



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Ben Ahmed Oran 2
Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers



Département Des Science de la terre

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master2 en Géologie

Option : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement (RMGE)

Thème :

LE GISEMENT DE LA BENTONITE DE MAGHNIA WILAYA DE TLEMCEEN : APPROCHE
GEOLOGIQUE ET GITOLOGIQUE

Présentée par :

Mlle. BOUIKEN BAHY AMAR Romaïssa

M. YKRELEF Merwane

Devant le jury composé de :

Président	CHADOULI Nadia Kheira	MCB	Université d'Oran 2
Encadrant	TABELIOUNA Mohammed	Professeur	Université d'Oran 2
Examineur	ALLAMI Fatima Zohra	MAA	Université d'Oran 2

Année universitaire : 2024/2025

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à remercier le bon Dieu le tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Nous voulons tout d'abord remercier :

Mr. TABELIOUNA, pour son encadrement, sa patience ses efforts et ses judicieux conseils durant toute la période de notre travail.

Mes remerciements les plus sincères vont à **Mme. CHADOULI**, maître et président de présidente du jury, pour son soutien moral constant tout au long de l'année ainsi que pour ses conseils précieux.”

Je remercie également **Mr. BENDOUKHA**, dont l'aide et la disponibilité lors des derniers jours ont été d'un grand secours pour répondre à nos interrogations.

Un grand merci à **Mr. BENRAMDANE**, les mots ne suffisent pas pour exprimer toute notre reconnaissance à son égard.

Mes remerciements vont aussi à **Mme. ALLAMI**, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont transmis un savoir ou une information ayant contribué à l'avancement de ce travail.

Je n'oublie pas l'ensemble de l'équipe de **l'entreprise ENOF**, en particulier **Mr le Directeur**, pour nous avoir accueillis, ainsi que **l'ingénieur et Chef d'exploitation Mr. Nadjib**, qui nous a accompagnés tout au long de notre stage. Je remercie également les superviseurs de l'usine et du laboratoire pour leur encadrement.

Enfin, un remerciement particulier à **Mr. Djamel** et pour ses conseils avisés et pour avoir partagé avec nous un grand nombre d'informations précieuses.

Merci à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la concrétisation de ce travail.

DEDICACE

À ma très chère mère,

Pour son amour inconditionnel, ses sacrifices, son soutien indéfectible et ses prières qui m'ont accompagné tout au long de mes études. Que Dieu la protège et la garde pour moi.

À mon cher père,

Pour son appui constant et ses encouragements précieux.

À toute ma grande famille,

Pour leur affection, leur soutien et leur confiance.

À tous mes collègues de la promotion 2025, et à toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidé et soutenu dans l'accomplissement de ce travail.

À mon binôme, Yekrelf Merwane,

Avec qui j'ai partagé chaque étape de ce parcours avec complicité et détermination.

BOUIKEN Roumaïssa

DEDICACE

A ma chère mère pour son sacrifice, son amour, son soutien et son

Encouragement et par ses prières. Que dieu la protège pour.

A mon cher père, pour ses sacrifices, son amour et son soutien. Que dieu le
procure une bonne santé et une longue vie.

A mes sœurs

A toute ma grande famille.

A tous mes amis **Oussama, Youcef, Reda, Yassin, Said, Aymen**

Pour leur aide, leurs disponibilités, leur sincère amitié et confiance.

A tous mes collègues de la promo 2025 et à tous ceux, qui de près ou de loin,
m'ont aidé à mener à bon terme la réalisation de ce travail.

A mon binôme «**BOUIKEN Romaissa**» Avec qui j'ai partagé chaque étape de ce
parcours avec complicité et détermination.

YKRELEF Merwane

Résumé :

Les dômes rhyolitiques de Hammam Boughrara représentent les plus vieilles preuves de l'activité volcanique cénozoïque en Oranie, soit le nord-ouest de l'Algérie. Les produits volcaniques tels que les rhyolites et les dépôts pyroclastiques, qui sont projetés par des centres d'émission dispersés de part et d'autre de l'Oued Tafna, couvrent une superficie de plus de 200 km². La bentonitisation qui s'est manifestée dans ces environnements volcanogènes est responsable des plus importants gisements d'argile bentonitique en Algérie. La réutilisation (ou reprise) des eaux de surface par le système volcanique à Hammam Boughrara a conduit à une distinction chimique de ces faciès rhyolitiques, entraînant ainsi le processus de bentonitisation. Cela dépend de facteurs géologiques liés à la tectonique de rupture, au faciès et à la dynamique du volcanisme. Ces éléments régulent directement l'emplacement, la distribution (tonnages) et le niveau de bentonitisation.

Dans le but de contribuer à la valorisation des géo-ressources, notamment les matériaux argileux du Nord-Ouest algérien, nous avons dans ce travail à convention avec **l'entreprise nationale des Produits Minier non ferreux (ENOF)** pour procéder à la caractérisation pétrographique, Géologique et géologique et physico-chimique des argiles bentonitiques de la région de Hammam Boughrara à Tlemcen.

Mots Clés : *Rhyolite, DAR Mbarek, Bentonite, Montmorillonite, Viscosité*

Abstract:

The rhyolitic domes of Hammam Boughrara represent the oldest evidence of Cenozoic volcanic activity in Orani, i.e., northwestern Algeria. Volcanic products such as rhyolites and pyroclastic deposits, ejected from scattered emission centers on both sides of the Oued Tafna, cover an area of more than 200 km². The bentonitization that occurred in these volcanogenic environments is responsible for the most important bentonitic clay deposits in Algeria.

The reuse (or recirculation) of surface waters by the volcanic system at Hammam Boughrara led to a chemical differentiation of these rhyolitic facies, thus triggering the bentonitization process.

This process is governed by geological factors related to fault tectonics, volcanic facies, and the dynamics of volcanism. These elements directly control the location, distribution (tonnage), and degree of bentonitization.

In order to contribute to the valorization of geo-resources, particularly clay materials in northwestern Algeria, this study, in collaboration with the National Company for Non Ferrous Mining Products (ENOF), aims to carry out petrographic, geological, geological, and physico-chemical characterization of the bentonitic clays in the Hammam Boughrara region in Tlemcen.

Key Word: *Rhyolite, DAR Mbarek, Bentonite, Montmorillonite, Viscosity*

الملخص:

تُعد القباب الريوليتية في حمام بوغرارة أقدم دليل على النشاط البركاني خلال الحقبة السينوزوية في منطقة وهران، أي شمال غرب الجزائر. وتغطي المنتجات البركانية مثل الريوليت والرواسب البيروكلاستية، التي تم قذفها من مراكز انبعاث منتشرة على جانبي وادي التافنة، مساحة تفوق 200 كم². وقد أدت عملية البنتونيتية التي حدثت في هذه البيئات ذات الأصل البركاني إلى تكوين أهم مكامن الطين البنتونيتي في الجزائر.

أدى إعادة استعمال المياه السطحية من طرف النظام البركاني في حمام بوغرارة إلى تمييز كيميائي في هذه الوجوه الريوليتية، مما ساهم في انطلاق عملية البنتونيتية.

وترتبط هذه الظاهرة بعوامل جيولوجية تخص التكتونية الانكسارية، والوجوه البركانية، وديناميكية النشاط البركاني، وهي عوامل تتحكم مباشرة في مكان التمدن، وتوزيع الكميات، ومستوى التحول إلى البنتونيت.

بهدف المساهمة في تثمين الموارد الجيولوجية، وبالأخص المواد الطينية في شمال غرب الجزائر، قمنا في هذا العمل، بالتعاون مع المؤسسة الوطنية للمنتجات المنجمية غير الحديدية ((ENOF، بإجراء دراسة توصيفية بتروغرافية، وجيولوجية وجيولوجية، وفيزيائية-كيميائية لطين البنتونيت في منطقة حمام بوغرارة بولاية تلمسان.

كلمات مفتاحية: ريوليت، دار مبارك، بنتونيت، مونتموريلونيت، عامل اللزوجة.

TABLE DE MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENT

RÉSUMÉ

INTRODUCTION GENERALE..... **Error! Bookmark not defined.**

CHAPITRE I : GENERALITES

I-Cadre geologique regional..... **Error! Bookmark not defined.**

II-Évolution geodynamique..... 6

III - Cadre structural de la region d'étude 8

IV- Le Volcanisme de maghnia et la rhyolite 9

V - Cadre geographique de la region d'étude 10

CHAPITRE II

GITOLOGIE ET ETUDE DES GISEMENTS DE LA BENTONITE

I- Aperçu général sur les argiles..... 14

II- La bentonite..... 14

A. Définition : 14

B. Origine et formation : 14

C. Types de la bentonite : 15

D. Bentonite dans le monde et principaux gisements 16

E. Bentonite en Algérie 18

III- Géologie du gisement de dar M'Barek 19

A. Interprétation de la coupe de la FIGure 7 : 19

B. Description macroscopique : 20

C. Les pyroclastites et tufs pyroclastiques 23

1. Description Macroscopique..... 23

2. Étude pétrographique : 24

3. Description microscopique : 24

3.1 le basalte L1 : 24

3.2 Rhyolite 25

IV- Gitologie du gisement de Dar M'Barek : 28

1. Cadre structural et forme du gisement de Dar M'Barek (photo.1) 28

2. Structure de gisement 29

3. Bentonisation:.....	30
3.1 Affleurement rhyolitique Dar M'Barek :	30
V- L'exploration.....	33

CHAPITRE III

MODE D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DE LA BENTONITE

1. Méthodes de prospections :	35
2. L'exploitation de la carrière de Dar M'Barek	35
2.1. Préparation de piste :	35
2.2. Découverte :	36
2.3. Ripage et chargement :	37
2.4. Transport :	37
2.5. Éléments essentiels de l'exploitation à ciel ouvert.....	37
2.6. Techniques et paramètres pour l'exploitation d'une carrière Les principaux paramètres de la gestion de la carrière comprennent :	40
3 Exploitation de la bentonite :	40
A. La bentonite dans la boue de forage	40
B. La bentonite en fonderie :	41
C. La bentonite de charge industrielle.....	41
4.le traitement :	41
5. Protocole d'analyse	47

CHAPITRE IV

NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

I. RAPPEL DE LA NOTION DE RESERVES ET LEUR CLASSIFICATION.....	58
II. Méthode Calcul de réserve	59
Conclusion :	63
CONCLUSION GÉNÉRALE	66
ANNEXE 1	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIE.....	69

LISTE D'ABREVIATION :

- **ENOF : ENTREPRISE NATIONALE DE FERREUX.**
- **(P): LES RESERVES EXPLOITABLE.**
- **(PA): LA PRODUCTION ANNUELLE.**
- **(API): AMERICAN PETROLEUM INSTITU.**
- **(T): DURÉE DE VIE.**

LISTE DES FIGURES

Figure. 1 : Cadre tectonique général de la région ibéro-maghrebienne et de la Kabylie.....	4
Figure. 2 : Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga 1980)	5
Figure. 3 Carte géologique de la plaine de Maghnia (BABA HAMED. K, 2007).....	7
Figure. 4 Carte structurale de la plaine de Maghnia (BABA HAMED. K, 2007.....	8
Figure. 5 : Carte géologique de Hammam Boughrara. E = 1/24 200 (Cette carte a été réduite pour sa mise en page la carte originelle est au : 1/20 000) (M .A BOUKHDIMI 2009).....	9
Figure. 6 : Carte de situation de Maghnia (BABA-HAMED, 2007).....	11
Figure.7 : La coupe géologique du gisement de Dar M'Barek	19
Figure. 8 : plan d'échantillonnage sur le site de la mine de Dar M'Barek	20
Figure.9 : Changement des fasciées dans le gisement	20
Figure. 10 : photo montrant l'affleurement des pyroclastites au l Est du gisement et le détail d'un échantillon de tuf pyroclastique	23
Figure. 11 : pyroclastites hétérométrique ; direction 30° NW-SE, Pendage 09°.....	24
Figure. 12 : Vue microscopique de l'échantillon I (lame L1)	25
Figure. 13 : Aspect macroscopique de la rhyolite de Hammam boughrara	26
Figure.14 : Aspect microscopique de la rhyolite de Hammam Boughrara	27
Figure. 15 : Biotite associée a la séricite et au fragment de verre	27
Figure. 16 : Carte présentation le périmètre minier ainsi la nouvelle usine a Hammam Boughrara	28
Figure. 17 : Vue panoramique du gisement de Dar M'Barek.....	29
Figure. 18 : Représentation des trois principales failles de gisement (F1, F2 F3 et F4).....	29
Figure. 19: Reste des dômes rhyolitiques (IV)	30
Figure. 20 : Modèle de bentonisation proposé par Boukhdimi (2008)	32
Figure.21: Formes des gradins au cours de l'avancement de l'exploitation (GIRANEZA ,2017).....	38
Figure.22: largeur de la plateforme de travail (gradin stérile) ;(ENOF Maghnia).....	39
Figure. 23 : Procès de traitement de la bentonite	42
Figure. 24: Transport de produit brute par camion	42
Figure. 25 : L'alimentation de trémie	43
Figure. 26 : L'activation avec le carbonate	44
Figure. 27 : Four sécheur	45
Figure. 28 : Le broyeur	45
Figure. 29 : Compresseur	46
Figure. 30 : Les silos de stockage	46

Figure. 31: Les bigbags.....	47
Figure. 32 : Echantillonnage de tout venant	48
Figure. 33 : Concassage d'échantillon	48
Figure. 34 : mélange de t.v et carbonate de sodium	50
Figure. 35 : carte de qualité de la bentonite du gisement Dar M'Barek, Mai 2023.....	56
Figure. 36 : Plan de calcul des réserves du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).....	60
Figure. 37 : Coupe géologique I-I' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).....	61
Figure. 38 : Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).....	61
Figure. 39 : Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017)	61
Figure. 40 : Coupe géologique IV-IV' du gisement Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017)	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 : Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite d'Algérie (SAFI SALIHA).....	3
Tableau.2 : Localisation, réserves estimées, type dominant de bentonite et les utilisations principales des principaux ? Gisements de bentonite dans le monde.....	17
Tableau.3 : Compositions chimiques représentatives de Bentonites de différentes localités (% Poids). (Document Bental 2002).....	18
Tableau.4 : Description macroscopique des échantillons	21
Tableau.5 : Lithologie de la Carrière Dar. M ; Sondage tarière ST(BUMIGEME2008), (X= 621 707,93 ; Y= 3 863 076,43 ; Z= 356,37 ; Profondeur : 30m).....	32
Tableau.6 : Lithologie de la Carrière Dar. M ; Sondage tarière ST5 (BUMIGEME2008), (X=621 689,75 ; Y= 3 863 216,21 ; Z= 357,62 ; Profondeur.....	33
Tableau 7 : Les paramètres contrôlés de qualité de la bentonite selon la norme API.....	51
Tableau.8 : Les résultats des analyses de viscosité.....	53
Tableau.9 : Les résultats des analyses d'échantillon moyen	54
Tableau.10 : Le résultat des analyses de tout venant.....	54

INTRODUCTION GENERALE

Les ressources minérales, qui comprennent les minerais métalliques et non-métalliques, ainsi que les matériaux de construction, les roches et minéraux industriels, constituent le fondement de l'économie mondiale. De plus, la demande en matières premières minérales des nations augmente constamment avec l'initiation des projets majeurs de développement. Pour résoudre divers enjeux associés à l'approvisionnement en ressources minérales et énergétiques du secteur industriel fortement demandeur, la recherche et l'exploration de nouvelles ressources minérales, ainsi qu'une gestion rationnelle des ressources actuelles, sont nécessaires. L'optimisation et la responsabilité environnementale et sociale sont désormais des priorités cruciales pour le développement socioéconomique durable de plusieurs nations africaines, y compris l'Algérie. Il est donc nécessaire de former des universitaires spécialisés dans les sciences des ressources naturelles et des géomatériaux, capables de s'insérer dans l'industrie minière et de soutenir l'évolution du secteur des géomatériaux et substances utiles, qui présentent déjà un intérêt considérable.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de l'élaboration d'un mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement. Le sujet de ce mémoire est intitulé : «Le gisement de la bentonite de Maghnia-wilaya de Tlemcen : Approche géologique et gîtologique ».

