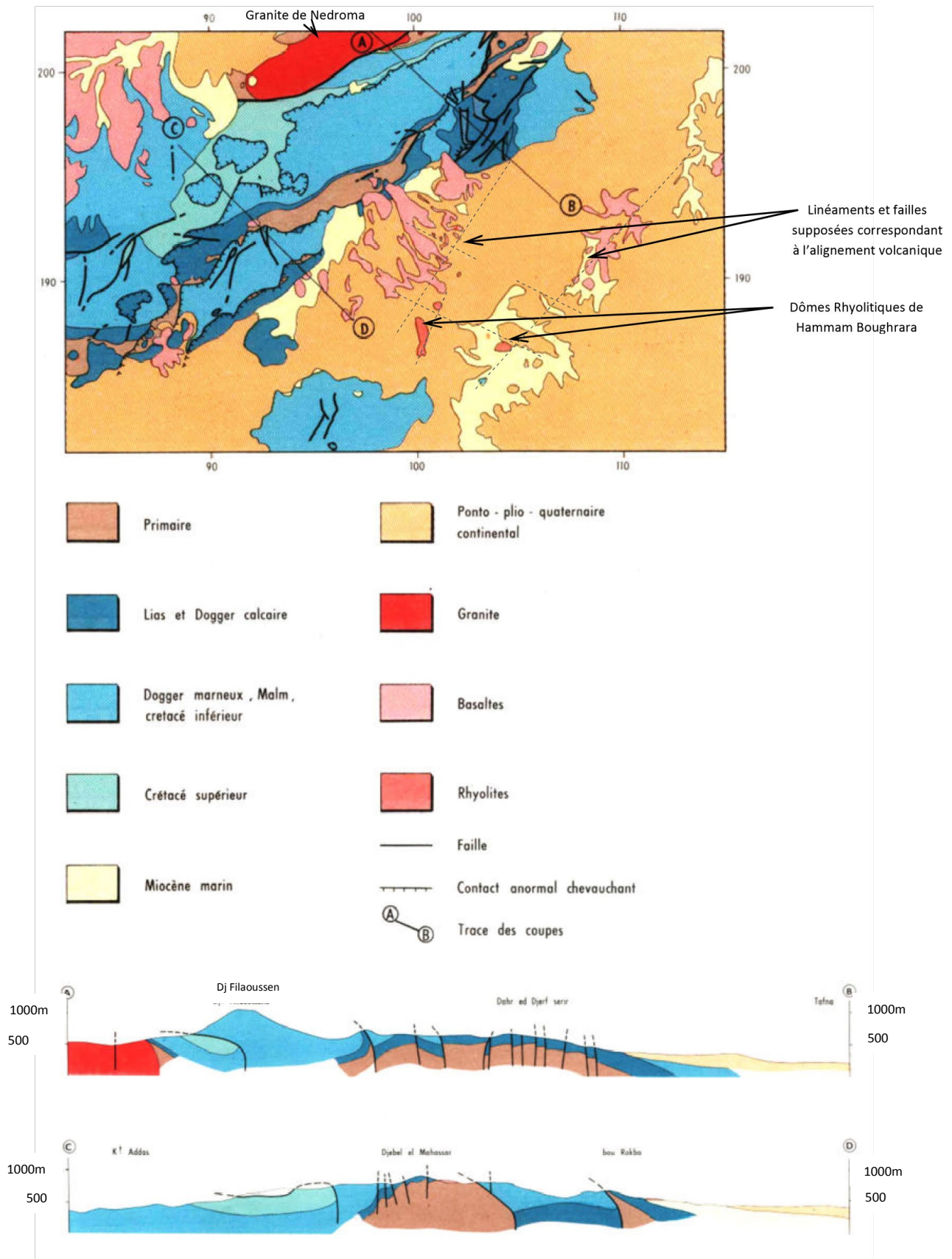


Fig.6 Schéma structural de la région d'étude (linéaments et failles en relation avec les dômes)
« Boukhedimi 2003 »

- puisque cette bentonitisation provoquée par la source thermique de Hammam Boughrara se trouve en plusieurs endroits cela signifie que la source thermique de Hammam Boughrara a dû changer de position plusieurs fois « **PLANCHE 3** », et justement le tarissement et réapparition des sources hydrothermales dans les zones de chevauchements sont des effets souvent typiques d'activité sismique « **Figure 7** ».

