

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ D'ORAN  
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, GEOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

**Mémoire pour l'obtention du diplôme  
de Magister en Géologie**

**Spécialité : STRUCTUROLOGIE-PÉTROLOGIE-GÉOCHIMIE**

Thème

**ORIGINE DU PROCESSUS DE BENTONITISATION DES TERRAINS  
VOLCANOGENES RHYOLITIQUES DE HAMMAM BOUGHRARA  
(MAGHNIA; ALGERIE NORD OCCIDENTALE)**

PAR

**BOUKHEDIMI Mohamed Amine**

**Composition du jury :**

**Président .....Madame N.REMACI.....Maître de conférences (Univ.d'Oran)**

**Rapporteur.....Madame A. LOUNI.....Maître de conférences (USTHB)**

**Examineur.....Monsieur H. BENALI.....Maître de conférences (USTHB)**

**Examineur.....Monsieur R. BENDOUKHA....Maître de conférences (Univ.d'Oran)**

**Promotion: 2008 - 2009**

## Remerciements

### *A la mémoire de ma mère que j'aurais tant voulu voir assister à ma soutenance*

Ce travail n'aurait jamais abouti sans le soutien et l'aide de plusieurs personnes que je tiens à remercier ici :

- Mme LOUNI Amina qui a dirigé ce mémoire et qui n'a ménagé ni son temps, ni ses moyens pour l'aboutissement de ce travail. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance pour tous les conseils et discussions que nous avons eues.
- Me N. Remaci, qui nous fait l'honneur de présider le jury ;
- M. Benali et M. Bendoukha, pour avoir accepté de siéger parmi le jury.
- Monsieur le professeur Ouabadi qui m'a énormément aidé quant à l'aboutissement de ma thèse.
- M. Christoph Renac pour les analyses d'isotopes et des éléments majeurs qu'il m'a fournis et pour toutes les discussions que nous avons eues
- M. Jean-Yves Cottin pour sa disponibilité. Ses suggestions m'ont été d'un grand apport.
- M. Boutaleb, pour son aide sur le terrain, tous ses conseils et suggestions et pour sa contribution au travail.
- Monsieur le professeur Touahri, ainsi que tout le personnel de l'unité BENTAL (ENOF) de MAGHNIA pour tous les moyens qu'ils ont mis à notre disposition lors des missions de terrain.
- M. Belazzougui directeur du centre national de recherche appliquée en génie parasismique CGS pour m'avoir permis de faire mon stage de recherche.
- Mes enseignants en post-graduation : M. Ouabadi, Me Remaci, M. Haddoum, M. Kolli, M. Zeroual, M. Tablouna, M. Bendoukha, Me Benramdane.
- Me Graine, Me Belanteur et M. Benali pour leur disponibilité et contribution au travail.
- M. Cherfouh pour les cartes géols.
- M. TAREK ACHOUR, pour son aide sur le terrain
- Mme Amirouch et Mme Suici et tout le personnel du CRD.
- M. Seradj et tout le personnel d'image GIS.
- Me Lamach pour sa disponibilité et son aide en micropaléontologie.
- M. Bouhadad, M. Machane et M. Laouami pour leur disponibilité, leurs conseils, et leur contribution pour la correction.
- M. Jean-Luc Chatelain et Bertrand Guillier pour m'avoir aidé pour le Visa.
- M. Hamlaoui directeur de l'institut de l'archéologie de l'université d'Alger.
- Tous mes collègues du CGS.
- Mes camarades de post graduation : Midini, Djenaoui, Belaredj Laarbi, Chabani
- A la mémoire de Mme Rahim, qui m'a accueilli chez-elle. A M. Rahim et ses enfants. Je tiens à leur exprimer toute ma reconnaissance.

Je ne saurais terminer sans associer ma famille pour ses encouragements permanents qui m'ont donné la force nécessaire à ce travail ; qu'elle trouve ici l'assurance éternelle de mon affection.

Sommaire

<b>Remerciements.....</b>	<b>2</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre I : Introduction et cadre géographique.....</b>	<b>6</b>
I)- Introduction.....	7
I-1) Bentonite- définition et intérêt -.....	7
I-1-a) Caractéristiques.....	7
I-1-b) Domaines d'utilisation.....	8
I-2) But de l'étude.....	9
I-3) Moyens mis en œuvre.....	10
II)- Cadre géographique .....	11
Superficie et coordonnées géographiques.....	11
Secteur limitrophes.....	12
Topographie.....	12
Hydrographie.....	13
Climat.....	13
<b>Chapitre II : Cadre géologique.....</b>	<b>14</b>
Introduction (historique des travaux).....	15
Cadre géologique et structural de l'Oranie.....	16
Evolution géodynamique.....	18
Stratigraphie.....	19
Magmatisme.....	22
Cadre géologique du secteur d'étude.....	23
Stratigraphie du secteur.....	24
Volcanisme.....	25
Tectonique.....	27

### **Chapitre III : Etude Morphotectonique :**

#### **Mise en évidence des relations existantes entre la bentonitisation et la tectonique cassante à Hammam Boughrara. ....28**

Introduction.....	29
Analyse Morphotectonique.....	29
Données initiales.....	29
Définition du travail.....	29
Interprétation des modèles numériques de terrains.....	30
Conclusion de l'étude Morphotectonique.....	35

### **Chapitre IV : Etude Volcanologique :**

#### **Mise en évidence des relations existantes entre la bentonitisation et la dynamique volcanique à Hammam Boughrara. ....37**

Introduction.....	38
Morphologie et structure.....	38
Structure des dômes rhyolitiques.....	42
Histoire volcanologique.....	42
Conclusion à l'étude Volcanologique.....	45

### **Chapitre V : Etude Pétrographique :**

#### **Mise en évidence des relations existantes entre la bentonitisation et les faciès rhyolitiques à Hammam Boughrara. ....47**

Introduction.....	48
Description des affleurements (macroscopie).....	48
Les rhyolites.....	48
Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques.....	52
Etude des lames minces (microscopie).....	56
Les rhyolites.....	56
a) Les textures.....	56
b) Les phénocristaux.....	57
c) La mésostase.....	58
d) Séquence de cristallisation.....	62
e) Les altérations.....	62

Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques.....	62
1) La phase de liaison.....	63
2) La phase clastique.....	63
Cas des tufs consolidés massifs (ignimbrites).....	67
Les altérations associées.....	68
Etude pétrographique des faciès bentonitisés.....	70
1) Les rhyolites massives.....	70
2) Les rhyolites fluidales.....	73
3) Les rhyolites perlitiques.....	74
4) Les pyroclastites et tufs pyroclastiques.....	75
Conclusion de l'étude pétrographique.....	76

### **Chapitre VI : Etude Minéralogique et Géochimique :**

<b>Mise en évidence des changements chimiques affectant les faciès rhyolitiques bentonitisés .....</b>	<b>77</b>
Introduction.....	78
Minéralogie.....	78
1) Les feldspaths.....	78
2) Les biotites.....	80
3) Minéralogie des tufs pyroclastiques.....	82
Nomenclature et classification des laves rhyolitiques.....	83
Mise en évidence des changements chimiques dans les faciès bentonitisés.....	85
1) Les éléments majeurs.....	85
2) Les éléments en traces.....	86
3) Résultats des isotopes.....	88
Conclusion de l'étude Minéralogique et Géochimique.....	90

### **CHAPITRE VII : Conclusion Générale :**

<b>« Origine du phénomène de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara ».....</b>	<b>91</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>95</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>100</b>

**CHAPITRE I :  
INTRODUCTION ET CADRE  
GEOGRAPHIQUE**

## I) Introduction:

Les dômes rhyolitiques de Hammam Bouhrara sont les plus anciens témoins du volcanisme cénozoïque en Oranie. Les produits volcaniques-(rhyolites et dépôts pyroclastiques) projetés par des centres d'émissions réparties de part et d'autre de l'Oued Tafna se répartissent sur plus de 200km<sup>2</sup> et la bentonitisation apparue dans ces milieux volcanogènes est à l'origine des plus grands gisements d'argile bentonitique en Algérie.

Le présent travail rentre dans le cadre de la préparation d'une thèse de magister en géologie option: Structurologie – Pétrologie – Géochimie.

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

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

### I-1)-Bentonite -définition et intérêt- :

(De Fort Benton, aux Etats-Unis) est une argile constituée essentiellement de montmorillonite. Aujourd'hui on a tendance à la considérer comme une variété de smectite.

La bentonitisation, c'est la transformation en argile bentonitique par altération hydrothermale.

**Tableau 1 : Compositions chimiques représentatives de montmorillonite pure  
Et de Bentonites de différentes localités (% Poids).**  
(document bental 2002)

	Bentonite de Maghnia, Algérie	Montmorillonite pure	Bentonite du Sud des Etats- Unis	Bentonite du Wyoming
SiO <sub>2</sub>	58.89	51.14	59.00	64.30
TiO <sub>2</sub>	0.28	n.d	n.d	n.d
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.37	19.76	18.40	19.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	0.83	5.10	4.04
FeO	n.d	n.d	1.26	2.60
MnO	0.07	n.d	n.d	n.d
MgO	3.37	3.22	2.86	2.03
CaO	1.06	1.62	3.88	0.73
Na <sub>2</sub> O	1.32	0.11	0.41	2.81
K <sub>2</sub> O	1.30	0.04	0.78	0.44
H <sub>2</sub> O+	4.46	7.99	2.91	1.14
H <sub>2</sub> O-	8.26	14.81	5.40*	2.11*
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	n.d	n.d	n.d
SO <sub>3</sub>	0.68	n.d	n.d	n.d
Total	100.43	99.52	100.00	100.00

#### I-1-a)-Caractéristiques :

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

Ces matériaux argileux sont caractérisés par la superposition des feuillets élémentaires.

Entre ces feuillets se situent des cations échangeables, principalement Ca et Na. Pour cela il existe trois principaux types de bentonites qui sont commercialisés (BRGM, 1983)

- Des Bentonites calciques naturelles.

- Des Bentonites sodiques naturelles.
- Des Bentonites sodiques artificielles obtenues par, échanges des ions Ca des Bentonites calciques naturelles par des ions Na, grâce à un ajout de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

### **I-1-b)-Domaines d'utilisation de la bentonite :**

L'intérêt porté à cette variété de montmorillonite et à la montmorillonite en générale est expliqué par les propriétés suivantes :

- Une capacité de gonflement dans certains liquides et en particulier dans l'eau, lui permettant de fixer dix à quinze fois son volume d'eau.
- Une capacité de fixation de cations comparable à celle de tous les échangeurs d'ions naturels, illustré par l'équation de la réaction d'échange.



Ou  $\text{A}^+$  et  $\text{B}^+$  deux cations

X : un anion M : un échangeur.

L'utilisation de la bentonite touche plusieurs domaines industriels qui sont :

- Fonderie : fabrication des moules de fonderie.
- En génie-civil : création des voiles d'étanchéité d'excavation.
- Forage : (boue de forage), une tonne de bentonite sodique permet de produire plus de 16m<sup>3</sup> de boue de forage en milieu non salé. Les propriétés de viscosité de ces boues permettent de remettre les 'cuttings' en surface.
- Bouletage du minerai de Fer.
- Nourriture animale.
- Chromatographie papetière, sucrerie, terres absorbantes et décolorantes.
- Génologie : traitement des vins, vinaigres et bières.
- Peintures et vernis : émulsion.
- Céramique.
- Pharmacie : pour certaines préparations.
- Industrie du pétrole : catalyseurs de cracking.
- Fabrications des graisses : bentones.
- Agriculture : support de produits insecticides et fongicides.
- Décoloration des huiles minérales et végétales. Dans ce dernier cas, elles portent le nom de terres décolorantes.

En fonction de leur utilisation, les argiles bentonitiques doivent, après traitement, répondre à des paramètres physico-chimiques dont les principaux se rapportent à la viscosité et au pouvoir de décoloration.

Le tableau page suivante établi par le groupe minier canadien SIDAM 1976 illustre parfaitement les paramètres physico-chimiques exigé dans la bentonite pour chaque application, les traitements qu'elle va subir et les marchés qui lui sont attribués.

Tableau 2 : Bentonite, spécifications minimales requis pour chaque application

Bentonite première qualité		Marché	Production
Q1	-Na <sub>2</sub> O supérieur à 2% -Indice de gonflement supérieur à 20 -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> inférieur à 20% -SiO <sub>2</sub> entre 55-65% -CaO inférieur à 2%	Pelletisation du minerai de Fer Boues de forage Fonderie Genie-civil	Séchage à 10% d'humidité pour bouletage, vendue en vrac. Séchage à moins 5% d'humidité et pulvérisation à 90%. Moins 74 µm, pour forage, fonderie et génie-civil.
Bentonite deuxième qualité			
Q2	-Na <sub>2</sub> O supérieur à 1% -Indice de gonflement supérieur à 15 -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> inférieur à 20% -MgO inférieur à 3% -CaO inférieur à 4%	Fonderie Genie-civil Bentonite de charge	Séchage à 10% d'humidité maximum pulvérisation à 85-90%. Moins 74 µm, en séchage
Bentonite troisième qualité			
Q3	-Indice de gonflement entre 10 à 15 -Propriétés chimiques ne répondent pas aux classes 1 et 2 et aux terres décolorantes	Traitement des eaux, bentonite de charge, Genie-civil, applications modérées, fonderie, 2ème qualité	Séchage à 10% d'humidité maximum pulvérisation à 85-90%. Moins 74 µm, en séchage
Terres décolorantes, huiles végétales			
Q4	-MgO supérieur à 4% -Indice de gonflement supérieur à 8 -SiO <sub>2</sub> entre 55-65% -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> inférieur à 18-21% -Fe inférieur à 2%	Décoloration des huiles végétales, milieu d'adsorption d'insecticides. Catalyseurs	Séchage à 10% d'humidité, classification ; digestion à l'acide sulfurique 44% en poids ; matière soluble ; moins de 1% à l'état sec ; aires de surface, 200 minimums.
Terres décolorantes, huiles minérales			
Q5	-MgO supérieur à 3% -Indice de gonflement supérieur à 10 -SiO <sub>2</sub> entre 55-65% -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> inférieur à 8-20% -Fe inférieur à 2%	Décoloration des huiles minérales, milieu d'adsorption d'insecticides (basse teneur). Absorbant, désodorisant	Séchage à 10% d'humidité, classification ; digestion à l'acide sulfurique 28% en poids ; matière soluble ; moins de 1% à l'état sec ; aires de surface, 100 min

## I-2) But de l'étude :

Les objectifs étaient :

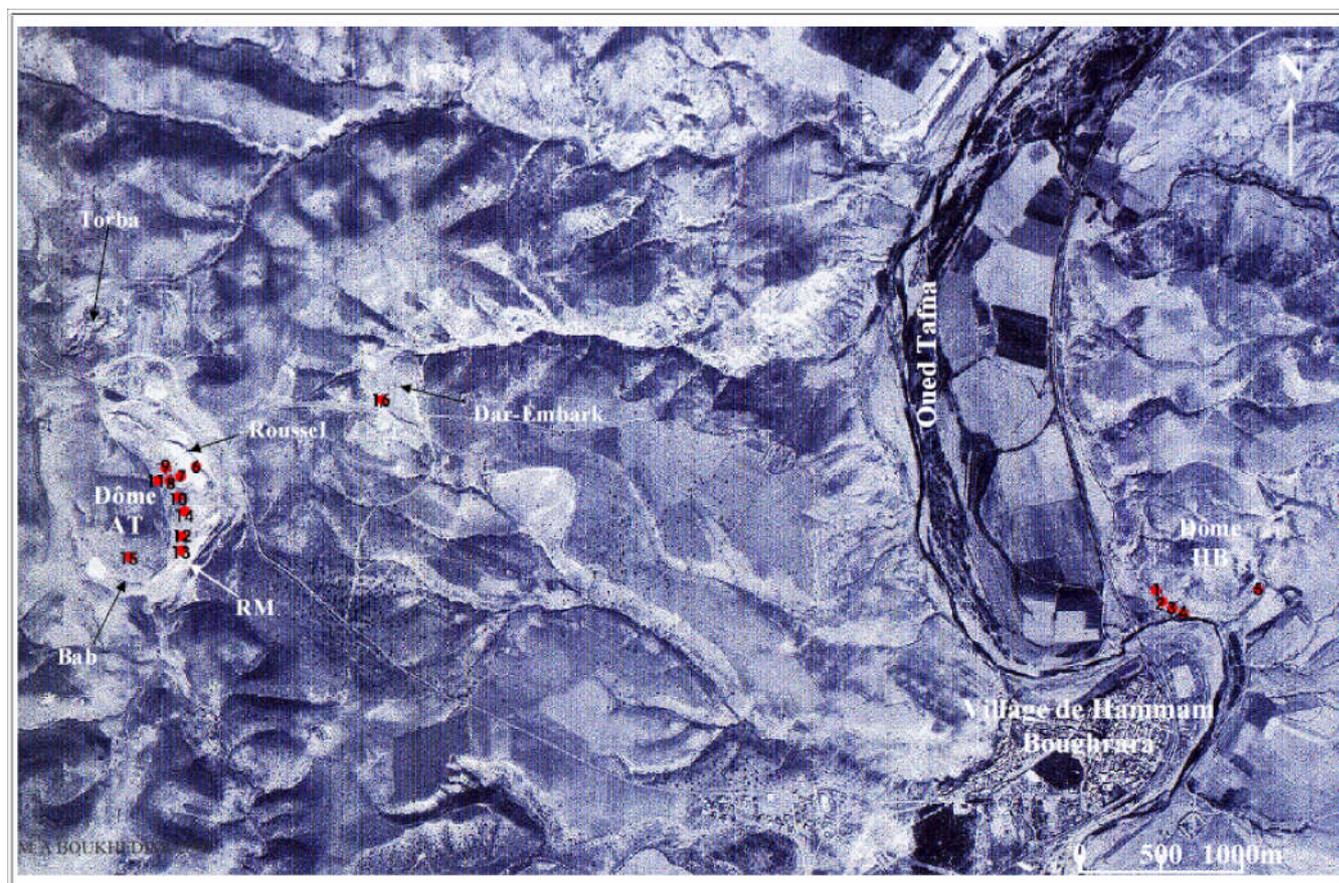
- \*D'étudier en détail les différents faciès rhyolitiques de la région de Hammam Boughrara (dômes et dépôts pyroclastiques).
- \*D'étudier en détail la structure et le modèle de gisement des dômes et des dépôts associés.
- \*De proposer une approche cinématique aboutissant à la structure actuelle de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

Le but général étant de retrouver l'origine du processus de bentonitisation affectant les terrains volcanogènes rhyolitiques de la région de Hammam Boughrara.

### I-3) Moyens mis en œuvre :

Pour mener à bien ce travail nous avons entrepris :

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



**Fig1** : Situation géographique des pitons rhyolitiques et des carrières de bentonite de Hammam Bouhrara (zone étudiée).

Les numéraux représentent les principales zones d'échantillonnages à partir desquelles on a effectué des lames minces analyses chimiques.

**Dôme HB** : Piton rhyolitique de Hammam Boughrara.

- 1 : Rhyolite.
- 2 : Rhyolite fluidale.
- 3 : Tuf pyroclastique consolidé.
- 4 : Rhyolite perlitique.
- 5 : Pyroclastite.

**Dôme AT** : Piton rhyolitique de Ain Torba.

- 6 : Tuf pyroclastique fin.
- 7 : Tuf pyroclastique grossier.
- 8 : Rhyolite perlitique bentonitisée.
- 9 : Rhyolite perlitique plus au moins bentonitisée.
- 10 : Rhyolite perlitique.
- 11 : Rhyolite fluidale.
- 12 : Rhyolite compacte.
- 13 : Pyroclastite.
- 14 : Rhyolite fluidale bentonitisée.
- 15 : Rhyolite compacte.
- 16 : Rhyolite + Tuf pyroclastique.

## II) Cadre géographique :

Le secteur d'étude se situe dans la plaine de Maghnia partie intégrante du bassin de la moyenne Tafna qui à son tour fait partie de l'Oranie (l'Algérie nord occidental).

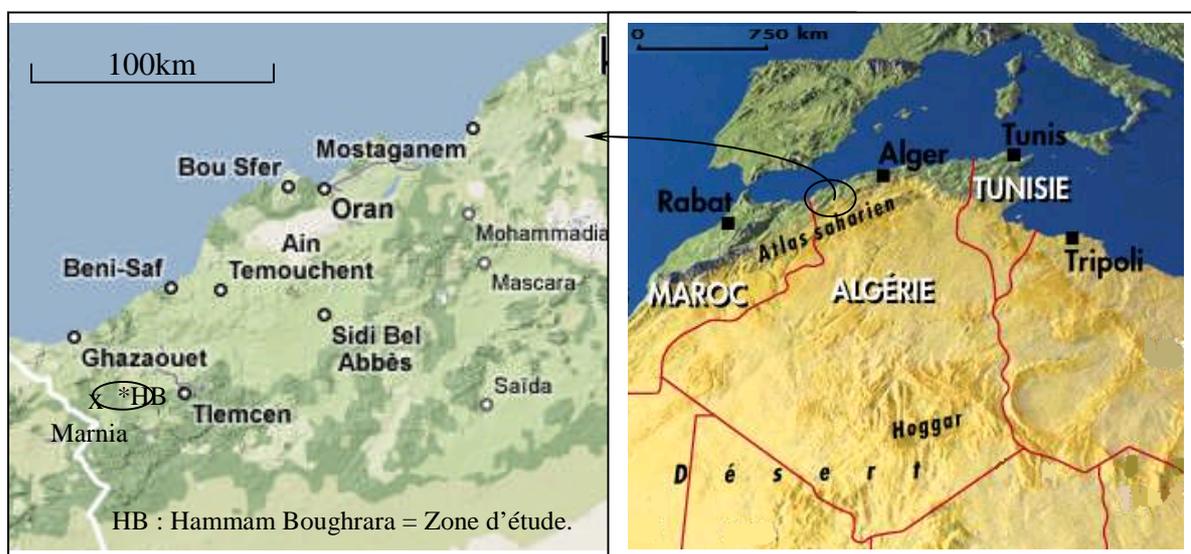


Fig.2 : situation géographique.

la Superficie du secteur est d'Environ 500 km<sup>2</sup>.

les Coordonnées géographiques du point central de la zone d'étude sont : 34° 55' N , 1° 39' W.

**Secteur limitrophes**

Le secteur d'étude est situé près du village de Hammam Boughrara, au nord-ouest de l'Algérie, distant de 30km à l'ouest de la ville de Tlemcen (chef-lieu de la Wilaya) et à 14km de la frontière Algéro-Marocaine sur une latitude de 34°54'N et une longitude de 1°38'W. Cette région est limitée au Nord et à l'Ouest par la chaîne de Fillaoussène, et au Sud par la plaine de Maghnia et les monts de Tlemcen.

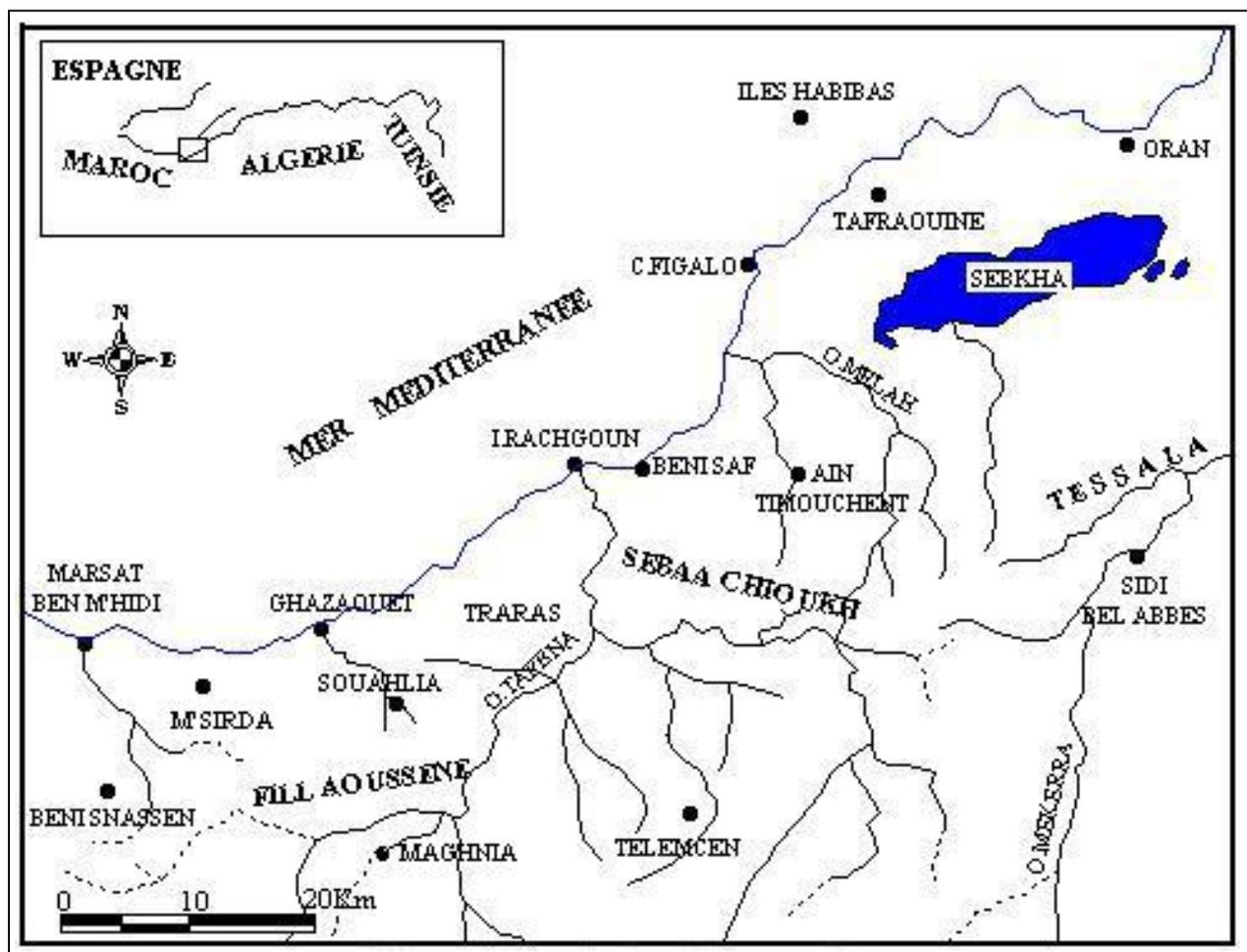


Figure 3 : Esquisse géographique de la zone étudiée.

**Topographie**

Les grands traits orographiques de cette partie de l'Oranie sont marqués par les alignements atlasiques SW-NE des reliefs, qui sont séparés par des dépressions de même orientation.

La plaine de Maghnia se situe entre deux massifs atlasiques ; le massif hercynien des Traras avec son prolongement méridional, la chaîne du Fillaoussène au nord et les monts de Tlemcen au sud (l'altitude de ces massifs montagneux dépasse souvent 1000m). Elle s'allonge sur la bordure Nord

du domaine des hauts plateaux avec une altitude qui n'excède pas les 500m au dessus du niveau de la mer.

### **Hydrographie :**

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

### **Climat**

La région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen, avec des étés chauds et secs et des hivers doux et pluvieux. Il s'agit d'une des zones les plus humides d'Algérie, avec des précipitations annuelles variant entre 400 et 1 000 mm d'eau. Les températures moyennes estivales et hivernales sont respectivement de 25 °C et de 11 °C. En été, le sirocco, un vent sec et très chaud (appelé localement le Chehili), souffle depuis le Sahara en direction du nord.

## CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

### ***Introduction : (Historique des travaux)***

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

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

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

- Les premières études concernant les gisements éruptifs sont attribuées à G.VELAIN (1874) donnant une description pétrographique succincte des roches éruptives des îles Habibas.

- POUYANNE (1877) signale la présence de basalte dans la moyenne Tafna, ce qui est confirmé par les travaux de CURIE et FLAMAND (1890-1899). Ces derniers donnèrent aussi un aperçu pétrographique sur la région de Tifaraouine et des îles Habibas.

- L.GENTIL (1903) dans ses travaux sur le bassin de la Tafna a publié une étude plus détaillée sur les massifs volcaniques de la moyenne et la basse Tafna, reconnu le Tifaraouine, les îles Habibas et la région de Ain Témouchent, cette étude est complétée par la publication d'une dizaine de cartes géologiques sur la province d'Oran levées à 1/50 000 et 1/20 000.

- A.LACROIX (1893 - 1927) dans ses ouvrages "la minéralogie de la France et de ses colonies", et "les enclaves des roches volcaniques" a apporté de nouvelles connaissances minéralogiques et chimiques des roches volcaniques de l'Oranie.

- J.DELAPARENT (1945) et G.MILLOT (1953) reprennent et complètent l'étude géologique et minéralogique de la région.

- G.SADRAN (1958) a étudié le volcanisme récent de la région et publié diverses analyses chimiques des roches éruptives.

- B.FENET (1975) et P.GUARDIA (1975) actualisent les données structurales et géodynamiques de l'Oranie.

- H.BELLON et R.BROUSSE (1977), et BELLON et GUARDIA (1980) publient des résultats de datations radiométriques (K/Ar) et attribuent au volcanisme Oranais un âge mioplio-quadernaire (9- 4,5 - 1 Ma).

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

- Les travaux de G.THOMAS (1984) ont été consacrés à l'analyse géodynamique du bassin intramontagnard du bas Chélif et l'extrémité orientale de la Moyenne Tafna.

- M.MEGARTSI (1985) précise les données volcanologiques et pétrologiques du volcanisme de l'Oranie Nord Occidentale. Il étudie notamment le volcanisme calcoalcalin miocène situé dans la zone Tifaraouine - Bouzedjar, et le volcanisme alcalin mioplio-quadernaire de la basse Tafna, les Souhaita, et de Ain Témouchent.

- LEMOU et KOUDIL (1993) ont montré l'appartenance des laves miocène des secteurs de Ain Roumana et Hadjrat El Kahla (moyenne Tafna) à la série calco-alcaline à tendance alcaline.

- ABAD (1993) dans son étude des laves quadernaires 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.GUENDOZ (1994) sont consacrés à l'étude de l'évolution géomorphologique et géodynamique des monts des Traras.
- A-LOUNI-HACINI et Al (1995) complètent les datations (K/Ar), actualisent et mesurent le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin en Oranie.
- A.LOUNI (2002) a mis en évidence le passage du volcanisme calco-alcalin au volcanisme alcalin par des analyses géochimiques.

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

- En 1971, puis 1978 l'ORGM et SONAREM ont effectué une estimation économique des gisements Bentonitiques de Hammam Boughrara.
- En 1979 SIDAM (Société industrielle Canadienne) réévalua les réserves d'argiles Bentonitiques de la région de Maghnia et publia des rapports sur leurs qualités.
- En 1992 l'ORGM division de Sidi-Bel-Abbès a rédigé un rapport sur les travaux de révisions des argiles Bentonitiques de Hammam Boughrara (site Dar Embarek).
- En 1994 SIDAM a réalisé des cartes de distributions des paramètres chimiques et physiques des Bentonites de la région de Maghnia.
- Khadidja GRAINE (2000) met en évidence les différents facteurs conduisant à la bentonitisation dans les milieux volcanogènes de la région de Hammam Boughrara.
- ENOF groupe de BENTAL (2002) publie : 'le projet de développement des gisements d'argiles Bentonitiques de Maghnia et Mostaganem'.