Effectivement, au nord-ouest de l'Algérie (Oranie), se trouve la plaine de Maghnia, plus précisément à la localité Hammam Boughrara, qui contient d'importants gisements d'argiles bentonitiques. Ces substances minérales industrielles proviennent en grande partie de l'altération hydrothermale des produits volcaniques (rhyolites et dépôts pyroclastiques du Cénozoïque) projetés par divers centres éruptifs répartis le long de l'Oued Tafna sur une étendue dépassant les 200 km² (Boukhedimi 2008).

Plusieurs recherches ont été menées sur le gisement de Hammam Boughrara afin de le caractériser et d'évaluer ses réserves, Les carrières de Roussel 1 et Dar M'Barek 1 sont les plus clairement déterminées et renferment des ressources supérieures à celles des autres gisements. À l'heure actuelle, la carrière Dar M'Barek est en cours d'exploitation.

L'objectif central de cette étude est d'analyser la géologie, la gîtologie et le mode d'exploitation, en se concentrant spécifiquement sur la carrière Dar M'Barek. Le but est d'approfondir la compréhension de ce gisement, de leur contexte géologique global, de leur formation, ainsi que des conditions et des paramètres nécessaires à une exploitation rationnelle, optimale, rentable et respectueuse de l'environnement, en accord avec les lois minières et environnementales en vigueur. Puis une étude des lames minces de rhyolite a été effectuée au laboratoire en utilisant le microscope de l'université d'Oran 2.

CHAPITRE I : GENERALITES

I. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

La région ibéro-maghrébine fait partie de l'orogène alpin périméditerranéen. Dans sa portion la plus occidentale, cet orogène se manifeste par les Cordillères bétiques en Espagne ainsi que les Maghrébides qui constituent une chaîne côtière s'étendant sur plus de 2000 kilomètres, du Rif marocain au Tell algérien et tunisien (fig.1). Il s'étend davantage vers l'est jusqu'aux Apennins, constituant ainsi l'arc calabro-sicilien (Durand-Delga, 1971). Cet orogène constitue la portion nord de l'Algérie et donne naissance aux régions de l'Atlas tellien où ont été identifiées des zones internes et externes :

Des zones internes comprenant les massifs paléozoïques avec sur leur bordure méridionale les éléments de la chaîne calcaire. – des zones extérieures où figurent des couches de glissements. Au sud, ces couches se sont déplacées vers un bassin du Miocène, tandis qu'au nord, elles recouvrent des régions autochtones ou para-autochtones présentant divers degrés de métamorphisme. Des sections de flysch se trouvent également à divers endroits entre ces deux domaines structuraux. (fig. 2).

L'Oranie, est située dans le nord-ouest de l'Algérie, elle fait partie du domaine externe de la chaîne alpine (fig.1). Dans cette région, Guardia (1975) identifie deux zones ayant des caractéristiques structurales distinctes : (1) la zone tellienne et (2) la zone atlasique.

La première (1) englobe des zones sublittorales néogènes qui s'étendent en parallèle à la côte méditerranéenne, de la frontière Algéro-marocaine à l'ouest jusqu'au méridien d'Alger. Ces terrains forment le Tell. Dans la région de l'Oranie connue sous le nom de zone tellienne, on distingue des chaînes montagneuses composées de terrains autochtones présentant une couverture secondaire plissée. Il s'agit des chaînes de Fillaoussène et du massif de Traras, qui s'étendent en continuité avec le Moyen Atlas. Elles sont nommées *la région atlasique*. En première analyse, ils constituent des zones hautes par rapport aux zones telliennes qui les entourent. Le granite hercynien de Nedroma, qui intrude les massifs des Traras, ainsi qu'une activité volcanique considérable du Mio-Plio-Quaternaire recouvrant de vastes zones, illustrent le magmatisme caractéristique de la région Oranaise. Afin de saisir ces phénomènes qui ont commencé au Miocène, ainsi que la configuration actuelle de l'Oranie, il est indispensable d'examiner l'histoire géodynamique et structurale de cette région.

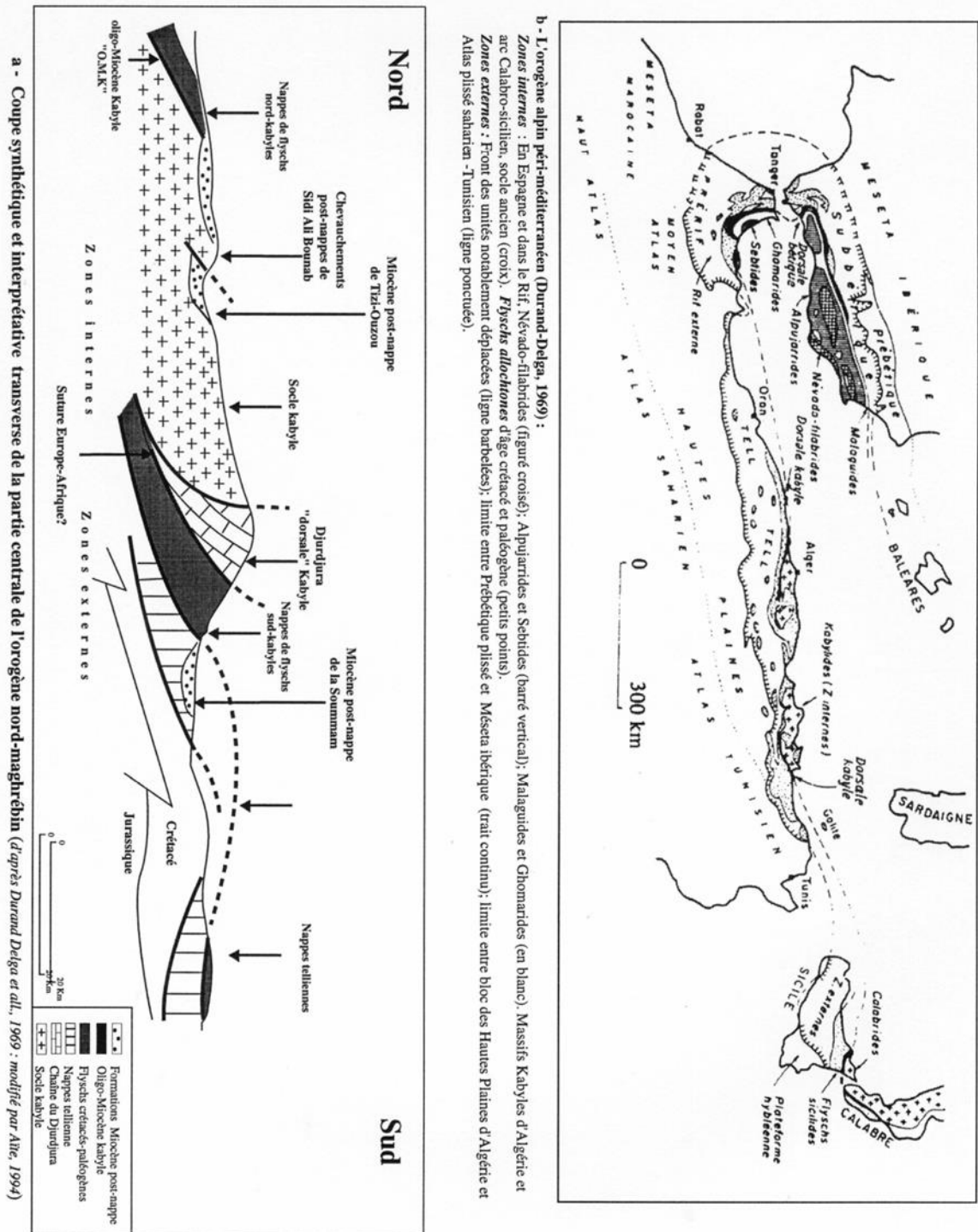


Fig.1 : Cadre tectonique général de la région ibéro-maghrébine et de la Kabylie (Boukhdimi2008).

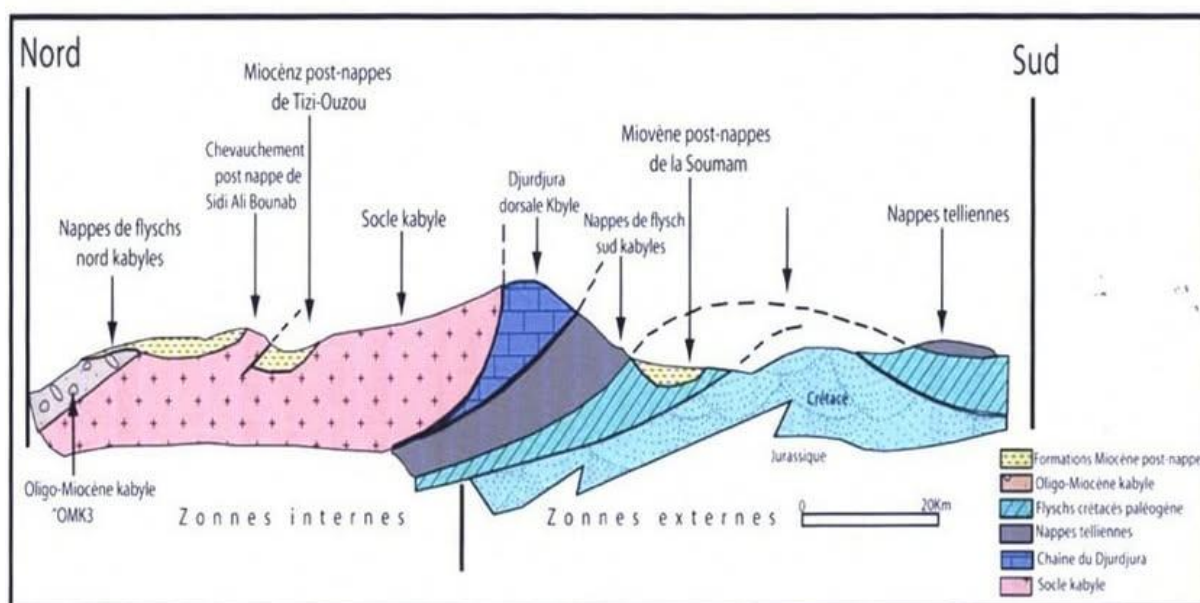


Fig.2 : Coupe synthétique et interprétative transverse de la partie centrale du domaine tellien (Durand Delga ,1980).

La structure géologique de la région est principalement caractérisée par des dépôts miocènes et pliocènes, organisés en un pli synclinal encadrant des affleurements de grès du Jurassique supérieur (fig.03).

La série stratigraphique repose en discordance angulaire sur les grès du Jurassique supérieur, ou on Ade base en haut :

Le Miocène

Ces formations affleurent dans la vallée de l'oued Tafna, où elles forment une bande continue orientée est-ouest. Les dépôts reposent en discordance sur les formations du Jurassique supérieur. À leur base, on observe un assemblage de roches sédimentaires comprenant des calcaires massifs, des marnes finement litées de teinte grise, ainsi que des lentilles et des intercalations de pyroclastites et de basaltes.

Au-dessus, apparaissent des calcaires gris, eux-mêmes surmontés de marnes grises renfermant définies couches gréseuses. Ce niveau est marqué par la présence d'un banc épais d'argiles carbonatées.

L'ensemble de ces dépôts présente une stratification globalement horizontale. La série miocène se termine par une formation volcano-sédimentaire composée de rhyolites, de

perlites, d'obsidiennes, ainsi que de tufs soudés et de tufs conglomératiques. Localement, les perlites, obsidiennes et tufs ont subi une transformation en argiles benthoniques. Ces formations volcaniques reposent en discordance sur les dépôts sédimentaires miocènes, l'épaisseur totale de l'ensemble atteignant environ 250 mètres (Bouanani, 2021).

Le Pliocène

Ce niveau est représenté par des formations continentales qui s'étendent sur de vastes superficies. Il est constitué de limons, de sables meubles, de grès et d'argiles sableuses, avec la présence de lentilles calcaires. Ces formations recouvrent en discordance les terrains volcano-sédimentaires du Miocène supérieur. Leur épaisseur varie de quelques mètres à 50–60 mètres, atteignant localement jusqu'à 80–100 mètres (Bouanani, 2021).

Le Quaternaire

Ces dépôts se composent de blocs et de galets plus ou moins consolidés, associés à de faibles épanchements basaltiques. Ils s'étendent principalement au nord et au nord-ouest du gisement de Hammam Boughrara. L'épaisseur des niveaux basaltiques varie généralement entre 1 à 2 mètres, pouvant localement atteindre 5 à 6 mètres.

Au sein de la zone d'étude, deux petites cheminées d'effusion de laves basaltiques ont été identifiées ainsi qu'un pointement de lave sous forme d'une nappe massive, dont l'épaisseur oscille entre 1 et 1,5 mètre.

II. Évolution géodynamique

La configuration actuelle de la zone commence à se définir durant l'ère tertiaire. Les systèmes de montagnes alpines (y compris les structures atlasiques) se forment et se développent le long de lignes de contact irrégulières, en plusieurs phases qui ne sont pas uniformément réparties dans l'espace et le temps.

Durant le Miocène, la mer Méditerranée (ancien océan Téthys) commence à se distinguer, toutefois, la configuration de ses côtes est d'une complexité remarquable, avec un grand nombre d'îles. La profondeur de l'eau demeure généralement très faible, avec souvent des accumulations de calcarénites et de conglomérats qui témoignent du constant remodelage tectonique caractérisant la fin de l'ère paléogéographique alpine (signifiant une diminution de son régime).

C'est dans cette paléogéographie reconstituée grâce à diverses recherches micropaléontologiques, stratigraphiques et structurales que Guardia (1975) a mis en lumière le terme de bassin dit « synchro nappes » en Oranie. En effet, le contexte de compression tertiaire a produit des nappes de charriage dans un Tell Oranais immergé sous une mince couche d'eau au miocène, formant ainsi un bassin sédimentaire où seules les chaînes atlasiques étaient émergées (îles).

Les unités allochtones vont donc s'installer directement dans une avant-fosse miocène, appelée « Bassin synchro-nappes ». Cela entraînera une accumulation des sédiments dont les caractéristiques dépendront du lieu de dépôt. Dans la majorité des domaines, il se compose d'une épaisse couche de marnes vertes ponctuée de bancs gréseux, mais on peut aussi dans certaines régions, on peut observer une nature conglomératique ou des formations représentées par des affleurements transgressés et démantelés. Un second cycle du miocène est identifié suite à l'établissement des nappes. Il s'agit du miocène post-nappes. Il est généralement constitué de conglomérats, d'argilites et de marnes, il débute au Tortonien Selon Fenet (1975).