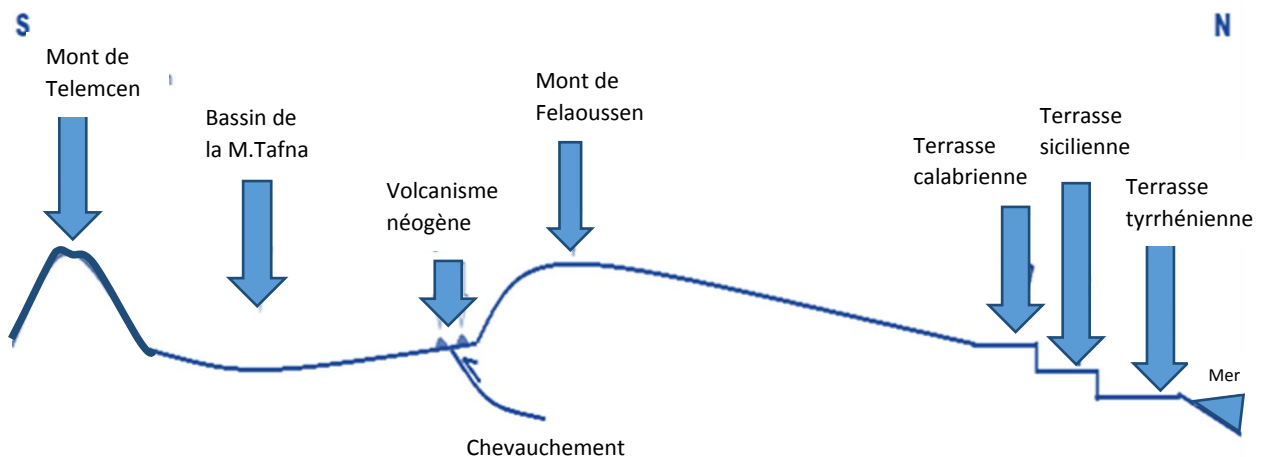
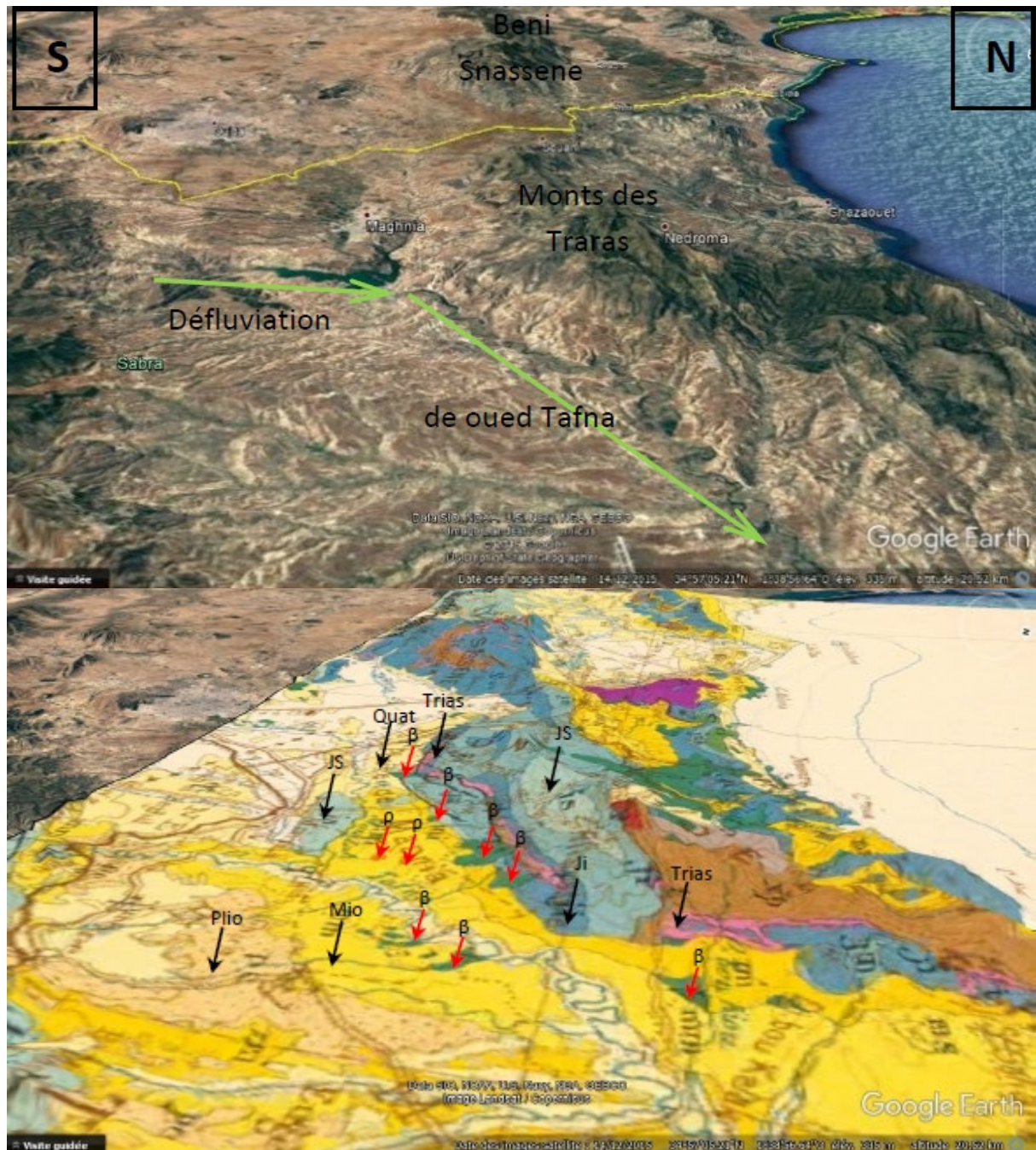