### **Cadre géologique et structural de l'Oranie :**

En rappel, la région ibéro-maghrébine appartient à l'orogène alpin périméditerranéen. Dans sa partie la plus occidentale, cet orogène est représenté par les Cordillères bétiques en Espagne et les Maghrébides qui forment une chaîne littorale allongée sur plus de 2000 Kilomètre, allant du Rif au Maroc jusque au Tell en Algérie et en Tunisie. Il se poursuit plus à l'Est jusqu'aux Apennins, formant l'arc calabro-sicilien (Durand-Delga, 1971) (Planche 3-fig.a).

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

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

Des unités de flysch situées entre ces deux domaines structuraux, les recouvrent également par endroits. (Planche 3-fig.b)



Le nord ouest de l'Algérie (l'Oranie) appartient au domaine externe de la chaîne alpine (planche1). Guardia (1975) distingue dans cette région deux zones structurellement différenciées (<sup>(1)</sup>zone tellienne et <sup>(2)</sup>zone atlasique).

La première<sup>(1)</sup> est constituée de terrains néogènes sublittoraux qui s'allongent parallèlement à la côte méditerranéenne depuis la frontière Algéro-Marocaine à l'Ouest jusqu'au méridien d'Alger. Ces terrains constituent le tell.

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

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

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

### **Evolution Géodynamique :**

La structure actuelle de la région commence à se dessiner à l'ère tertiaire. L'Afrique, bloquée dans son mouvement de translation vers l'Est qui a débuté au Jurassique avec l'ouverture de l'Atlantique central, effectue une rotation autour d'un pôle situé vers la pointe sud de l'Espagne. Le plancher océanique téthysien s'en trouve en partie résorbé par subduction; les microplaques comprises entre l'Europe et l'Afrique entrent en collision. Ainsi, suivant des lignes de contact capricieuses, les systèmes montagneux alpins se structurent et s'élèvent (dont les structures atlasiques), en plusieurs étapes inégalement réparties dans l'espace et dans le temps.

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

C'est dans cette paléogéographie reconstituée par les différentes études micropaléontologiques et stratigraphiques ,mais aussi structurales, que Guardia (1975) va mettre en évidence dans l'Oranie le terme de bassin dit « synchronappes » (fig.4) ;en effet le contexte de compression tertiaire va donner naissance à des nappes de charriage dans un tell Oranais immergé sous une faible tranche d'eau au miocène constituant un bassin sédimentaire, où seules les chaînes atlasiques étaient émergées (îles).

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

dans certains endroits, être conglomératique ou représenté par des affleurements transgressés et démantelés.

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

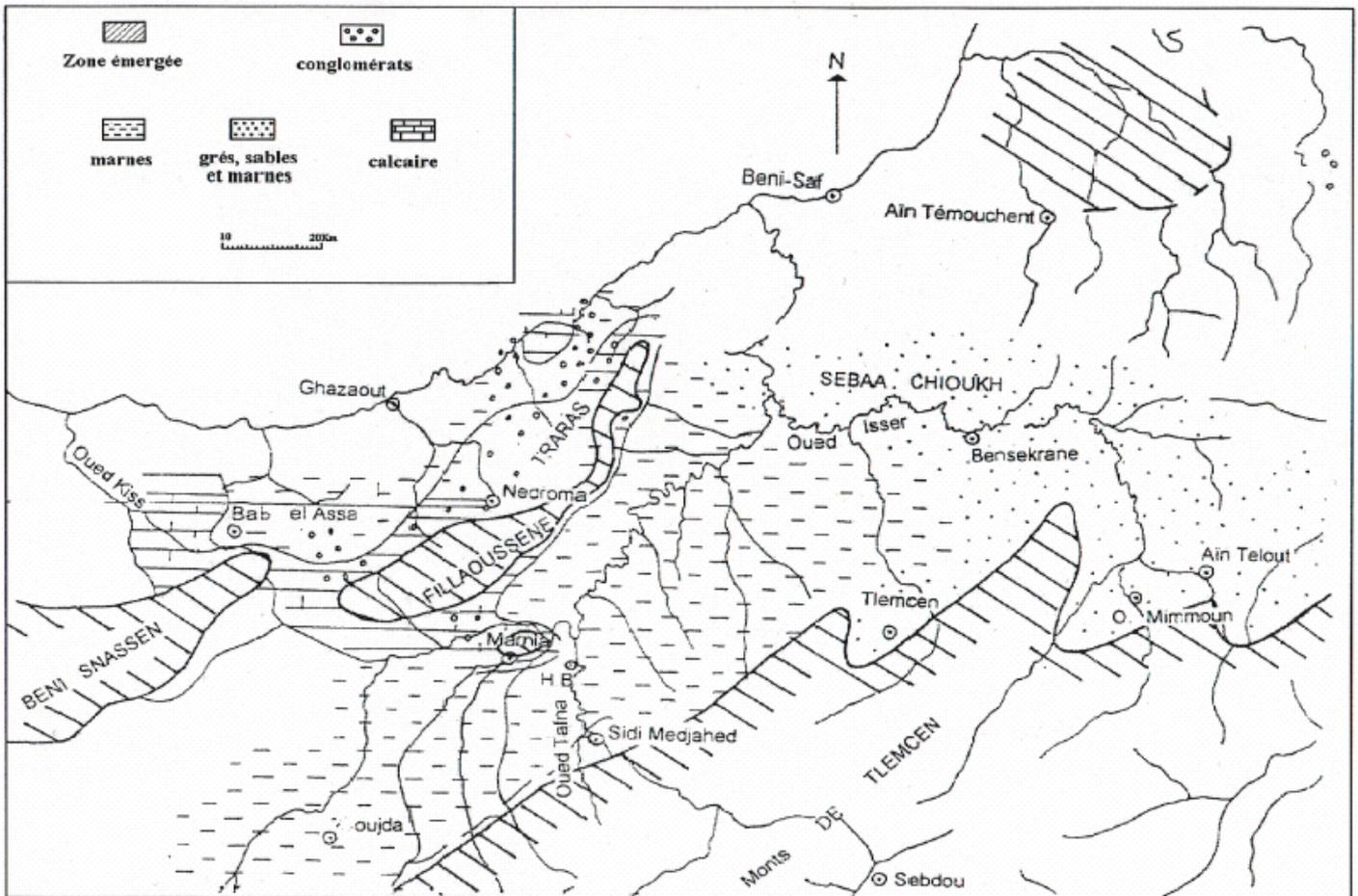


Fig.4: bassin Miocène syncro-nappes.(d'après Guardia1975).

**Stratigraphie :**

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

Le Miocène synchro-nappes constitue une formation importante surtout au Sud d'Aïn Temouchent (Sebaa Chioukh) où il est marno-gréseux ;dans la vallée de la Tafna où il est marneux et dans Trarras où il est marno-carbonatés (voir fig.4). Il se développe vers l'Est dans les Tessala. Les études micro paléontologiques les plus fines (Guardia 1975 ;Bellon et al 1984), conduisent à attribuer un âge Serravalien à ces formations du Miocène synchronappes. Dans la région d'Oran et d'Arzew, les niveaux stratigraphiques les plus bas du Miocène synchro-nappes ont fourni un âge plus ancien, Langhien (selon Fenet 1975).

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

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

- la formation "rouge" continentale à saumâtre, qui affleure très largement, surtout dans la moyenne Tafna où elle atteint les contreforts du Fillaoussène. Dans ces niveaux sont intercalés, près de Hammam Boughrara, des lits blanchâtres de tufs rhyolitiques remaniés, bien visibles dans le paysage.
- la formation marine des "marnes bleues" fait suite à la précédente dans la région des Sebaa Chioukh.
- enfin, une formation calcaire couronne cette série, également vers le Nord. Dans le secteur Bouzedjar-Tifaraouine, ce cycle miocène terminal comprend essentiellement des marnes à la base, surmontées par des niveaux calcaires à algues ;la sédimentation dans ce secteur se raccordant bien à la suite du bassin oriental de la Tafna. Dans le bassin occidental des M'Sirda, il existe une formation marine, essentiellement marneuse se terminant par une dalle calcaire.

Le Pliocène comprend deux ensembles :

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

Le plio-quatenaire est représenté par des formations continentales où la sédimentation est marquée par des alluvions argilo-sableux et des conglomérats.

Les terrasses quaternaires sont bien visibles dans toute l'Oranie.

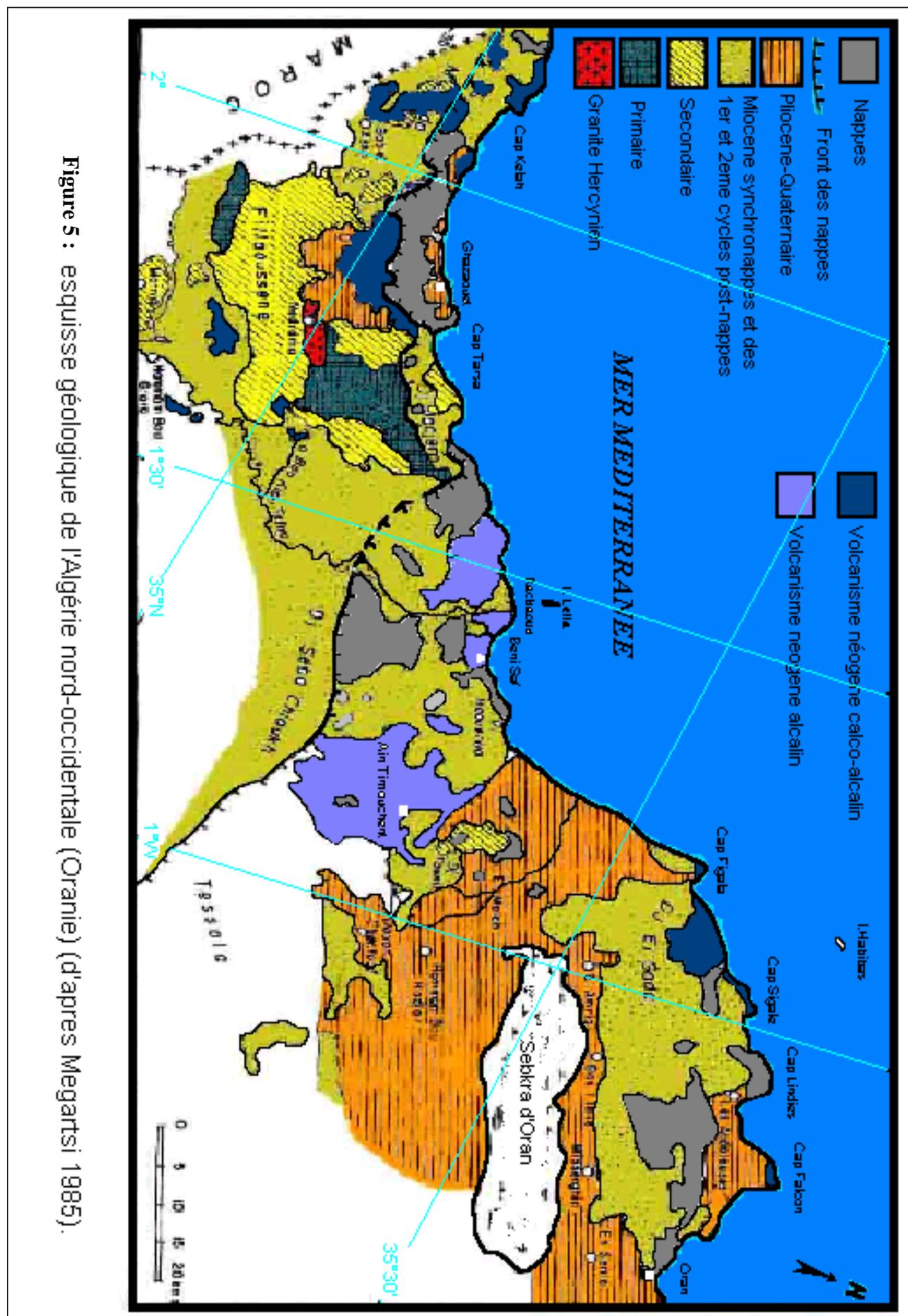
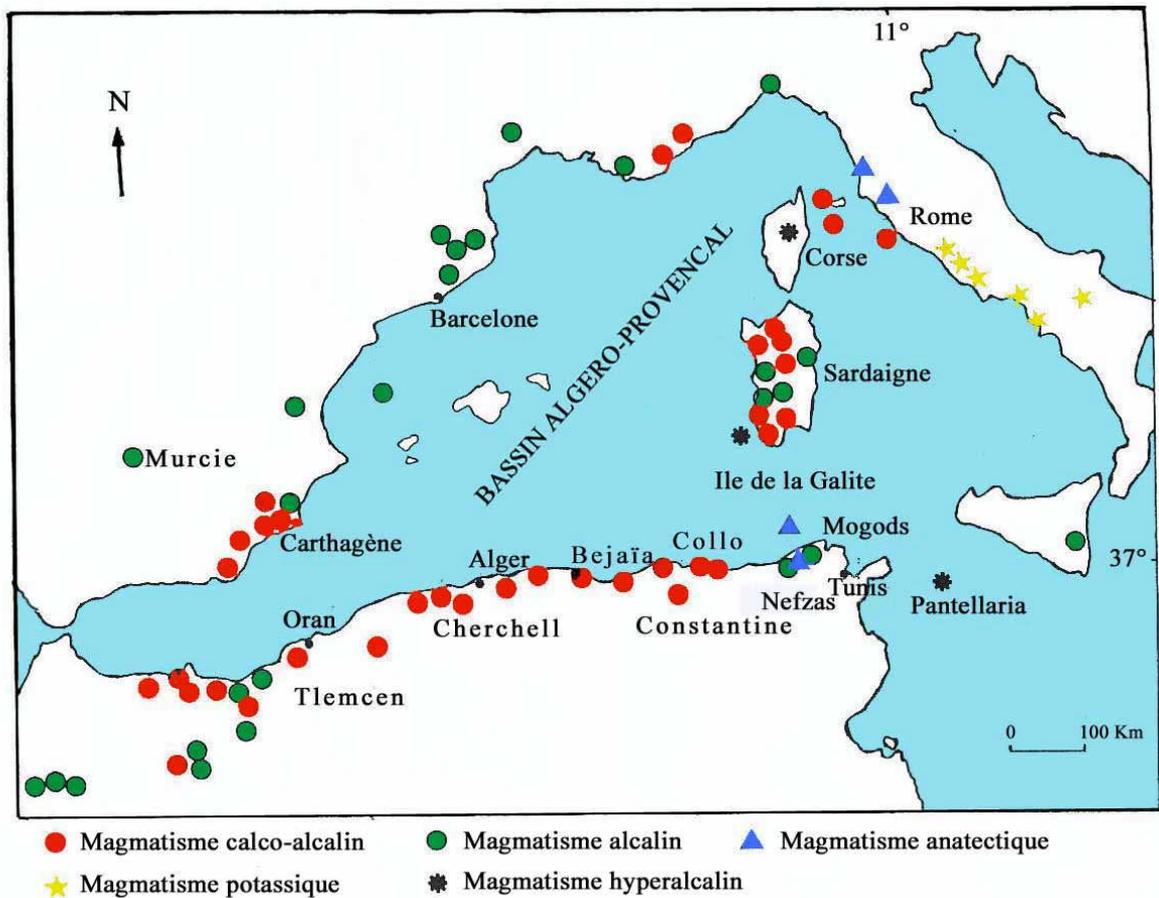


Figure 5 : esquisse géologique de l'Algérie nord-occidentale (Oranie) (d'après Megartsi 1985).

### **Magmatisme :**

Le miocène est caractérisé par le début des manifestations volcaniques qui vont se poursuivre jusqu'au quaternaire et affecter toute la région Oranaise. La nature de ce volcanisme va dépendre de l'endroit et du moment (du temps) de sa manifestation. Les émissions du miocène supérieur se répartissent en trois centres importants qui sont d'Est en Ouest (selon Megartsi 1985) : Le centre du Sahel d'Oran, de la moyenne Tafna, et celui de M'sirda. Le volcanisme débute dans la moyenne Tafna (environ 15MA) par l'émission de rhyolite, il se poursuit dans le Sahel d'Oran entre 11,7 et 9 MA par l'émission d'andésites, de dacites et de rhyolites, et il se termine dans le M'sirda (7,5MA) par des émissions basaltiques et andésitiques. Ces émissions du miocène supérieur correspondent à une série calco-alcaline potassique. C'est la réponse au contexte tectonique compressif du miocène (l'orogénèse alpine proprement dite).

Au Plio-Quaternaire c'est un volcanisme basaltique, qui s'est manifesté et qui se distingue des phases éruptives miocènes par son caractère essentiellement basique et alcalin, et par la grande étendue des surfaces couvertes. Les laves à caractères alcalins, s'installent dans les massifs de Ghazaout, et dans la basse et moyenne Tafna, à M'sirda et autour d'Ain Temouchent (voir fig.6). Les émissions basaltiques à caractère transitionnel sont mises en évidence dans la moyenne Tafna. Cette transition du volcanisme calco-alcalin au volcanisme l'alcalin s'est faite au tortonien (Louni-Hacini 2002). Cette transition est la réponse de la fin de l'orogénèse alpine proprement dite (l'abaissement du régime de l'orogénèse alpine). En effet ; bien que l'orogénèse alpine se poursuit jusqu'à présent, les données de la sismicité notamment celles de la paléo-sismicité de la région montrent clairement une activité tectonique beaucoup plus intense jusqu'au Tortonien. Il est donc tentant de rattacher ce changement dans la nature du volcanisme en Oranie à celui du changement du régime de l'orogénèse alpine.

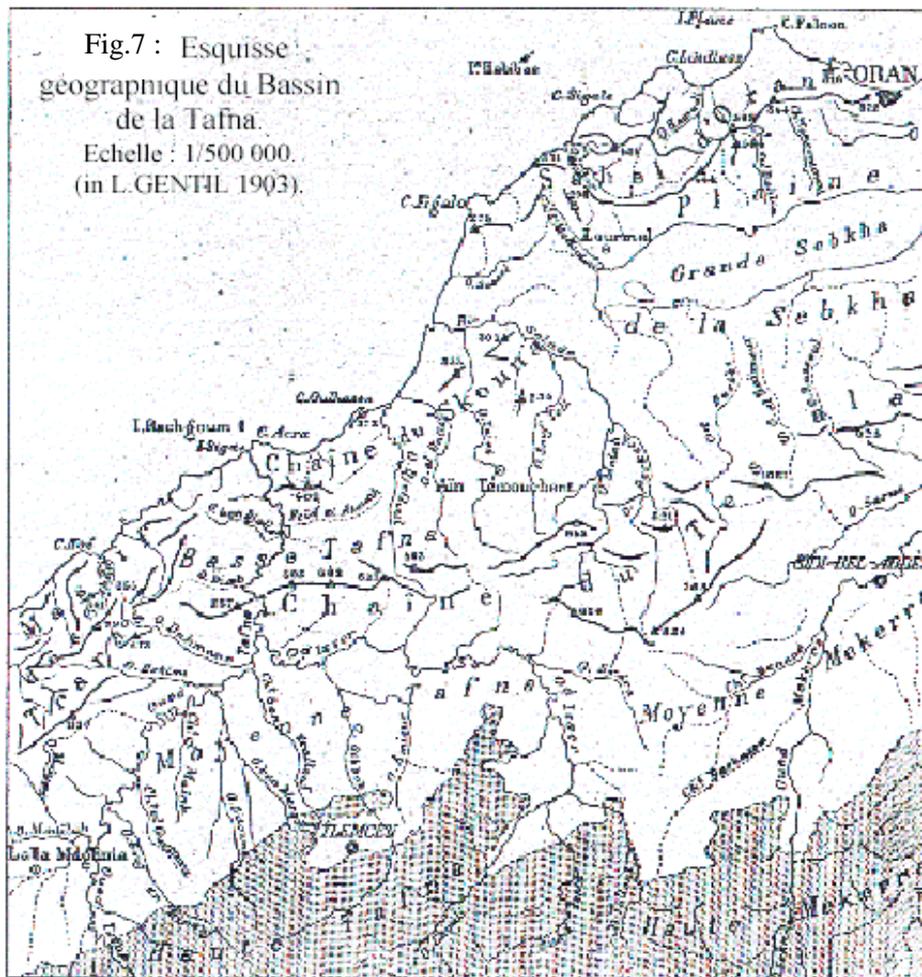


**Figure 6** : le magmatisme néogène du pourtour de la méditerranée occidentale, d'après N. Laridhi Ouzaâ (1994)

**Cadre géologique du secteur d'étude :**

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

Le secteur d'étude fait partie du bassin de la moyenne Tafna. Ce bassin correspond à une dépression Tertiaire qui présente un aspect de fossé intramontagneux, encadré par deux chaînes Atlasique, les monts de Tlemcen au Sud ; les Traras, le Fillaoussene (1136m) et la moitié occidentale de la chaîne de Tessala au Nord (Fig.7).



**Stratigraphie du secteur :**

Dans cette région, les principaux affleurements sont d'âge Miocène et Pliocène. Ces formations dessinent un pli synclinal, dont les flancs laissent apparaître les grès du Jurassique supérieur (Lusitanien). (voir carte et coupe page21).

**Le Miocène :**

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

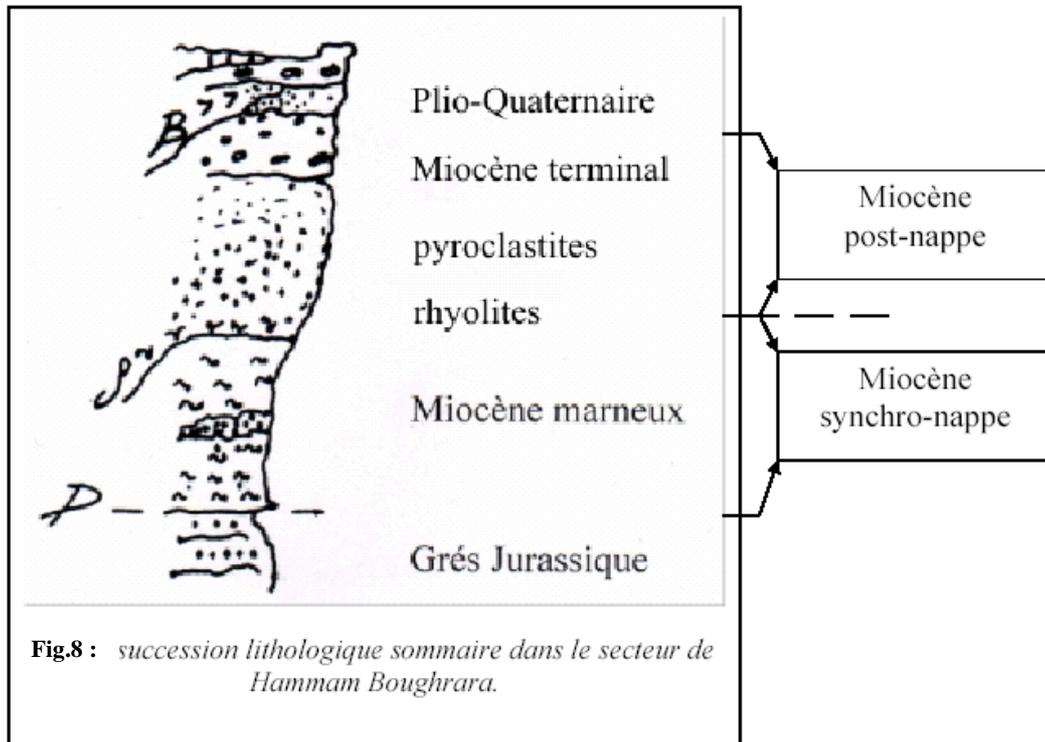
**Le Pliocène:**

Il est représenté par des formations continentales qui se développent sur une large surface et qui sont composées par des limons, des limons sableux, sables meubles, silstones, grés et argiles

sableuses avec des lentilles de calcaires. Ces formations recouvrent en discordance les terrains volcano-sédimentaires du Miocène supérieur. L'épaisseur totale des dépôts pliocènes varie (de 40 à 100m).

Le Quaternaire :

Il est constitué par des formations alluviennes 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.



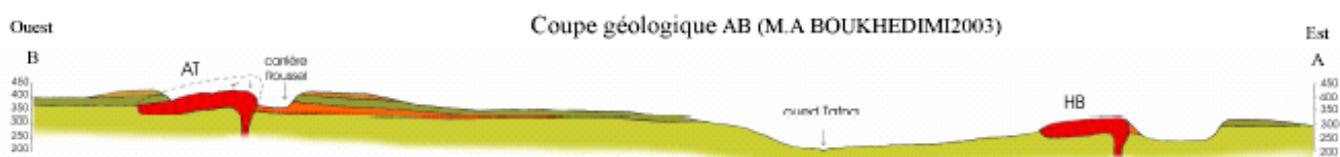
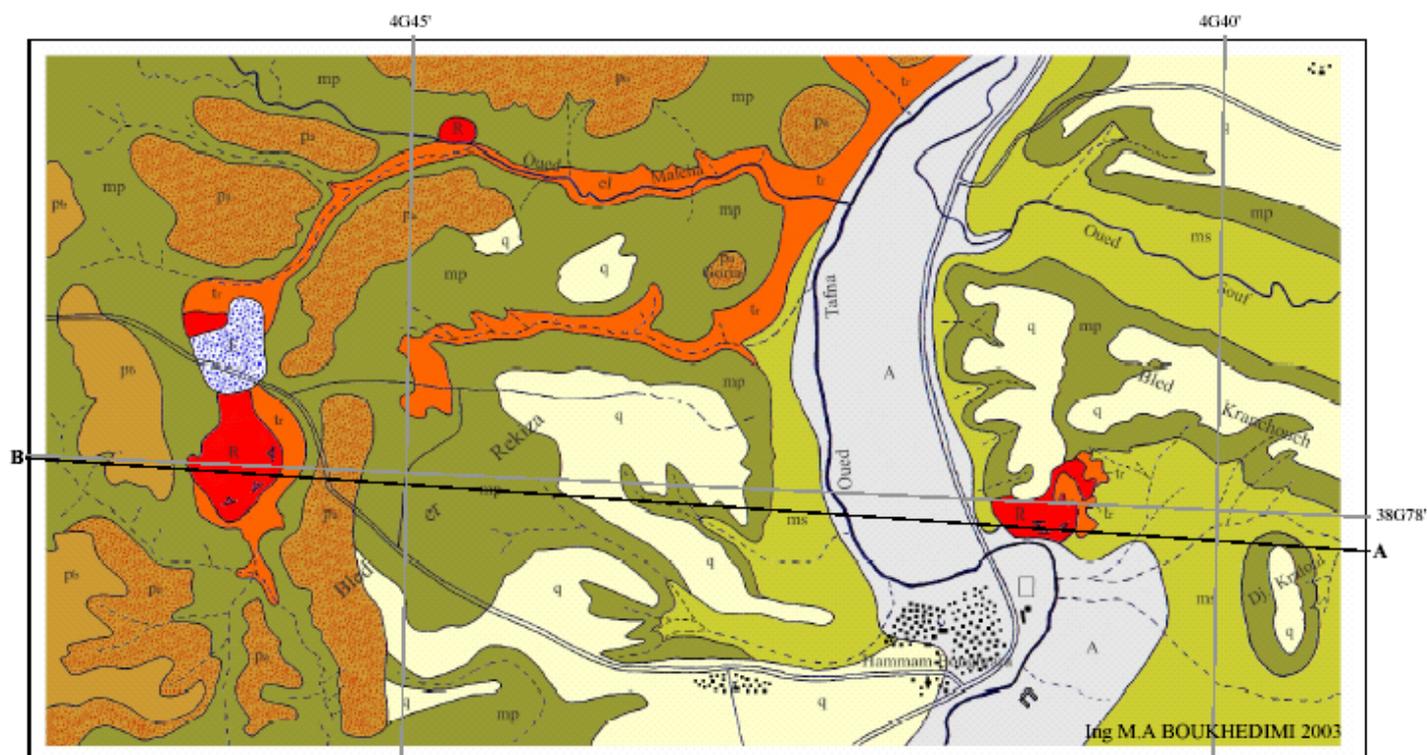
### Volcanisme :

Les formations volcaniques de la région sont représentées par des Rhyolites et des Basaltes. Sadran (1958) distingue dans cette région quatre pitons rhyolitiques indépendants qui coupent les sédiments du Miocène synchro-nappe. Ces pitons sont les suivants : Ain Torba(1), Hammam Bouhrara(2), oued el Maleha(3), bled er Rekiza(4). Ils sont souvent associés à des argiles smectiques (dépôts pyroclastiques) et à des matériaux rhyolitiques remaniés.

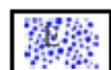
Parmi les 4 pitons cités par Sadran (1958), les pitons de Ain Torba(1) et de Hammam Bouhrara(2) sont les plus importants par leur taille. Ils affleurent sous forme de massifs érodés assez bien développés et bien visibles dans le paysage (et sur les cartes géologiques).

Le piton de Ain Torba est associé au gisement de Bentonite exploitée dans la région. Ce dernier dôme est également traversé par 2 petits filons basaltiques de faible extension (entre 2et 6m d'épaisseur)--(photo8 page40).

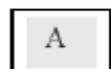
Enfin, une coulée basaltique de faible épaisseur (1 à 1.5 m) d'âge plio-quaternaire vient clôturer ce cycle volcanique.



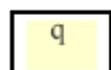
Stratigraphie du secteur :



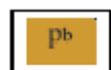
Eboulis



Colluvions



Quaternaire :  
Alluvions  
Croûte calcaire



Pliocène :  
Calcaire lacustre



Pliocène :  
Conglomératique



Miocène post-nappe.



Miocène synchro-nappe.

Roches volcaniques :



Tufs rhyolitiques (argiles smectiques)  
du miocène terminal.



Rhyolite massive du miocène terminal.

Signes conventionnels :



Pendage de la fluidalité.



Limite stratigraphique.



Oueds.



Routes.

### **Tectonique :**

La région est affectée par une tectonique souple marquée par un pli synclinal et une tectonique cassante représentée essentiellement par les failles du type atlasique. (voir le chapitre ci-après : l'Etude morphotectonique).

## CHAPITRE III :

### ETUDE MORPHOTECTONIQUE

Mise en évidence des relations existantes  
entre la bentonitisation et la tectonique  
cassante à Hammam Boughrara

### INTRODUCTION :

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

### ANALYSE MORPHOTECTONIQUE :

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

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

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

#### **Données initiales :**

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

#### **Définition du travail**

- Géoréférencement des cartes topographiques et géologiques
- Décodage et Géoréférencement des images satellitaire (Landsat) à partir des cartes topographiques (Le décodage de l'image s'est fait selon les canaux 7-5-4-3-2 -1 (MS) et 8 (Panchro) s'est effectué à partir du format HDF dans lequel les images ne sont pas en projection mais les corrections radiométriques ont été faites par le producteur)

- Traitement numérique des images satellitaire (Landsat) (utilisation des filtres – Sharpen18 et Directionnel – N40 – N130).
- Mosaïcage et géoréférencement des photographies aériennes à partir des cartes topographiques.
- Digitalisation de la topographie et Création des MNT. (1- à partir de courbes de niveaux vectorisées, 2- à partir de couples stéréoscopiques d'images aériennes ou satellitaires,)
- Création de l'ortho-image Landsat en utilisant le MNT
- Superposition des images aériennes et satellitaires sur le MNT.