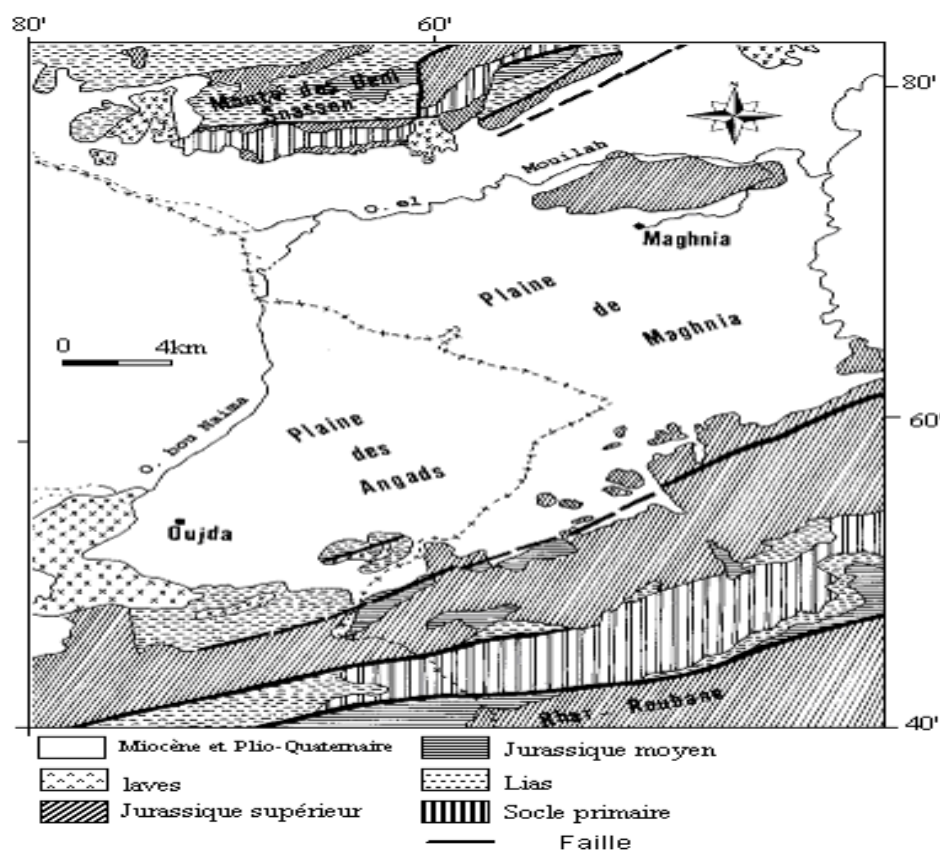


Fig.3 : Carte géologique de la plaine de Maghnia ((in Baba Ahmed, 2007).

III. Cadre structural de la région d'étude

La région de Maghnia est structurée par une tectonique souple, dominée par un pli synclinal, et par une tectonique cassante de faible intensité, principalement représentée par des failles de type atlasique. Les gisements de Hammam Bouhrara sont soumis à cette tectonique cassante, contrôlée par un réseau de failles orientées NW-SE et NNE-SSW, ayant joué un rôle majeur en agissant comme des drains pour la circulation ascendante des solutions hydrothermales. Parmi celles-ci, la faille de Hammam Bouhrara constitue l'accident tectonique principal.

La plaine de Maghnia, quant à elle, se présente comme une zone subsidente, profondément affectée par des failles cassantes. Sa structuration compartimentée est accompagnée de fissures secondaires orientées NW et NE, qui influencent directement la localisation et la concentration de la minéralisation en profondeur (Fig.03).

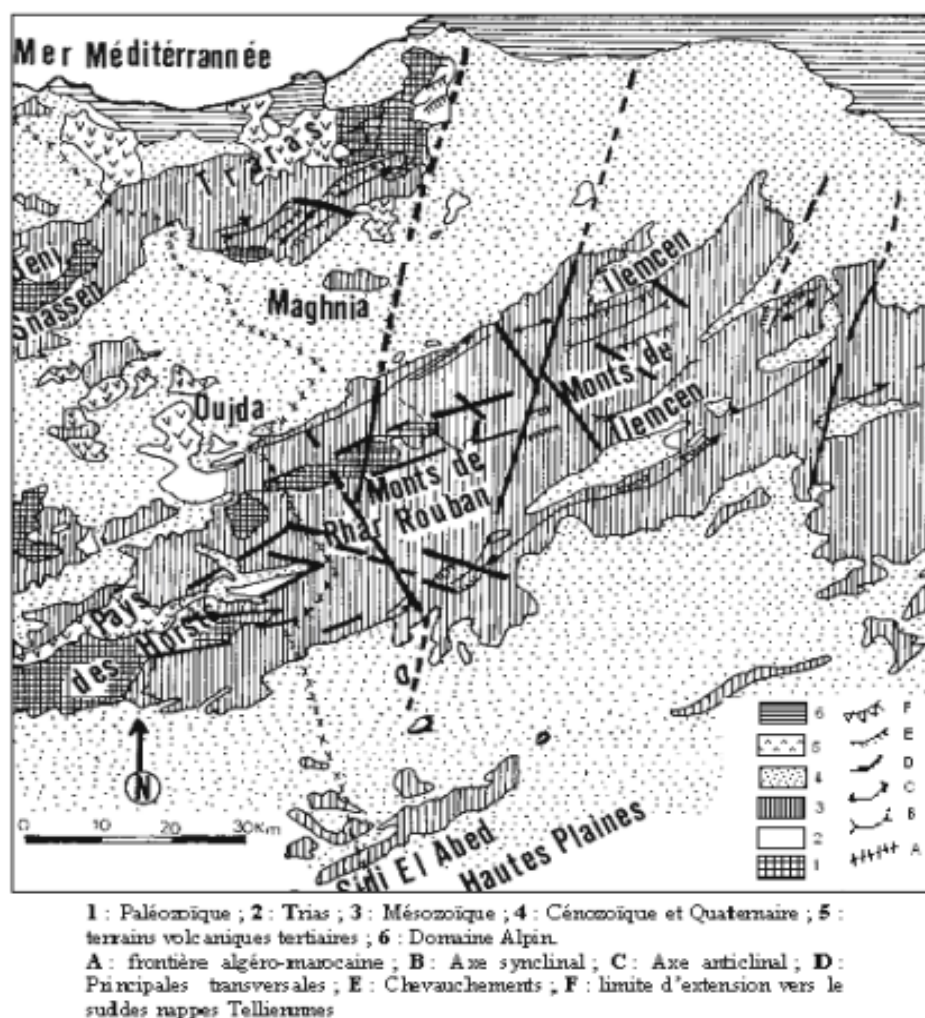


Fig.4 : Carte structurale de la plaine de Maghnia (in Baba Ahmed, 2007).

Les sédiments du miocène renferment des rhyolites érodées qui forment deux petits massifs en forme de coupole. L'un de ces massifs est associé à un gisement de bentonite, tandis que l'autre situé à l'extrémité sud-est du village et est composé de matière quartz-feldspathique. Les rhyolites se présentent comme une roche finement cristallisée, de couleur grise, gris clair, clair ou brune. Elles sont compactes, solides et contiennent des phénocristaux de quartz et de feldspath. Des affleurements basaltiques miocènes se développent sous forme de petits corps inter-stratifiés de faible puissance au nord du village et sur la rive droite de l'Oued Tafna.

IV. Cadre géographique de la région d'étude

Le secteur d'étude se situe à proximité du village de Hammam Boughrara, au nord de la plaine de Maghnia, dans la wilaya de Tlemcen. Les gisements d'argiles benthoniques du district de Hammam Boughrara se trouvent à environ 40 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Tlemcen, à 15 km au nord-est de la ville de Maghnia, et à 14 km de la frontière algéro-marocaine, aux coordonnées géographiques de 34°54'N de latitude et 1°38'W de longitude (Fig.6). Cette région est délimitée au nord et à l'ouest par la chaîne de Fillaoussène, et au sud par la plaine de Maghnia ainsi que les monts de Tlemcen. L'accès se fait par une route traversant le village de Hammam Boughrara, puis par des pistes secondaires menant aux différents gisements, situés entre 2 et 4 km au nord-ouest du village.

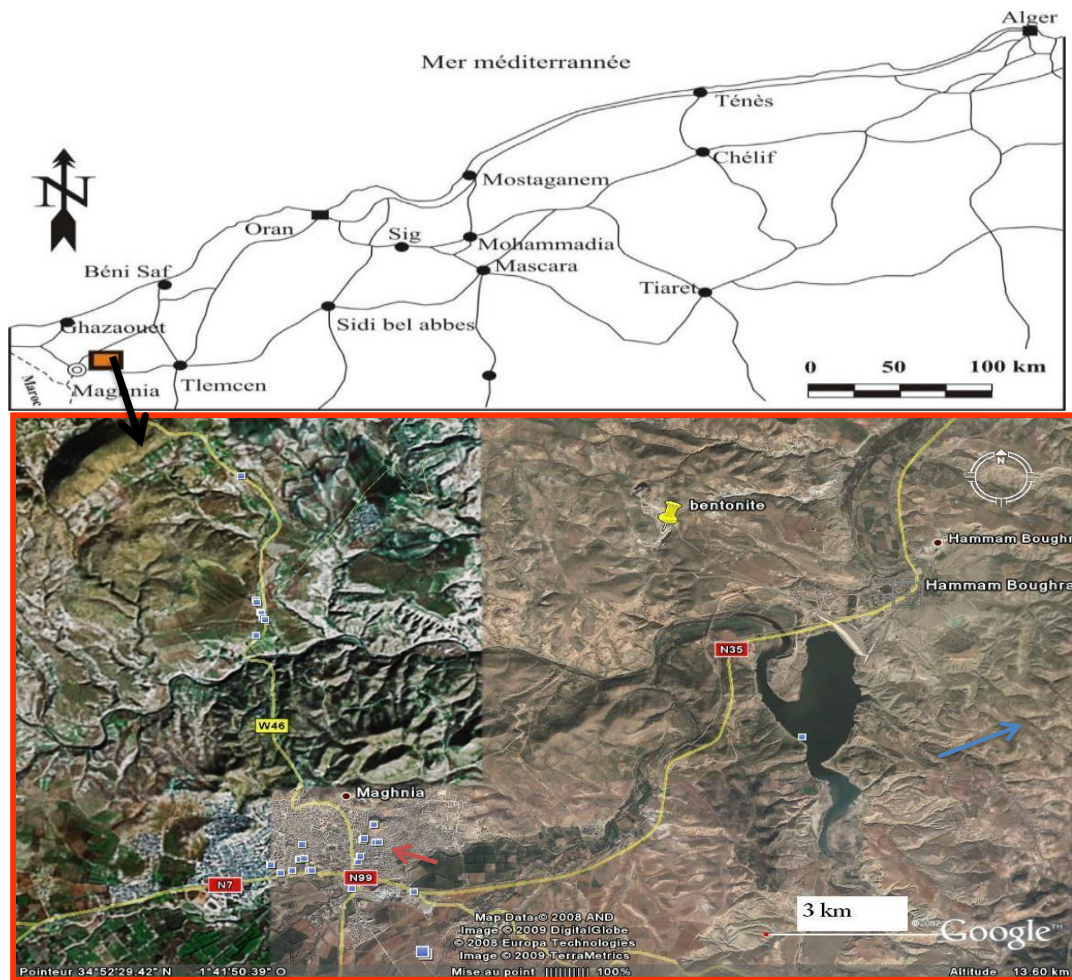


Fig. 6 : Carte de situation de Maghnia (Baba Ahmed, 2007)

D'un point de vue géologique, les gisements bentonitiques de la région de Maghnia, localisés au sud-est de la ville, à environ 4 km du village de Hammam Boughrara, témoignent d'une organisation stratigraphique bien définie. Les principales formations géologiques y sont résumées ci-après, dans un ordre ascendant, du Miocène jusqu'au Quaternaire (Bouanani, 2021).

Plusieurs travaux de référence sur la caractéristique litho stratigraphique de la plaine de Maghnia peuvent être cités, notamment ceux de Gentil (1903), Perrondon (1957), Benest (1981, 1982, 1985), Benest et Bensalah (1999), ainsi que ceux de l'ENOF (2013, 2015).

L'unité de production de Maghnia, en activité depuis plus de cinquante ans, possédait initialement deux chaînes de production : une dédiée à la bentonite et l'autre à la terre décolorante. Cependant, la chaîne de terre décolorante a été arrêtée en mai 2005, sa fermeture a été officialisée début 2009 et elle a été démantelée trois mois plus tard.

Actuellement, l'unité de Maghnia se préconiser l'ouverture de la nouvelle usine de production au niveau de Hammam Boughrara, avec une production annuelle 80 000

Tonnes. Le gisement de Hammam Boughrara est s'étaler sur une superficie de **175** hectares (Fig. 06).

CHAPITRE II : GITOLOGIE ET
ETUDE DES GISEMENTS DE LA
BENTONITE

I. Aperçu général sur les argiles

L'argile a été le matériau le plus anciennement employé par l'homme durant la préhistoire, après le silex et la pierre taillée (Mohammad Koneshloo 2007). Les argiles ont été utilisées comme matière première depuis les temps les plus reculés dans toutes les civilisations. Les céramiques les plus anciennes du monde ont été retrouvées sur les rives du fleuve Amour en Russie orientale (Hyland et al). Actuellement, l'emploi des argiles, particulièrement celles riches en SiO_2 et Al_2O_3 , connaît une renaissance dans les domaines de la construction, de la céramique industrielle et artisanale, de l'industrie pharmaceutique, de la poterie et dans une multitude d'autres applications (Hubert, 2009).

II. La bentonite

a. Définition :

La bentonite est un type d'argile principalement constitué de montmorillonite, un minéral du groupe des smectites. Sa caractéristique principale est sa forte capacité à gonfler et à absorber des liquides, qu'il s'agisse d'eau ou de substances organiques.

Contrairement aux argiles ordinaires, les bentonites retiennent l'humidité plus longtemps. Leur couleur varie généralement du gris clair au gris, avec des nuances bleutées lorsqu'elles sont sèches et verdâtres lorsqu'elles sont humides.

On distingue deux catégories principales de bentonites en fonction de leur composition cationique dominante : les bentonites sodiques, qui ont une forte capacité de gonflement et sont adaptées à la boue de forage, et les bentonites calciques, qui présentent un faible indice de gonflement mais une forte capacité d'adsorption.

b. Origine et formation :

Les bentonites sont des argiles d'origine volcanique, composées en majorité de montmorillonite, un minéral du groupe des smectites. Elles résultent de l'altération et de la transformation hydrothermale des cendres et des tufs volcaniques riches en verre, un processus qui conduit à la formation de ces minéraux argileux. Ces roches argileuses ont été nommées bentonites d'après le gisement de Fort Benton, situé dans le Wyoming, aux États-Unis. La bentonite est constituée de plus de 75 % de montmorillonite, un minéral découvert pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne, en France. Ainsi, le terme mot bentonite est souvent utilisé comme synonyme de montmorillonite bien que ce dernier ait été identifié initialement dans des gisements argileux

près de Montmorillon. La formation de la bentonite est principalement due à la dévitrification (cristallisation) des couches volcaniques sous l'action d'eaux aux réactions alcalines ou acides. Outre la montmorillonite, la bentonite peut contenir d'autres minéraux argileux tels que la kaolinite et l'illite, ainsi que des impuretés comme le gypse et les carbonates (Bougdah, 2007).

La montmorillonite se trouve dans divers environnements :

- Milieux sédimentaires : Elle est présente dans les environnements riches en magnésium ayant un PH légèrement à nettement alcalin. Il est à noter qu'un excès de potassium dans ces milieux favoriserait la formation de micas.
- Sols : On la rencontre dans certains types de sols tels que les chernozines et les rendzines.
- Produit d'altération : La montmorillonite peut résulter de l'altération de différentes roches :
 - Des roches éruptives acides, comme les pegmatites,
 - Des cendres volcaniques, comme celles du gisement de Fort Benton aux États-Unis.
 - Des rhyolites, à l'exemple de celles de Maghnia en Algérie
 - Des roches acides vitreuses, comme la smectites du sud de l'Espagne.