Fig.7 Coupe morphotectonique de la région d'étude (moyenne Tafna, Hammam Boughrara)

En plus la présence de séismes dans ce secteur notamment sous formes de fracturations hydrauliques et dykes d'injections de sables dans les terrasses alluviales Quaternaires et notamment du Pléistocène supérieur constitue une preuve de plus, de l'activité récente (au moins Pléistocène supérieur) des retro-chevauchements du secteur de la moyenne Tafna-Traras.

La défluviation d'Oued Tafna en raison de l'activité tectonique (chevauchements) par les monts de Traras a permis le développement du réseau hydrographique dans la direction nord « **Figure 8/9** ». En plus des sources thermales de la région de Hammam Boughrara, c'est dans ce secteur qu'existe les gisements d'argile bentonitique.



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

Fig.8 : Superposition de la carte géologique de L'Algérie du Nord au 1/200 000 sur le MNT de la région des Traras-Moyenne Tafna.



**Fig.9 : Positions des gisements d'argiles bentonitiques de Hammam Bouhrara (moyenne Tafna) en flèches noires.
Position de la station thermique de Hammam Bouhrara est représentée en triangle bleu.**

II. Mostaganem :

Le gisement de M'zila est constitué par des terrains argileux, dont la plasticité ne nous permet pas de déterminer nettement les déformations qui affectent la région.