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

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

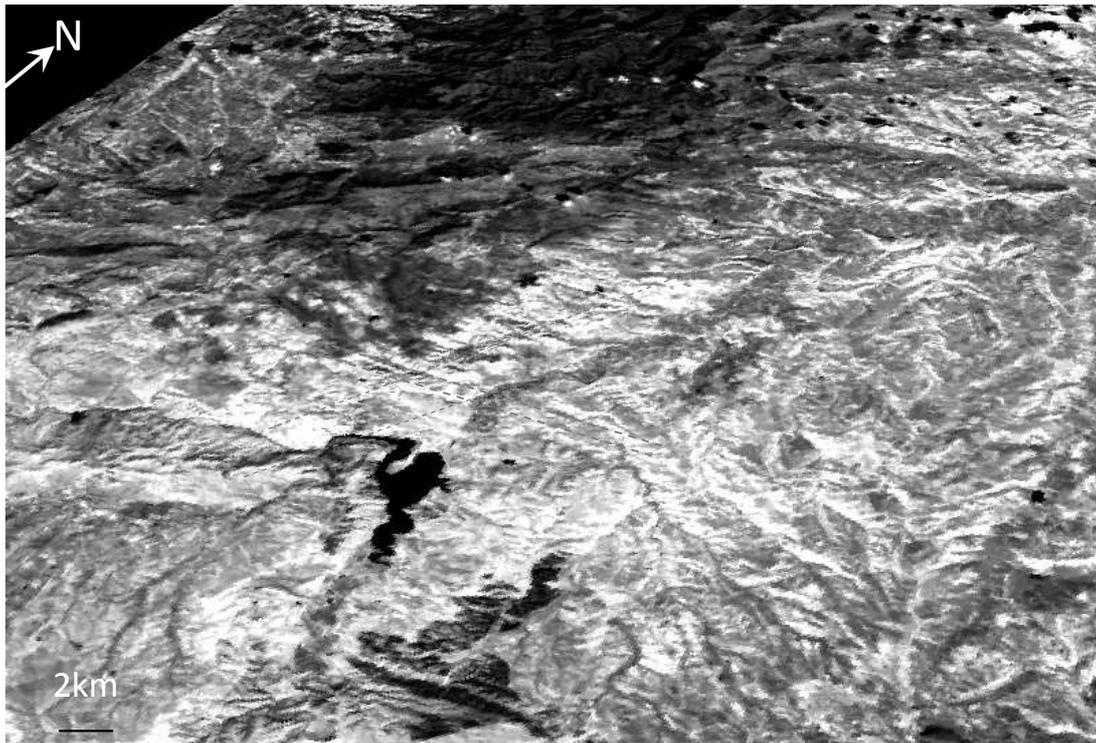
### **INTERPRETATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT)**

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

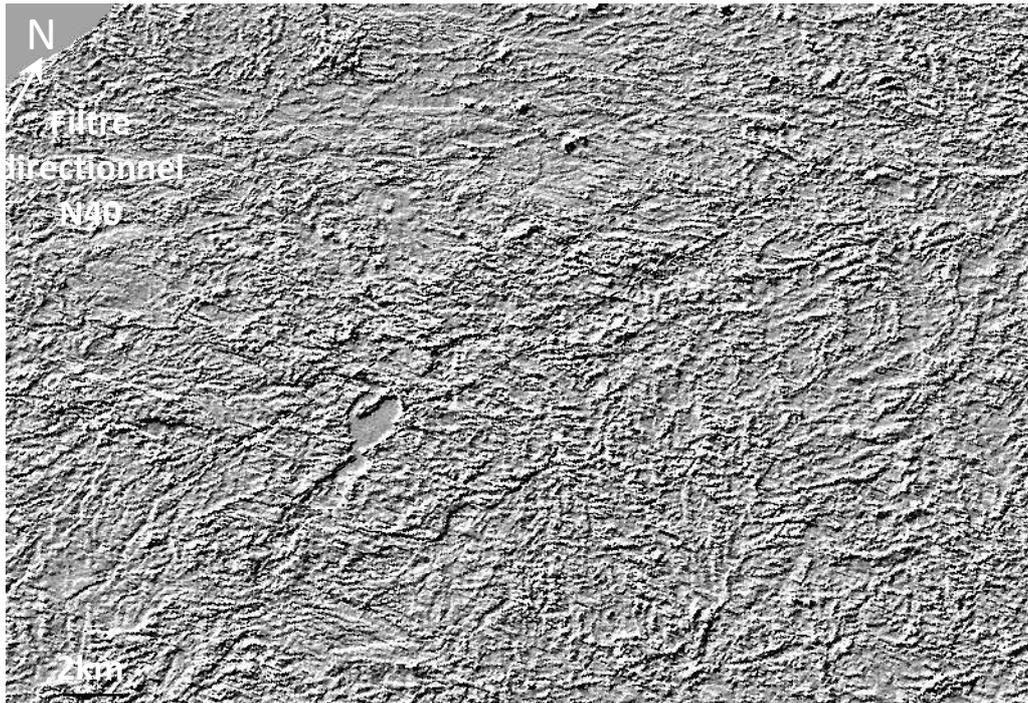
Cette approche a pour but de déterminer la localisation et la géométrie (longueur, profondeur, direction, pendage) de l'ensemble des failles de la région étudiée.



**PLANCHE 1 :** MNT de la région d'étude effectué à partir le 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 Fellaoussene.



**PLANCHE 2 :** Ortho-image de la région d'étude effectué à partir le l'image Landsat7.  
Sur cette image on a rajouté les accidents atlasiques du Fellaoussene (en gras) et les principaux  
linéaments et failles supposées.



**PLANCHE 3** : application du filtre directionnel N40 sur l'image Landsat7.

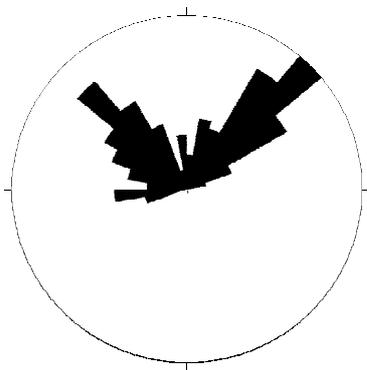
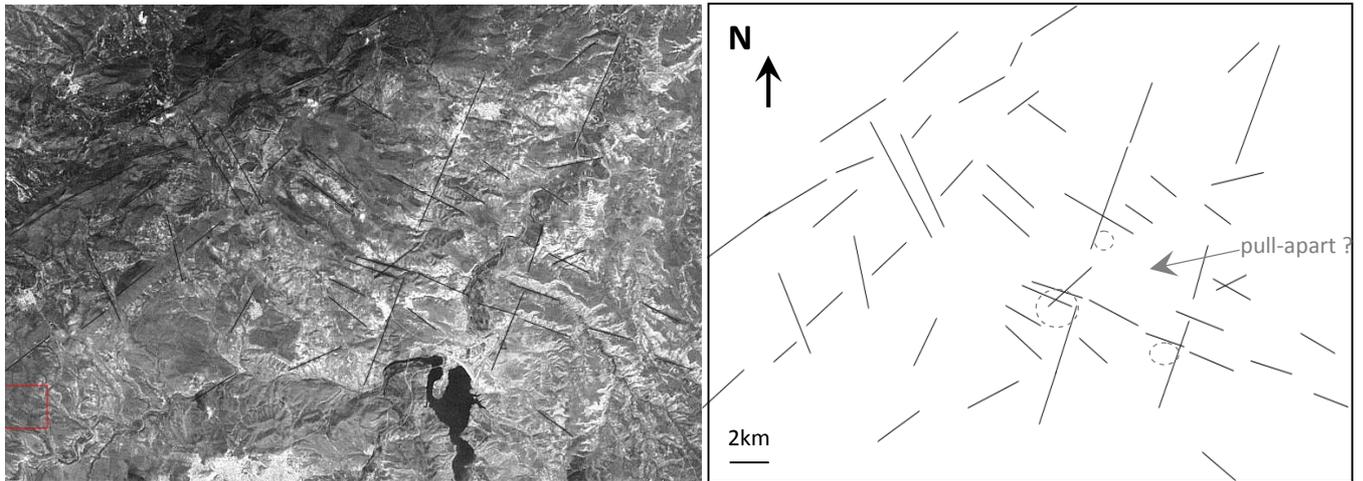
Ce filtre directionnel permet de mettre en évidence l'importance de l'orientation NE-SW dans la topographie de la région.



**PLANCHE 4** : application du filtre directionnel N130 sur l'image Landsat7.

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

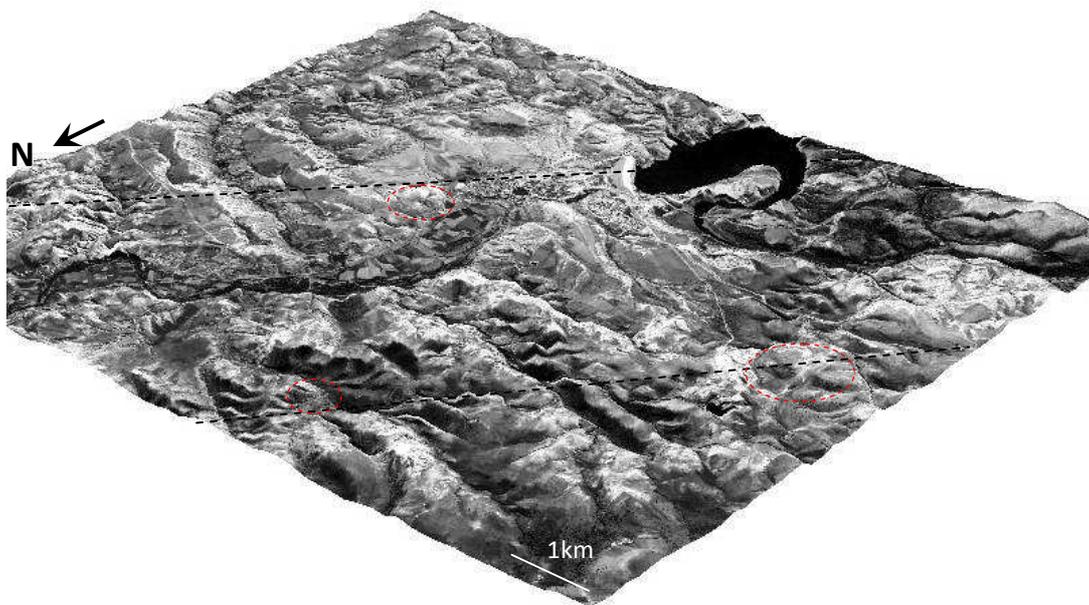
**Remarque** : L'application du filtre directionnel sur une direction moins importante ferait apparaître l'image sans rides topographiques et donc ne refléterait pas les orientations préférentielles.



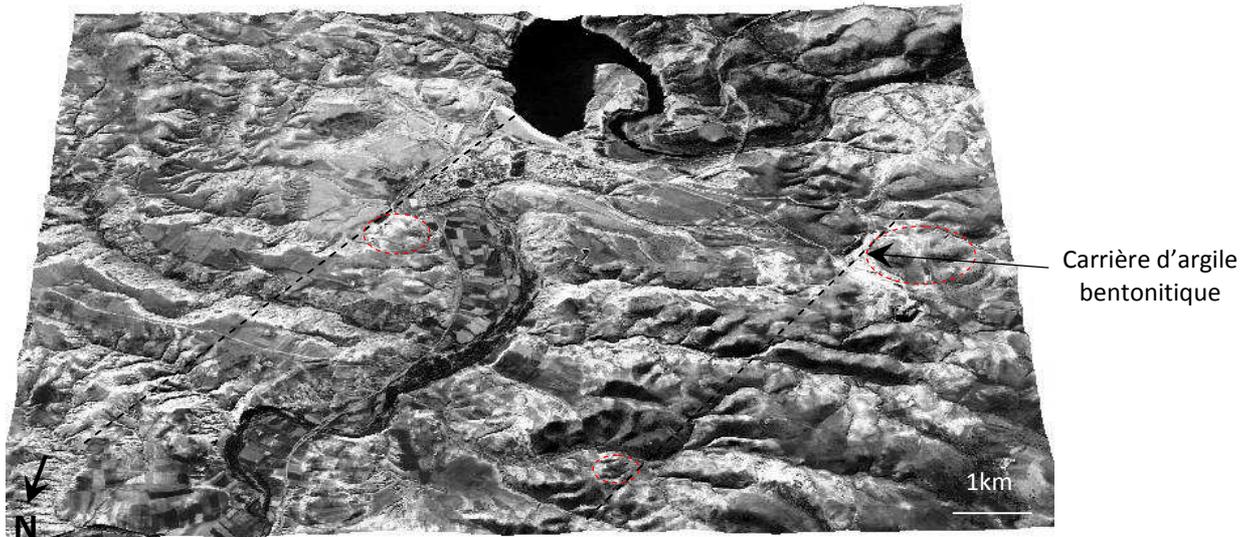
**PLANCHE 5 :** Ortho-image de la région d'étude effectué à partir le l'image Lansat7 sur laquelle les principaux linéaments supposés failles et failles ont été ajoutés.

Les cercles en pointillés représentent les dômes rhyolitiques de la région. La rosace des directions ci-jointe montre l'importance des directions NE-SW (N40) (atlasiques) et NW-SE (N130).

Ainsi, on peut mettre en évidence deux familles de fractures conjuguées orientées généralement selon une direction atlasique (NE-SW) 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 6 :** 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.



**PLANCHE 7** : MNT du secteur d'étude.

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

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

### **Interprétation :**

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

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

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

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

En faisant varier les positions d'un spot de lumière et en amplifiant l'altitude nous avons pu mettre en évidence chacune des morphologies en failles de la région. Cette technique nous a

permis de localiser l'ensemble des failles qui ne seraient pas visibles sur d'autres plans : on a pu, ainsi, faire les observations suivantes pour le secteur de Hammam Boughrara :

- mettre en évidence deux familles de fractures conjuguées orientées généralement selon une direction atlasique (NE-SW) et une direction transverse à 90° (SE-NW).
- mettre en évidence, un petit bassin s'apparentant à un bassin en « pull-apart » formé par l'extension crustale de 2 fractures dans le secteur d'étude.
- Une autre observation majeure faite au cours de cette analyse concerne la disposition de l'ensemble du réseau hydrographique. Comme nous le voyons sur les différentes planches, le réseau hydrographique est parfaitement imposé par les directions des failles et par la morphologie qu'elles ont générées (déviation du réseau hydrographique par les structures positives telles que les failles ou les plis et capture de ce même réseau par les structures négatives telles que les plaines et les vallées).
- Autre remarque fort intéressante : L'alignement du volcanisme cénozoïque de la moyenne Tafna sur la carte géologique (planche 8) donne une idée sur la direction et l'emplacement des accidents empruntés lors de sa mise en place. En effet ; cette étude basée essentiellement sur la télédétection à partir des images satellites, des photographies aériennes et des MNT de la région montrent clairement les linéaments de directions atlasiques (N40) suivant l'alignement volcanique.

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

#### **Conclusion de l'étude morphotectonique :**

Mise en évidence d'accidents NE-SW en relation avec le volcanisme de la moyenne Tafna :

Le volcanisme de la moyenne Tafna est remarquablement aligné dans la direction des accidents atlasiques NE-SW. 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.

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

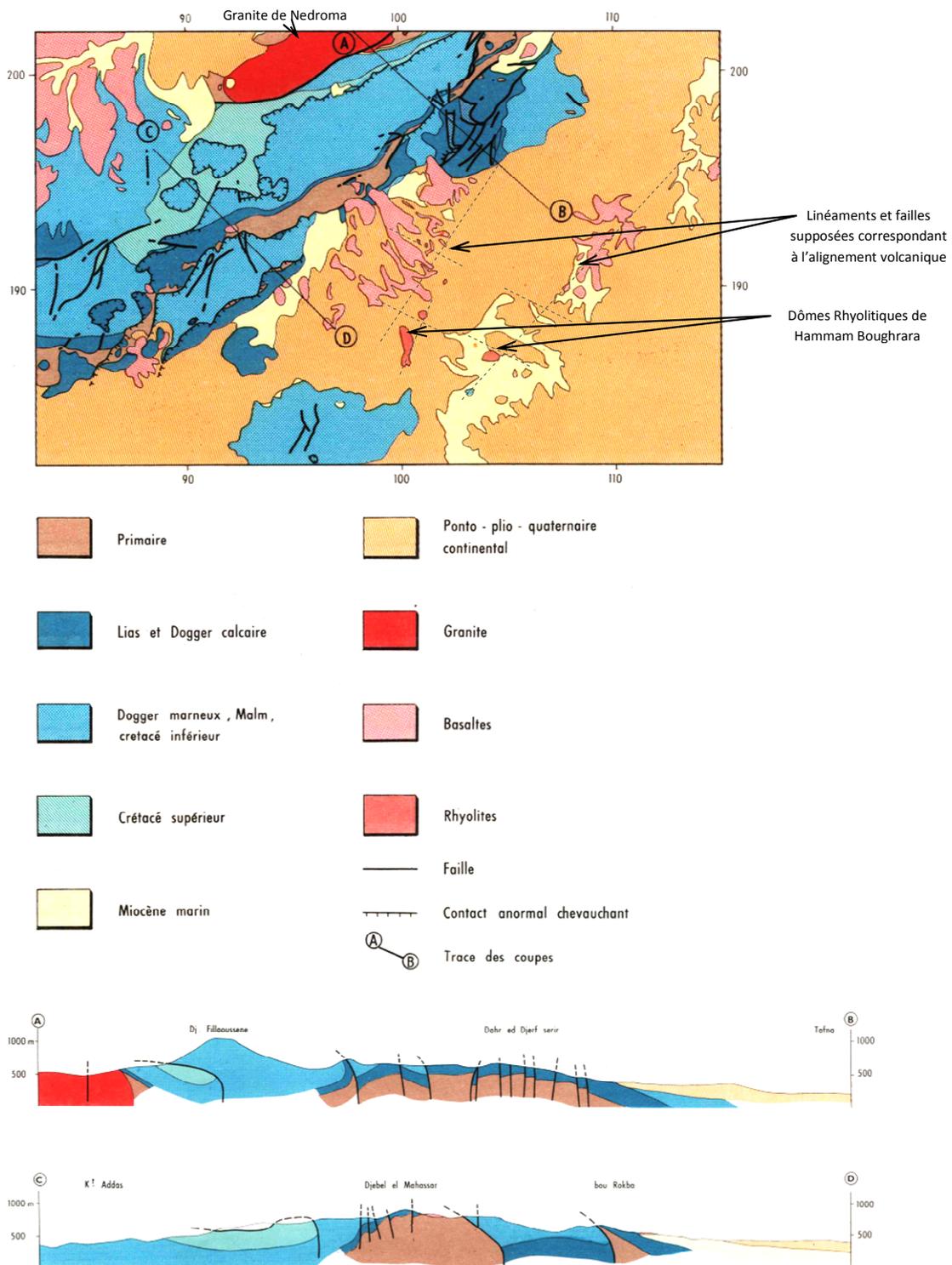


PLANCHE 8 : schéma structural de la région d'étude sur le quel on a rajouté les failles supposées résultat de l'étude morphotectonique.

## CHAPITRE IV :

### ETUDE VOLCANOLOGIQUE

Mise en évidence des relations existantes  
entre la bentonitisation et la dynamique  
volcanique à Hammam Boughrara

**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.

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.

**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 (figure2) reposant sur les sédiments du miocène supérieur et qui est couverte en partie par les sédiments du miocène terminal et du plio-quadernaire (figure8 page20 -voir stratigraphie du secteur).

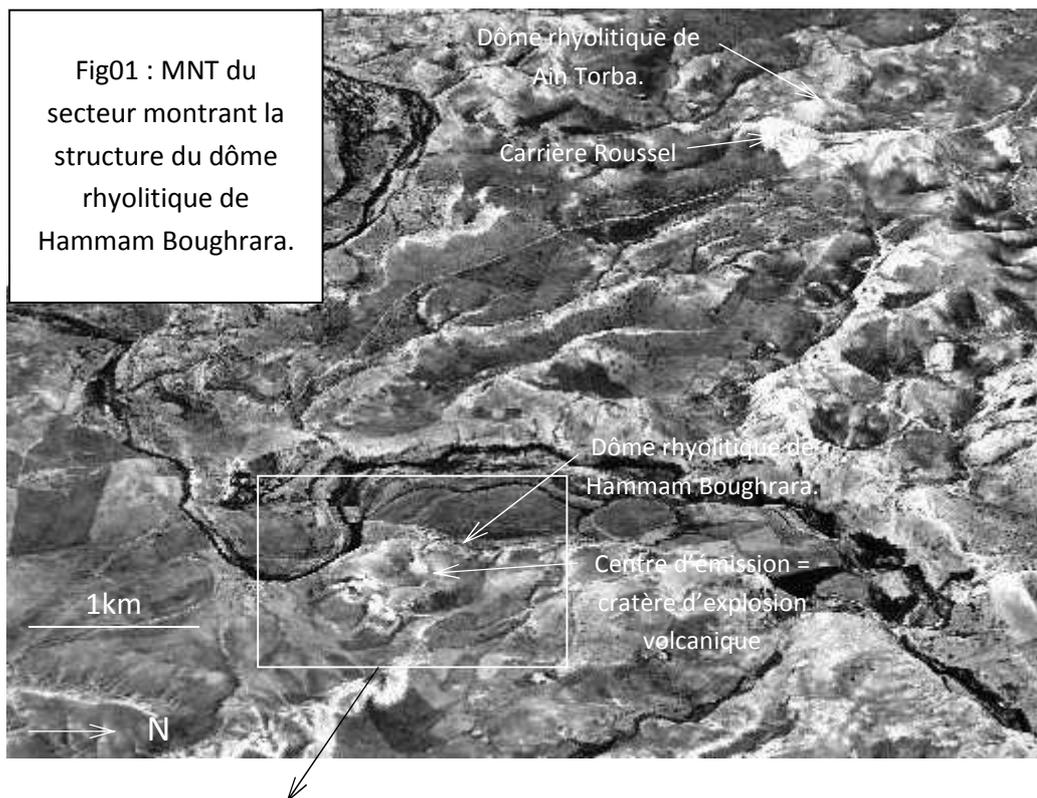
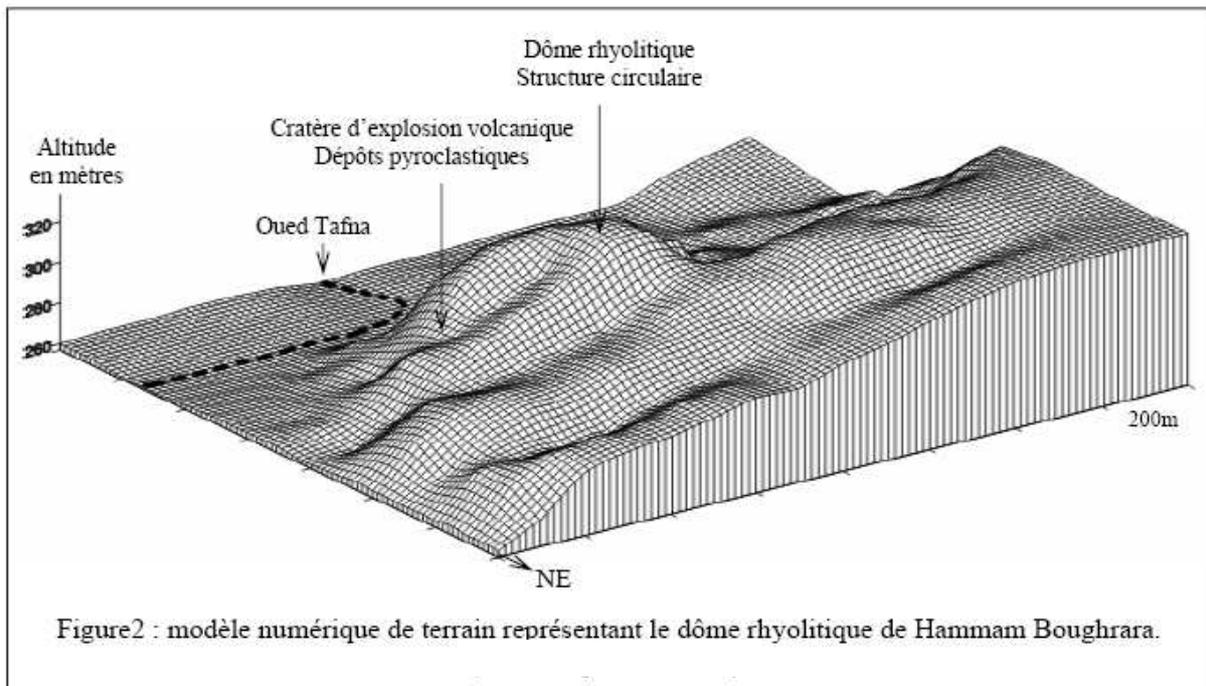


Figure2 ci-après



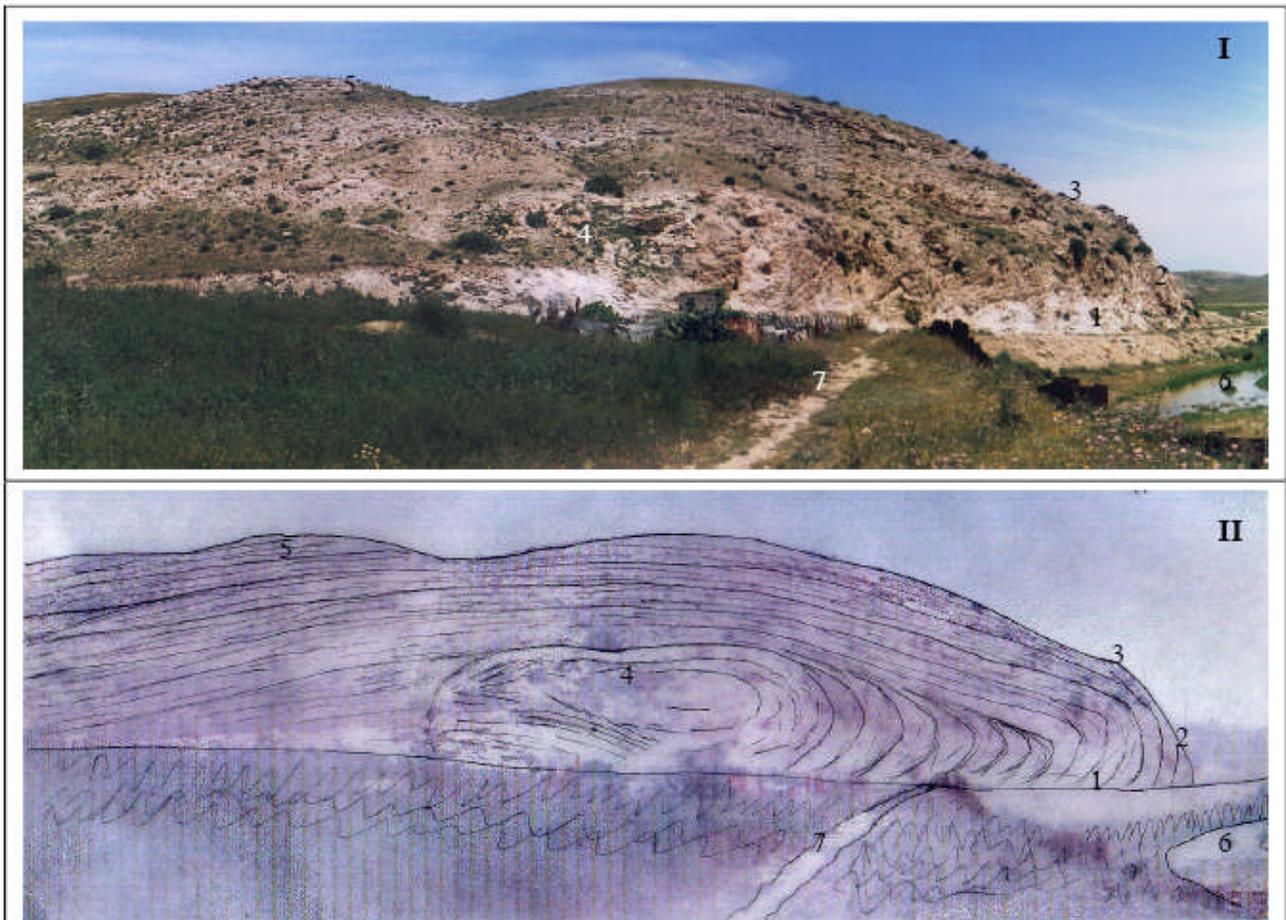
La vue panoramique montre un système de fracturations concentriques qui épousent la forme générale du dôme, lui conférant ainsi une structure analogue à celle d'un bulbe d'oignon (figure3).

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 (les fiammes) constituants de leur mésostase. Cette dernière, devient vite perlitiques à la périphérie du dôme lui conférant ainsi une zonalité lithologique :

La base du dôme est constituée de tufs pyroclastique à structure pseudo-fluidale (soudé à chaud) il s'agit probablement de coulée pyro-ignimbritique (figure5).

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 (figure6).



**Figure3:** I) Vue panoramique (Nord-Sud) du piton rhyolitique de Hammam Bouhrara.

II) Approche schématique.