De plus, l'altération hydrothermale peut entraîner la formation de montmorillonite, qui se localise souvent sur les bordures des gisements, tandis que la kaolinite tend à se former à l'intérieur. La montmorillonite peut également être produite par synthèse hydrothermale en présence de magnésium et dans des conditions de PH relativement élevé (Igiraneza, 2017).

c. Types de la bentonite :

Dans la nature, les cations les plus courants qui forment la bentonite sont le calcium et le sodium, ce qui permet de distinguer deux types principaux de bentonites :

– La bentonite sodique : parfois appelée bentonite du Wyoming ou de l'Ouest, se caractérise par une teneur en oxyde de sodium (Na_2O) supérieure à 2 %. Cette composition lui confère un indice de gonflement élevé, allant de 15 à 20. Cette propriété est particulièrement exploitée dans les mastics utilisés pour l'enfouissement de matières polluantes dans les sols et dans la fabrication des boues de forage.

– La bentonite calcique : ou bentonite du Sud, est la plus répandue. Contrairement à la bentonite sodique, elle ne présente pas les mêmes propriétés de gonflement. Cependant, sa

forte concentration en ions échangeables, notamment en magnésium (Mg^{2+}), lui confère une capacité d'adsorption très élevée, ce qui explique son utilisation dans la production de terres décolorantes.

Il est important de noter que ces appellations ne signifient pas qu'une bentonite naturelle est exclusivement calcique ou sodique. Elles indiquent simplement quel est le cation dominant au sein de sa composition (Derridj, 2008).

d. Bentonite dans le monde et principaux gisements

Les réserves mondiales de la bentonite sont de millions de tonnes et les plus grandes réserves sont situées aux USA avec une réserve de 13 millions de tonnes. Environ 90% de la production mondiale de bentonite est concentrée dans 22 pays : Arménie, Australie, Azerbaïdjan, Biélorussie, Bulgarie, République tchèque, Allemagne, Grèce, Italie, Japon, Kazakhstan, Kirghizistan, Mexique, Moldavie, Russie, Afrique du Sud, Tadjikistan, Turquie, Turkménistan, Ukraine, États-Unis et Ouzbékistan (Babhoum, 2022)

La bentonite est un minéral largement répandu et des gisements importants peuvent être trouvés dans de nombreux pays du monde (Tab.2). Certains des principaux gisements de bentonite sont :

Grèce : La Grèce possède d'importants gisements de bentonite, avec d'importantes réserves situées dans les îles de Milos et Kimolos.

Mexique : il possède d'importants gisements de bentonite, avec d'importantes réserves situées dans les États de Basse-Californie, de Sonora et de Chihuahua.

Parmi les autres pays possédant d'importants gisements de bentonite figurent l'Italie, l'Allemagne, le Japon, l'Afrique du Sud, l'Australie et le Canada.

Dans l'ensemble, la bentonite est un minéral largement répandu, et la disponibilité et la qualité des gisements peuvent varier en fonction de facteurs tels que l'histoire géologique, le climat et les conditions environnementales.

CHAPITRE II : GITOLOGIE ET ETUDE DES GISEMENTS DE LA BENTONITE

Pays	Localisation	Réserves (MT)	Type bentonite	Utilisation
États-Unis	Wyoming, Montana	> 250	Bentonite sodique	Boues de forage, liants, fonderie
Chine	Provinces du Henan et Xinjiang	~ 150	Mixte	Fonderie, construction
Turquie	Anatolie	~ 100	Calcium et sodique	Agriculture, détergents
Inde	Rajasthan, Gujarat	~ 90	Bentonite calcium	Fonderie, puits de forage
Russie	Sibérie	~ 80	Mixte	Forage, environnement
Brésil	Bahia, Paraíba	~ 50	Calcium	Cosmétique, pharmaceutique
Allemagne	Bavière	~ 40	Calcium	Purification, traitement d'eau

Tableau 1 : localisation, réserves estimées, type dominant de bentonite et les utilisations principales des principaux gisements de bentonite dans le monde

<i>Elets chim</i>	<i>Bentonite de Maghnia, Algérie</i>	<i>Bentonite du Sud des USA</i>	<i>Bentonite de Wyoming</i>
<i>SiO₂</i>	58.89	59.00	64.30
<i>TiO₂</i>	0.28	n.d	n.d
<i>Al₂O₃</i>	17.37	18.40	19.80
<i>FeO</i>	3.32	5.10	4.04
<i>Fe₂O₃</i>	n.d	1.26	2.60
<i>MnO</i>	0.07	n.d	n.d
<i>MgO</i>	3.37	2.86	2.03
<i>CaO</i>	1.06	3.88	0.73
<i>Na₂O</i>	1.32	0.41	2.81
<i>K₂O</i>	1.30	0.78	0.44
<i>H₂O</i>	4.46	2.91	1.14
<i>H₂O</i>	8.26	5.40*	2.11
<i>P₂O₅</i>	0.05	n.d	n.d
<i>SO₃</i>	0.68	n.d	n.d
Total	100.43	100.00	100.00

Tableau 2 : Compositions chimiques représentatives de Bentonites de différents pays (%Poids). (Document Bental 2002)

E. Bentonite en Algérie

En Algérie, les gisements de bentonite ayant une grande importance économique sont situés dans l'ouest du pays. On note particulièrement la carrière de Maghnia (Hammam Bou Boughrara), dont les réserves sont évaluées à un million de tonnes, ainsi que celle de Mostaganem (M'zila), qui dispose de deux millions de tonnes. La roche est friable, avec une couleur principalement blanche, grise ou légèrement teintée de jaune. Elle résulte de la dévitrification des couches volcaniques sous l'effet des eaux à caractère alcalin ou acide. Outre la montmorillonite, ce sol peut renfermer d'autres types de minéraux argileux (comme la kaolinite et l'illite) ainsi que des substances impures telles que le gypse ou les carbonates, entre autres.

Bentonites	Surface spécifique (m ² /g)	pH	Cation échangeable (méq/100g)			
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Mostghanem	65	9.1	46,7	8,1	7,8	6
Maghnia	80	6.2	30,6	12,8	36,2	9,5

Tableau 3 : Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite d'Algérie (Safi Saliha ,2014)

III. Géologie du gisement de dar M'Barek :

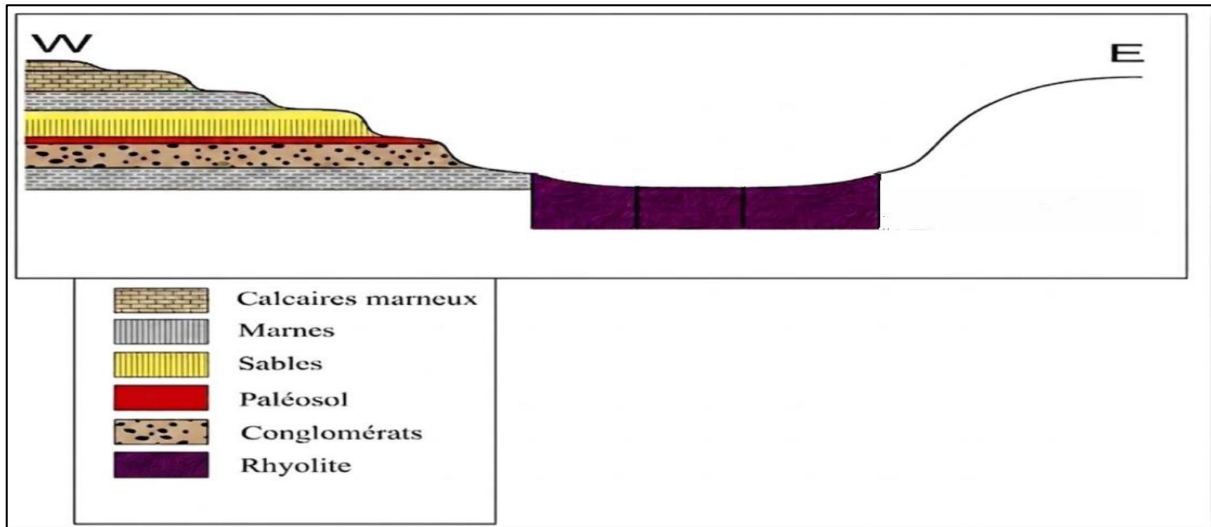


Fig.7 : La coupe géologique du gisement de Dar M'Barek

a. Interprétation De La Coupe De La Figure7 :

- **Gradin 1** : il est formé à la base des roches sédimentaire représente par des calcaires marneux de couleur beige clair.
- **Gradin 2** : il est représenté par une formation argileuse et sablonneuse d'âge pliocène de couleur verdâtre à nuance jaunâtre avec des intercalations de conglomérat
- **Gradin 3** : sa hauteur est estimée environ 10 mètre à la différence des autres gradins ce gradin se distingue par la présence des faciès rougeâtre (paléosol) avec un niveau basaltique où on a réalisé un échantillonnage. Du point de vue tectonique ce gradin est situé juste au niveau d'une grande faille ou nous avons constaté la présence d'une brèche de faille.
- **Gradin 4 et 5** : c'est une formation alluvionnaire qui englobent des dépôts à gros galets et de conglomérat qui se présentent des chenaux d'âge quaternaire.

b. Plan d'échantillonnage et description Macroscopique :

La stratégie d'échantillonnage adoptée sur le site de la mine de Dar M'Barak (Figure 8) repose sur la collecte d'échantillons représentatifs de deux faciès au niveau de l'ensemble de l'affleurement rhyolitiques (Figure 9) . Les prélèvements, répartis sur cinq points clés (de I à V), visent à documenter la hétérogénéité pétrographique et à assurer une couverture spatiale optimale de la zone minière."

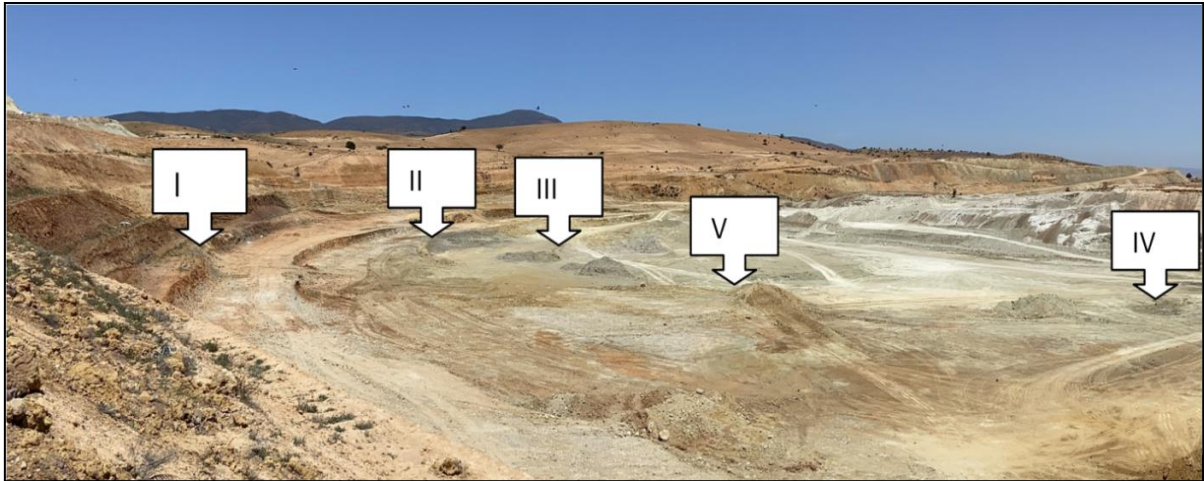


Fig.8 : Plan d'échantillonnage sur le site de la mine de Dar M'Barak

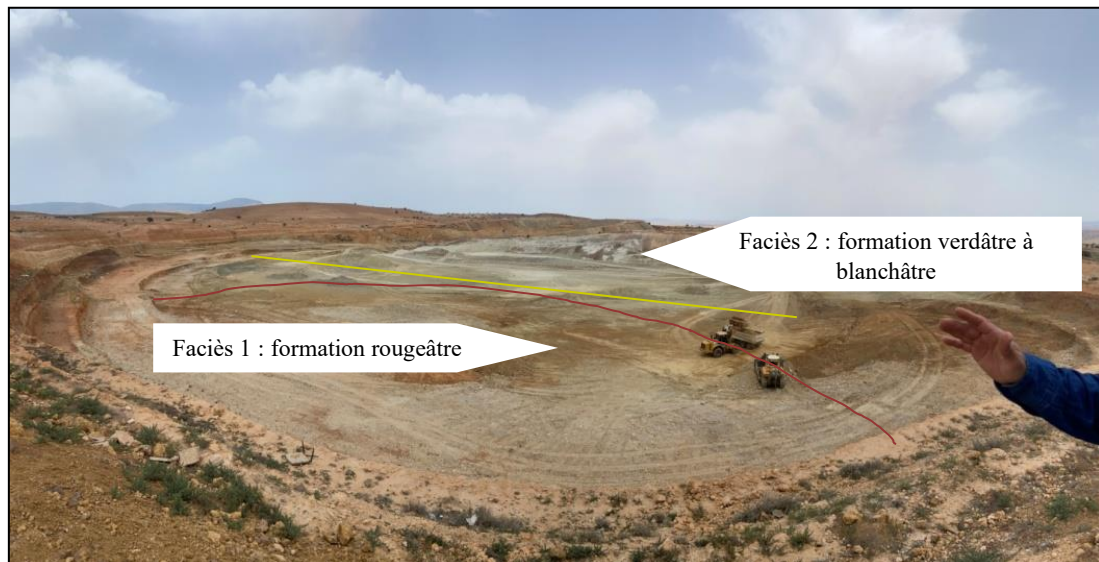
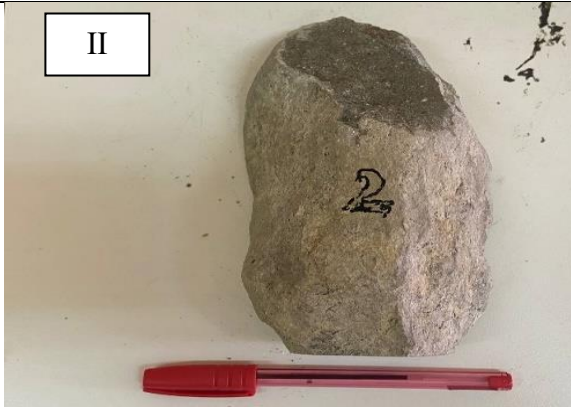
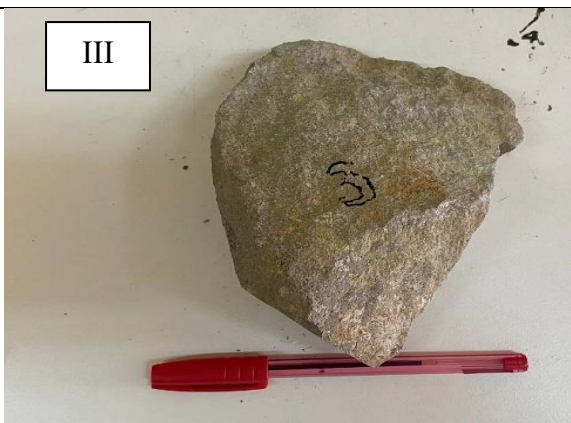