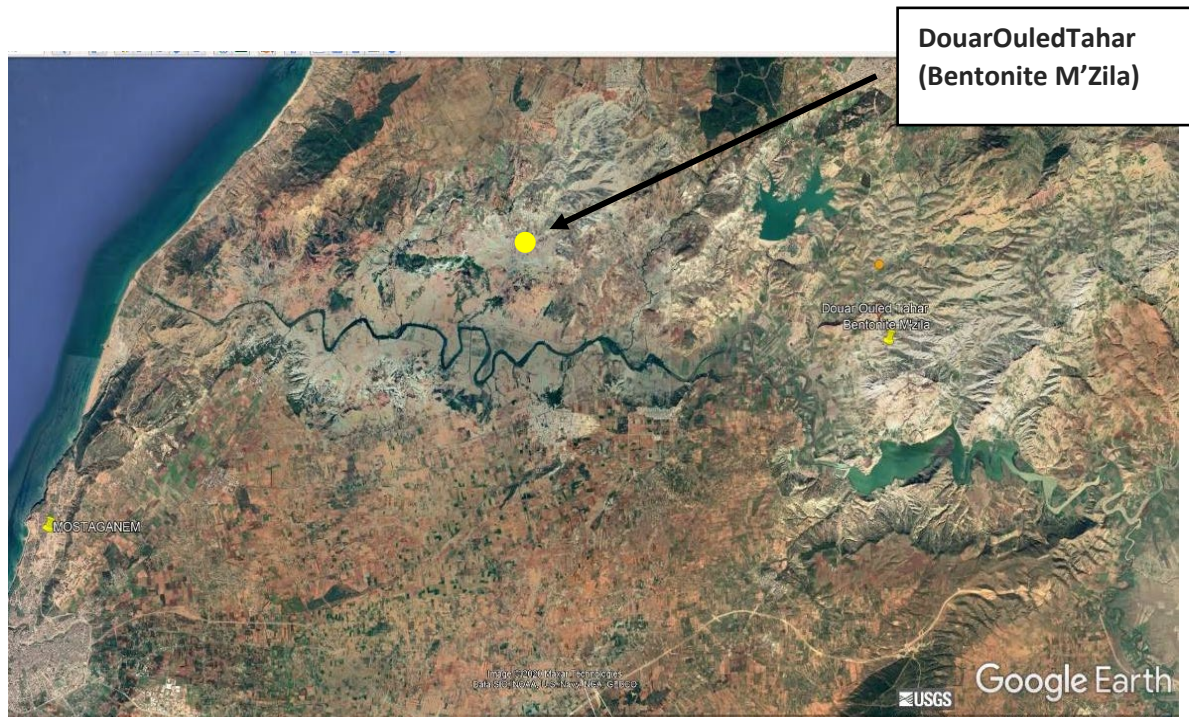
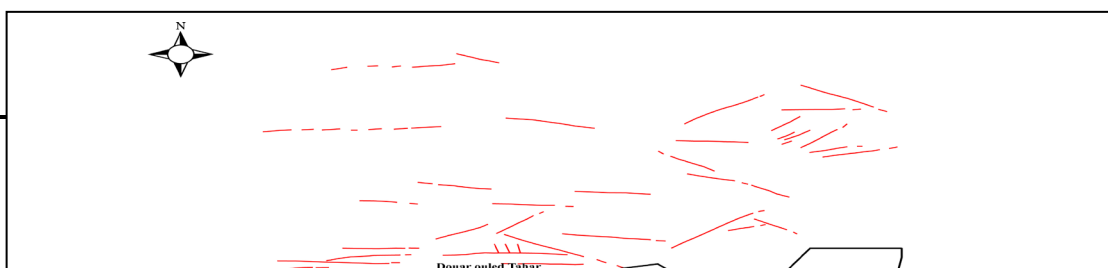


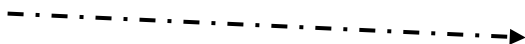
Fig.10 :image satellitaire montrant un dôme de la région d'étude

Pour mettre en évidence la tectonique de la région d'étude nous avons :

- ✓ réalisé une carte linéamentaire à partir de l'étude des photos aériennes à une échelle de 1/20000 (Fig. 11).
- ✓ L'interprétation de la carte linéamentaire, montre plusieurs directions de linéaments qui sont caractérisées par les familles ENE - WSW, E - W et WNW - ESE avec la prédominance de la direction ENE (Fig. 11).
- ✓ L'analyse statistique de la rosace des directions des linéaments montre la concentration des directions ENE et E - W (Fig. 12).



Douar Ouled
Tahar



E=1 /20.000

Fig. 11 : Carte linéamentaire de la région de M'zila. Mostaganem.