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

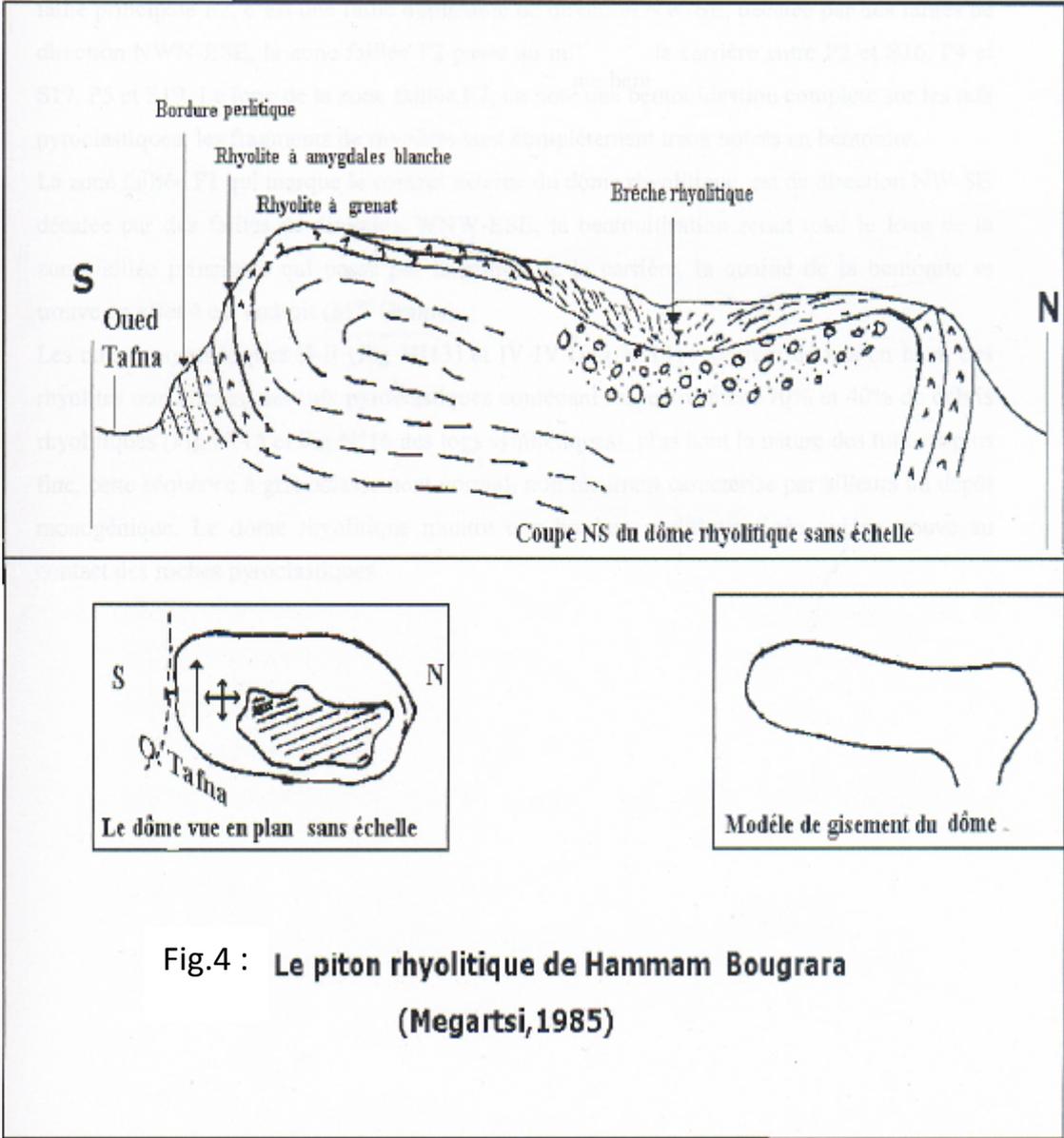
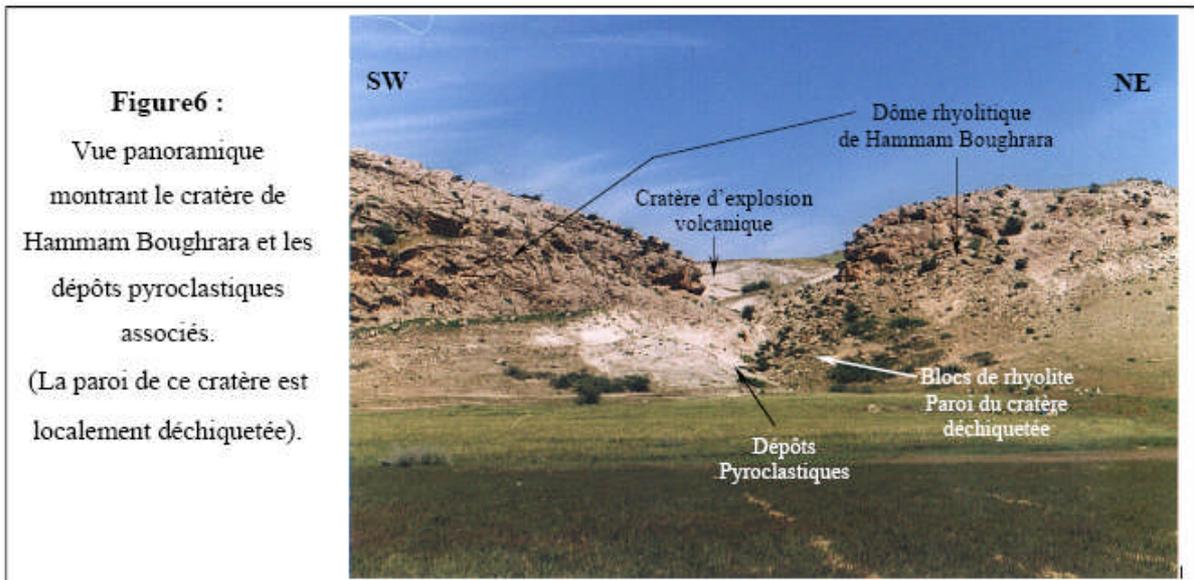


Fig.4 : Le piton rhyolitique de Hammam Bougrara (Megartsi,1985)



Figure5: Les Tufs consolidés à structure pseudo-fluidale situés à la base du dôme rhyolitique.



**Figure6 :**  
Vue panoramique montrant le cratère de Hammam Bouhrara et les dépôts pyroclastiques associés.  
(La paroi de ce cratère est localement déchiquetée).

### Structure des dômes rhyolitiques de Hammam bouhrara :

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

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

### 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.

Tout ceci permet d'admettre le scénario suivant (figure7) :

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.

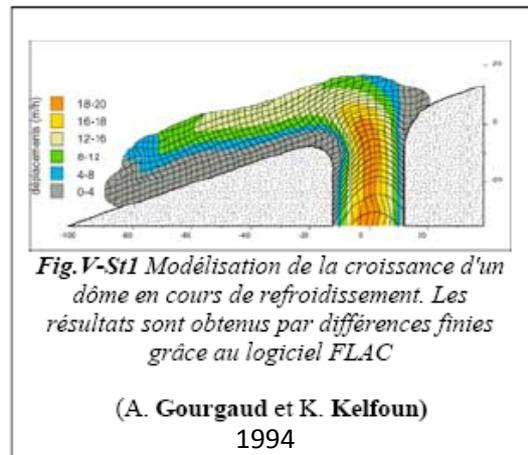
La quantité de gaz n'étant pas suffisante pour pulvériser toute la coulée, l'émission va se poursuivre par des rhyolites et la mise en place du dôme rhyolitique qui va se positionner au dessus de ces tufs pyroclastiques.

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.

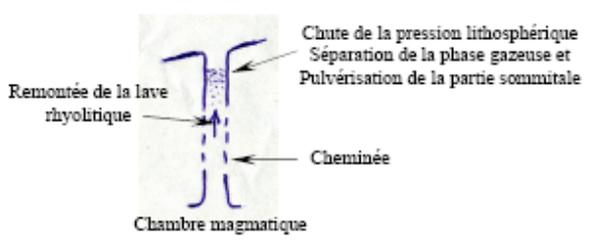
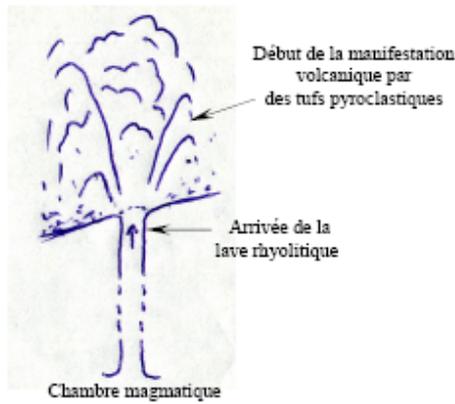
Sous l'effet de la poussée du magma le dôme va croître et s'étaler. Le coefficient d'étalement pour le dôme de Hammam Bouhrara  $\zeta = \text{hauteur/diamètre} = 80\text{m}/800\text{m} = 0.1 < 1$  donc il s'agit de dômes à grand étalement.

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

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

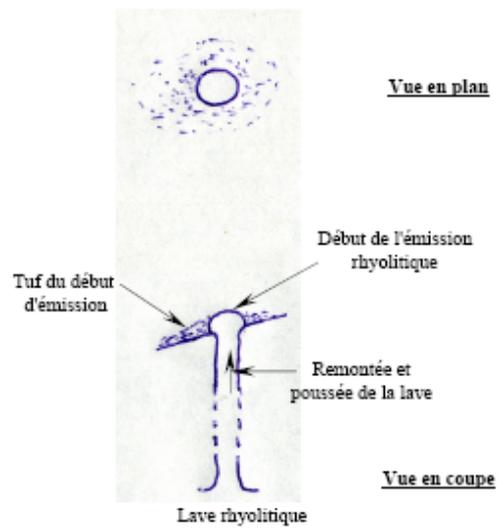
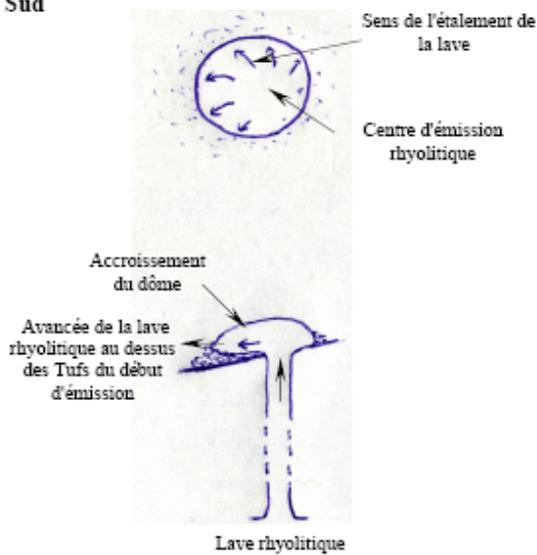


**Figure 7: scénario de mise en place du dôme rhyolitique de Hammam Boughrara**



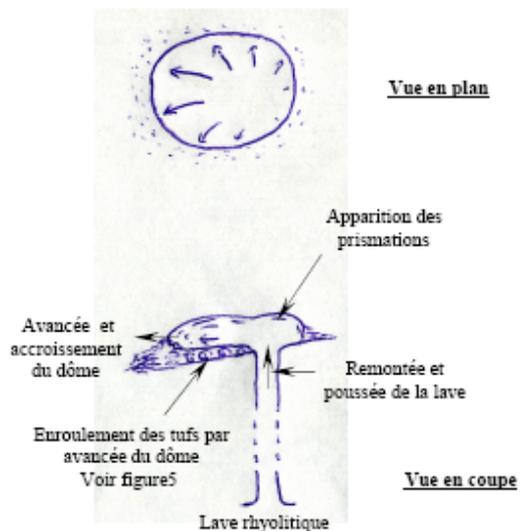
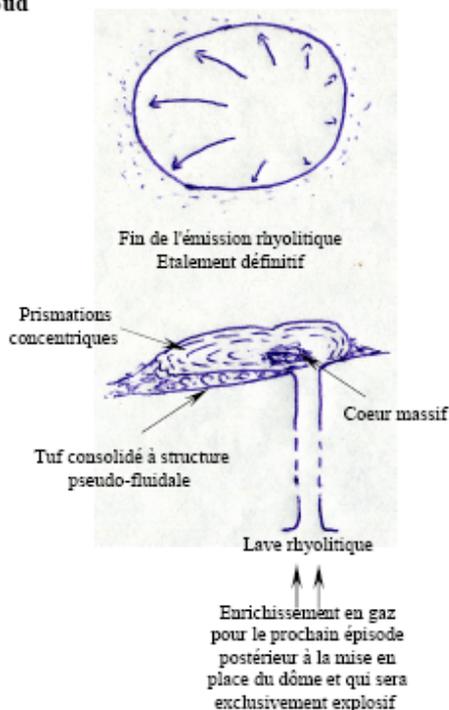
Sud

Nord

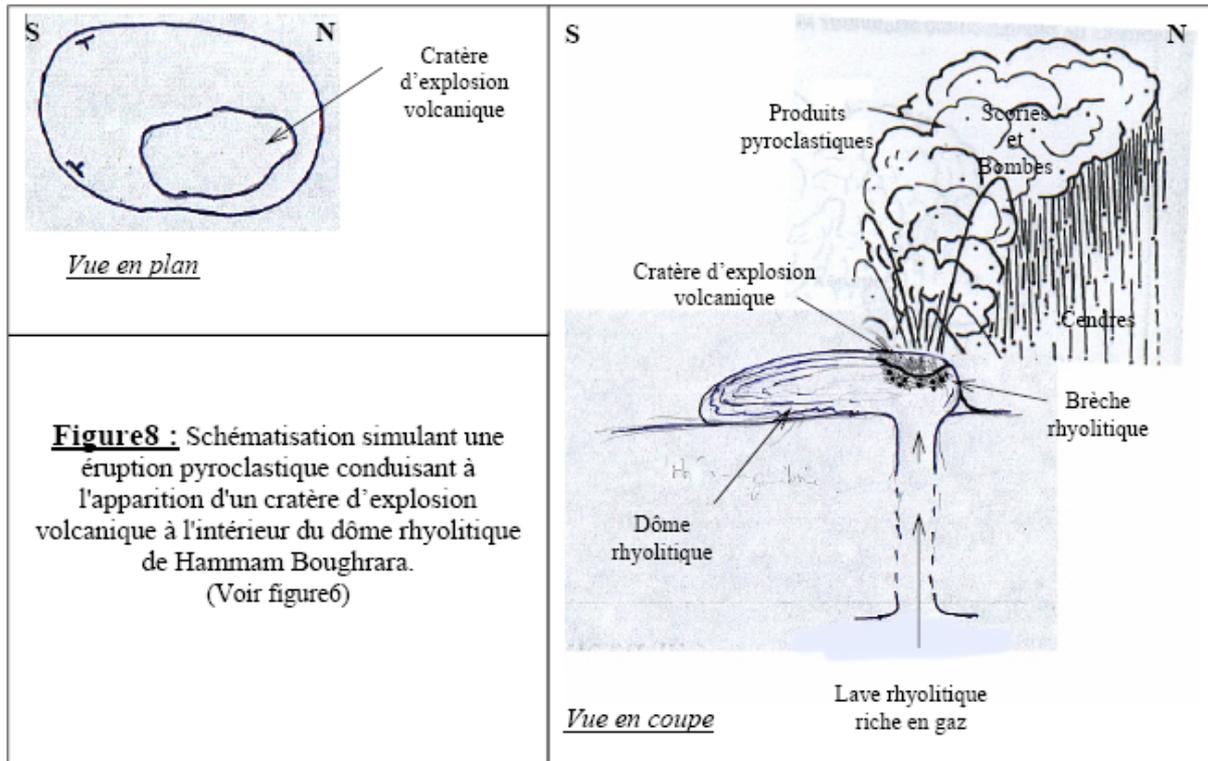


Sud

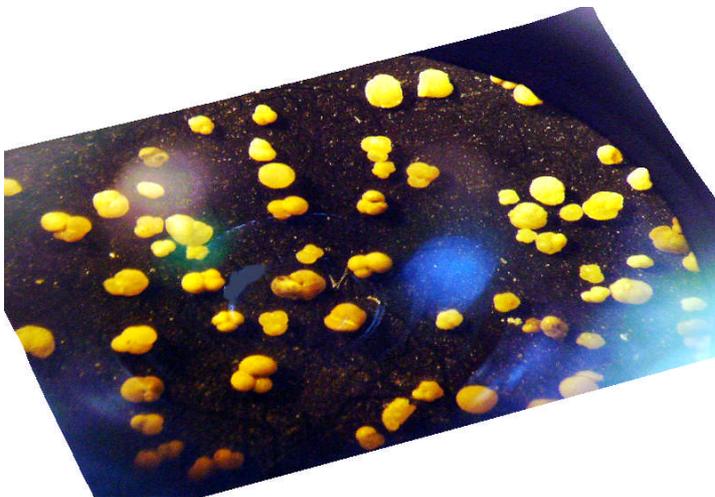
Nord



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.



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 (photo en dessous) confirme la mise en place sous marine.

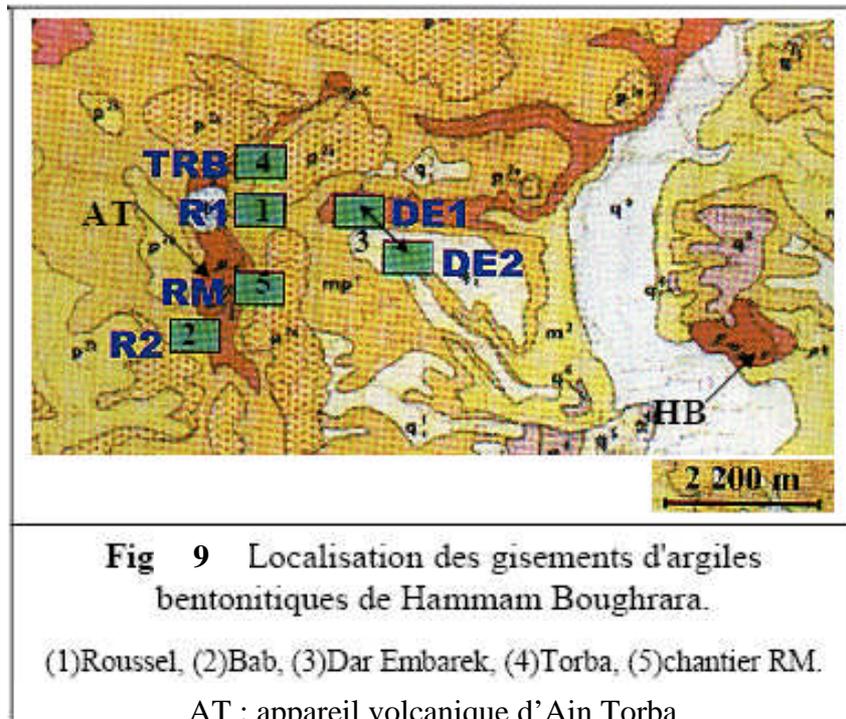


La photo ci-jointe montre des Foraminifères (globigérines) retrouvés dans les tufs pyroclastiques de Hammam Bouhrara.

**Conclusion à l'étude volcanologique :**

La dynamique changeante du volcanisme rhyolitique de Hammam Boughrara a permis d'avoir une zonalité lithologique (avec des rhyolites massives, fluidales, perlitiques ou à caractères ignimbrtiques, des tufs consolidés à structure pseudofluidale, des pyroclastites et des tufs pyroclastiques) favorisant ainsi, la bentonitisation dans certains endroits (voir le chapitre ci-après : Etude pétrographique).

Il est à noter que cette bentonitisation se développe dans l'immédiat des appareils volcaniques (fig.9 -voir aussi fig1/page38-) 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 Boughrara, il y a un lien entre la bentonitisation et la dynamique volcanique dans le secteur.



CHAPITRE V :  
ETUDE PETROGRAPHIQUE

Mise en évidence des relations existantes entre la  
bentonitisation et les faciès rhyolitiques à  
Hammam Bouhrara

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

### **Introduction:**

A Hammam Boughrara on distingue : des rhyolites et des pyroclastites. Les rhyolites présentent une morphologie caractéristique d'un dôme (voir l'étude volcanologique). L'essentiel des pyroclastites et des tufs pyroclastiques se développent autour des dômes rhyolitiques.

A l'œil nu, comme au microscope, les dômes rhyolitiques à Hammam Boughrara présentent des caractères pétrographiques analogues, et vu leur proximité les uns des autres (un rayon de 6km- voir carte) il s'agit certainement du même magma à l'origine de ces dômes et des tufs associés.

### **Description des affleurements (macroscopie) :**

**I)- Les rhyolites :** constituent l'essentiel des dômes. Il s'agit généralement de roches compactes assez dures de couleur gris clair, souvent vitreuses ou, localement, très finement cristallisées. Le débit provoqué par le refroidissement progressive des dômes (voir l'étude volcanologique) donne l'impression, par endroit, d'une disposition sous forme de bancs (ou fausse stratification).

Par endroit, ces rhyolites, se présentent sous forme massive (photo01) ; et dans d'autre endroit on peut voir une alternance de niveaux argileux pyroclastiques de couleur jaunâtre à blanchâtre et de niveaux rhyolitiques de couleur grisâtre (photo02).

A l'affleurement les rhyolites de Hammam Boughrara montrent souvent une patine d'altération jaune sale. Les minéraux sont englobés dans une pâte de couleur claire grisâtre. On discerne parfois à l'œil nu quelques cristaux de quartz limpides, et de feldspath; les biotites et les oxydes ont souvent une forme de bâtonnets de taille millimétrique et de teinte marron foncé ou noire. Ces rhyolites présentent en général une fluidalité bien nette, qui est fréquemment soulignée par les minéraux oxydés (photo03).

La périphérie des dômes est constituée de rhyolites perlitiques montrant, elles aussi, une fluidalité bien nette par endroit. Ces rhyolites apparaissent généralement sous forme massive ; mais peuvent présenter des structures prismatiques (photo4) ; ou mamelonnées (photo4) ; leur couleur sale, et leur état friable témoigne de leur degré d'altération très élevé localement.

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

Il est à noter, qu'on peut trouver parfois des filonnets de calcédoine, et d'autres minéraux de remplissage secondaire traversant essentiellement ces rhyolites perlitiques (photo5).

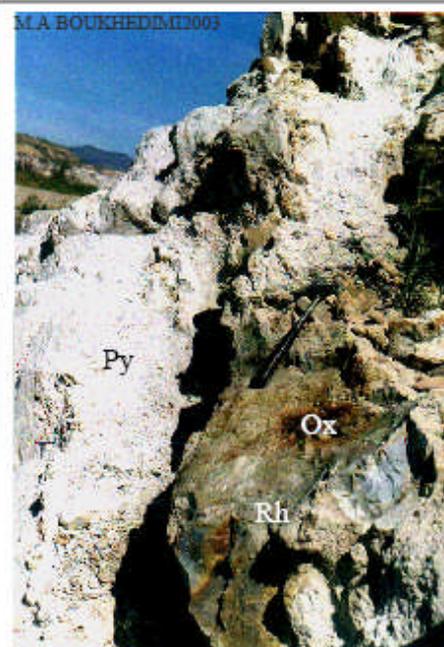
On note aussi, que deux dykes basaltiques probablement d'âge quaternaire (vu les terrains plio-quaternaires traversés par ces dykes) traverse le dôme rhyolitique de Ain Torba, et que ce dernier, présente par endroit des enclaves basaltiques d'âge anté-rhyolitique.



**Photo 1** : La rhyolite massive du piton d'Aim tourba (carrière Roussel).



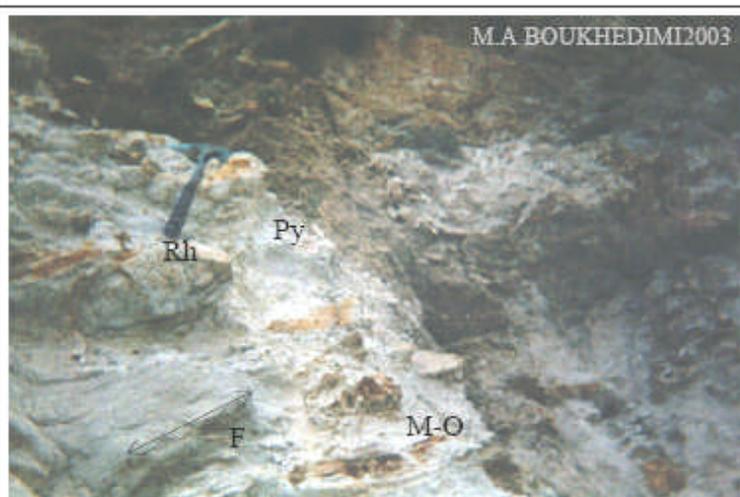
**Photo 02** : La rhyolite de Hammam Bouhrara montrant un aspect prismatique et fluidale ; à cet endroit les plans de prismation sont remplis par de l'argile pyroclastique de couleur blanchâtres.



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

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

Photo3 : 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.



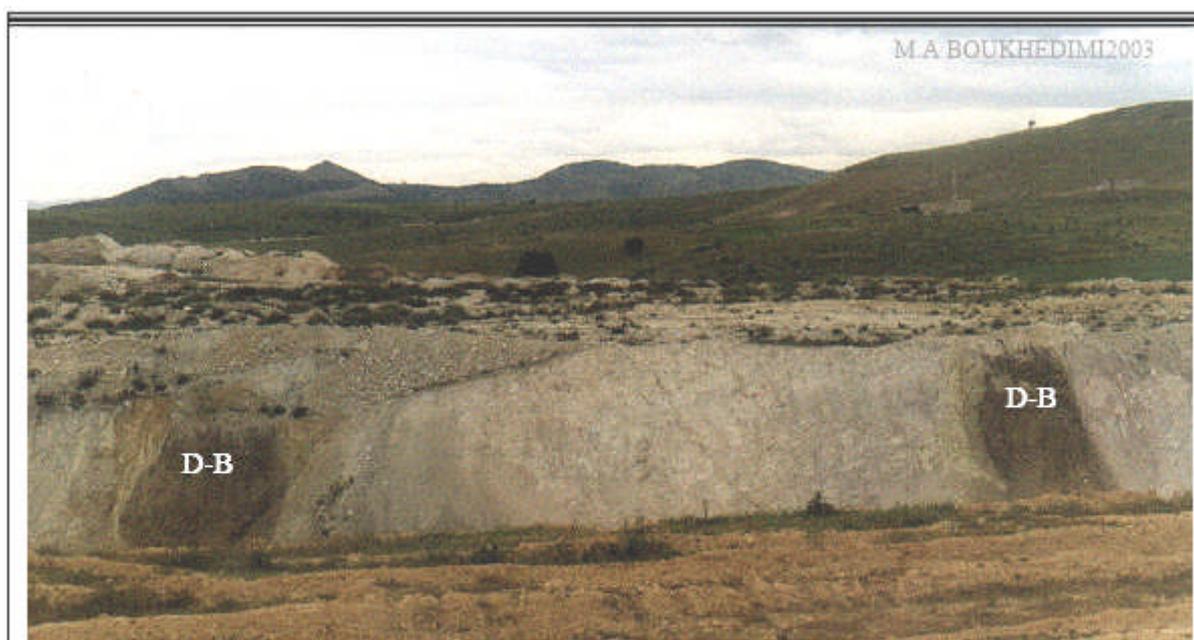
*Rh-P : rhyolite perlitique. ar-b : argile bentonitique. S-B : structures en boules.*

Photo4 : *photo montrant les rhyolites perlitiques de couleur très proche de celle des argiles bentonitiques qui les borde. On peut également voir les rhyolites perlitiques passant à une structure en boules.*



Rh : rhyolite      ar : argile      cal : calcédoine

Photo5 : photo montrant des niveaux argileux inter-rhyolitiques  
traversée par un filonnet de calcédoine.



D-B : Dyke Basaltique.      D-R : Dôme Rhyolitique.

Photo6 : Les dykes basaltiques recoupant la formation rhyolitique d'Ain Tourba  
(carrière Roussel).



## II)- Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques :

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'opaques, tous emballés dans une matrice très fine de couleur grise blanchâtre, plus ou moins altérée en argile. Ces roches ont un aspect chaotique, monogénique (origine volcanique), et hétérométrique (photo10) plus au moins bien classées (localement mal classées), mais elles montrent une tendance générale vers une séquence à granoclassement normal (aspect stratifié).

De bas en haut, on trouve des brèches pyroclastiques, des Tufs de lapilli et des tufs de cendres volcaniques (photo 8). Les réserves les plus importantes se localisent vers la surface associées aux cratères volcaniques (photo12).

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).

Cas des tufs consolidés massifs : (photo13)

Ces roches particulières, n'ont pas tous les caractères d'un tuf « normal », ni ceux d'une lave. Ce sont des Roches à texture chaotique et à structure pseudo-fluidale. Leur présence à la base des

dômes, et leur structure pseudo-fluidale marquée notamment par les fiammes (lambeaux de roches étirées) de taille millimétrique voir même centimétrique, indiquent qu'ils ont été soudés à chaud. Ces tufs pyroclastiques consolidés à structure pseudo-fluidale montrent tous les traits d'une ignimbrite.

### La bentonitisation :

Ces pyroclastites et tufs pyroclastiques de Hammam Bouhrara, sont localement bentonitisées (transformées en argile bentonitique). Ils acquièrent une couleur jaunâtre et un touché savonneux. Cette bentonitisation touche essentiellement le dôme rhyolitique d'Ain Torba. Le dôme de Hammam Bouhrara est peu touché par ce phénomène.



Photo8 : La pyroclastite au niveau du piton rhyolitique de Hammam Bouhrara.



*Plio-quaternaire*

**Tuf pyroclastique**

Photo9 : La pyroclastite du piton d'Ain tourba (carrière Roussel) montrant un aspect stratifié.

TPF : Tuf pyroclastique fin.  
TPM : Tuf pyroclastique moyen.  
TPG : Tuf pyroclastique grossier.