Fig.9 : Changement des faciès dans le gisement

CHAPITRE II : GITOLOGIE ET ETUDE DES GISEMENTS DE LA BENTONITE

Numéro d'échantillon (en ordre croissant)	Description
	<p>C'est une roche dense de couleur grise avec des micros cristaux altérés de couleur brune visible à l'œil nu, traverse par des veinules.</p>
	<p>C'est une roche blanchâtre avec des microcristaux vitreux et des petits cristaux noirs à la patine.</p>
	<p>A La patine : c'est une roche de couleur verdâtre à blanchâtre avec des phénocristaux disperser sur une pâte microlitique.</p> <p>A La Cassure : une présence des rubans qui cause par l'écoulement de magma.</p>

CHAPITRE II : GITOLOGIE ET ETUDE DES GISEMENTS DE LA BENTONITE

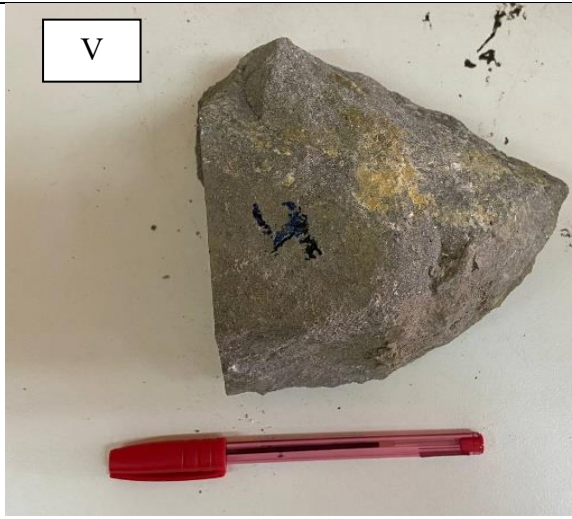
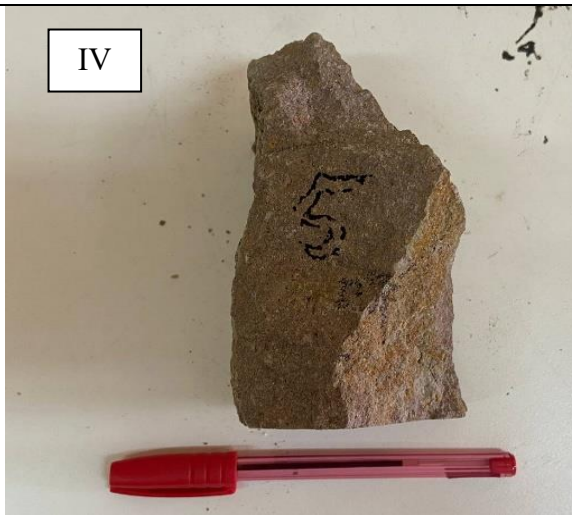
 <p>A photograph of a rock sample labeled 'V' in a white box. The rock is irregularly shaped, greyish-brown, and has a matte finish. A red pen is placed below the rock for scale.</p>	<p>A La patine : Couleur grisâtre d'aspect mat avec des petits grains blancs.</p> <p>A La cassure : on observe un éclaircissement de la couleur de texture homogène avec des phénocristaux vitreux</p>
 <p>A photograph of a rock sample labeled 'IV' in a white box. The rock is irregularly shaped, brownish-grey, and has a matte finish. A red pen is placed below the rock for scale.</p>	<p>A La patine : Couleur gris Brun à verdâtre semble être une altération ou la présence d'oxyde de fer avec de texture Rougeaux sur une surface mate.</p> <p>A La cassure : présence des microcristaux Brun avec de couleur gris rosé.</p>

Tableau 4 : Description macroscopique des échantillons

C. Les pyroclastites et tufs pyroclastique :

1. Description Macroscopique :

Les pyroclastites et tufs pyroclastiques apparaissent au niveau de la carrière Dar M'Barak sous forme de tufs volcaniques de couleur jaunâtre et blanchâtre à verdâtre formées essentiellement de fragments de roches volcaniques plus ou moins anguleux de taille centimétrique à millimétrique, et de grains de quartz, de feldspaths et d'opales, tous emballés dans une matrice très fine de couleur gris blanchâtre, plus ou moins altérées en argiles.

Les pyroclastites ont un aspect chaotique, monogénique (origine volcanique) et hétérogénique plus ou moins classées mais elles montrent une tendance générale vers une séquence à grano classement normal (aspect stratifié) ; et sont localement bentonitisées.

Les tufs pyroclastiques sont des roches à texture chaotique prédominés par une matrice argileuse constituée essentiellement de cendres et poussières volcaniques. Elles ont une structure pseudo-fluidale marquée notamment par des flammes (lambeaux de roches étirées) de taille millimétrique à centimétrique, ce qui indique qu'elles ont été soudées à chaud. La phase clastique de ces roches est essentiellement constituée de minéraux et fragment de minéraux ou des débris (surtout de quartz et des feldspaths), des fragments de verre volcanique et des roches rhyolitiques.

Les pyroclastites et tufs pyroclastiques sont localement bentonitisées et acquiert une couleur Jaunâtre en général et un touché savonneux.

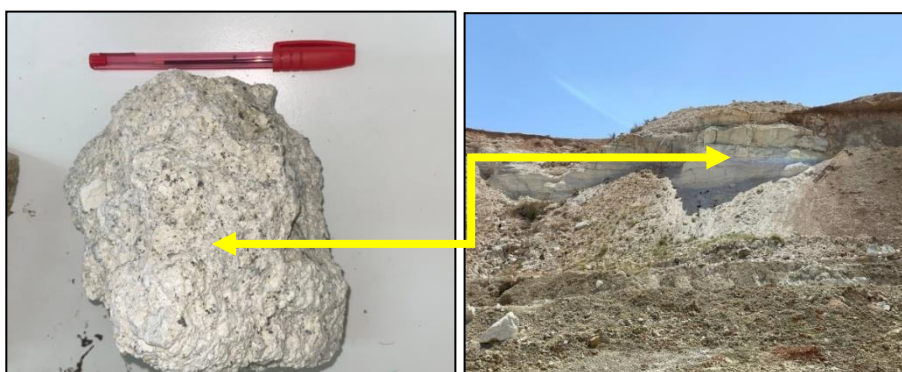


Fig.10 : Photo montrant l'affleurement des pyroclastites au l'Est du gisement et le detail d'un échantillon de tuf pyroclastique



Fig.11 : Pyroclastites hétérométriques ; direction 30° NW- SE, Pendage 09 °

2. Étude pétrographique :

Les rhyolites de hammam Bouhrara et d'Ain Torba et dar M'Barak, montrent pétrographiquement les mêmes caractères que celle de sahel d'Oran. Les phénocristaux de quartz, plagioclase et de biotite (au total 10 à 20 % du volume de la roche) baignent dans une mésostase quartzique microcristalline ou vitreuse perlitique dans le piton de hammam Bouhrara vers le bordure perlitique, la lave est vitreuse ou microcristalline et elle est occupée par des phénocristaux de quartz plagioclase et de biotite. (Megarsti, 1985)

3. Description microscopique :

3.1 Le basalte L1 :

La texture microlitique légèrement porphyrique, comprend environ 2 à 5 % de phénocristaux d'olivine, 3 % de pyroxène, La mésostase est microlitique constituée par des microcristaux de pyroxène altéré, de microcristaux produits par l'altération hydrothermale ; dont les bordures sont corrodées, de nombreuses lattes de plagioclase qui sont plus ou moins orientées suivant la direction de la fluidité de la roche. fig.10 (lame L1)

Olivine : se présente de forme automorphe, limpide et incolore avec un pourtour rouge à sombre altéré (relief fort), elle présente souvent des fractures sinueuses, présentant des

altérations d'iddengsite. En lumière polarisée analysée, les olivines ont une biréfringence élevée, à l'origine de teintes vives de polarisation. de 2eme jusqu'à 3eme ordre.

Les pyroxènes qui se présentent en cristaux sont limpides et recouverts tous par des traces d'altération. Certains individus laissent apparaître des traces de clivage orthogonal.

Les grains d'oxydes opaques sont nombreux. Ils sont de taille millimétrique et sont soit interstitiels soit en inclusion dans les cristaux de pyroxène. Leur forme carré leur attribue le nom d'oxyde de type probablement titano- magnétite.

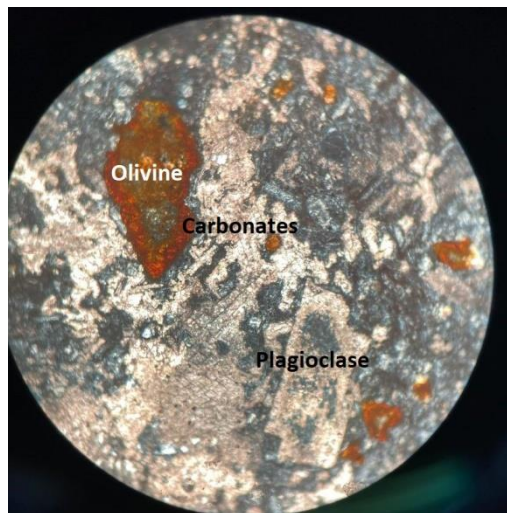


Fig.12 : Vue microscopique de l'échantillon I (lame L1)

3.2 Rhyolite

- **Description macroscopique** : Ce sont des roches compactes, de couleur grise et de teinte claire ; elles apparaissent sous forme massive et montrent parfois un état friable qui peut indiquer la présence d'un phénomène d'altération. On note la présence de cristaux de quartz, feldspaths, biotites et des oxydes de fer de teinte marron foncé ou noir. D'après l'orientation (l'alignement) préférentielle des minéraux, ces roches présentent une structure fluidale (fig.13).

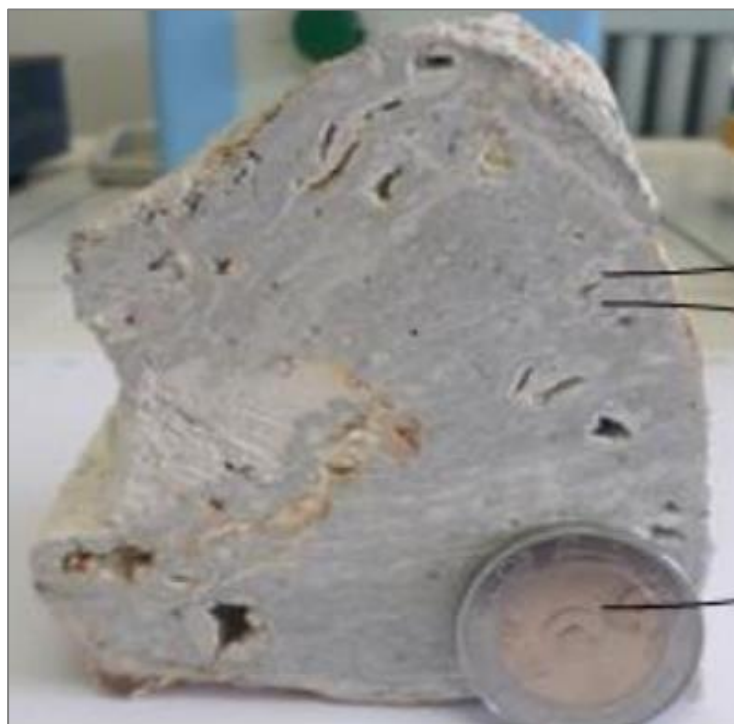


Fig.13: Aspect macroscopique de la rhyolite de Hammam Bouhrara

- **Description microscopique** : De texture aphanitique porphyrique, elle présente des cristaux de différentes tailles baignant dans une mésostase riche en verre volcanique. L'examen microscopique montre la présence des minéraux suivant (fig.12).

Le Quartz : il se présente en cristaux automorphes à sub-automorphes et corrodés, parfois les cristaux montrent une forme bipyramidé. On note aussi l'existence d'ensembles de fibres rayonnantes sous forme de nodules : des sphérolites de taille micro à millimétrique ; elles sont représentées par sphérolites de quartz qui sont, soit dispersées dans la mésostase ou regroupées en chaplet discontinus. Elles proviennent de la recristallisation du verre volcanique préexistant. Les fragments de verre : ils sont xénomorphes et peuvent renfermer des cristaux de biotites.

Les Feldspaths : ils se présentent en cristaux automorphes avec un aspect troubles probablement dû à l'altération en séricite, avec la macle de Carlsbad caractéristique.

Les plagioclases de type oligoclase, c'est phénocristaux moins nombreux que les orthoses, avec des faces très touchés par l'altération (fig.12).

La Biotite : elle est représentée par des cristaux allongés en forme lamellaire caractéristique, présentant une altération en chlorite (phénomène de chloritisation) (fig.13).

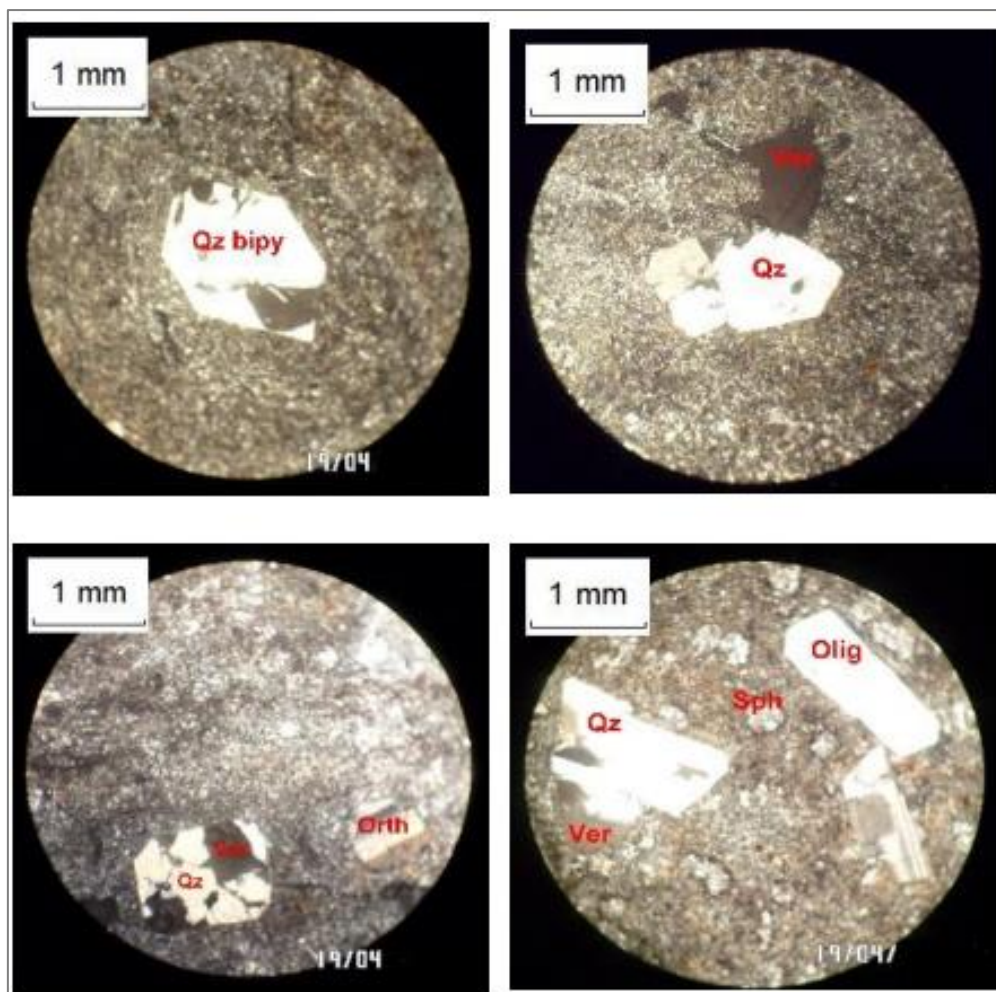


Fig.14 : Aspect microscopique de la rhyolite de Hammam Bouhrara

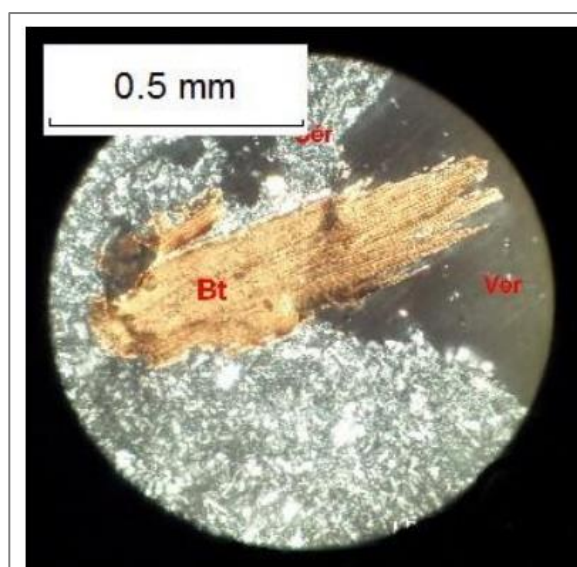


Fig.15 : Biotite associée à la séricite et au fragment de verre

IV. Gitologie du gisement de Dar M'Barek :

1. Cadre structural et forme du gisement de Dar M'Barek (photo.1)

Le gisement est localisé dans les formations du Miocène supérieur, constituées de tufs rhyolitiques, gréseux et conglomératiques, de couleur gris clair à verdâtre. Les couches utiles rayonnent autour du dôme rhyolitiques avec des pendages variant de 5 à 20°. Au sud du secteur, une coulée basaltique surmonte ces tufs et au sud-ouest ces derniers sont recoupés par une faille de direction NO-SE à rejet important (50 à 60 mètres) où s'est mise en place une extrusion rhyolitiques.