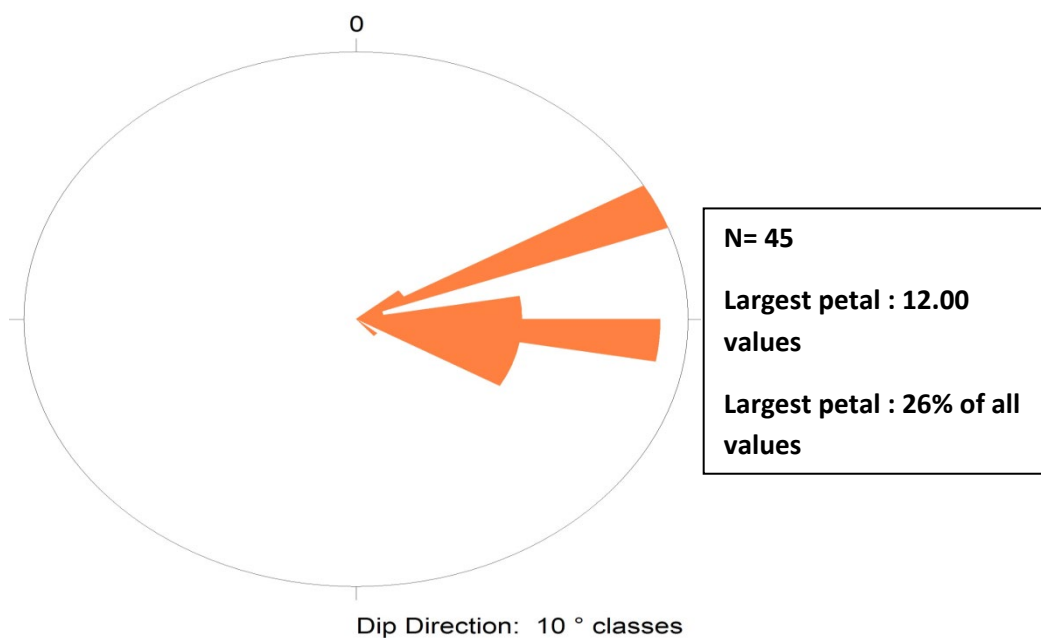


Fig. 12 : Rosace de direction des linéaments de la région de M'zila.

Sur le terrain on observe la discordance des marnes bleues sur les grès de base (Photo.4). Les grès de base sont recoupés par une faille normale de direction N50° et pendage 38°SE.

Dans la terminaison périsynclinale du gisement on observe une grande masse bréchique, c'est un niveau dur constitué par des argiles, des argiles silteuses et se termine par des grès micacés.

Au niveau de la brèche on relève une faille normale synsédimentaire de direction N130° dans des niveaux lenticulaires de grès d'épaisseur centimétrique (Photo. 5) et une fracture minéralisée en calcite de direction N - S et pendage 80° vers le Sud (Photo. 6).

Vers le sommet de la brèche on observe une série de décrochements à mouvement dextre de direction N158° et pendage 28°E dans des grès micacés de taille décimétrique (Photo. 7).



Photo. 4 : Photo montrant la discordance des marnes bleues sur les grès de base.