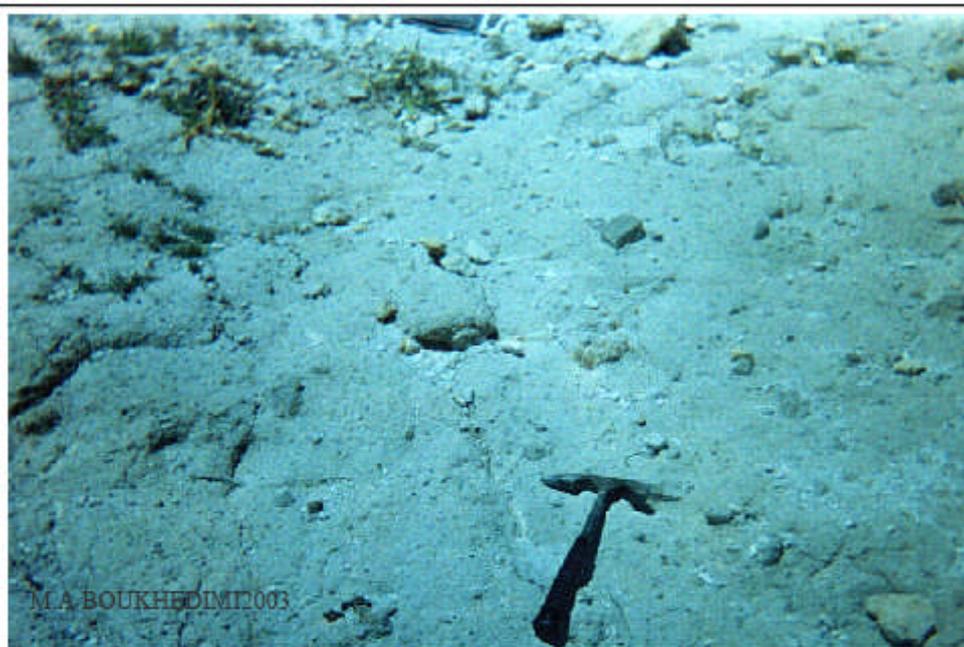
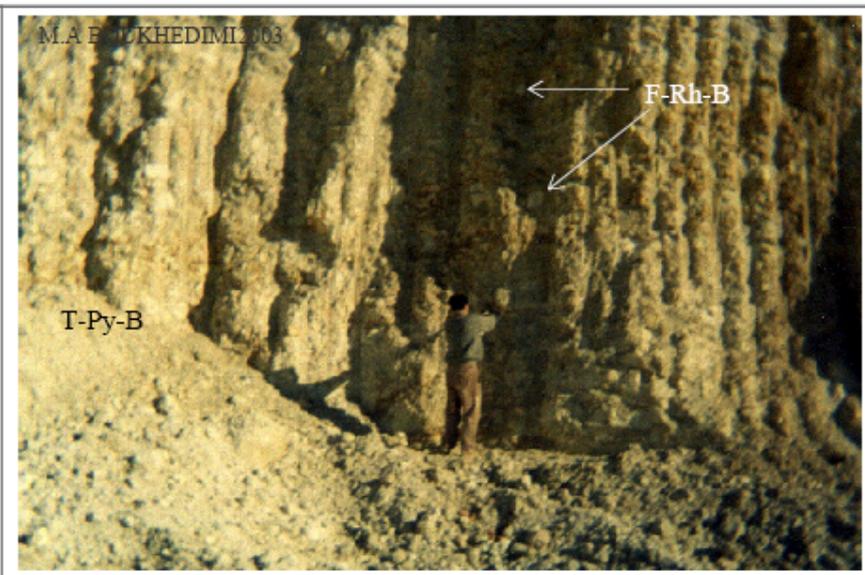
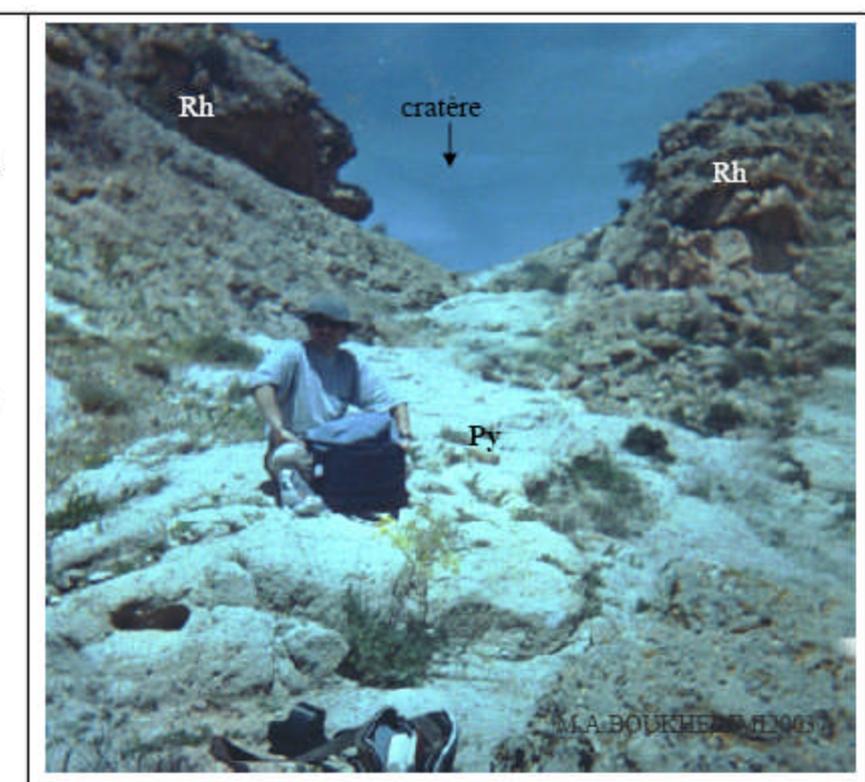
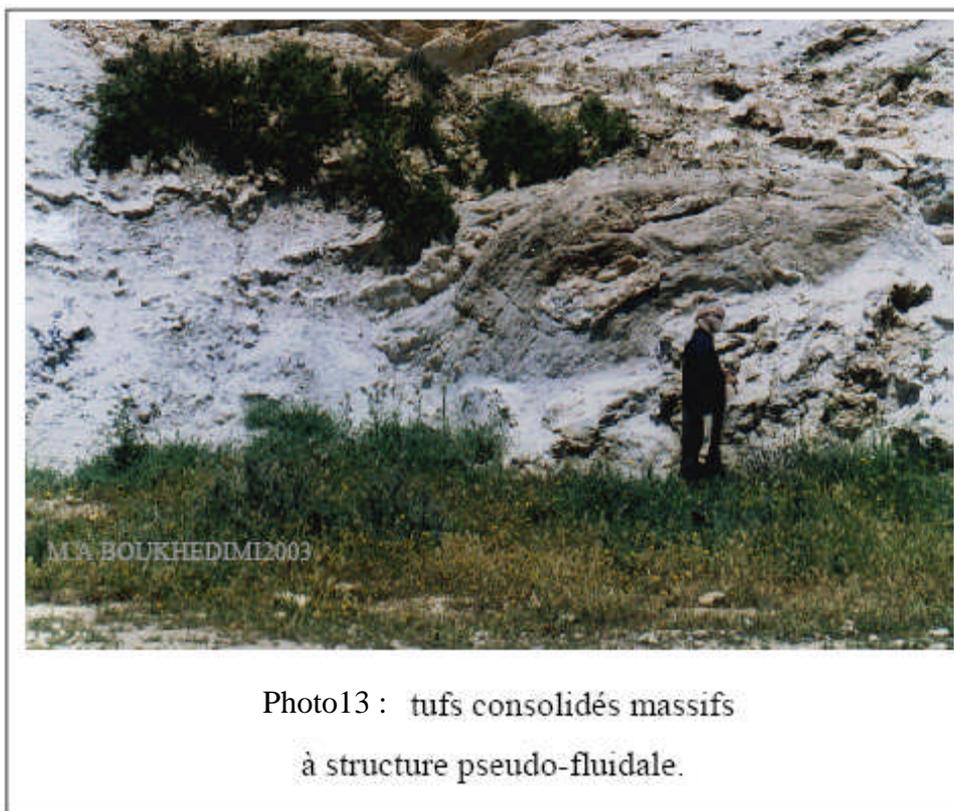


Photo10 : cette photo montre l'aspect hétérométrique des constituant de la pyroclastite de HB. On peut voir des roches ou fragments de roches volcaniques de différente taille, emballées dans une matrice pyroclastique fine.

<p>T-Py-B : Tufs Pyroclastiques (Bentonisés).</p> <p>F-Rh-B : Fragments de Rhyolite de couleur blanchâtre (Bentonisés).</p> <p>Photo11 : photo montrant l'aspect hétéro- métrique des constituants de la pyroclastite d'AT (carrière Roussel) ;et le degré très élevé de l'altération qui les à affecter.</p>	
---	--

<p>Rh : rhyolite massive.</p> <p>Py : pyroclastite massive.</p> <p><b>Photo12 :</b></p> <p>La pyroclastite massive associé au cratère de Hammam Boughrara.</p>	
--	---



**Etude des lames minces (microscopie) :**

**I)- Les rhyolites :**

**a) Les textures :**

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

hyaline porphyrique à tendance fluidale , hyaline porphyrique perlitique à tendance fluidale, hyaline porphyrique fluidale à tendance Microlitique, et hyaline porphyrique à tendance cryptocristalline.

**a.** la 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.

**b.** la 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. La fluidalité est marquée par un soulignement régulier des microlites (Micro-photos2). Cette texture perlitique se trouve essentiellement à la bordure des dômes (fig.4/page41).

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

**c.** hyaline porphyrique à tendance Cryptocristalline : la mésostase est partiellement envahie par une fine mosaïque de quartz cryptocristallin et de feldspath.

d. 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 (Micro-photos1).

## b) Les phénocristaux :

Les phénocristaux des rhyolites de Hammam Boughrara peuvent constituer jusqu'à 20% du volume total de la roche. Selon la position dans les dômes volcaniques, le pourcentage des phénocristaux varie considérablement (environ 5% à la périphérie des dômes et jusqu'à 20% vers les cœurs massifs des dômes). Le quartz rhyolitique et les plagioclases représentent la fraction phénocristalline la plus importante.

### 1) Quartz :

Le quartz se présente en cristaux prismatiques automorphes à sub-automorphes bien visibles (de 50 $\mu$ m jusqu'à quelques millimètres de taille); il offre alors une forme bipyramidée et des aspects typiques de corrosion et de croissance irrégulière (quartz «rhyolitique»)-(Micro-photos2). Il est généralement sous forme d'individus isolés, mais se trouve également associé à d'autres individus de quartz ou de plagioclase dans la mésostase ou plus rarement aux biotites (Micro-photos4). Il contient fréquemment des inclusions vitreuses (reliquats magmatiques), emprisonnées dans des lacunes de croissance au cours de la cristallisation du minéral. Ces inclusions sont généralement représentées par des microcristaux d'opagues ou de plagioclases.

Il est souvent ourlé d'une cerne de perles, parfois avec une auréole réactionnelle (Micro-photos2), ou bien avec une mésostase hyaline amorphe plus ou moins altérée et épaisse (Micro-photos1).

Certains quartzs montrent une extinction roulante, témoignant ainsi des contraintes dues à l'écoulement de la lave. Le pourcentage en quartz varie de 3% à 7%.

### 2) Feldspaths :

#### Les plagioclases :

Ils constituent la phase minéralogique dominante 3% et 10%. Ils apparaissent sous forme de cristaux isolés dans la mésostase ou associé à d'autre individus de plagioclase, de quartz, ou de biotite...)-(Micro-photos4), leur taille est généralement de quelques  $\mu$ m mais peuvent atteindre la taille millimétrique.

Ces plagioclases sont de composition albite-oligoclase (An 20-25) à cœur souvent séricitisé et rarement zoné. Ils sont généralement automorphes à macles régulières et fines, et renferment souvent des inclusions de nature diverse, essentiellement des minéraux opaques, et parfois même d'autres plagioclases.

#### Feldspaths potassiques (Sanidine) :

La sanidine est beaucoup moins abondante (Micro-photos3), les phénocristaux rencontrés ont généralement une taille comprise entre 150 $\mu$ m et 800 $\mu$ m.

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. Le pourcentage en sanidine varie de 1% à 3%.

### 3) Les biotites :

Les biotites sont les seules représentants des minéraux ferromagnésiens (de 1% à 3%). Leur taille varie généralement entre 50 et 700  $\mu\text{m}$  et dépasse rarement le millimètre.

Elles sont généralement représentées par de fines baguettes isolées dans la mésostase (Micro-photos2) à pléochroïsme intense (Brun à brun foncé) masquant souvent leur couleur originelle. Leur formes allongées marque très bien la fluidalité de la roche et donne davantage de renseignements sur le sens de l'écoulement de la lave.

### 4) Les opaques :

Les minéraux opaques sont rares (<1%) ; les phénocristaux se présentent généralement sous forme de granulations (l'aspect de grains arrondis-- Pigments) ; mais apparaissent aussi sous forme de sections automorphes prismatiques ou en plages déchiquetées (Micro-photos2). Leurs tailles dépassent rarement les 150 $\mu\text{m}$ .

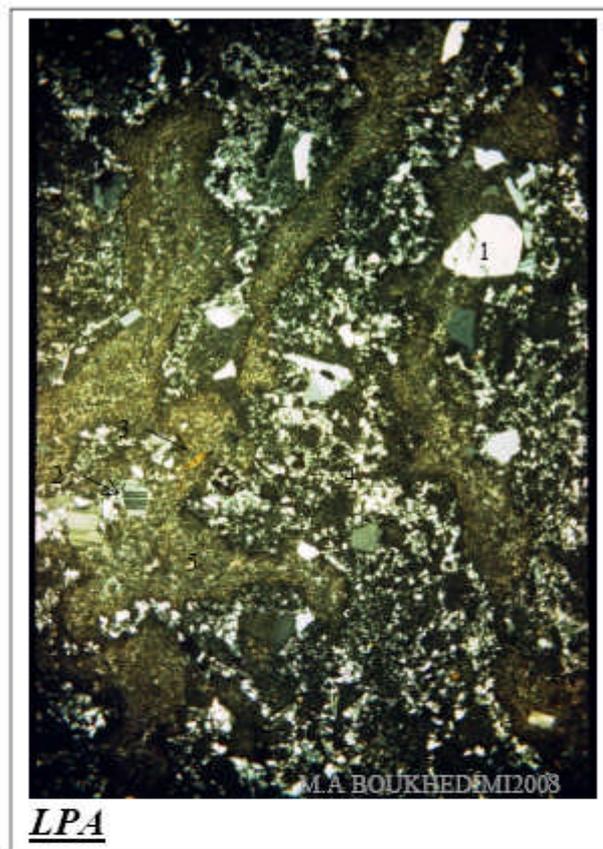
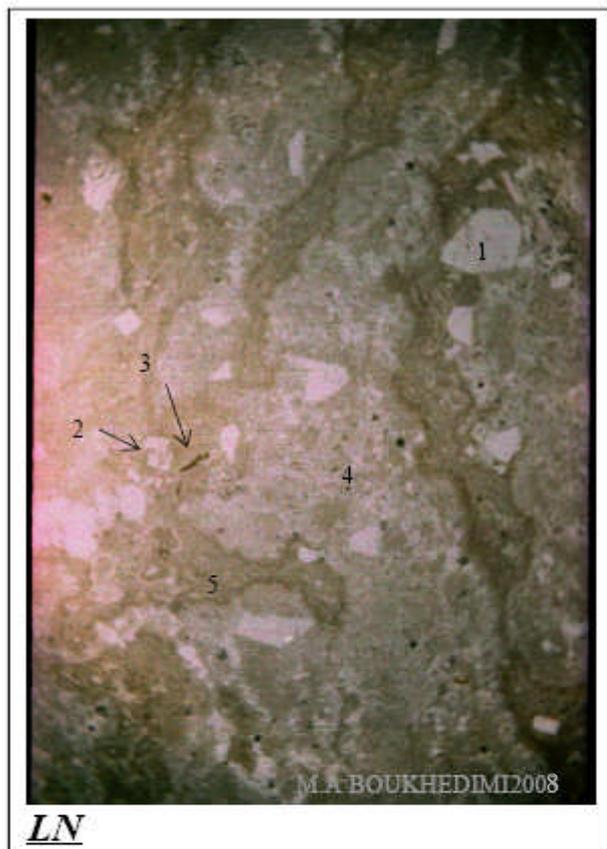
Ces minéraux peuvent aussi constituer en outre des inclusions de minéraux (Micro-photos4). On peut également les rencontrer dans la mésostase sous forme de microcristaux.

### c ) La mésostase :

La mésostase dans les rhyolites de Hammam Boughrara est fréquente, et représente la quasi-totalité de la roche (généralement plus de 80% du volume total de la roche). Les phénocristaux de tailles différentes, baignent dans une pâte d'aspect variable, soit franchement vitreuse, soit à tendance microlitique ou très finement cristallisée (microcristalline)--(d'où l'existence de plusieurs textures). Elle est de couleur variable souvent brun sombre à incolore, et parfois pigmentée par des granulations opaques ou marron rougeâtre (hydroxyde de fer). (cette hétérogénéité de couleur peut se retrouver au sein de la même lame)--(Micro-photos1).

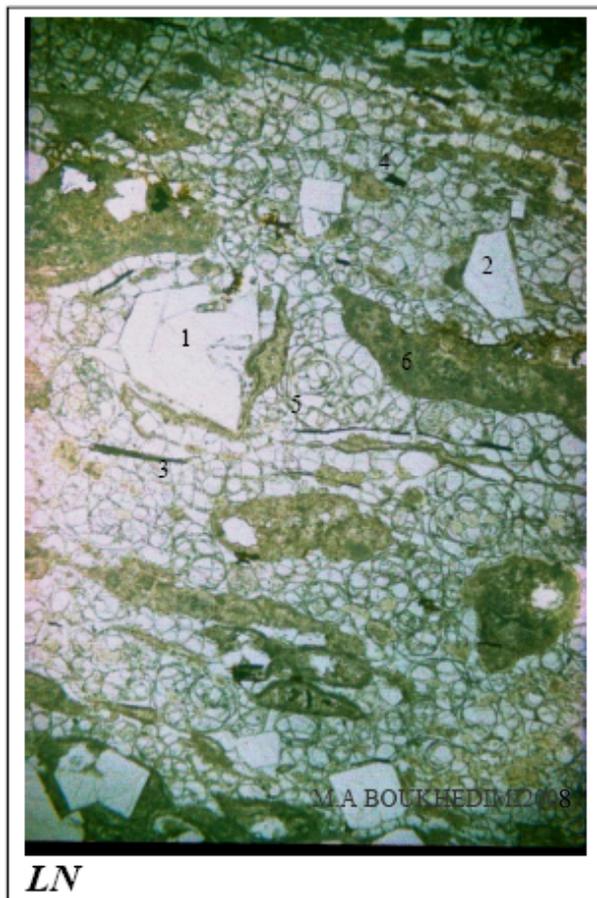
La mésostase des rhyolites constituant les pourtours des dômes est marquée par des structures perlitiques –sphériques avec des contours de couleur brun-sombre en lumière naturelle ; cette mésostase est traversée par des veinules de recristallisations courbées de couleur brune séparant les perles vitreuses (Micro-photos2).

De nombreux microlites de même nature que les phénocristaux existent dans la mésostase. Les microlites du plagioclase sont souvent séricitisés.



Micro-Photo1 : vue microscopique de la rhyolite de HB  
(texture hyaloporphyrique à tendance microlitique et fluidale)  
(Gr x 4 Lamme mince OR21).

- (1) : quartz rhyolitique.
- (2) : plagioclase.
- (3) : biotite.
- (4) : mésostase partiellement cristallisée.
- (5) : mésostase argilatisée.

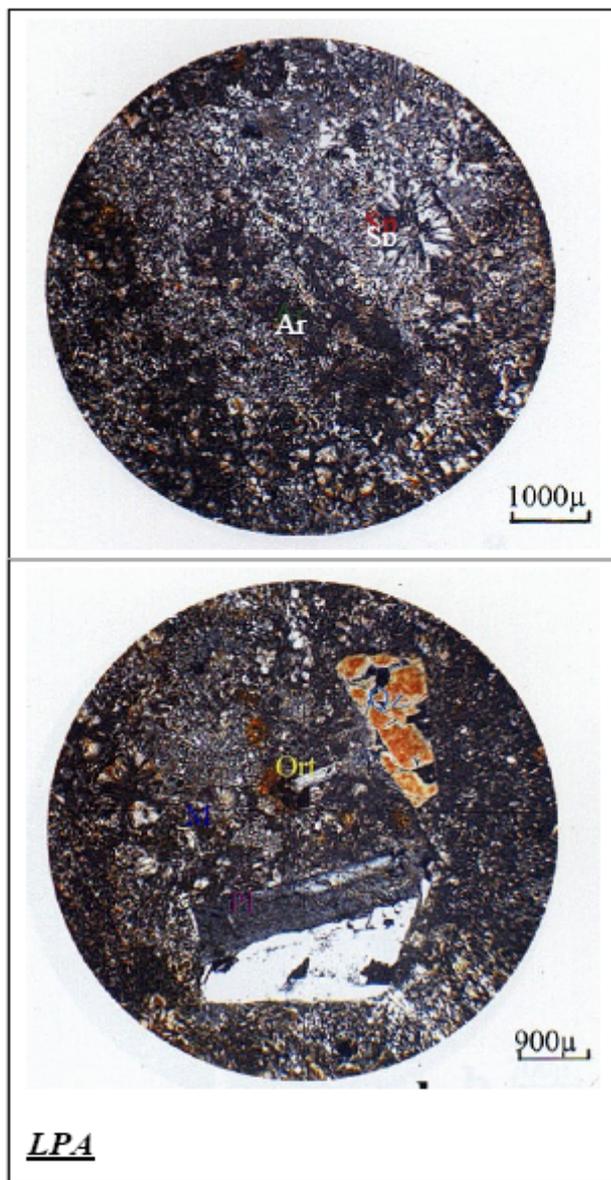


Micro-Photo2 : vue microscopique de la rhyolite de HB

(texture hyaloporphyrique perlitique à tendance fluidale)

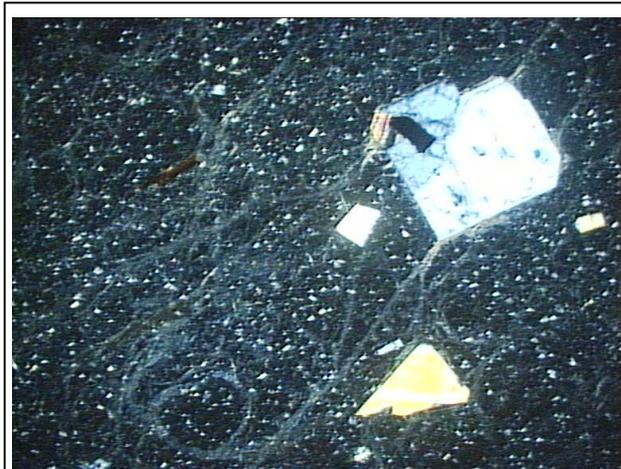
(Gr x 4 Lame mince HB3).

- (1) : quartz rhyolitique.
- (2) : plagioclase.
- (3) : biotite.
- (4) : minéraux opaques.
- (5) : perles (mésostase perlitique).
- (6) : mésostase perlitique altérée.



Micro-Photo3 : vue  
microscopique de la rhyolite d'AT  
(Texture hyaline porphyrique à  
tendance fluidale)  
(Lame mince N°17 LP X G 4).

Qz : quartz rhyolitique.  
Pl : plagioclase.  
Sp : sphérolite.  
San : sanidine  
Ar : argile.  
M : mésostase partiellement  
cristallisée.



Micro-Photo4 : vue microscopique  
d'une rhyolite perlitique de Ain  
Torba montrant un opaque et un  
plagioclase en inclusion dans un  
phénocrystal de quartz.

### d) Séquence de cristallisation :

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

Quelques microlites de feldspath alcalin et de quartz apparaissent dans la mésostase avant la solidification totale de la lave.

### e) Les altérations (minéraux secondaires) :

Le grenat :

Le grenat minéral inhabituel dans les roches volcaniques existe dans les rhyolites de Hammam Boughrara. Cité dans la thèse de Megartsi 1985. Les grenats à Hammam Boughrara sont rares. Le seul individu présent dans nos lames se présente sous forme automorphe, à section arrondie, craquelé, avec un relief très fort et isotrope en lumière polarisée analysée ; la taille est de l'ordre de 150µm. L'origine des grenats est probablement lié à des phénomènes hydrothermaux.

Les sphérolites :

La silice fibro-radiée montre des sphérolites de dévitrification à fibres de calcédoine (Micro-photo3). L'origine de ces sphérolites est secondaire, elles proviennent de la recristallisation de l'ancien verre volcanique, là où la silice s'est dévitrifiée en calcédoine ; de ce fait, elle est souvent associée à des petits grains de quartz.

La taille de ces sphérolites de dévitrification est très variable, allant de quelques microns à quelques millimètres. Elles montrent généralement des formes sphérique (d'où l'appellation "sphérolite"), ou ovale à structure radiée mais peuvent montrer également des structures en plume.

Ces sphérolites peuvent être dispersées ou regroupées en chapelets plus au moins continus soulignant ainsi la fluidalité de la roche.

La silice peut en outre constituer des remplissages dans les fractures ou des nourrissages associés essentiellement au quartz.

Les argiles :

L'argilitisation notamment la bentonitisation (transformation en argile bentonitique) est l'altération la plus répandue dans les rhyolites de la région ; nous allons consacrer le chapitre VII pour parler en détail de cette altération.

## **II)- Les pyroclastites et les tufs pyroclastiques :**

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

### 1/La phase de liaison :

Dans les pyroclastites de Hammam Boughrara on a prédominance de la matrice, les ciments sont rares. Elle est constituée essentiellement de cendre et de poussière volcanique, de couleur généralement brune claire à brune sombre, pigmentée parfois par des granulations d'hydroxydes de fer marron rougeâtre et d'opales. Cette matrice perd souvent sa couleur originelle au profit des couleurs d'altérations. La bentonitisation lui donne une couleur jaunâtre (Microphoto6).

Dans ces pyroclastites, les ciments sont rares mais très variés. En effet ; les tufs pyroclastiques consolidés de Hammam Boughrara montrent souvent une phase de liaison complexe composée de matrice et de ciment(s) de nature très variée. (Micro-photo7).

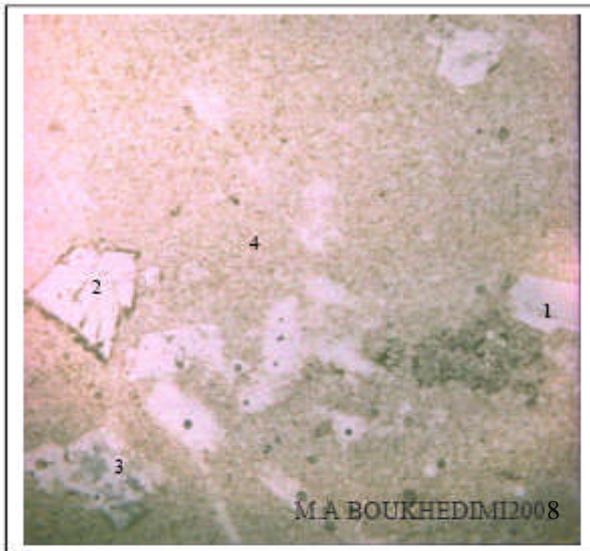
Les ciments siliceux (ciment d'opale, de calcédoine), ferrugineux et carbonatés sont respectivement les plus abondants. Mais on peut également trouver des ciments à base d'évaporites (anhydrite et gypse).

### 2/La phase clastique :

Elle est composée essentiellement de minéraux et fragments de minéraux ou des débris (surtout des quartzs et des feldspaths), des fragments de verre volcanique et de roches rhyolitiques (parfois même sédimentaires) presque toujours en esquille anguleux (brèches) ; il s'agit d'éclats de différentes tailles. Quelques rares bioclastes (fossiles) ont été trouvés ; Sur la lame R3 (Micro-photo6) on pense reconnaître les algues vertes du groupe des Dasycladacées reconnues après le lavage et le tri effectué sur ces tufs volcaniques ; il s'agit d'un verticille isolé du genre *Clypeina* (permien-tertiaire),

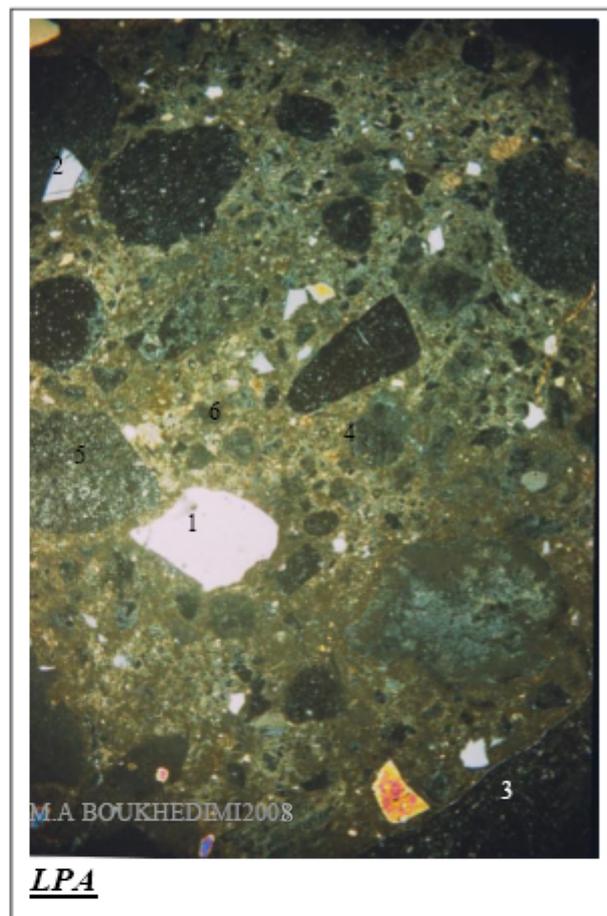
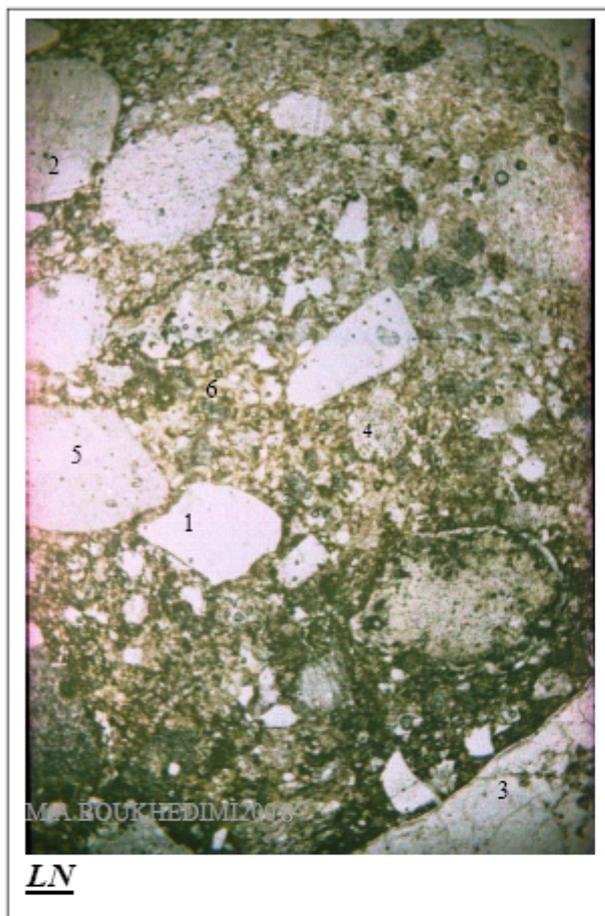
Le pourcentage de la phase clastique (ou fréquence) est très variable ; en effet, la phase clastique peut constituer jusqu'à 50% du volume totale de la roche, comme elle peut être quasiment inexistante (localement), dans ce cas on ne voit sur le microscope que la matrice argileuse.

La phase clastique montre des éléments anguleux mal classés microscopiquement (Micro-photo5) témoignant ainsi d'un transport court. Ces éléments ne montrent ni fluidalité ni orientation préférentielle. Le mode d'arrangement de ces éléments dans la matrice donne à ces roches une texture vitroclastique (= présence dans la roche de fragments de verre rhyolitique plus au moins éclaté et déformé) caractéristique des roches tufacées.



Micro-Photo5 : vue microscopique de la pyroclastite de HB  
(Gr x 4 Lame mince HB1).

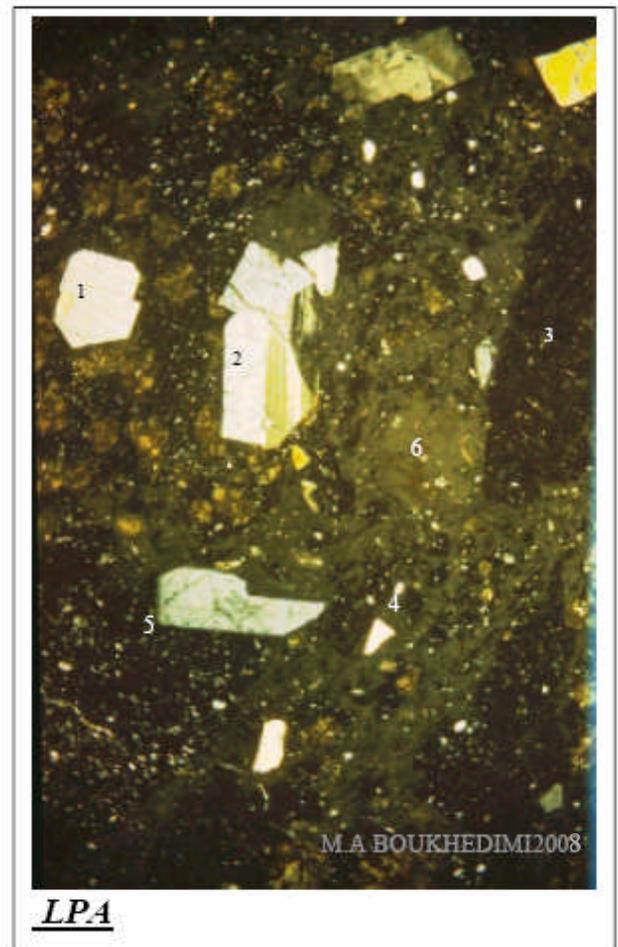
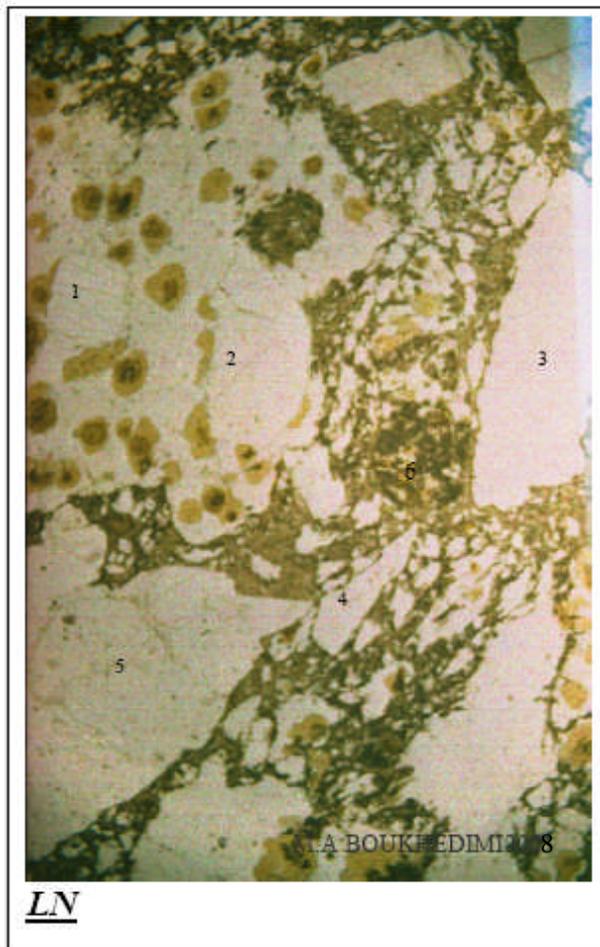
- (1) : quartz anguleux.
- (2) : feldspath anguleux (plagioclase).
- (3) : fragment de verre volcanique.
- (4) : matrice argileuse.