Le gisement présente un aspect stratifié. Les tufs, localement altérés en bentonite, forment un amas lenticulaire épais de 76 mètres, de direction sub-méridionale sur une distance d'environ 500 mètres avec une largeur qui oscille entre 200 et 300 mètres. Le contour de l'amas avec les tufs rhyolitiques encaissants est irrégulier, en forme de poche. L'amas se biseaute progressivement du nord vers le sud, où il présente un pendage qui varie entre 10 et 15° vers O.S.O. (Igiraneza Aristide, 2017)

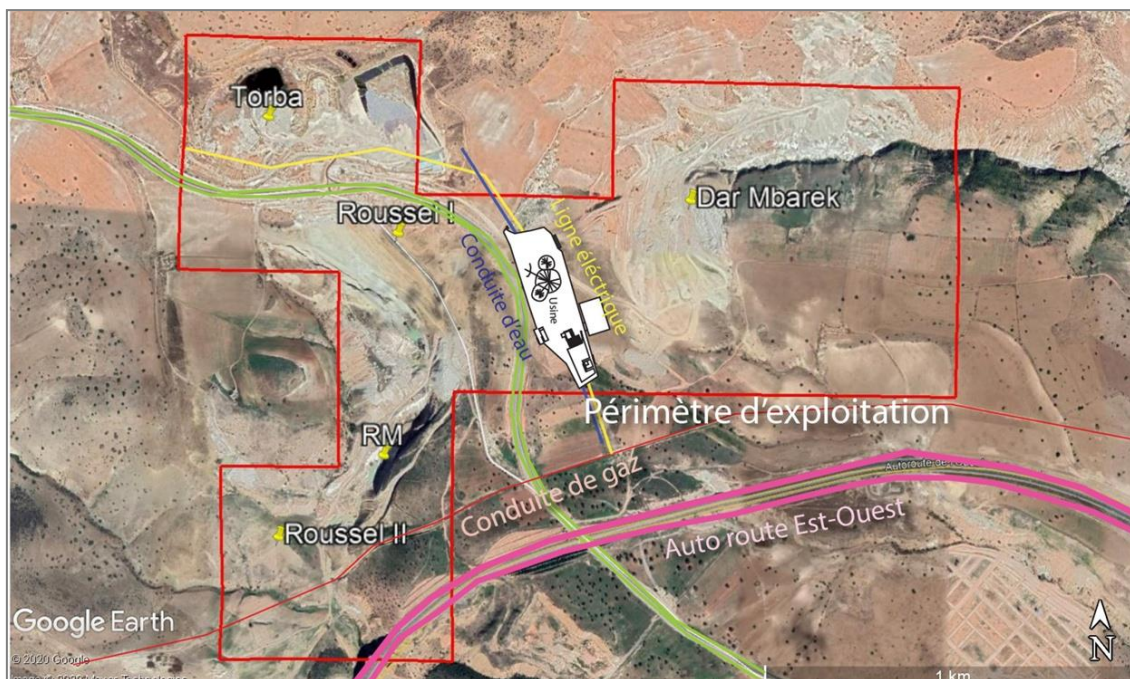


Fig.16 : Carte présentation le périmètre minier ainsi la nouvelle usine à Hammam Bouhrara



Fig.17 : Vue panoramique du gisement de Dar M'Barek

2. Structure de gisement

Dans la carrière de Dar M'Barak, on peut observer trois principales failles de direction différentes (fig.17) :

- **La Faille de direction N-S : (F1)**, qui affectée les dômes rhyolitiques
- **La Faille de direction NNW-SSE : (F2)**, elle longe les épaissements rhyolitiques du gradin 3
- **La Faille EST-OUEST (F3)** : détectée dans le premier gradin 1, elle est l'origine de l'intrusion basaltique
- **La Faille inverse (F4)** qui affecte le quatrième 4 (Bouanani, 2021).

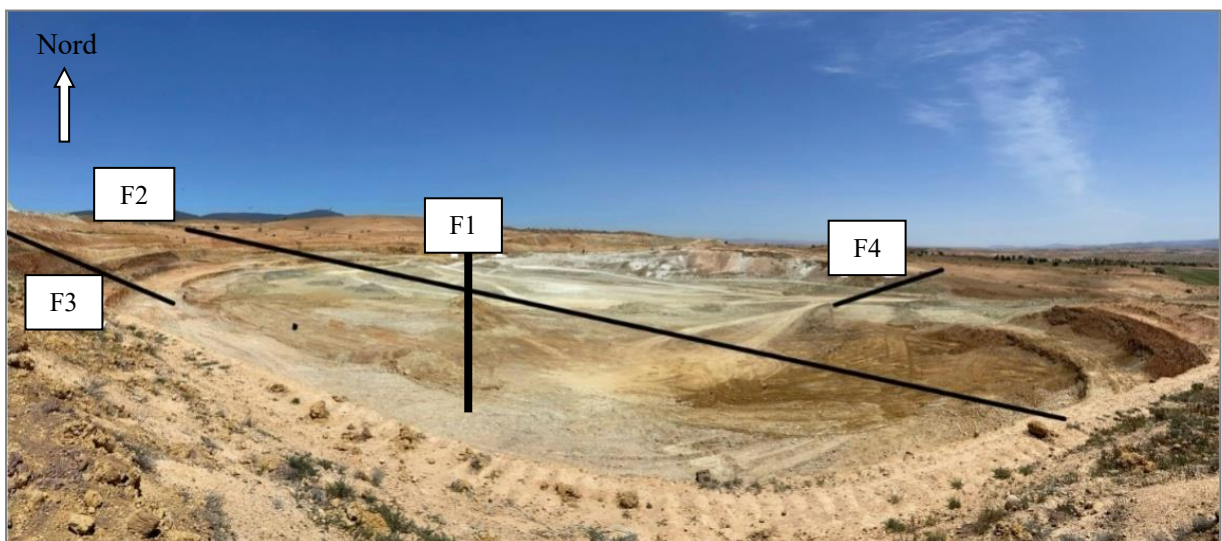


Fig.18 : Représentation des trois principales failles de gisement (F1, F2 F3et F4).

3. Bentonisation:

3.1. Affleurement rhyolitique Dar M'Barek :

Les affleurements rhyolitiques d'Ain Torba à l'ouest de hammam Boughrara, constituent un complexe important qui s'étale dans une direction Nord-Sud sur plus de 1000 m l'ensemble forme une dôme dans lequel on peut voir sa partie méridionale la succession du cœur vers l'extérieur, la rhyolite massive ou rubané limitée par un bordure figée perlitique, contenant d'innombrables lithologie à structure concentrique caractéristiques, puis au-delà de cette zone, se sont accumulés sur une importante épaisseur, d'argiles smectiques, actuellement exploitées, provenant de la transformation de la partie centrale.

En effet, ces brèches des rhyolites fluidale sont complètement transformé en argile et à leur bas. Ils renferment des fragments de rhyolite perlitique non transformés, l'épisode de transformation est donné antérieure au démantèlement d'appareil volcanique.



Fig.19 : *Reste des dômes rhyolitiques (IV)*

Sur ce site nous constatons trois pointement rhyolitiques, probablement appartenant à un filon de direction NO-SE Le gisement d'argile bentonitique de Dar M'Barek est un gisement exogène dérivant de l'altération in situ des cendres volcaniques (tufs pyroclastiques) et des formations rhyolitiques altérées et transformées en argiles bentonitique.

La bentonite extraite du gisement de Dar M'Barek est actuellement utilisé pour la production de la bentonite de forage, bentonite de charge, bentonite de fonderie et terres décolorantes.

Leur utilisation est alors soumise à des règles et chaque domaine a ses propres exigences au niveau des capacités d'adsorption, des propriétés mécaniques (viscosité, seuil, thixotropie) et des critères minéralogiques (présence de minéraux non argileux, polymères, surfactants).

Les propriétés souhaitées et les niveaux d'exigence varient d'une industrie à une autre. Le cadre de cette thèse, nous ne donnerons que quelques – unes des applications des minéraux argileux de types « smectites ».

Les bentonites sont largement utilisées dans divers secteurs industriels tels que le forage, la fonderie, la céramique, la peinture, la pharmacie et la production de terres décolorantes. La principale application de la bentonite extraite à travers le monde est son utilisation comme liant dans le sable démoulage pour l'industrie de la fonderie, ainsi que pour augmenter la viscosité des fluides de forage (Kanouri et Labide, 2013).

La bétonisation des tufs est irrégulière, ce qui influe sur la qualité de l'argile brute (Tab.6 et7). A côté des bentonites pures de couleur blanche, on trouve des bentonites gris verdâtres à texture bréchique (jusqu'à 30% de débris rhyolitiques) et des tufs bentonitisés en lits et lentilles de faible épaisseur et à des débris et blocs rhyolitiques. L'encaissante du gisement bentonitique est essentiellement constitué par des formations sédimentaires conglomératiques du Plio-quaternaire ainsi que les formations issues de l'altération des basaltes.

Les gisements des bentonites du district de Hammam Bouhrara (Dar M'Barek) est directement liés aux phénomènes tectoniques et volcaniques qui ont affectés l'Algérie Nord occidentale et la région de Maghnia. Les émissions volcaniques mio-plio-quaternaires et les failles de direction NO- SE et NNE-SSO qui contrôlent l'emplacement des gisements de bentonites constituent la réponse au contexte tectonique compressif du miocène (l'orogénèse alpine proprement dite). Ces gisements résultent de la transformation des rhyolites, perlites et des tufs pyroclastiques, sous l'action d'un phénomène Hydrothermal, mise en place à la faveur des failles et des cassures. Le processus de transformation consiste dans l'évacuation de la silice, ce qui aboutit à l'enrichissement de la roche en alumine. L'altération des roches mères résulte de l'action des solutions hydrothermales, de petites cheminées de basalte qui ont percé les rhyolites et les formations pyroclastiques ont pu servir de voies nourricières à ces solutions.

Les failles de direction NO-SE et NNE-SSO constituent des métallectes qui pourraient conduire à la découverte des nouveaux gisements dans le bassin de la moyenne Tafna.

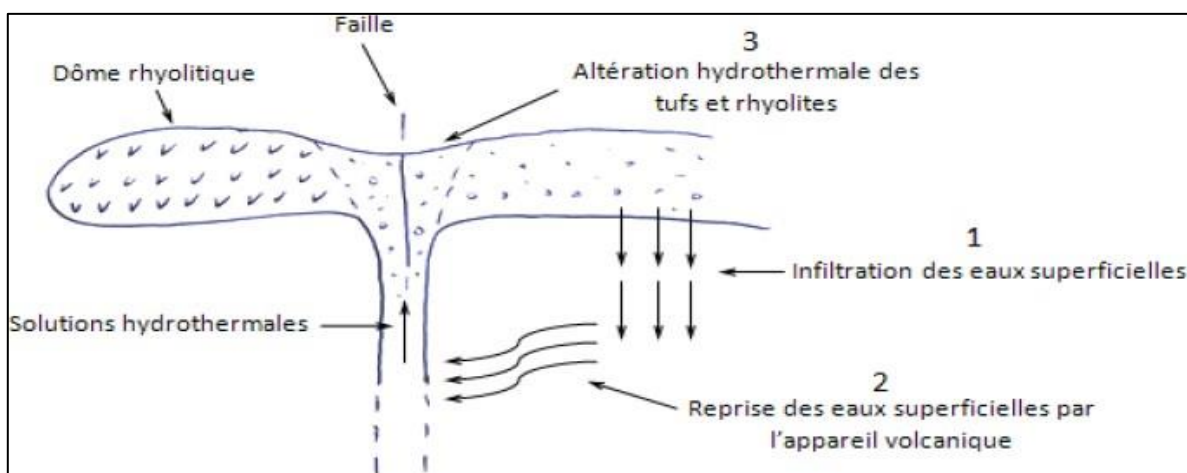


Fig.20 : Modèle de bentonitisation proposé par Boukhedimi (2008)

« Les failles de direction NW-SE et NNE-SSW contrôlent l'emplacement des gisements de bentonites après avoir joué en drains pour la remontée des solutions hydrothermales issues des eaux superficielles (ayant un ΔD différent) reprise par l'appareil volcanique. Le long des failles, ces solutions altèrent intensément les pyroclastites et imposent leur signature isotopique »

ST	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75 μ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
Sondage Tarière ST 1	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur jaunâtre à verdâtre, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille mm.	20,40	20	21	28
	2	3	6			08,60	18	23	32
	3	6	9			07,00	17	30	34
	4	9	12			04,55	20	25	30
	5	12	15		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre à grisâtre, contient des débris de rhyolithes de taille mm.	11,19	19	21	31
	6	15	18			10,67	28	16	20
	7	18	21			12,00	23	16	21
	8	21	24			17,50	21	19	26
	9	24	27			14,32	20	24	30
	10	27	30			16,50	21	21	26

Tableau 05 Lithologie de la carrière Dar M'Barek, Sondage tarière (Bumigeme2008)

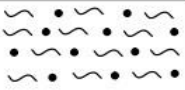
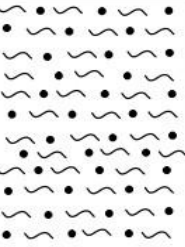
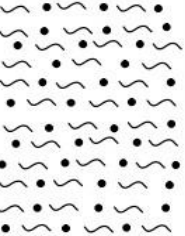
	N° DES ÉCHANT	INTERVAL ÉCHANT M		COLONNE LITHOLOGIQUE	DESCRIPTION DES ROCHES	Résultat d'analyses			
		De	A			RT75μ	Perte au Filtra	L 600 imm.	L600 16H
Sondage Tarière ST 5	1	0	3		Argiles bentonitiques de couleur blanchâtre, contient des débris de rhyolithes de taille cm	21,66	20	16	24
	2	3	6		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille cm	26,19	22	14	20
	3	6	9			39,80	25	12	16
	4	9	12			41,19	ind	10	14
	5	12	15		Argiles bentonitiques de couleur verdâtre à marron, aspect savonneux à la touche, contient des débris de rhyolithes de taille cm	34,31	ind	10	13
	6	15	18			26,64	ind	11	14
	7	18	20			32,15	ind	11	14

Tableau 06 : lithologie de la carrière Dar. M'Barek Sondage tarière
(Bumigeme2008)

V. L'exploration

La première phase du processus d'exploitation minière est la prospection et l'exploration. La prospection implique la découverte et l'identification de nouveaux gisements minéraux, tandis que l'exploration se concentre sur l'analyse approfondie des gisements déjà identifiés pour déterminer la quantité des réserves ainsi que les paramètres techniques, miniers et économiques nécessaires à une exploitation rentable, il est essentiel de mener plusieurs phases de travaux de prospection et d'exploration réussies, nécessitant des investissements croissants. Ces efforts visent à découvrir un gîte minéral et à le transformer en une mine opérationnelle.