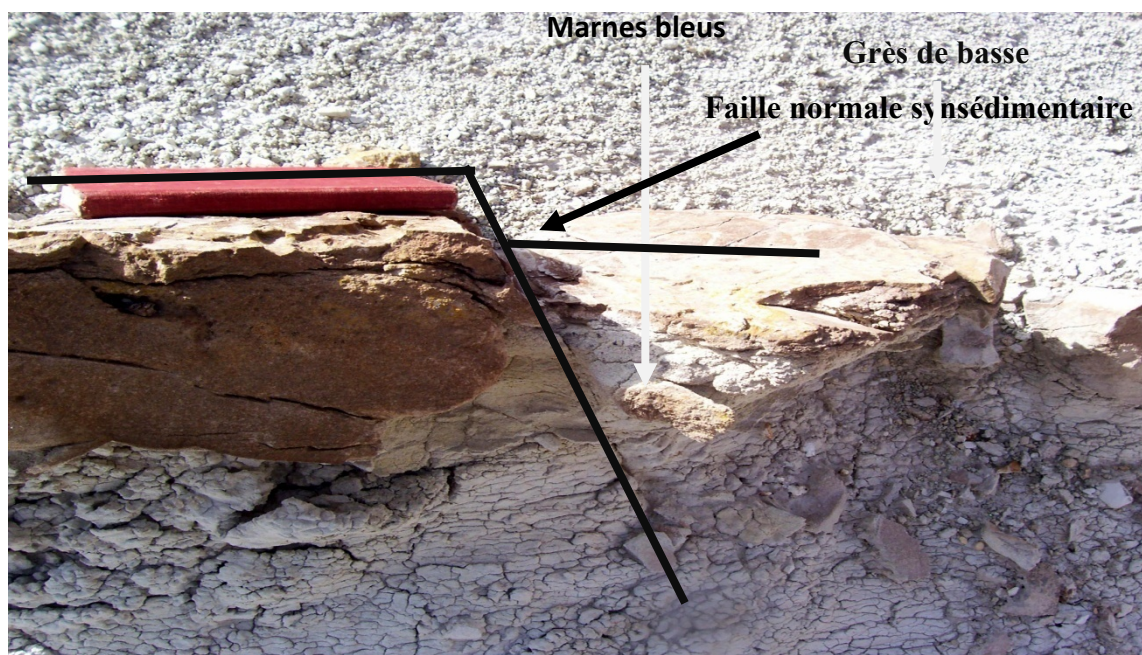


Photo. 5 : Une faille normale synsédimentaire dans des grès d'épaisseur centimétrique (Mostaganem).



Photo. 6 : Fracture minéralisée en calcite (Mostaganem).

SW

NE

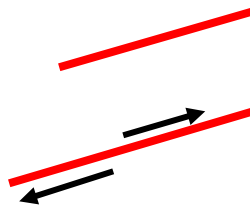


Photo. 7 : Une série de décrochements à mouvement dextre dans un grès micacé de taille décimétrique.



➤ **Conclusions :**

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

La région d'étude est constituée par des terrains rhyolitiques caractérisés par : Des failles atlasiques actives.

Cette étude a permis aussi de faire une observation intéressante en ce qui concerne la bentonitisation à Hammam Bouhrara et Mostaganem. En effet, les gisements de la région d'étude se développent au niveau des failles actives.

Les bassins néogènes de l'Oranie occidentale et orientale renferment plusieurs indices de déformation néotectoniques :

La défluviatation de Oued Tafna à Hammam Bouhrara et de oued chlef à Mostaganem, l'alignement selon la direction atlasique (NE-SW) des appareils volcaniques de la moyenne Tafna, le contact anormal entre les Traras (socle Jurassique-Crétacé) et le Mio-Pliocène du Bassin de la moyenne Tafna et beni chograne et bassin du bas chelif nous permettent d'affirmer que les linéaments se développent au niveau des failles.

CHAPITRE VII
CONCLUSION
GENERALE

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

- Notre étude volcanologique a montré que le dynamisme volcanique a conduit à la présence de formation rhyolitiques (avec des rhyolites massives, fluidales, perlitiques ou à caractères ignimbritiques, des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques).

- Notre étude pétrographique a montré que les observations de lames minces provenant de divers échantillons indiquent clairement que la bentonitisation se développe dans les faciès ignimbritiques, pyroclastiques et perlitiques au niveau des microfissures, la porosité, plans de fluidalité et des perlites, et ceci dans les deux zones d'étude à Hammam Boughrara ou à Mostaganem. Ce qui fait que la bentonitisation touche en grande partie les rhyolites perlitiques et fluidales, en raison de leur matrice argileuse, les roches pyroclastiques sont plus sensibles à l'érosion par la bentonitisation. Donc on a une relation entre les faciès rhyolitiques et la bentonitisation par leur lithologie.

- Notre étude géochimique a montré que la phase bentonite présente des changements chimiques évidents, notamment une diminution significative de la silice SiO_2 et une augmentation importante de l'alumine Al_2O_3 . Une autre note importante est que les surfaces de travail riches en eau sont les plus affectées par la bentonite.