1 Micro-Photo6 : vue microscopique du tuf pyroclastiques grossier de la carrière Roussel.

(Gr x 4 Lame mince R3).

- (1) : quartz rhyolitique.
- (2) : fragment de rhyolite montrant un fragment de plagioclase.
- (3) : fragment de rhyolite perlitique.
- (4) : verticille isolé du genre Clypeina.
- (5) : fragment de verre volcanique bentonitisé.
- (6) : matrice argileuse bentonitisée montrant localement un ciment carbonaté.



Micro-Photo7 : vue microscopique de la pyroclastite de AT  
de la carrière RM.

(Gr x 4 Lame mince R8).

- (1) : quartz rhyolitique.
- (2) : plagioclase.
- (3) : fragment de verre volcanique bentonitisé.
- (4) : brèche volcanique.
- (5) : fragment de rhyolite montrant un fragment de quartz.
- (6) : matrice argileuse bentonitisée montrant un ciment ferrugineux.

### **III)-Cas des tufs consolidés massifs (ignimbrites) :**

Dans les tufs consolidés massifs à structure pseudo-fluidale de Hammam Boughrara, la structure «vitroclastique» initiale (des pyroclastites) disparaît totalement (Micro-photos9), et l'on obtient des lentilles aplaties de verre homogène («fiammes») ou parfois même on a l'impression d'une véritable coulée de laves reconstituée -- (Microphotos8). Ces tufs ont été soudés à chaud. Leurs caractères intermédiaires entre une lave et une pyroclastite et leur texture « ignimbritique » permettent de définir une coulée d'ignimbrite à Hammam Boughrara.

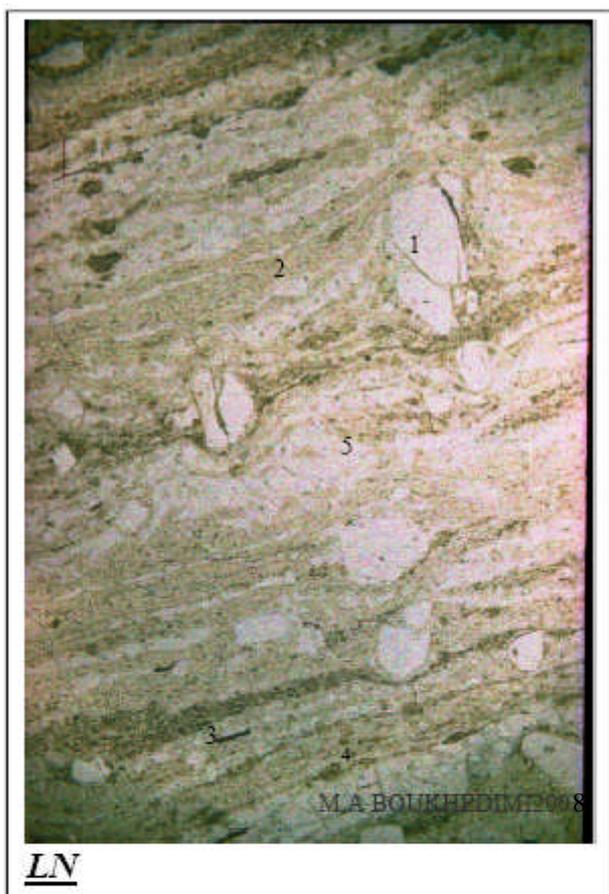
Ces tufs ignimbritiques présentent les mêmes éléments que ceux des pyroclastites :

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'opakes) souvent anguleux et craquelés, voire complètement broyés et montrant une certaine orientation.

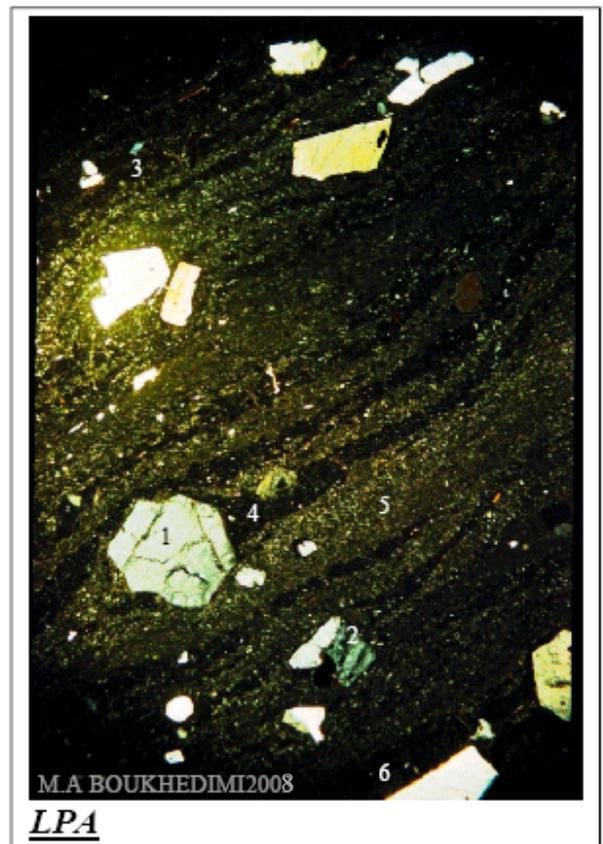
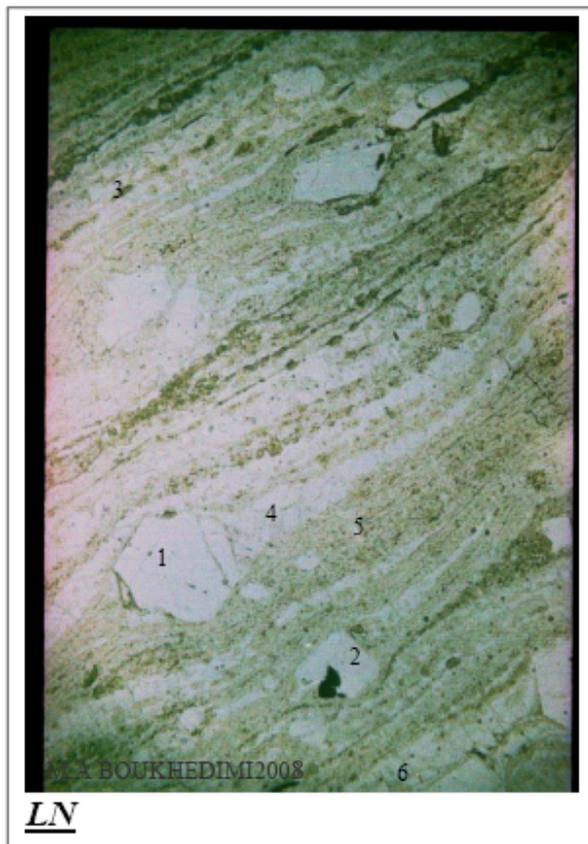
\*du verre volcanique et des fragments de roches rhyolitiques de différentes tailles ; presque toujours aplaties, exprimant ainsi une orientation préférentielle.

Cette fluidalité nette exprimée notamment par les nombreuses échardes de verre volcanique confère à la roche une texture ignimbritique. (Voir --Micro-photos 8 et 9).



**Micro-photos 08** : vue microscopique de tufs consolidés massifs de HB  
(texture ignimbrétique)  
(Gr x 4 - Lame mince HB4).

- (1) : quartz rhyolitique craquelé.
- (2) : plagioclase.
- (3) : biotite.
- (4) : fragment de verre (*aplatie*) d'une rhyolite perlitique.
- (5) : matrice argileuse fluidale.



**Micro-photos 09** : vue microscopique du tufs consolidés massifs de HB  
(texture ignimbrétique)  
(Gr x 4 Lame mince HB4).

- (1) : quartz automorphe craquelé.
- (2) : fragment de plagioclase.
- (3) : débris de quartz anguleux.
- (4) : écharde de verre (*fiamme*).
- (5) : matrice argileuse fluidale.
- (6) : fragment de rhyolite aplatie.

Les altérations associées :

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

2\*les biotites sont généralement chloritisées ou séricitisées.

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

Etude Pétrographique des faciès bentonitisés :

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

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

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

Le développement de la bentonitisation dans ces rhyolites est très faible et très ralenti. En effet ; les seuls échantillons présentant un début de bentonitisation montrent des microfracturations, des porosités, et la présence de minéraux argileux dans leur mésostase. Les rhyolites ne contenant pas ces derniers ne montrent aucun signe de bentonitisation.

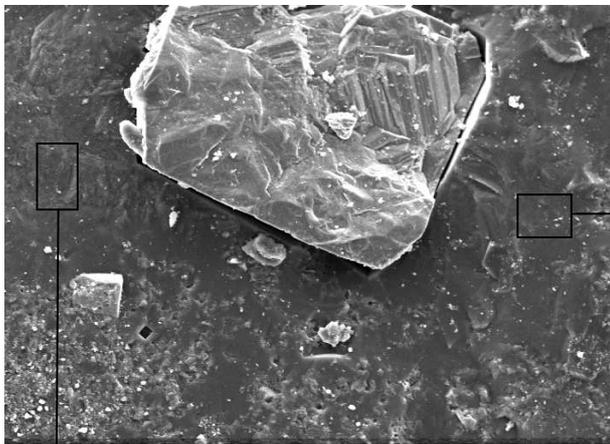


Image a x363

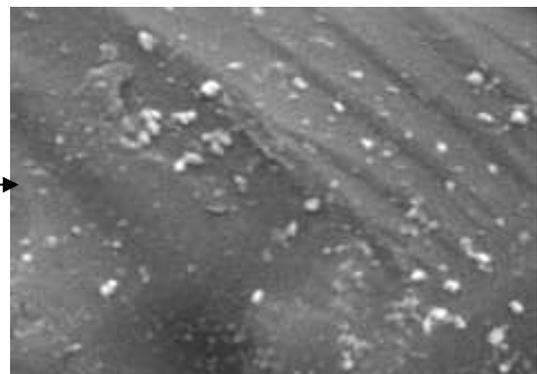


Image b x2905

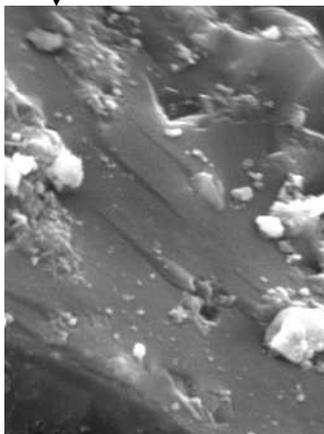
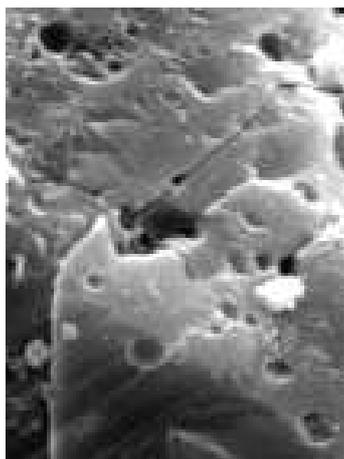


Image c x2905

Ces images MEB a, b et c (Microscope électronique à balayage) montrent l'aspect de la mésostase des rhyolites massives 'dures' à texture hyaline porphyrique de Hammam Boughrara ne montrant ni porosité ni microfracturation.



dx1873

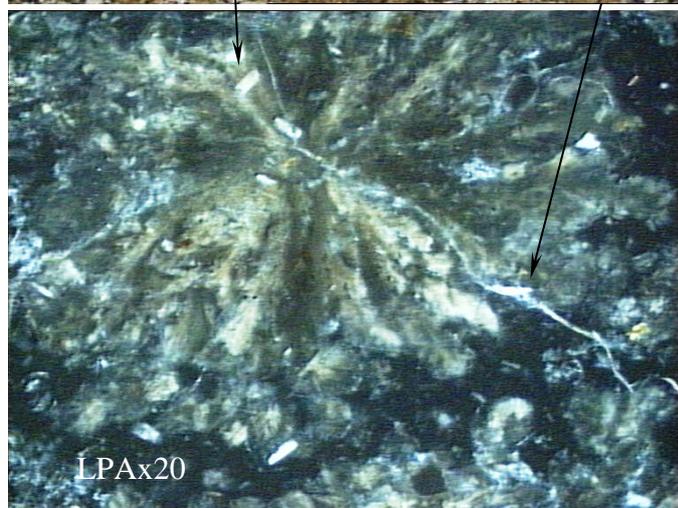
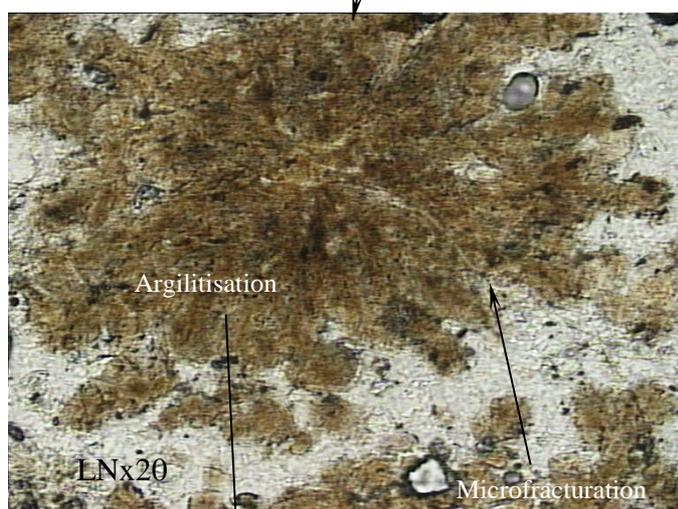
L'image MEB 'd' montre l'aspect de la mésostase d'une rhyolite dure à texture hyaline porphyrique de Hammam Boughrara montrant des porosités et des microfracturations.



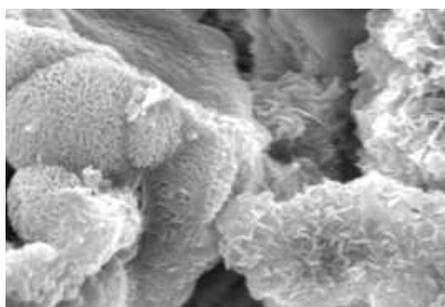
Les images du microscope polarisant ci-jointes montrent le développement de l'argilisation dans une mésostase rhyolitique à Hammam Boughrara à partir d'un point de porosité et des microfissurations engendrées.



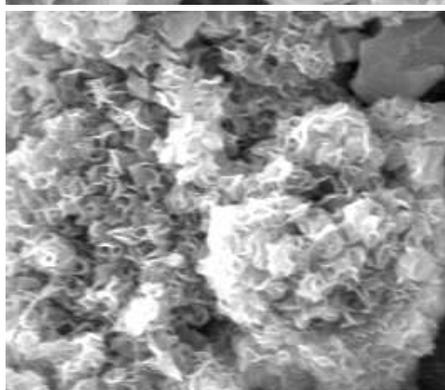
Lame R3(LNx2.5)



Les images du microscope polarisant ci-jointes montrent le développement de l'argilisation dans une mésostase rhyolitique à Hammam Boughrara à partir de microfracturations.



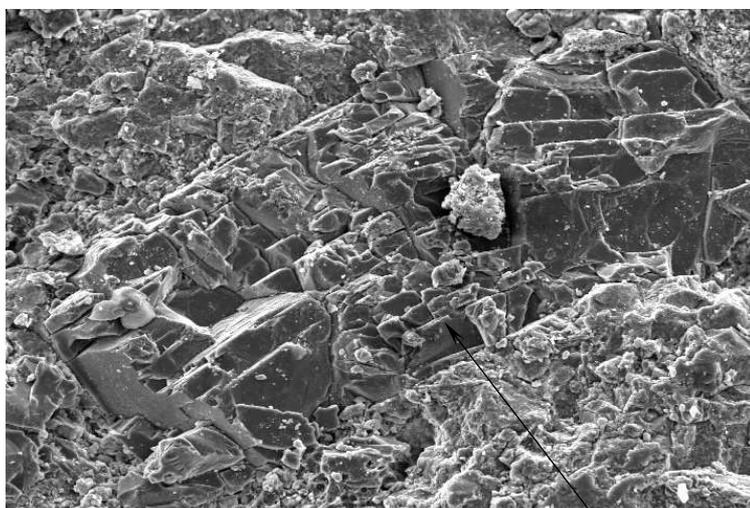
Les images du microscope électronique à balayage MEB ci-jointes montrent l'aspect de l'argilisation touchant la mésostase des rhyolites dures à texture hyaline porphyrique de Hammam Bouhrara.



x1873

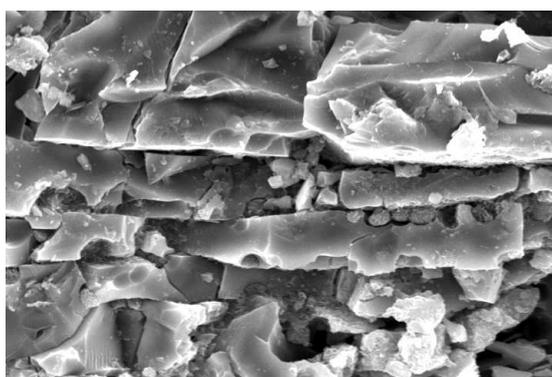
2) Dans les rhyolites "fluidale" à texture hyaline porphyrique fluidale :

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



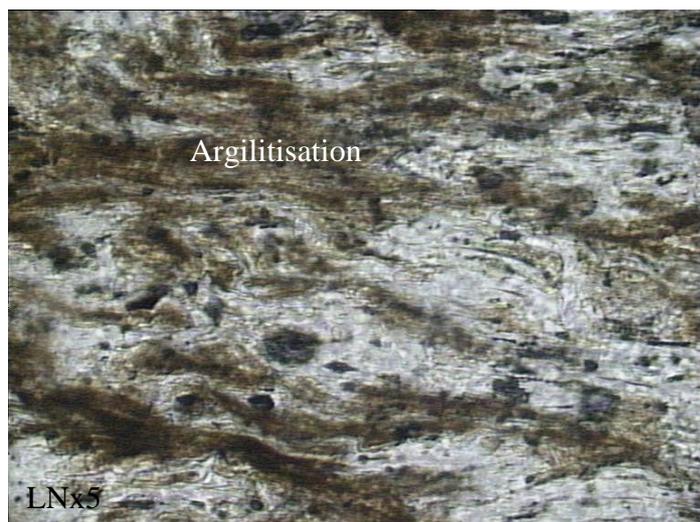
Les images du microscope électronique à balayage MEB ci-jointes montrent l'aspect d'une rhyolite saine à texture hyaline porphyrique fluidale de Hammam Bouhrara.

x212

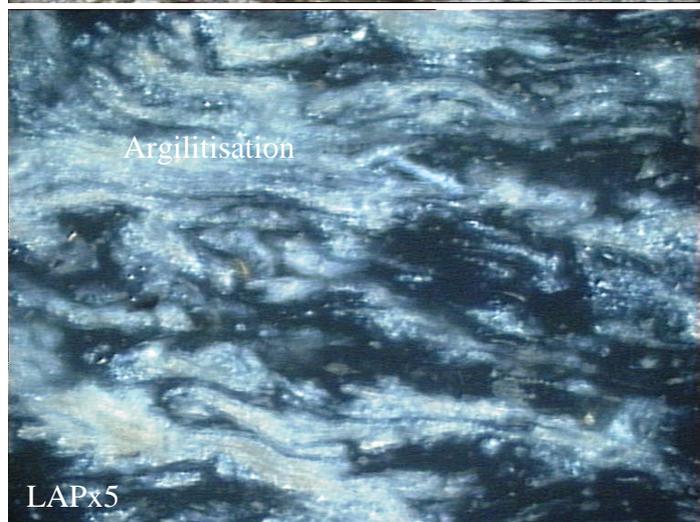


x1873

Plans de fracturations soulignant la fluidalité.

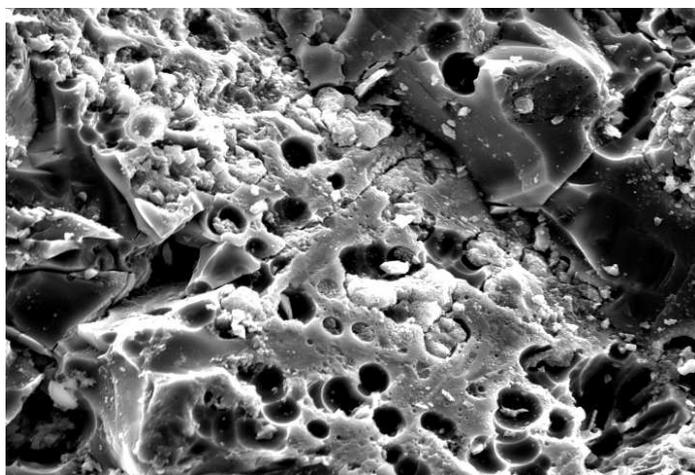


Les images du microscope polarisant ci-jointes montrent l'aspect d'une rhyolite fluidale de Hammam Boughrara. La bentonitisation suit la fluidalité de la roche. Elle se développe au niveau de ces plans de fluidalités.



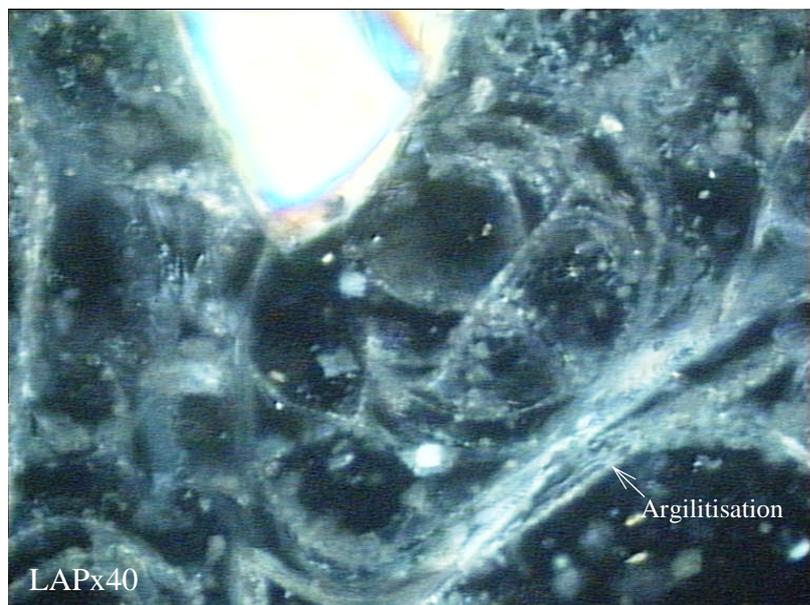
3) Dans les rhyolites " perlitique" :

Ces rhyolites sont souvent bentonitisées. La bentonitisation se développe essentiellement au niveau des perles qui constituent la mésostase perlitique et en suivant les contours de ces derniers.



Aspect de la rhyolite perlitique de Hammam Boughrara au MEB (microscope électronique à balayage).

L'image montre que ces rhyolites sont très poreuses par leur structure.



L'image du microscope polarisant ci-jointe montre le développement de l'argilitisation suivant les contours perlitiques de la rhyolite perlitique de Hammam Bouhrara.

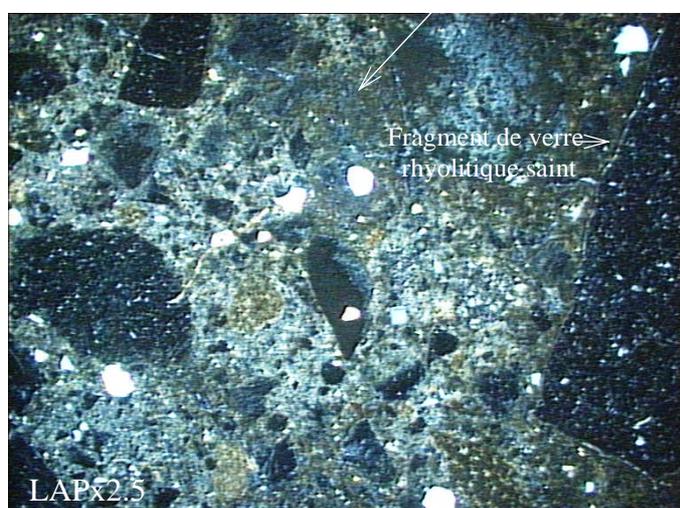
4) Dans les pyroclastites et tufs pyroclastiques :

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



R3(2.5)

Les images du microscope polarisant ci-jointes montrent le développement de la bentonitisation dans une pyroclastite de Hammam Bouhrara. La bentonitisation se développe essentiellement dans la matrice argileuse. Les éléments detritiques sont moins touchés.



R3(2.5)

### Conclusion de l'étude pétrographique :

Les observations faites sur les lames minces des différents échantillons présentant un début de bentonitisation montrent clairement, que cette dernière se développe dans les faciès rhyolitiques à partir :

- Des argiles (matrice, minéraux argileux).
- Des microfissurations et microfracturations.
- Des points de porosités.
- Des plans de fluidalités.
- Et des perlites.

Ainsi ; on conclut que :

Les rhyolites perlitiques et fluidales fragilisées par leur structure (plans de fluidalités et perlites) sont beaucoup plus vulnérables à la bentonitisation que les rhyolites compactes ne présentant aucune fluidalité ni perlites. De même, les pyroclastites et les tufs pyroclastiques sont plus vulnérables à la bentonitisation de par leur matrice argileuse.

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

CHAPITRE VI :  
ETUDE MINERALOGIQUE ET GEOCHIMIQUE  
Mise en évidence des changements chimiques  
affectant les faciès rhyolitiques bentonitisés

**Introduction:**

A Hammam Boughrara les terrains volcanogènes bentonitisés sont de nature rhyolitiques.

L'étude minéralogique et géochimique confirme ces données et permet entre autre :

- De retrouver la température de mise en place des dômes rhyolitiques.
- La comparaison du chimisme et de la minéralogie des 4 dômes rhyolitiques permet de confirmer qu'il s'agit du même magma à l'origine de ces 4 dômes.
- De confirmer que la bentonitisation touche les terrains volcanogènes rhyolitiques et de retrouver les changements affectant ces terrains.
- L'étude des isotopes permet de comprendre les mécanismes conduisant à la bentonitisation.

**I) Minéralogie :**

Les analyses chimiques des éléments majeurs dans les minéraux, ont été effectuées à la microsonde électronique d'IFREMER (Lyon).

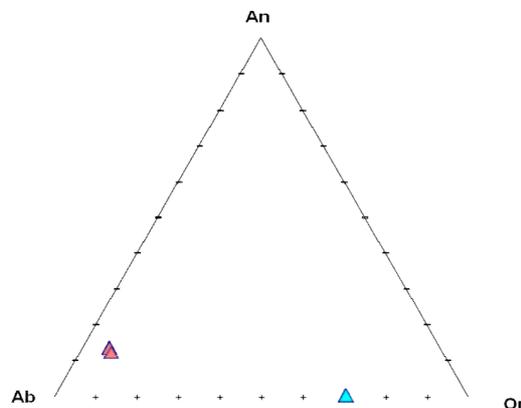
Ces analyses ont été réalisées dans les conditions opératoires suivantes : énergie d'excitation 15 Kv, intensité du courant 20 nano-ampères et temps de comptage compris entre 20 et 30 s.

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

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

**1 - Les feldspaths**

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



Place des feldspaths dans le diagramme Orthose, Albite et Anorthite.