L'examen d'un gisement de bentonite se réalise à travers la prospection géophysique et les sondages mécaniques (4 sondages par hectare), ainsi que par la collecte d'échantillons (1 échantillon par mètre de sondage). Si la couverture est faible, on opte pour le sondage avec une tarière mécanique. Dans le cas inverse, c'est-à-dire si la couverture est plus importante, on privilégie le sondage par carottage (pour une couverture tendre) ou roto percussion (pour une couverture dure).

CHAPITRE III : MODE
D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT
DE LA BENTONITE

1. Méthodes de prospections :

Prélèvement d'échantillons à l'aide d'une tarière manuelle sur les affleurements. Analyses et tests : calcimétrie, essai au bleu de méthylène, diffraction des rayons X pour calibrer les essais au bleu de méthylène, mesure du gonflement, détermination de la teneur en colloïdes... etc.

La bentonite développe rapidement d'importantes fissures de rétrécissement par dessiccation. Absence de ravinement que l'on constate grâce au processus d'hydratation et de dessiccation. Sur la pente faite de petits grains d'argile, ces derniers se dilatent et créent une mince couche imperméable sur laquelle l'eau s'écoule.

2. L'exploitation de la carrière de Dar M'Barek :

L'exploitation à ciel ouvert implique l'élimination des couches de stériles de couverture pour atteindre le gisement depuis la surface. La sélection du mode d'exploitation en plein air est déterminée par des facteurs physico-chimiques ainsi que par les conditions techniques et géologiques du gisement.

L'exploitation de la bentonite à la mine de Hammam Boughrara se déroule selon les étapes suivantes :

1. Préparation des pistes.
2. Découverte.
3. Émottage mécanique.
4. Excavation.
5. Transport.
6. Préparation des pistes.

2.1. Préparation de piste :

L'ouverture d'une mine débute par la préparation des voies d'accès et de transport. Dans notre situation, l'accès au gisement ainsi que le déplacement du minerai et des stériles sont garantis par diverses routes ayant les propriétés suivantes :

– La première piste (c'est une piste secondaire non goudronnée se trouve dans le côté SE du gisement) assure l'accès à la base de vie et au gisement de Dar M'Barek à partir de dédoublement de voie qui passe juste à côté. Cette piste est caractérisée par une seule voie de roulage et une longueur de l'ordre de 700 mètre.

– La seconde est une piste à double voies avec une longueur de l'ordre de 1100 mètre. Cette piste assure l'accès au niveau supérieur (380 mètre) de la mine à partir du centre d'enfouissement technique (CET).

Cette piste est utilisée aussi lors de l'opération de transport du stérile (vers la CET) et de tout venant (vers l'unité de production).

Une autre piste sera utilisée aussi lors de l'opération de transport de stérile. Cette piste se trouve en nord de la mine et relie cette dernière avec le deuxième endroit de dépôt de stérile (Chaaba).

C'est une piste à double voies avec une longueur de l'ordre de 800 mètre.

La piste a été planée en tenant compte de la topographie du gisement, des dimensions techniques des engins de transport (largeur de la benne), de la production et de la durée de vie de la mine à ciel ouvert..

La pente de la piste est un facteur important pour l'opération de transport. An d'assurer de bonnes conditions de travail et de sécurité, cette pente ne doit pas dépasser 10% en ligne droite et 6% en virage.

Des pistes secondaires ont été réalisées pour chaque gradin à partir de la piste principale au fur et à mesure de l'avancement des travaux d'exploitation.

La largeur de la chaussée de la piste dépend des gabarits de moyens de transport, de la vitesse de circulation, du nombre de voies de circulation. (Abderrahim, Benmelouka, Wassim tolba 2020).

2.2. Découverte :

La découverte est l'étape qui précède l'extraction du contenu utile. Ce processus vise à décaper les zones d'exploitation à l'aide d'engins de terrassement, tels que le bulldozer ou la pelle hydraulique. Ces travaux sont habituellement effectués en fonction de la progression des fronts. Les produits de découverte, tels que la terre végétale et les roches stériles, seront stockés en dehors des zones exploitables de la mine.

2.3. Ripage et chargement :

Au niveau de la mine de Dar M'Barek l'exploitation de la bentonite se fait par le ripage à cause des propriétés physicomécaniques de la bentonite. Il n'est donc pas indispensable d'utiliser des explosifs. Cette méthode consiste à déplacer, à enlever ce qui gêne à l'aide d'une ripe (grue ou engin plus puissant). En ce qui concerne la laque, elle élimine les éléments indésirables, façonne les blocs tenaces, notamment en élargissant les fissures (cette technique peut aussi être mise en œuvre lors de la réinstallation des terres durant les travaux de remodelage : la ripe décompacte les sols comprimés par le passage des machines). Quant aux matériaux tendres, l'abattage (et même le chargement) est fait par une machine telle que :

- La pelle à godet
- L'excavateur à godet
- La dragline
- La roue pelle

A Dar M'Barek, 2 Pelles hydrauliques sur chenilles Liebherr 954 sont utilisées pour le ripage et le Chargement

2.4. Transport :

Le transport dans les mines à ciel ouvert prédétermine dans une très large mesure le mode d'ouverture du gisement, le choix de la méthode d'exploitation, des équipements ainsi que le prix de revient des produits.

- Le choix du type de transport dépend.
- Des propriétés des minéraux utiles.
- Des roches stériles.
- Des conditions géologiques du gisement.
- De la distance du transport.

Le transport par camion est le plus répandu, il est rationnel de l'appliquer en cas de gisements compliqués, de l'approfondissement et de la construction de la mine à ciel ouvert. (Abderrahim Benmelouka. Wassim tolba 2020)

2.5. Éléments essentiels de l'exploitation à ciel ouvert :

L'unité de Maghnia se situe à l'intérieur d'une zone urbaine. Conçue en 1950, elle est constituée de matériels et de technologie dépassée qui continue de fonctionner au détriment d'une maintenance coûteuse. Ce pendant, il y a lieu de signaler que malgré cette obsolescence, l'unité continue de produire des bentonites de qualité acceptée par de différents utilisateurs

dans leurs processus. Avant d'être commercialisé le matériau argileux subit un traitement physico-chimique approprié qui le rend apte à une utilisation donnée, ce traitement se fait en 6 stades : Transport et stockage de matières premières. Alimentation et concassage. Activation (Carbonate de Soude + Magnésie). Séchage. Broyage. Ensachage.

L'exploitation des gisements à ciel ouvert implique des travaux sur des formations situées à l'intérieur des contours d'une carrière, lesquelles peuvent être des couches horizontales ou inclinées. Chaque couche supérieure est extraite en avançant par rapport à la couche inférieure, afin de créer une structure en gradins.

Chaque gradin se compose de deux banquettes, d'un talus et de deux arêtes. La banquette, ou plateforme du gradin, constitue la surface qui détermine la hauteur de la structure. On distingue ainsi une plateforme inférieure et une plateforme supérieure. Le talus, quant à lui, est la surface inclinée qui fait face à l'avancée des travaux. L'angle formé entre le talus et le plan horizontal est désigné comme l'angle du talus du gradin.

L'exploitation du gradin s'effectue à travers des zones parallèles appelées enlèvements. La division de ces enlèvements en blocs permet d'attaquer simultanément le gradin avec plusieurs chantiers. Enfin, la plateforme sur laquelle sont installés les engins d'excavation est connue sous le nom de plateforme de travail du gradin.

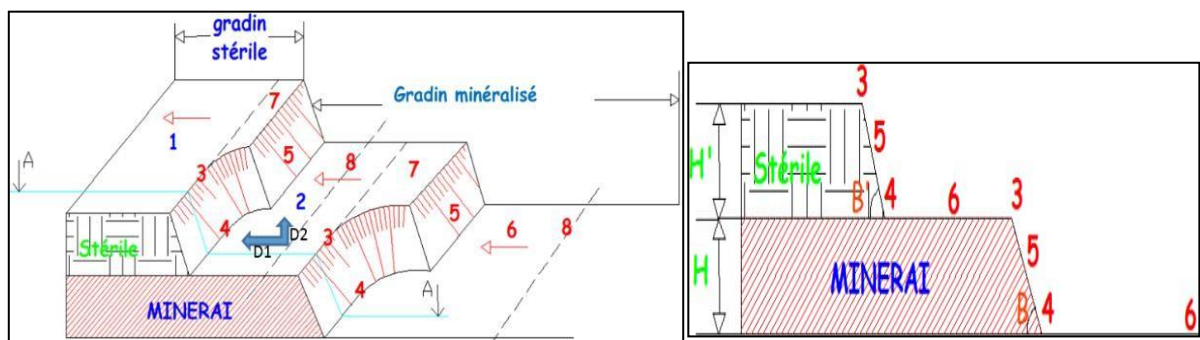


Fig.21 : Formes des gradins au cours de l'avancement de l'exploitation (Igiraneza ,2017)

1 : gradin de stérile 2 : gradin minéralisé 3 : arête supérieure 4 : arête inférieure 5 : talus
6 : plate-forme 7 : tranche d'enlevure 8 : Axe de la tranchée ou piste d'accès au gradin
D1:direction de déplacement du front des travaux D2: direction de déplacement du front du gradin.

Les principaux composants du système d'exploitation sont déterminés par la nature du gisement et les équipements utilisés pour l'extraction et le transport du minerai et des stériles :

- **Hauteur des gradins** : Elle est déterminée en tenant compte des critères opérationnels de l'excavateur La hauteur du gradin, Amplitude de la plateforme de travail, Taille du bloc, Étendue et direction de progression du front d'œuvre de la planification des travaux, de la sécurité sur le chantier et d'autres éléments. Dans le cas d'extraction de roches tendres sans foisonnement préalable, la hauteur du gradin ne doit pas dépasser le maximum autorisé pour l'excavateur.
- **Inclinaison du talus du gradin** : Elle dépend des caractéristiques physico-mécaniques de la roche, de la stabilité des talus et des machines minières.
- **Talus global de la carrière**
- **Plateforme de travail** : C'est la plateforme où sont situés les équipements principaux et secondaires utilisés pour l'exécution des travaux miniers. Elle est définie par les caractéristiques des équipements de chargement et de transport, ainsi que la méthode
- **D'abattage** (la largeur du tas de roches abattues en dehors de l'enlèvement). Les paramètres de cette dernière dépendent des propriétés physico-mécaniques des roches et des composants du système d'exploitation. La largeur minimale de la plateforme doit Être suffisante pour permettre une circulation sans entrave des machines. Sur des sols doux, la largeur de la plateforme de travail est définie par analogie.

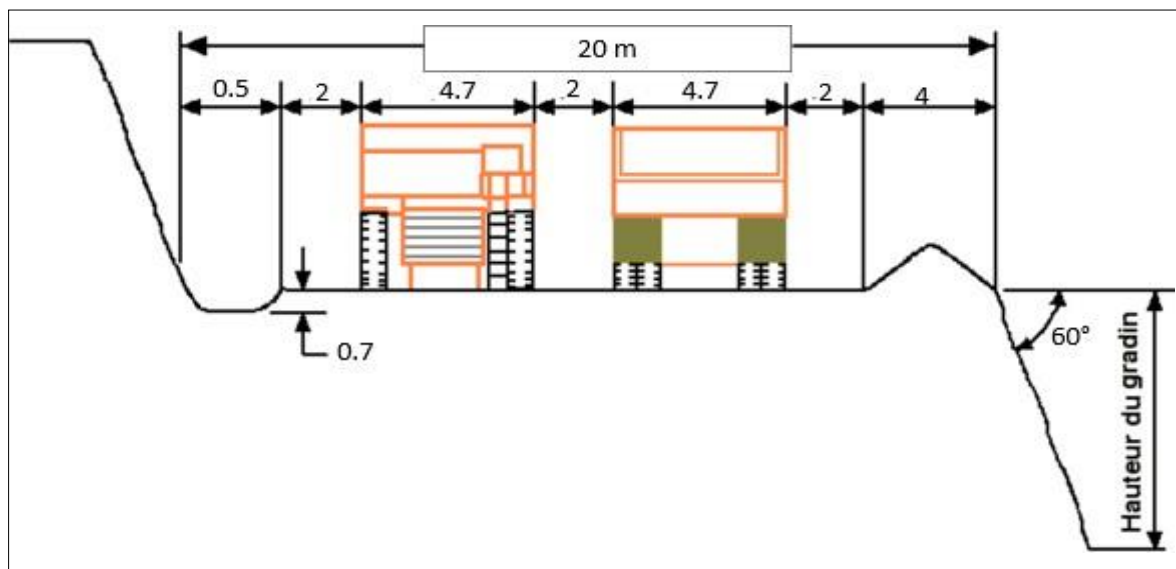


Fig.22 : Largeur de la plateforme de travail (gradin stérile) ;(ENOF Maghnia)

2.6. Techniques et paramètres pour l'exploitation d'une carrière Les principaux paramètres de la gestion de la carrière comprennent :

- La hauteur du gradin.
- Amplitude de la plateforme de travail.
- Taille du bloc.
- Étendue et direction de progression du front d'œuvre.

Le front de travail peut se mouvoir en parallèle, en éventail ou de manière radiale. Dans la première situation, tous les points du front avancent à une vitesse identique. Les gradins sont utilisés par des levures de largeur identique. On pratique le déplacement parallèle dans les gisements de vaste étendue.

3. Exploitation de la bentonite :

La bentonite peut être exploitée dans des carrières à ciel ouvert (par exemple le gisement de Hammam Boughrara) ou avec une exploitation en sous terrain.

Conditions d'exploitation : Dans le cas d'une exploitation à ciel ouvert, il faut que le rapport Découverte/Extraction (D/E) ne dépasse pas 10. La taille minimale du gisement exploitable Est de l'ordre de 200 000 Tonnes. La distance entre le gisement et le lieu de consommation peut atteindre plusieurs milliers Kms.

A. La bentonite dans la boue de forage :

L'industrie pétrolière représente le principal débouché de la bentonite, qui est utilisée comme « composant visqueux » dans les boues de forage. Grâce à ses caractéristiques rhéologiques, elle permet de répondre aux diverses demandes des puits pétroliers, comme la stabilité de l'infrastructure (par imprégnation du sol et création d'un cake pour limiter la filtration vers la paroi) et l'élimination des débris.