- Les études du rapport isotopique de l'hydrogène δD nous indiquent que les terrains bentonitisés présentent des δD élevés par rapport aux terrains non bentonitisés. Cela peut s'expliquer par l'échange d'isotopes avec l'eau de surface absorbée par le dispositif volcanique dans les phénomènes hydrothermaux d'origine du Bentonite Hammam Boughrara et Mostaganem.

- L'étude morphotectonique a permis : de mettre en évidence des accidents N40 expliquant les linéaments de la moyenne Tafna et Mostaganem et d'affirmer que les gisements se développent au niveau des failles d'où le changement de place de la source hydrothermale.

- La bentonitisation se développe et s'intensifie le long de la faille F (N40). En s'éloignant de ces derniers, la bentonitisation diminue jusqu'à devenir absente.

- En résumé, les résultats de notre étude sont présentés dans le tableau suivant :

	Hammam Boughrara	Mostaganem
Cadre géologique	Domaine tellien (bassin tellien)	Domaine tellien (bassin tellien)
Etude volcanologique	-La bentonitisation se développe au niveau des appareils volcaniques - Dynamisme strombolien - Présence de dômes	-Les appareils volcaniques se localise au niveau de la mer - Dynamisme strombolien - Dôme érodé
Etude pétrographique	- Présence de rhyolites massives, ignimbrites, perlites et pyroclastites	- Présence de Pyroclastites essentiellement.
Etude Géochimique	-Produits Rhyolitiques Calco-alcalins -Tous les facies bentonitisés sont riches en eau - Diminution des éléments ($\text{SiO}_2 / \text{CaO}$) - Augmentation de : Al_2O_3 et MgO	- Produits Rhyolitiques Calco-alcalins - les argiles bentonitiques sont de nature argileuse à sableuse - Diminution des éléments ($\text{SiO}_2 / \text{CaO}$) - Augmentation de : Al_2O_3 et MgO
Etude morphotectonique	-Tectonique active et récente au niveau des gisements	-Tectonique active et récente au niveau des gisements

Ayadi, A., Ousadou, A.F., Bourouis, S. ET Benhallou, H., 2002, Seismotectonics and seismic quietness of the Oranie region (western Algeria); the Mascara earthquake of August 18 1994, Mw = 5.7, Ms = 6.0. *Journal of Seismology*, 6, 13-23.

Beghoul N, Chatelain JL, Boughacha M-S, Benhallou H, Dadou R and Mezioud-Saich (2009) Seismic Empirical Relations for the Tellian Atlas, North Africa, and their Usefulness for Seismic Risk Assessment. *Pure Appl. Geophys.* 167 (2010), 277–321

Black RF (1983) Pseudo-ice wedge casts of Connecticut, northeastern United States, *Quaternary Research*, 20, p. 74-89
Black RF (1979) Clastic dikes of the Pasco Basin, southeastern Washington, Rockwell Hanford Operations Report, RHO-BWI-C-64, 65pgs.

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.

Boulaine J (1955) Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols s'Algérie au 1/200 000. Feuille de Mostaganem N21. *PÉDOLOGIE — C.S, N° 6 ALGER 1955* Brothers, R.J., Kemp, A.E.S., Maltman, A.J., 1996. Mechanical development of vein structures due to the passage of earthquake waves through poorly consolidated sediments. *Tectonophysics* 260, 227–244.

BENDOUKHA, R. 1987 ; Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quaternaire de la basse Tafna (Oranie occidentale). Thèse de magister (pétrologie structurologie). IST/USTHB.

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.

Boukhedimi, M A., 2010. Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara (Maghnia ; Algérie nord occidentale). Mémoire de Magister en Géologie. Université d'Oran 101.

Boukhedimi 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.

Belanteur, O., Bellon, H., R.C., Ouabadi, A., Coutelle, A., Semroud, B., Megartsi, M. And Fourcade, S., (1995). Le magmatisme Miocène de l'Est de l'Algérois : géologie, géochimie et géochronologie 40K-40 Ar. *C.R. Acad. Sci. Paris*

Bellon, H., Guardia, P., et Magné, J., (1984). Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale). Conséquences géodynamiques. *Géol.*

Méditerranéenne,

Bendoukha, R., (2008) Etude dynamique, pétrographique et géochimique du volcanisme alcalin plio-quadernaire de l'Oranie (Algérie nord occidentale) Thèse doctorat, USTHB, Alger.