N°Ech	FK-HB4	FK	Pipéri	Plinter-	Plinter+	Picentr	FK	Fipéri	PL	FK-HB3	Fkinter-	Fkinter+	FK	FK	Fkcentr	FK	FK-R8
N°Anal	1	2	3	4	5	8	19	20	37	52	53	54	55	59	61	62	76
SiO2	65,8927	65,5464	65,2449	65,2392	65,0660	65,4430	67,4997	66,5755	67,9574	66,5786	66,1429	66,5897	65,8459	65,7771	65,3106	66,1576	65,7310
Al2O3	18,4391	18,3976	21,7453	21,7451	21,3309	21,3193	18,8085	18,8933	17,9986	18,8440	18,6312	18,7045	18,5999	18,4923	18,5027	18,8022	18,4513
TiO2	0,0165	0,0221	0,0202	0,0000	0,0000	0,0659	0,0586	0,0000	0,0079	0,0368	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0166	0,0000
FeO	0,0180	0,0863	0,0469	0,0811	0,0000	0,0180	0,0538	0,0000	0,0644	0,0324	0,0522	0,0198	0,0450	0,0090	0,0649	0,0324	0,0361
MnO	0,0044	0,0016	0,0000	0,0525	0,0189	0,0461	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0068	0,0417	0,0000	0,0145	0,0000	0,0000	0,0185
MgO	0,0227	0,0228	0,0093	0,0000	0,0000	0,0461	0,0254	0,0000	0,2706	0,0000	0,0000	0,0032	0,0098	0,0065	0,0000	0,0049	0,0000
CaO	0,1142	0,0999	2,8433	2,8593	2,8393	2,5768	0,2347	0,4138	0,3663	0,1918	0,1222	0,1698	0,1552	0,1163	0,1718	0,1749	0,1431
Cr2O3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0426	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0050	0,0000
NiO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Na2O	3,2615	3,2615	9,1689	9,1571	9,1103	9,2220	5,4003	4,5588	5,4270	3,8731	3,3340	3,2112	4,2025	3,3936	3,1286	3,5799	3,5206
K2O	11,7672	11,8134	1,0917	1,0885	1,0956	1,2980	9,1619	9,8624	6,7311	11,5263	11,9691	12,0499	10,6822	11,9657	12,6214	12,2270	11,8331
TOTAL	99,5563	99,2516	100,1705	100,2228	99,4610	100,0352	101,2429	100,3038	98,8659	101,0930	100,2584	100,7898	99,5405	99,7750	99,8000	101,0005	99,7337
FORMULE STRUCTURALE (8 Oxygènes)																	
Si	3,0076	3,0039	2,8735	2,8729	2,8849	2,8873	3,0041	2,9971	3,0508	2,9944	3,0019	3,0049	2,9984	3,0014	2,9916	2,9889	3,0007
Al	0,9919	0,9937	1,1287	1,1286	1,1147	1,1086	0,9866	1,0024	0,9523	0,9989	0,9966	0,9948	0,9982	0,9945	0,9989	1,0011	0,9928
Fe	0,0007	0,0033	0,0017	0,0030	0,0000	0,0007	0,0020	0,0000	0,0024	0,0012	0,0020	0,0007	0,0017	0,0003	0,0025	0,0012	0,0014
Ca	0,0056	0,0049	0,1342	0,1349	0,1349	0,1218	0,0112	0,0200	0,0176	0,0092	0,0059	0,0082	0,0076	0,0057	0,0084	0,0085	0,0070
Na	0,2904	0,2898	0,7829	0,7818	0,7832	0,7889	0,4660	0,3979	0,4724	0,3377	0,2934	0,2810	0,3710	0,3002	0,2779	0,3136	0,3116
K	0,6851	0,6906	0,0613	0,0611	0,0620	0,0731	0,5202	0,5664	0,3855	0,6613	0,6929	0,6936	0,6205	0,6965	0,7375	0,7047	0,6881
SOMME	4,9814	4,9863	4,9824	4,9824	4,9796	4,9803	4,9901	4,9838	4,8810	5,0027	4,9927	4,9832	4,9875	4,9987	5,0167	5,0179	5,0026
%An	0,5692	0,4978	13,7123	13,7956	13,7630	12,3822	1,1221	2,0279	2,0125	0,9167	0,5988	0,8353	0,7579	0,5672	0,8236	0,8246	0,6946
%Ab	29,5989	29,4119	80,0192	79,9516	79,9140	80,1918	46,7240	40,4285	53,9571	33,4969	29,5664	28,5872	37,1364	29,9512	27,1403	30,5425	30,9231
%Or	69,8319	70,0903	6,2684	6,2528	6,3230	7,4260	52,1538	57,5437	44,0304	65,5864	69,8348	70,5775	62,1057	69,4816	72,0361	68,6329	68,3823

Tableau1 : analyses chimiques et formules structurales des feldspaths.

L'équilibre existant dans ces rhyolites entre plagioclases et feldspaths alcalin permet de déterminer la température de mise en place des dômes rhyolitiques.

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

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

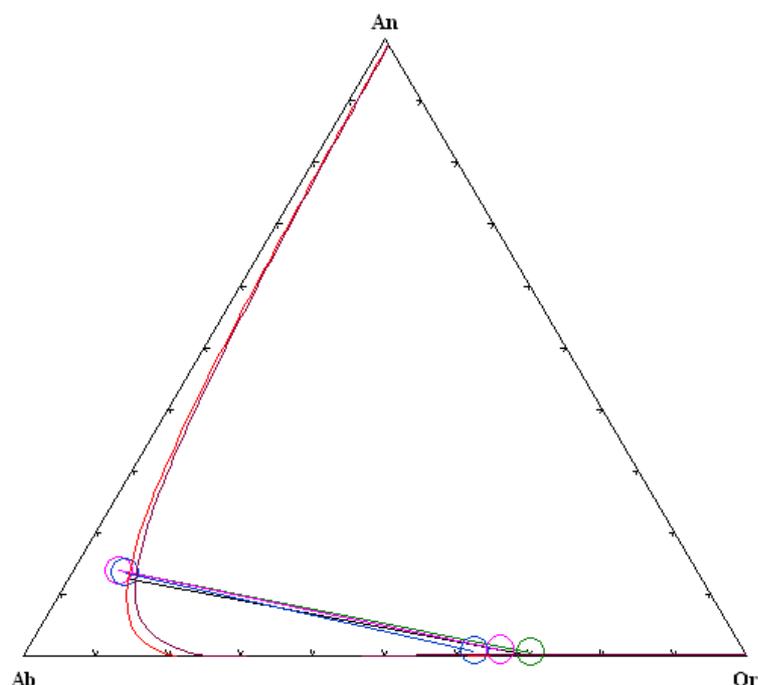
Selon les calculs effectués, la température de mise en place varie d'environ 100°C depuis la périphérie jusqu'au cœur du dôme (de 589°C à 681°C).

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

T(C)=589.0 P(Kb)=0.001  
 T(C)=622.9 P(Kb)=0.001  
 T(C)=644.9 P(Kb)=0.001  
 T(C)=665.6 P(Kb)=0.001  
 T(C)=681.0 P(Kb)=0.001  
 [Nekvasil and Burnham (1987)]

Fig.1 : Calculs des isothermes dans le système Albite-Anorthite-Orthose des feldspaths de Hammam Boughrara

Détermination de la Températures de mise en place



## 2 - Les biotites

Dans les rhyolites de Hammam Boughrara, les biotites se présentent en microlites et en phénocristaux. Les analyses chimiques et les formules structurales (calculées sur la base de 22 oxygènes) sont données en tableau2.

Ces biotites ont des rapports Fe / (Fe + Mg) compris entre 0.8 et 0.9 ce qui les placent dans le champ des biotites du diagramme Fe / (Fe + Mg) vs AlIV-2 de Deer et al., (1966). De tels

résultats attestent de leur caractère ferrifère (figure2). En effet, projetées sur le plan idéal de Guidotti (1984), elles se placent dans la partie Annite-Synderophylite (figure1).

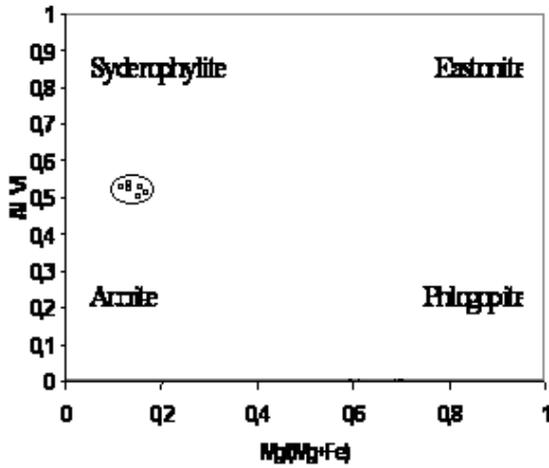


Figure 1 : classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Guidotti (1984)

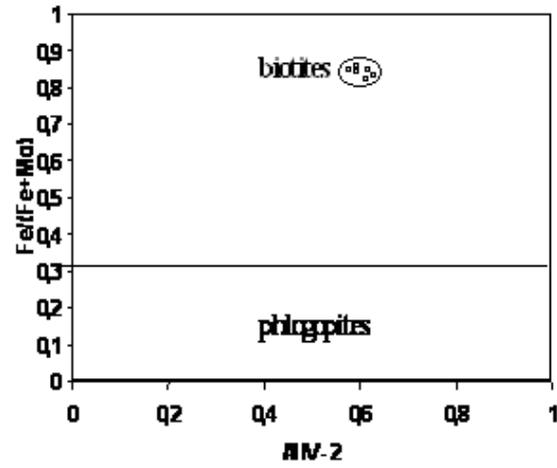


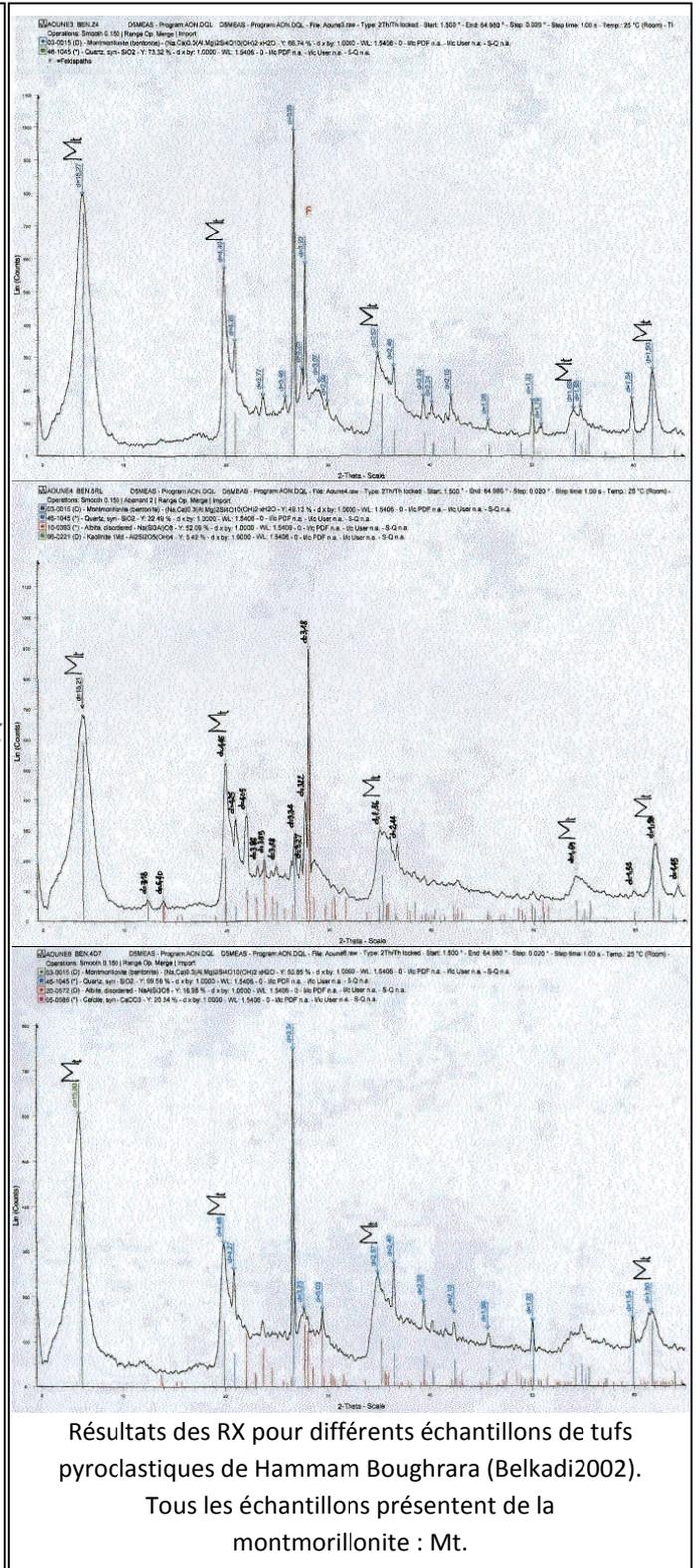
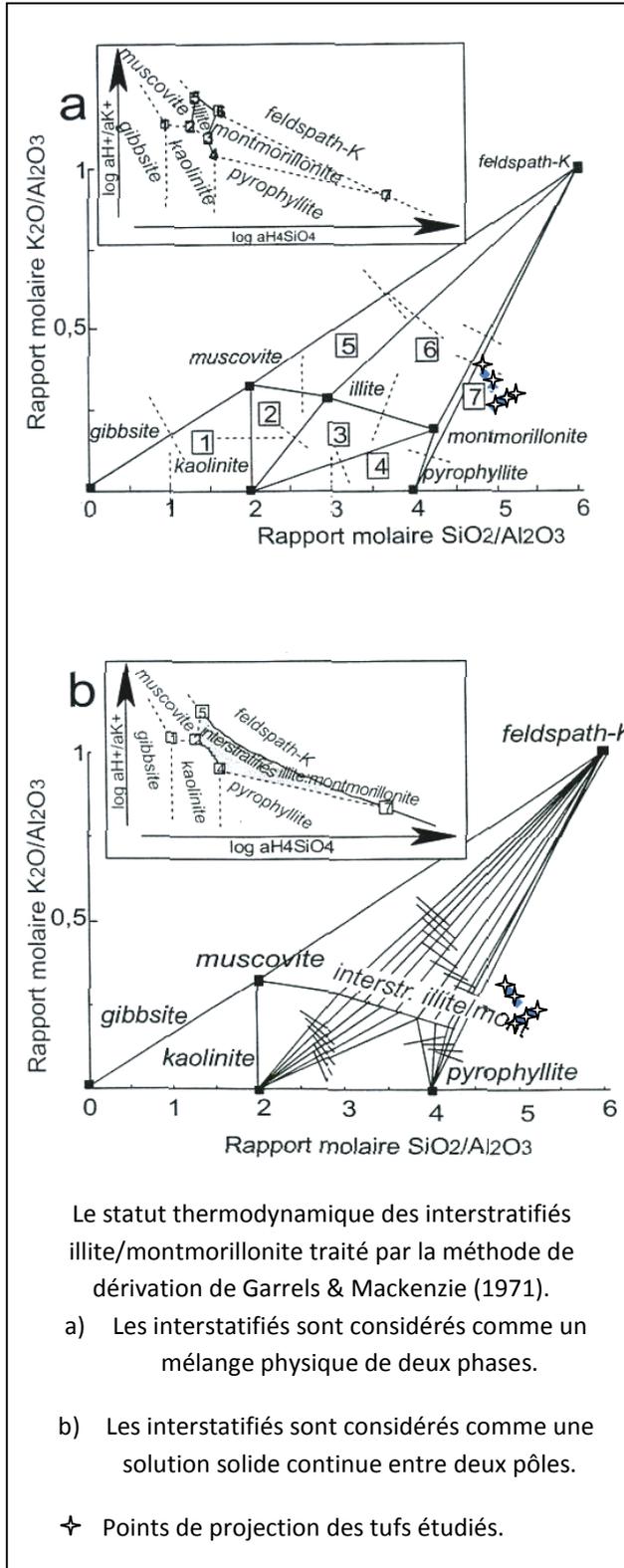
Figure 2 : classification des biotites des laves calcoalcalines dans le diagramme de Fe/(Fe+Mg) Vs Al IV - 2 de Deer et al., (1966)

N°Ech	HB4							HB3				
N°Anal.	6	7	9	10	17	18	43	45	46	50	51	63
SiO2	32,7000	33,0653	33,1942	32,4892	32,9447	33,1985	33,6592	33,1947	33,0652	33,2106	33,6785	32,9443
Al2O3	15,6369	15,5173	15,7829	15,5691	15,5212	15,5818	15,1416	15,3669	15,2733	15,9722	15,7031	15,8416
TiO2	1,5644	1,4713	1,2858	1,5797	1,6540	1,6436	1,3410	1,8602	1,4970	1,4197	1,6653	1,4713
FeO	31,9526	32,6464	32,1568	31,8198	33,0259	32,2891	32,3566	32,7469	32,9411	33,2241	32,4669	32,4192
MnO	0,5644	0,5974	0,6507	0,5685	0,5922	0,5757	0,6093	0,6836	0,5884	0,5972	0,6168	0,6397
MgO	2,1646	1,9996	2,1397	2,1966	2,0910	2,2185	2,3165	2,1904	2,2706	2,2620	2,1849	2,1243
CaO	0,1676	0,0814	0,0074	0,0311	0,0015	0,0638	0,0549	0,0000	0,0296	0,0311	0,1660	0,1011
Cr2O3	0,0000	0,0000	0,0309	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0221	0,0198	0,0374	0,0177	0,0000
NiO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Na2O	0,2892	0,2965	0,3760	0,4013	0,3074	0,2978	0,2880	0,2966	0,3829	0,3299	0,3736	0,6234
K2O	8,3871	8,6518	8,7342	8,6850	8,7180	8,7113	8,3283	8,8312	8,7641	8,8290	8,6069	8,8696
BaO	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cl	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Total	93,4268	94,3270	94,3586	93,3403	94,8559	94,5801	94,0954	95,1926	94,8320	95,9132	95,4797	95,0345
FORMULE STRUCTURALE (22 Oxygènes)												
Si	5,4652	5,4918	5,4975	5,4476	5,4530	5,4863	5,5768	5,4690	5,4764	5,4328	5,5045	5,4373
AlIV	2,5348	2,5082	2,5025	2,5524	2,5470	2,5137	2,4232	2,5310	2,5236	2,5672	2,4955	2,5627
Z	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000	8,0000
AlVI	0,5453	0,5294	0,5782	0,5243	0,4809	0,5211	0,5336	0,4530	0,4578	0,5123	0,5294	0,5188
Cr	0,0000	0,0000	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0029	0,0026	0,0048	0,0023	0,0000
Fe	4,4661	4,5346	4,4538	4,4619	4,5716	4,4625	4,4834	4,5120	4,5627	4,5453	4,4378	4,4747
Ni	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mg	0,5392	0,4950	0,5282	0,5490	0,5159	0,5465	0,5721	0,5379	0,5605	0,5515	0,5323	0,5226
Mn	0,0799	0,0840	0,0913	0,0807	0,0830	0,0806	0,0855	0,0954	0,0825	0,0827	0,0854	0,0894
Ti	0,1966	0,1838	0,1601	0,1992	0,2059	0,2043	0,1671	0,2305	0,1865	0,1747	0,2047	0,1826
Y	5,8272	5,8268	5,8157	5,8152	5,8572	5,8149	5,8416	5,8317	5,8526	5,8714	5,7917	5,7881
Ca	0,0300	0,0145	0,0013	0,0056	0,0003	0,0113	0,0097	0,0000	0,0053	0,0055	0,0291	0,0179
Na	0,0937	0,0955	0,1207	0,1305	0,0987	0,0954	0,0925	0,0947	0,1230	0,1046	0,1184	0,1995
K	1,7881	1,8331	1,8452	1,8577	1,8408	1,8364	1,7602	1,8561	1,8517	1,8424	1,7945	1,8674
Ba	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cl	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
X	1,9119	1,9430	1,9673	1,9937	1,9397	1,9431	1,8625	1,9508	1,9799	1,9525	1,9419	2,0847
XYZ	15,7390	15,7699	15,7830	15,8089	15,7969	15,7580	15,7041	15,7825	15,8325	15,8239	15,7337	15,8728
XFe	0,8923	0,9016	0,8940	0,8904	0,8986	0,8909	0,8868	0,8935	0,8906	0,8918	0,8929	0,8954

Tableau2 : analyses chimiques et formules structurales des biotites.

3 - Minéralogie des tufs pyroclastiques

Projeter sur les diagrammes de Garrels & Mackenzie (1971) (ci-dessous). Les tufs rhyolitiques de Hammam Bouhrara se positionnent près du pôle montmorillonite. En effet ; les analyses des rayons X (RX) effectuées par Bental la société en charge de l'exploitation des gisements d'argiles bentonitiques, confirment ces résultats. Les tufs pyroclastiques de Hammam Bouhrara sont constitués essentiellement de montmorillonite.

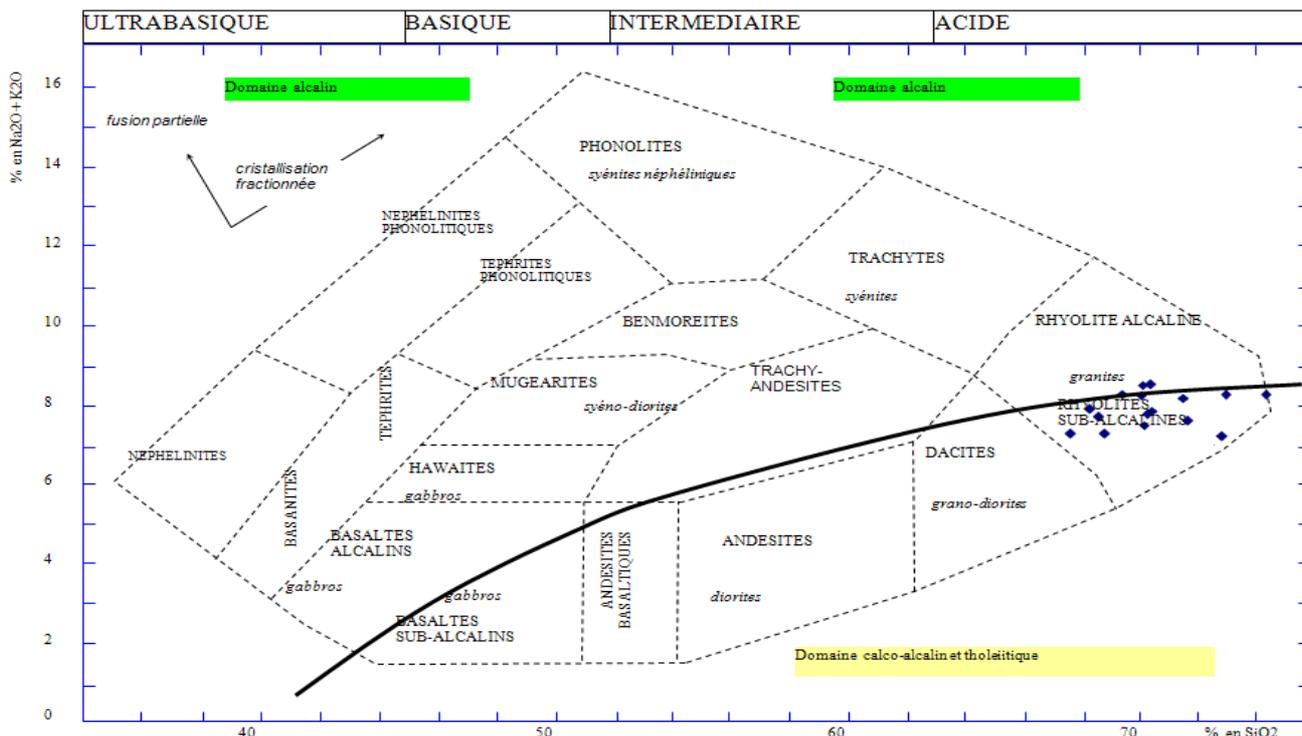


**II) Nomenclature et classification des laves:**

Les affinités magmatiques et chimiques sont illustrées par des diagrammes de classification et de variation, construits sur la base de la composition chimique -Tableau3 :

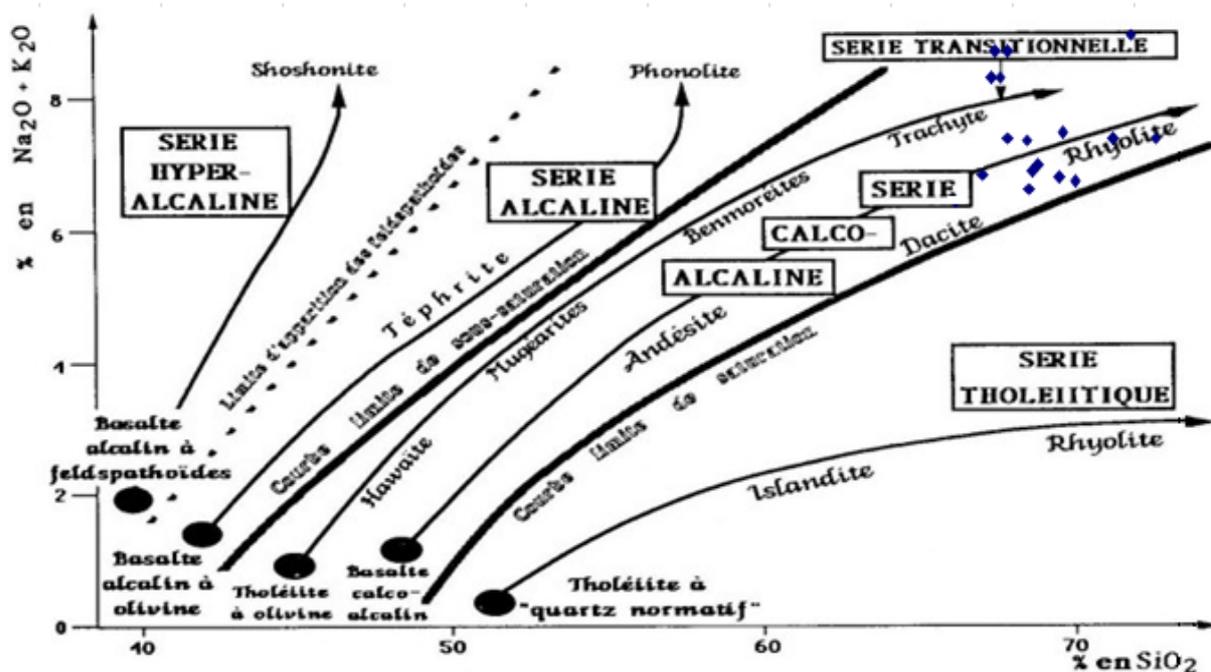
Ech	LOI	SiO2 (%)	TiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	MnO (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	P2O5 (%)
Rh-S	3,1801	77,8708	0,0196	9,9372	0,735	0,0294	0,1176	0,4214	2,9694	3,3418	0,0392
BHBC1	8,7661	66,5224	0,0294	15,2782	0,8036	0,049	1,3034	0,9016	2,2442	4,116	0,0294
HBC1	8,8151	66,7674	0,0294	15,4252	0,931	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

Projetés sur la figure 3 qui correspond à la Classification de Cox et al. Positionnée sur un diagramme de Harker alcalins-silice, les laves de Hammam Boughrara étudiées évoluent dans le champ des rhyolites calco-alcalines. Ces laves présentent des caractères géochimiques acides ce qui atteste d'un degré très poussé, de différenciation.



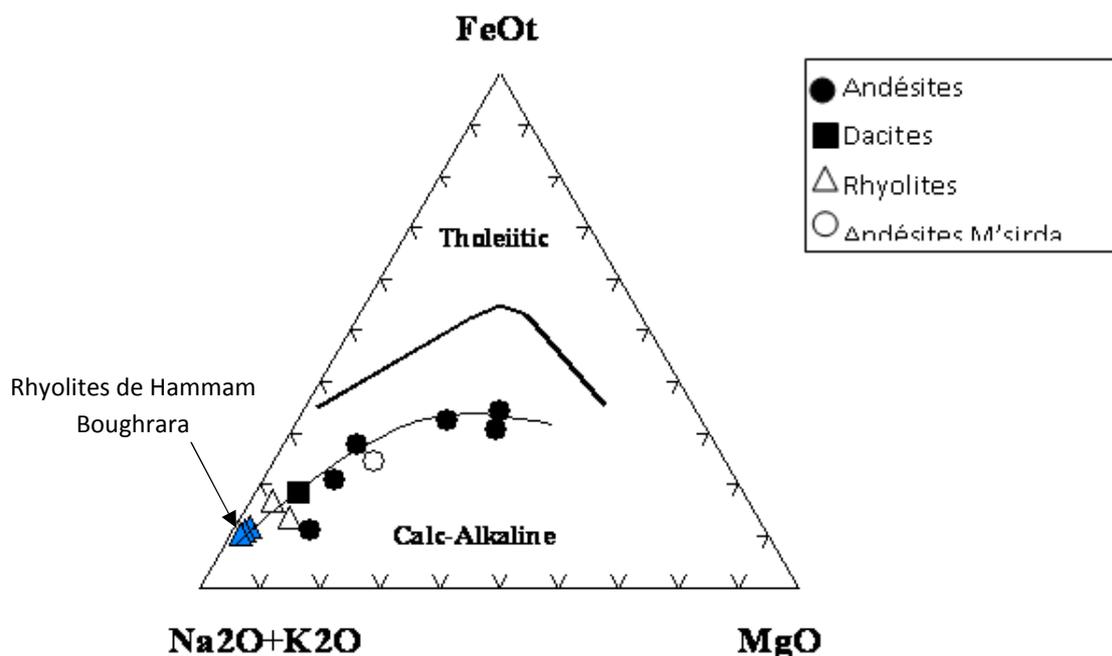
Classification de COX et al. Positionnée sur un diagramme de HARKER alcalins-silice

Dans le diagramme de Harker (figure 4), les laves étudiées appartiennent toutes aux séries calco-alkalines.



Place des laves de Hammam Bouhrara dans le diagramme de Harker. Les grandes séries volcaniques et leur position sur un diagramme alcalins-silice (diagramme de Harker).

Dans le diagramme AFM des séries volcaniques de l'Oranie (Louni2002) (figure 5), les laves étudiées se placent aussi dans le domaine calco-alkalin.



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

**1) Les éléments majeurs :**

Les changements en éléments majeurs les plus significatifs quand à la bentonitisation à Hammam Boughrara sont en silicium ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), calcium ( $\text{CaO}$ ) et magnésium ( $\text{MgO}$ ). En effet ; on observe une évolution régulière en ces éléments, et cela depuis les faciès sains et jusqu'au faciès bentonitisés.

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

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

Ce diagramme permet de différencier avec une grande précision les faciès bentonitisés des faciès sains à Hammam Boughrara. En effet ; tous les faciès bentonitisés ont des valeurs supérieures à 15% en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et inférieures à 67% en  $\text{SiO}_2$  alors que les faciès sains ont des valeurs inférieures à 11% en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et supérieures à 77% en  $\text{SiO}_2$ . Les termes intermédiaires existent. Donc, ce diagramme montre une diminution régulière en  $\text{SiO}_2$  accompagnée d'une augmentation régulière en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , et cela depuis les faciès rhyolitiques sains jusqu'au faciès rhyolitiques bentonitisés.