BENTAL. (2009)- Levé topographique des gisements de la bentonite de Hammam Bouhrara. Rapport interne.

Benhamouche A, Bourenane H (2016) « Evidence of seismites in coastal Quaternary deposits of western Oranie (northwestern Algeria)

CRAAG (1994) : Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. Publication du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, Département : Etudes et Surveillance Sismique, ESS, C.R.A.A.G, Alger-Bouzaréah.

CRAAG (2001) : Les séismes en Algérie de 1992 à 2001. Publication du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, Département : Etudes et Surveillance Sismique, ESS, C.R.A.A.G, Alger-Bouzaréah.

Cosgrove, J.W., 1995. The expression of hydraulic fracturing in rocks and sediments. In: Ameen, M.S. (Ed.), Fractography: Fracture Topography as a Tool in Fracture Mechanics and Stress Analysis. Geological Society, Spec. Publ., vol. 92, pp. 187–196.

Deverchère J, Yelles K, Domzig A, Mercier de Lépinay B, Bouillin JP, Gaullier V, Bracène R, Calais E, Savoye B, Kherroubi A, Le Roy P (2005) Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake. Geophys Res, Let 32 :L04311

Domzig A (2006) Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne, PhD Dissertation, Brest (UBO) University, Institut Universitaire Européen de la Mer, Brittany, France, 333 pp.

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. (1969). Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Géol. Algérie, n°39, 89-131.

Fenet, B., (1975). Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément de l'orogénèse Nord-Maghrebines : Les monts djebel Tessala et les massifs du littoral oranais. Thèse, Sci., Univ., Nice. P 301.

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

Gentil L. (1903). Etude géologique du bassin de la Tafna. Publ. Serv. Carte géol. Algérie,

Guardia, P., (1975). Géodynamique de la marge alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie Nord occidentale.

Ken-Tor, R., A. Agnon, Y. Enzel, M. Stein, S. Marco, and J. F. W. Negendank (2001), Highresolution geological record of historic earthquakes in the Dead Sea basin, *J. Geophys. Res.*, 106(B2), 2221–2234, doi : 10.1029/2000JB900313

Louni-Hacini A (2002) La transition du magmatisme Calco-alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie (Algérie Nord Occidentale). Thèse de doctorat (pétrologiestructurologie). IST/USTHB.198p.

Marco S, Stein M, Agnon A, Rond H (1996) Long-term earthquake clustering: a 50000 years paleoseismic record in the Dead Sea Graben. *J Geophys Res* 101:6179–6192 .

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

Meghraoui M (1988) Géologie des zones sismiques de l'Algérie du Nord : Paléosismologie, tectonique active et Synthèse sismo-tectonique. Thèse d'Etat, University Orsay-Paris XI, p. 356

Mokrane A, Ait Messaoud A, Sebai A, Menia N, Ayadi A, Bezzeghoud M (1994) In : Bezzeghoud, M and Benhallou, H. (eds) Les séismes en Algérie de 1365–1992, CRAAG, Alger. p. 227

Montenat C, Barrier P, Ott d'Estevou P, Hibsich C (2007) Seismites: an attempt at critical analysis and classification. *Sediment Géol* 196:5–30

Saidani, S., (Juin 2000) : Rapport sur projet carte qualité sur les bentonites de Maghnia, carrière Roussel, ENOF.

Sibson, R.H., 1977. Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc.* 133, 191–213.

Sims JD (1975) Determining earthquakes recurrence intervals from deformational structures in young lacustrine sediments. *Tectonophysics* 29:141–152.

SADRAN G. (1958) - Les formations volcaniques tertiaires et quaternaires du tell oranais.

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.

Zerka, M., (1991). Etude des enclaves ultramafiques du volcanisme plio-quaternaire del'Oranie occidentale. Exemple des massifs d'AînTémouchent et de la basse Tafna. ThèseMagister, USTHB, Alger, 175p.