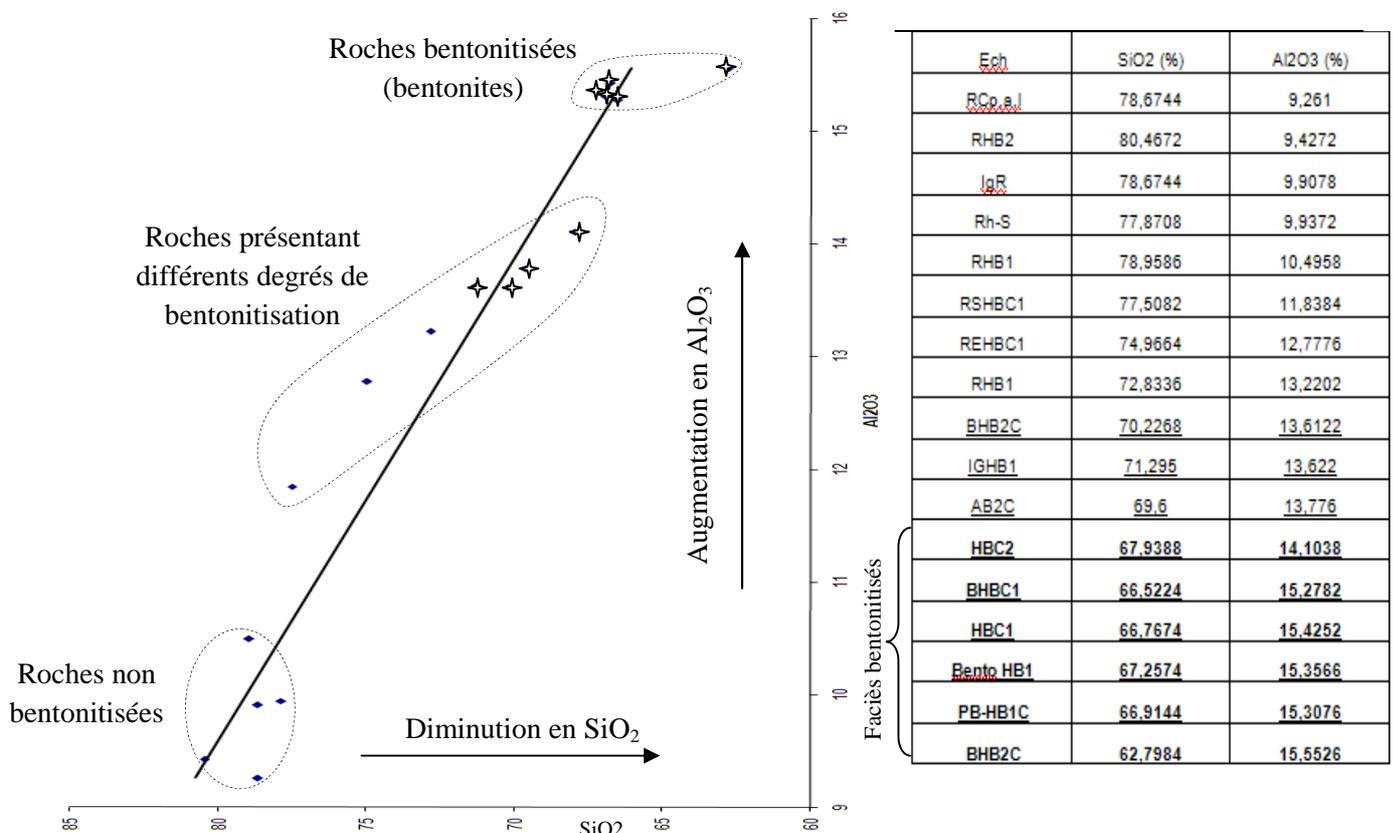


Fig.6 : Diagramme  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara.

b) Le diagramme MgO/CaO :

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

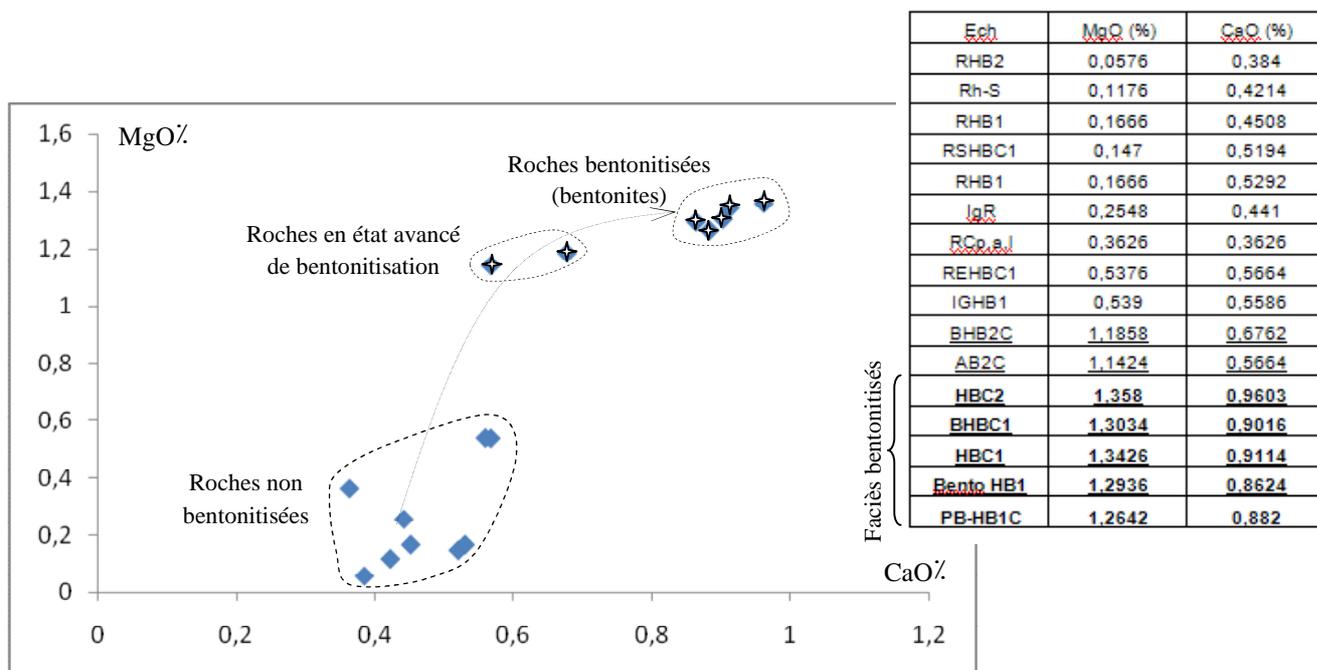


Fig.7 : Diagramme MgO/CaO permettant de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara.

2) Les éléments en traces :

Les éléments en traces dont nous disposons des analyses et qui permettent de différencier les faciès rhyolitiques bentonitisés de Hammam Boughrara sont le nickel Ni, l'étain Sn, le plomb Pb et le thorium Th. En effet ; ces éléments ont montrés des évolutions régulières et significatives depuis les faciès saines jusqu'au faciès bentonitisés.

D'une manière générale, on voit une diminution régulière en Ni qui est plus présent dans les faciès sains et moins prononcé dans les faciès bentonitisés, alors que, le Sn, Pb et Th ont une tendance générale à augmenter dans les faciès bentonitisés.

Ech	Ni (PPM)	Sn (PPM)	Pb (PPM)	Th (PPM)
RCp.a.l	5,2	13,7	22,4	10,7
RHB2	5,1	13,4	22,3	11,2
IgR	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
HBC2	4	18	36,6	17,6
BHBC1	1,4	20,5	37,9	18,2
HBC1	1,9	19,6	37,5	18,4
Bento HB1	2,4	20,8	38,2	18,4
PB-HB1C	2,6	19,7	37,8	18,5
BHB2C	0,6	71,1	44,1	19,3

Tableau4 : analyses chimiques des éléments en trace Ni, Sn, Pb et Th.

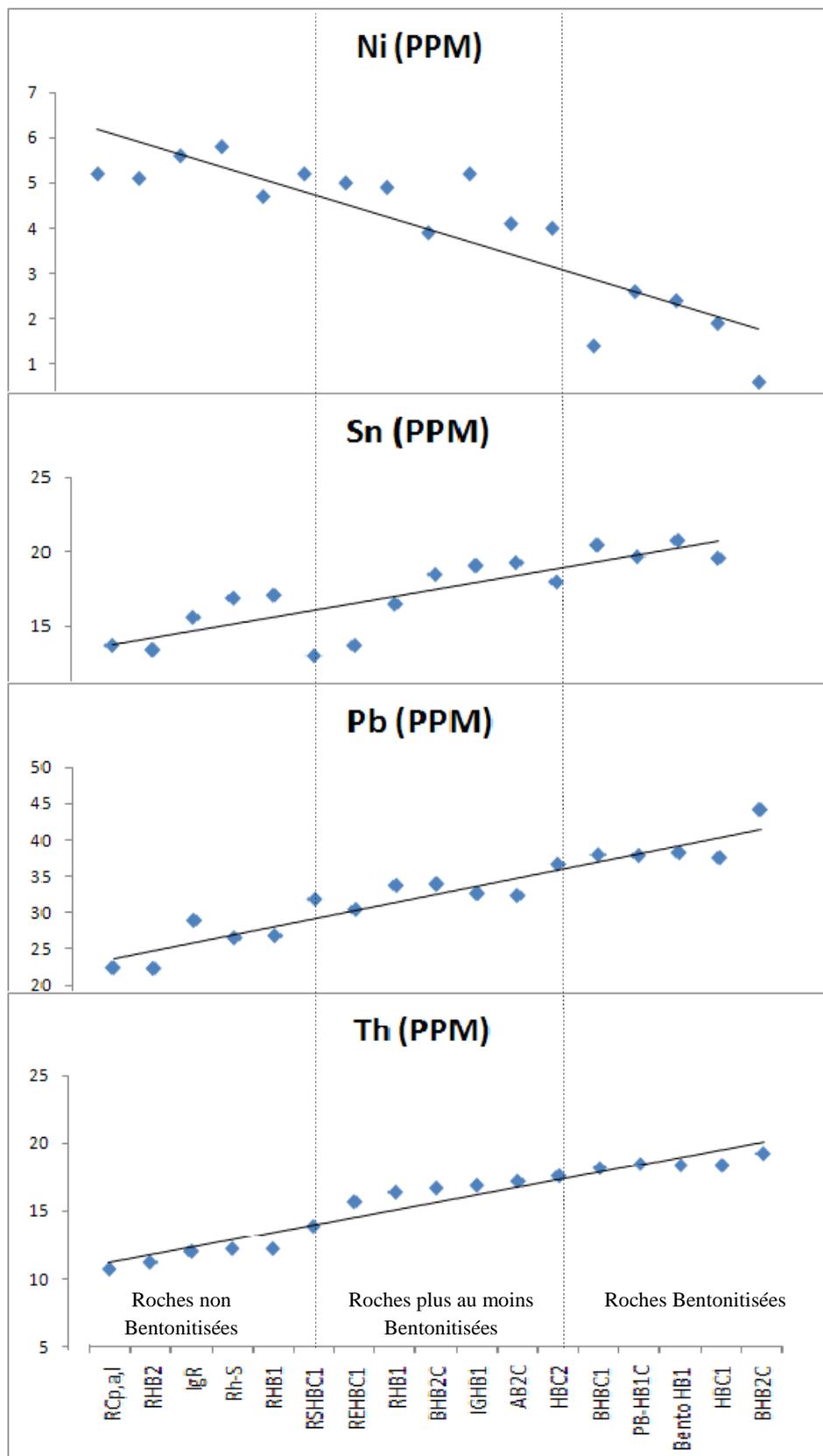


Fig.8 : Variation des éléments en traces dans les faciès rhyolitiques de Hammam Boughrara.

### **3) Résultats des isotopes :**

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

#### Rappel :

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

Il existe aussi un isotope cosmogénique et radioactif, le tritium  $3^3\text{H}$  (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  $\delta D$ .

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

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

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

#### Principe de la signature isotopique :

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

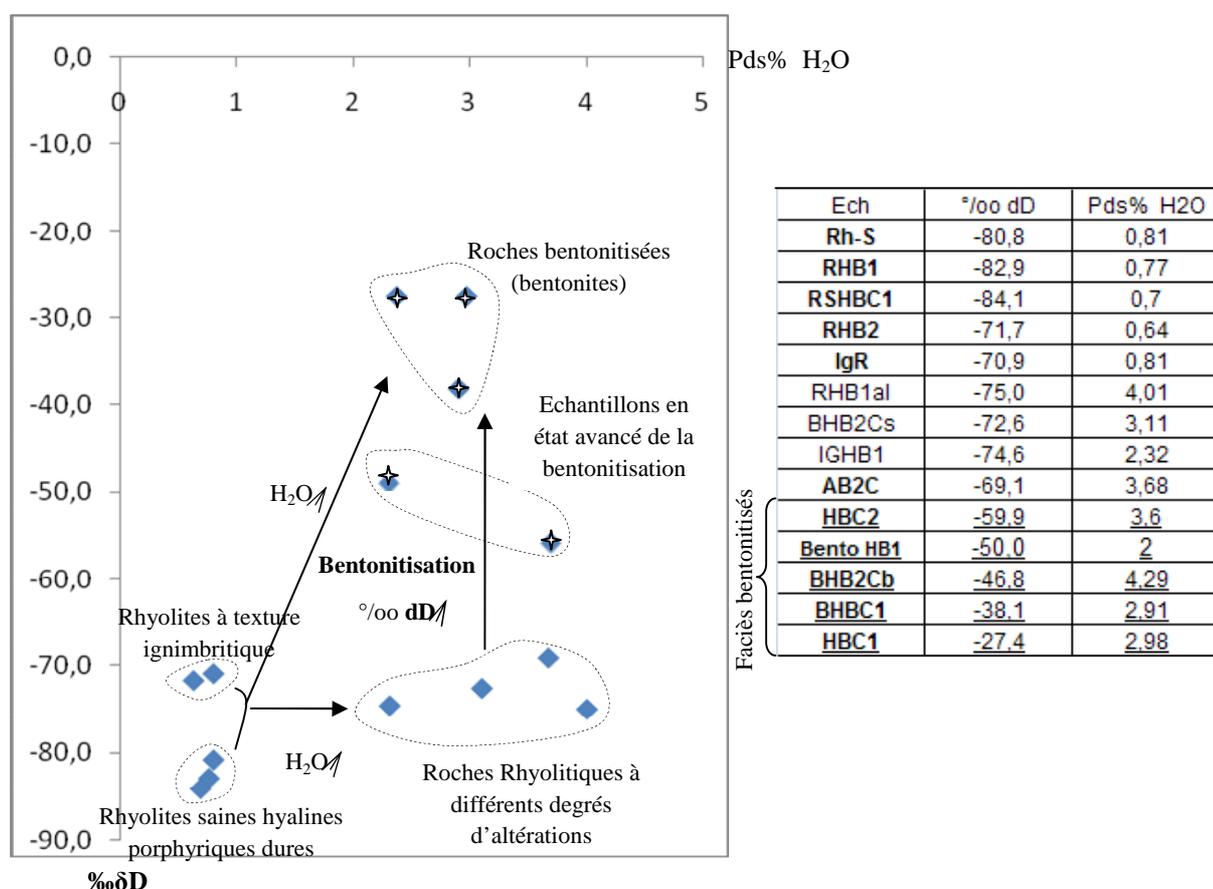


Fig.9 : Variation en isotopes d'Hydrogène et en eau dans les faciès rhyolitiques de Hammam Boughrara.

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

- 1) Tous les faciès bentonitisés sont riches en eau (les rhyolites pauvres en eau sont peu ou pas bentonitisés).  
Ce constat on peut le voire aussi dans les analyses chimiques-Tableau3-P83. En effet ; la perte au feu constatée donne une idée sur les faciès bentonitisés.
- 2) Le rapport isotopique  $\delta D$  augmente avec la bentonitisation : De  $\delta D = -85$  à  $-80\text{‰}$  pour les rhyolites saines,  $-75$  à  $-70\text{‰}$  pour les rhyolites ignimbritiques fluidales et pyroclastites saines ou légèrement bentonitisées (ces roches étant plus vulnérables et poreuses par leur structure -voir étude pétrographique-),  $-59,9$  à  $-46,8\text{‰}$  pour les roches en état avancé de bentonitisation et de  $-38$  à  $-27,4\text{‰}$  pour les faciès totalement bentonitisés.

Explications :

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

A Hammam Bouhrara ;

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

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

Question :

Pourquoi on relie cette bentonitisation à un hydrothermalisme ?:

Réponse :

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

L'hydrothermalisme expliquerait l'évolution en  $\delta D$  et le lessivage important (notamment en silice) observés localement dans ces milieux pétrographiquement et chimiquement identique. En effet ; la bentonitisation ne se développe qu'au niveau des appareils volcaniques et des failles associées.

Le schéma général qu'on propose est celui-ci :

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

***IV) Conclusions :***

- Les 4 dômes de Hammam Boughrara présentent des caractères minéralogiques analogues (plagioclases [albite-oligoclase : An~20], sanidine, biotites du type annite-synderophyllite et des tufs pyroclastiques constitués essentiellement de montmorillonite) et ils appartiennent tous aux rhyolites calco-alkalines. 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 (voir l'Etude Volcanologique).
- Les variations chimiques les plus significatives observées dans les terrains bentonitisés à Hammam Boughrara sont : \*une diminution très importante en silice (SiO<sub>2</sub>) (environ 10% en moins que dans les rhyolites saines) cela est dû au lessivage hydrothermale de la silice lors du phénomène de bentonitisation. Cette diminution en SiO<sub>2</sub> est accompagnée d'une augmentation en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO. \*les éléments en trace montrent une diminution en Ni accompagnée d'une augmentation en Sn, Pb et Th dans les terrains bentonitisés.
- Les isotopes d'hydrogène nous apprennent que les rapports isotopiques δD sont nettement différents et supérieurs dans les terrains bentonitisés. Donc la bentonitisation s'est faite avec des eaux de nature différentes par rapport aux eaux juvéniles (magmatiques). On pense à un recyclage des eaux superficielles dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation à Hammam Boughrara. Cela peut expliquer l'évolution des rapports isotopiques des roches encaissantes bentonitisées, via l'échange d'isotopes avec ces eaux ayant un δD supérieur.

CHAPITRE VII :  
CONCLUSION GENERALE  
« Origine du phénomène de bentonitisation  
des terrains volcanogènes rhyolitiques de  
Hammam Boughrara »

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 de proposer un scénario pour cette bentonitisation.

- L'étude morphotectonique a permis : de mettre en évidence des accidents N40 expliquant l'alignement géographique du volcanisme de la moyenne Tafna et d'observer, aussi, que les carrières d'argile bentonitique se localisent dans l'immédiat des failles relevées.
- L'étude volcanologique a révélée que la dynamique volcanique à Hammam Boughrara a permis d'avoir une zonalité lithologique favorisant, la bentonitisation dans certains endroits et que la bentonitisation se développe dans l'immédiat des centres d'émissions volcaniques (l'appareil volcanique de Ain Torba étant le plus grand il a généré l'essentiel des gisements de bentonites).
- L'étude pétrographique a montrée que la bentonitisation est fonction de la lithologie des faciès rhyolitiques et qu'elle se développe essentiellement dans les faciès rhyolitiques meubles (tufs rhyolitiques).
- L'étude géochimique a démontrée des variations chimiques importantes dans les faciès bentonitisés notamment une diminution importante en silice  $\text{SiO}_2$  et une augmentation considérable en alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . L'autre remarque importante c'est que les faciès riches en eau sont les plus touchés par la bentonitisation.
- L'étude des rapports isotopiques d'hydrogène  $\delta\text{D}$  nous apprend que les terrains bentonitisés présentent des  $\delta\text{D}$  élevés par rapport aux terrains non bentonitisés. Cela peut être expliqué par un échange d'isotopes avec les eaux superficielles (ayant un  $\delta\text{D}$  supérieur aux eaux juvéniles) reprises par l'appareil volcanique dans le phénomène hydrothermal à l'origine de la bentonitisation à Hammam Boughrara.

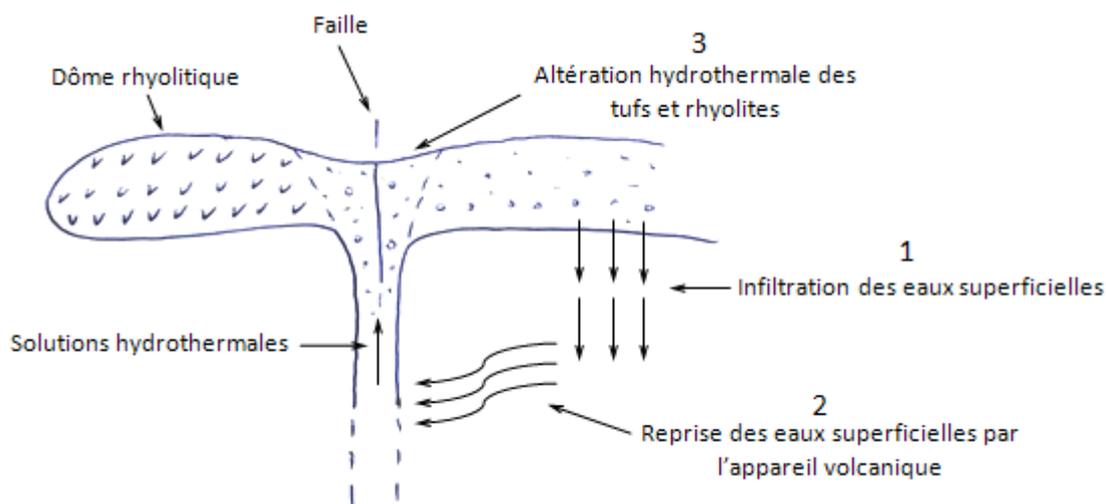
Tous ces résultats notamment le fait que les terrains bentonitisés se localisent dans l'immédiat des appareils volcaniques et qu'ils présentent des signatures isotopiques  $\delta\text{D}$  différentes des terrains rhyolitiques non bentonitisés ; nous mènent à la conclusion suivante :

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

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

### Le Modèle de bentonitisation à Hammam Boughrara :

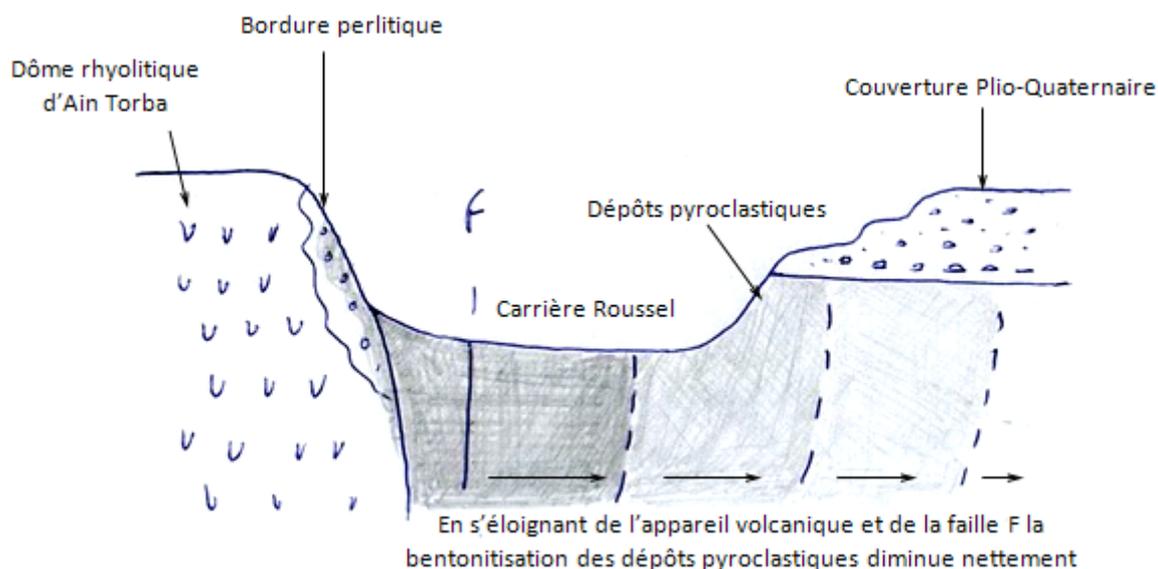
Toutes ces conclusions issues des différentes études menées au cours de ce mémoire nous mène à proposer le scénario suivant quant à l'origine du processus de bentonitisation à Hammam Boughrara (schémas ci-dessous) :



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

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

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



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

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

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

# Bibliographie

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AKEB, R. et MEZOUAR, A. 2000** ; Contribution a l'étude des bentonites de Hammam Boughrara (Maghnia, Tlemcen). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (Minière). IST/USTHB.89p.
- Anderson, T. FLETT, J.S., (1903)** :Report on the eruption of the Soufriere inst. Vincent in 1902 and one has visit to mountain peeled in Martinique. Part I. Roy. Soc. (London) Ptul.Trans,200 A, 353-553.
- AOUNE-SEGHIR, F et BACHOUCHE, S .2001** ; Contribution a l'étude gitologique du gisement de bentonite des carrières Roussel ,RM , bab et dar – EMBAREK (hammam bou Ghrara , Maghnia , Telemcen). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (Minière). IST/USTHB.83p.
- Allègre, C. 2005** ; Géologie Isotopique. Belin. P496.
- ARSLAN M., KADIÇR S., ABDIÇOGÆLU E., AND KOLAYLI H. 2005**; Origin and formation of kaolin minerals in saprolite of Tertiary alkaline volcanic rocks, Eastern Pontides, NE Turkey. Clay Minerals (2006) 41, 597-617.
- BACON, C. R.** 1981«Late cenozoic rhyolite from the Kern Plateau, Sierra Nevada», in Amer. Journ. of Science, vol. CCLXXXI, pp. 1-34, Newhaven (Conn.),
- BELAIDI-ZINET, S et BENMERZOUG, F .1994** ; Les laves mio-pliocènes de la rive gauche de la moyenne Tafna (Oranie) : étude volcanologique et pétrologique. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (pétrologie structurologie). IST/USTHB.82p.
- BENDOUKHA, R. 1987** ; Etude dynamique, pétrographique et géochimique d'un complexe volcanique plio-quadernaire de la basse Tafna (Oranie occidentale). Thèse de magister (pétrologie structurologie). IST/USTHB.159p.
- BOUKHEDIMI, M.A 2003** ; Etude pétrographique et volcanologique des dômes rhyolitiques de Hammam Boughrara (région de Marnia – Oranie). Mémoire d'ingénieur d'état en géologie (pétrologie-structurologie). IST/USTHB.120p.
- CABALLERO, E. JIMEÑEZ C. DE CISNEROS, F. J. HUERTAS ,F. HUERTAS , A. POZZUOLI AND J .LINARES. 2005**; Bentonites from Cabo de Gata, AlmerõÃa, Spain: a mineralogical and geochemical overview. Clay Minerals (2005) 40, 463-480
- CARRON, J.-P. & LE GUEN DE KERNEIZON, M.** 1982, «Les Rhyolites à fayalite et ferroaugite de Sainte-Lucie (Petites Antilles)», in Bull. Minéral., vol. CV, pp. 203-211, Paris,.
- DDANI, M et al; 2005**; CLAY MINERALOGY AND CHEMICAL COMPOSITION OF BENTONITES FROM THE GOUROUGOU VOLCANIC MASSIF (NORTHEAST MOROCCO) Clays and Clay Minerals, Vol. 53, No. 3, 249-266.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**LOUNI-HACINI, A.2002** ; La transition du magmatisme calco-alcalin au magmatisme alcalin dans l'Oranie (Algérie Nord Occidentale). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.198p.

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

**MEGARTSI, M. 1985** ; Le volcanisme mio-plio-quadernaire de l'Oranie nord occidentale (géologie, pétrologie, géodynamique). Thèse de doctorat (pétrologie structurologie). IST/USTHB.295p.

**PUSPOKI , Z. 2008**; GEOCHEMICAL RECORDS OF A BENTONITIC ACID-TUFF SUCCESSION RELATED TO A TRANSGRESSIVE SYSTEMS TRACT \_ INDICATION OF CHANGES IN THE VOLCANIC SEDIMENTATION RATE, Clays and Clay Minerals, Vol. 56, No. 1, 23–38, 2008.

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

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

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

**TAZIEFF, H. 1982** «An exceptional eruption: Mt Niragongo, Jan. 10th 1977», in Bull. Volcanol., vol. XL, pp. 189-200, 1977; «Dômes de magma et dômes de lave», in C.R. Acad. Sci. Paris, Sér. II, vol. CCXCIV, pp. 151-153

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

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

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

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

**Warr , L - Berger, J. 2007**; Hydration of bentonite in natural waters: Application of “confined volume” wet-cell X-ray diffractometry. Physics and Chemistry of the Earth 32 247–258

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

# RÉSUMÉ

**Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Bouhrara (Région de Maghnia- NW de l'Algérie).**

**Résumé :**

Les dômes rhyolitiques de Hammam Bouhrara sont les plus anciens témoins du volcanisme cénozoïque en Oranie (le nord occidental de l'Algérie). Les produits volcaniques (rhyolites et dépôts pyroclastiques) projetés par des centres d'émissions réparties de part et d'autre de l'Oued Tafna se répartissent sur plus de 200km<sup>2</sup> et 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 se développe dans l'immédiat des centres d'émissions volcaniques et le long des failles en relation directe avec ces centres. En s'éloignant de ces centres et de ces failles la bentonitisation s'atténue jusqu'à devenir absente.

La bentonitisation à Hammam Bouhrara est donc reliée au fonctionnement de l'appareil volcanique.

Les données de la géochimie confirment ce constat. En effet ; une différenciation chimique a été mise en évidence au niveau des terrains rhyolitiques bentonitisés, en plus ; ces derniers présentent une signature isotopique en hydrogènes  $\delta D$  différente des faciès rhyolitiques sains. Cette signature est à rattacher à un hydrothermalisme avec des eaux superficielles ayant des rapports isotopiques en deutérium  $\delta D$  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 suivant :

Le recyclage (reprise) des eaux superficielles par l'appareil volcanique à Hammam Bouhrara 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.

Mots clés :

Volcanisme ; Dôme ; Rhyolite ; Pyroclastite ; Bentonite, Faille, Signature Isotopique.

Origine du processus de bentonitisation des terrains volcanogènes rhyolitiques de Hammam Bouhrara (Algérie).

Origin of the bentonitisation process of the rhyolitic volcanic grounds in Hammam Bouhrara (Algeria).

أصل عملية التبننت في الأوساط البركانية الريوليتية لحمام بوغرارة (الجزائر)

### **Résumé :**

Les dômes rhyolitiques de Hammam Bouhrara sont les plus anciens témoins du volcanisme cénozoïque en Oranie (le nord occidental de l'Algérie). Les produits volcaniques-(rhyolites et dépôts pyroclastiques) projetés par des centres d'émissions réparties de part et d'autre de l'Oued Tafna se répartissent sur plus de 200km<sup>2</sup> et la bentonitisation apparue dans ces milieux volcanogènes est à l'origine des plus grands gisements d'argile bentonitique en Algérie.

Le recyclage (reprise) des eaux superficielles par l'appareil volcanique à Hammam Bouhrara a permis une différenciation chimique de ces faciès rhyolitiques, conduisant à la bentonitisation. 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.

Mots clés :

Volcanisme ; Dôme ; Rhyolite ; Pyroclastite ; Bentonite, Faille.

### **Abstract :**

The rhyolitic domes of Hammam Bouhrara are the oldest witnesses of Cenozoic volcanic rocks in Oranie (north western of Algeria). The rhyolitic rocks products and pyroclastic deposits projected by volcanoes are distributed on both sides of the Tafna oued are distributed in a wide area covering over 200km<sup>2</sup>. The bentonites appeared in these volcanic environments and constitute the largest bentonitic clay layers in Algeria.

The surface waters recycled by the volcanic apparatus at Hammam Bouhrara induced a chemical differentiation of these rhyolitic facies, leading to the bentonitisation. This latter, depend on geological factors relating to tectonics, the facies, and the dynamics of volcanicity. These factors directly control the localization, the distribution (tonnages) and the degree of bentonitisation.

Key works:

Volcanisme ; Dome ; Rhyolite ; Pyroclastic deposits ; Bentonite, Fault.

: الملخص

إن القبة البركانية ذات الطبيعة الريوليتية في حمام بوغرارة تعتبر كأقدم شاهد للنشاط البركاني في السينوزويك في المنطقة الوهرانية (الشمال الغربي للجزائر).

النواتج البركانية (ريوليت ورواسب البيروكلاستيت) المبعوثة من المراكز البركانية المتوزعة على جانبي وادي التافنة تغطي مساحة تفوق 200 كلم<sup>2</sup> و التدهور البنتونيتي لهذه الأوساط البركانية أعطى أكبر مناجم الغضار البنتونيتي في الجزائر.

إن إعادة استعمال المياه السطحية في الجهاز البركاني لحمام بوغرارة سمح بتمايز كيميائي للأوساط الريوليتية و أدى إلى التبننت (التحول إلى بنتونيت). لهذا التحول علاقة مع عوامل جيولوجية متعلقة بالتكتونية الصدعية, بالبنية الصخرية و بالديناميكية البركانية. هذه العوامل تحدد مباشرة مكان, حجم و نسبة التبننت.

: الكلمات المفتاح :

النشاط البركاني, القبة, ريوليت, بيروكلاستت, بنتونيت, التكتونية الصدعية.