Pendant un forage, la boue bentonitique est introduite sous pression à l'intérieur de la tige de forage avant de remonter sur les parois du trou foré. Lors de son parcours, la boue va initialement lubrifier la tête de forage avant d'entourer les cuttings pour faciliter leur extraction, puis finalement déposer une couche stabilisatrice sur les parois. Lorsque les travaux sont interrompus temporairement, la boue se transforme en gel et les cuttings restent en suspension, empêchant ainsi leur dépôt au fond. Lorsque la reprise a lieu, la boue devient plus fluide et les travaux se poursuivent. Si les pertes lors de la circulation sont minimales, la

boue utilisée est recyclée et éventuellement réinjectée dans le puits. Dans certaines circonstances, l'ajustement des caractéristiques de la boue peut faciliter le colmatage les pertes.

B. La bentonite en fonderie :

La bentonite de fonderie est utilisée pour la confection des moules dans le processus de fonderie. Cette application est associée à l'introduction de sables dits synthétiques sur le marché. Il s'agit principalement de sables siliceux auxquels on ajoute une argile sodique dans une proportion variant de 4 à 6 %. Cette proportion peut fluctuer grandement et peut grimper jusqu'à 10 à 15 % pour les moulages sous pression. L'infiltration de ce domaine par les bentonites est une progression qui se renforce. Aux États-Unis, la demande de bentonite non expansive est la plus élevée, tandis que celle pour la bentonite du type Wyoming arrive en troisième position.

C. La bentonite de charge industrielle

4. le traitement :

Avant d'être commercialisé le matériau argileux subit un traitement physico-chimique approprié qui le rend apte à une utilisation donnée, ce traitement se fait en 6 stades :

- Transport et stockage de matières premières.
- Alimentation et concassage.
- Activation (Carbonate de Soude + Magnésie).
- Séchage.
- Broyage.
- Ensachage. (Benmelouka.Tolba 2020)

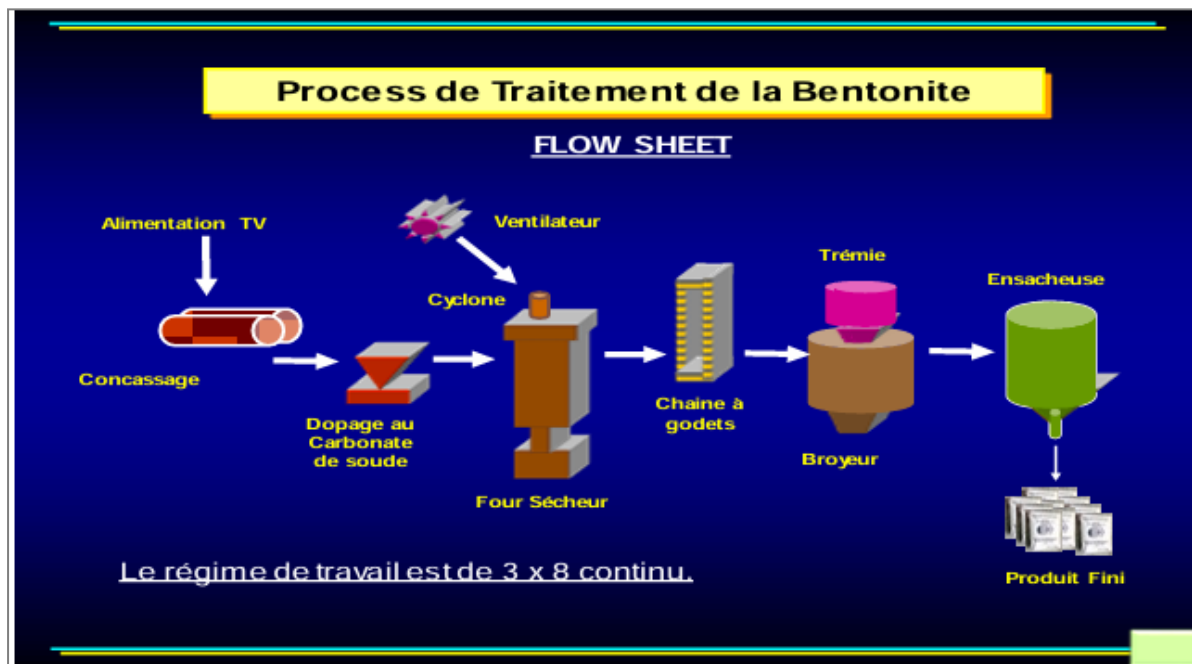


Fig.23 : Procès de traitement de la bentonite

STADE 1 : Transport et stockage de matières premières

Le matériau brut est transporté par camions depuis la carrière jusqu'à l'usine de traitement



Fig.24 : Transport de produit brut par camion

STADE 2 : Alimentation et concassage

Une chargeuse sur roues alimente la trémie, tandis qu'un alimentateur déplace le matériau non pesé vers un convoyeur à bande qui, à son tour, alimente le concasseur. Ce dernier a pour mission de réduire la taille des particules à une granulométrie inférieure à 50mm. Un second tapis roulant acheminera le TV vers la trémie temporaire après vers le système d'activation.



Fig.25 :L'alimentation de trémie

STADE 3 : Activation

Il comprend un dispositif de mesure de carbonate de soude équipé d'un vibreur pour faciliter l'écoulement du réactif. L'association de la bentonite TV et du carbonate de soude (2à 3%) est réalisée à l'aide d'une vis sans fin, en présence d'eau pour favoriser la dissolution du carbonate et améliorer la réactivité (accélérer l'activation). Après avoir été activée, la bentonite est déversée dans un transporteur à bande situé à la sortie de la vis sans fin qui assure ensuite l'alimentation du séchoir.



Fig.26 :L'activation avec le carbonate de sodium

STADE 4 : Séchage et broyage

Séchage : Il s'effectue dans un four sécheur rotatif à écoulement parallèle (le TV et l'air chaud on même sens d'écoulement). Le séchoir est composé de trois parties : La chambre de combustion, virole et décharge de TV séché. Un ventilateur aspirant est installé à la sortie de séchoir pour aspirer les gaz chauds ensuite créer une dépression dans la virole (réaliser un séchage plus ou moins homogène). Les poussières sont captées par un cyclone et dirigés vers la trémie d'alimentation de broyeur par l'intermédiaire d'un élévateur à godets.



Fig.27 : Four sécheur

CHAPITRE III : MODE D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DE LABENTONITE

Broyage : Le broyeur à pendu est composé d'un broyeur de marque SOUDRON SACRE type BP10 à trois pendules, cyclone et silo de récupération des particules fines. Le broyage a pour rôle de réduire les particules de bentonite selon la granulométrie désirée.



Fig.28 : Le broyeur

STADE 5 : Ensachage

Le produit fini, la bentonite broyée, est entreposé dans un silo de stockage. La poudre se déverse grâce à l'injection d'air (via un compresseur ou un gonfleur). Le conditionnement s'effectue dans des bigbags de 1250Kg, en fonction des demandes des clients.



Fig.29 : Compresseur



Fig.30: Les silos de stockage



Fig.31 : Les bigbags

5. Protocole d'analyse :

Ce mode opératoire a pour objet de décrire les méthodes d'analyses effectuées au niveau de laboratoire afin d'assurer que le produit fabriqué satisfait aux exigences spécifiées.

1. -Description

1.1. Contrôle du tout venant

A. Echantillonnage T. V. stocks usine

Prélèvement des échantillons ponctuels selon une maille de 1m x 1m couvrant la superficie du tas.

Les échantillons obtenus seront mélangés et subiront à leur tour le quartage, et ce par l'élimination d'un quart de l'échantillon. L'opération (mélange et quartage) continue jusqu'à l'obtention d'un échantillon final représentatif dont le poids est 02 Kg.



Fig.32 : Echantillonnage de tout venant

Préparation de l'échantillon (phase 1)

- Concasser l'échantillon
- Mélanger ensuite et procéder au quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon
- Représentatif d'environ 500g



Fg. 33 : Concassage d'échantillon

Refus

Equipement :

- Balance de précision à 0,01 g
- Tamis 75 microns
- Etuve

Procédure :

- Peser exactement 100g de tout-venant
- Mettre en suspension avec 350cm³ d'eau de robinet, additionner 0,2g l'hexaméthaphosphate de sodium
- Agiter pendant 30mn
- Transférer l'échantillon dans le tamis, laver l'échantillon sur ce tamis avec de l'eau.

Sécher le résidu à l'étuve jusqu'à poids constant.

Calcul :

$$\text{Résidu } 75\mu (\%) = \frac{\text{poids de résidu en g}}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100$$

Préparation de l'échantillon (phase 2)

Activation au carbonate

- Prendre 100g de tout-venant
- Ajouter 4g de carbonate de sodium
- Mélanger le tout avec un peu d'eau jusqu'à obtention d'une pâte
- Former de petites billes et les mettre dans l'étuve
- Broyer le produit après suscité et faire passer dans un tamis 150μ



Fig.34 : Mélange de t. v et carbonate de sodium

Lecture sur viscosimètre à 600 tr/mn

Equipement :

- Balance de précision à 0,01 g
- Mélangeur $11\,000 \pm 300$ rpm en charge avec une seule couronne d'un diamètre d'environ 1 pouce
- Container 7 pouces de profondeur (180 mm), (97 mm) diamètre de sommet et (70 mm) diamètre de base
- Viscosimètre référence API spécification 13A
- Eprouvette graduée de 500 ± 5 cm³
- Bros de 500 cm³ environ
- Minuterie mécanique à 0,1 mn de précision.

Procédure :

- Préparer une suspension de $22,5 \pm 0,1$ g de T. V. préparé (selon phase a et c) dans 350 ± 5 cm³ d'eau distillée. Après agitation de $5 \pm 0,5$ mn, enlever la solution de l'agitateur et gratter les grains de bentonite adhérente à la paroi.

- Remettre en agitation et répéter la même opération que précédemment après 5 - 10 mn d'agitation, le temps total est de 20 ± 1 mn.
- Laisser la suspension de la bentonite en repos dans un broc pendant 16 heures à T° ambiants, noter la durée de vieillissement.
- Après vieillissement de 16 h, versez la suspension dans le container de l'agitateur et agiter pendant $5 \pm 0,5$ mn.
- Verser la suspension dans les brocs du viscosimètre.
- Noter les lectures à 600 tr/mn et 300 tr/mn et ce quand l'aiguille se stabilise sur le cadran

1-3 : Caractéristiques de bentonite de forage pétrolier Norme pour la bentonite de forage pétrolier

Le contrôle de qualité de la bentonite de forage se fait selon la norme API spécification 13A OCMA.

Les paramètres contrôlés sont :

Spécification	Requise (API OCMA GRADE)
Lecture 600 tr/mn	30 cps min
Yieldpoint/viscosité plastique ratio	6% max
Perte au filtrat	16 ml max
Résidu sur tamis 75 μ	2.5 max
Humidité	13% max

Tableau 07 : Les paramètres contrôlés de qualité de la bentonite selon la norme API

Lecture 600 tr/mn (Viscosité)

Procédure

- Préparer une suspension de $22,5 \pm 0,1$ g de T. V. préparé (selon phase a et c) dans 350 ± 5 cm³ d'eau distillée. Après agitation de $5 \pm 0,5$ mn, enlever la solution de l'agitateur et gratter les grains de bentonite adhérente à la paroi.
- Remettre en agitation et répéter la même opération que précédemment après 5 - 10 mn d'agitation, le temps total est de 20 ± 1 mn.
- Laisser la suspension de la bentonite en repos dans un bras pendant 16 heures à T° ambiants, noter la durée de vieillissement.
- Après vieillissement de 16 h, versez la suspension dans le container de l'agitateur et agiter pendant $5 \pm 0,5$ mn.
- Verser la suspension dans les bras du viscosimètre.
- Noter les lectures à 600 tr/mn et 300 tr/mn et ce quand l'aiguille se stabilise sur le cadran

Yieldpoint/viscosité plastique (Ratio)

Calcul :

- Viscosité plastique = lecture 600 tr/mn - lecture 300 tr/mn
- Yieldpoint = lecture 300 - Viscosité plastique
- Yieldpoint/Viscosité plastique ratio = yieldpoint/viscosité plastique

Perte au filtrat

Procédure :

- Reprendre la suspension précédente et agiter pendant $1 \pm 0,5$ mn.
- Verser la suspension dans la cellule de filtre presse. Avant la filtration vérifier l'étanchéité des pièces et s'assurer que celle-ci est bien sèche
- Régler le 1^{er} timer à 7,5 mn et le second à 30 mn, ouvrir la vanne de pression à 100 psi (7 bars), et placer une éprouvette sous l'orifice de la cellule.
- Toutes ces opérations doivent être effectuées simultanément dans moins de 15 secondes.

CHAPITRE III : MODE D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DE LABENTONITE

- Après 7,5 mn le 1^{er} timer sonne, enlever l'éprouvette et la recharger par une autre ou bien noter le volume du filtrat.
- Quand le second timer sonne (30 mn) enlevé de l'éprouvette.

Calcul :

Filtrat = 2x volume de filtrat recueilli entre 7,5 et 30 mn.

N BIG BAG	1035-1039	1040-1041	1045-1049	1050-1054
L 600	30	29	28	30
L 300	25	24	23	25
H2O	10.0	9.6	10.3	9.5

Tableau 08 : Les résultats des analyses de viscosité

Résidu 75 microns

Equipement :

- Etuve 105° C $\pm$ 3°
- Hexaméthaphosphate de sodium (40 $\pm$ 0,1 g d'hexaméthaphosphate de sodium et 3,60 $\pm$ 0,1 g de carbonate de sodium dans 1000 Cm³ d'eau)
- Balance de précision à 0,01g
- Mélangeur 11000 $\pm$ 300rpm en charge avec une seule couronne d'un diamètre d'environ 1 pouce.
- Container 7 pouces de profondeur (180 mm).
- Tamis 75 microns (76 mm de diamètre, 63 mm du sommet du cadre jusqu'à la toile métallique).

CHAPITRE III : MODE D'EXPLOITATION ET TRAITEMENT DE LABENTONITE

Procédure :

- Prendre 10 +/- 0,01 g de bentonite.
- Mettre en suspension avec 350 cm³ d'eau d'additionner de 0,2 g d'hexaméthaphosphate de sodium.
- Agiter pendant 30 mn.
- Transférer l'échantillon dans le tamis, laver l'échantillon sur ce tamis avec de l'eau.
- Sécher le résidu à l'étuve jusqu'à poids constant.

Calcul :

$$\text{Résidu } 75\mu (\%) = \frac{\text{Poids du résidu en g}}{\text{Poids de l'échantillon}} \times 100$$

Humidité

Equipement :

- Etuve 105 °C ± 3° C.
- Balance de précision à 0,01 g
- Spatule.

Procédure :

- Peser 10 ± 0,01 g de bentonite.
- Sécher à l'étuve jusqu'à poids constant (02 heures)
- Peser l'échantillon séché.

Calcul :

$$\text{Humidité (\% en poids)} = \frac{\text{Poids de l'échantillon}}{\text{Perte en poids}} \times 100$$

Désignation	L 600	L 300	P.F	H2o	Refus	Ratio
Echmoy	29	25	20	9.8	3.5	5.2

Tableau N 09 : Les résultats des analyses d'échantillon moyen

Désignation	L 600	L 300	Refus	H2o	P .F
T .V	32	28	17.2	21.3	10.5

Tableau N 10: Les résultats des analyses de tout venant

Interprétation des résultats de traitement de labo : (Bouanani ghalem ,2021)

Selon les résultats obtenus à partir de l'étude des paramètres pétrophysiques qui sont Attribuée essentiellement pour les trois produits fins, à savoir : La bentonite de forage ; la Bentonite de charge d'industrielle ; la bentonite de fonderie. Nous remarquons que ces Résultats répondent favorablement à l'énorme API (voir annexe, Tab. 8). Ce qui implique Que cette bentonite est de bonne qualité pour ces produits.

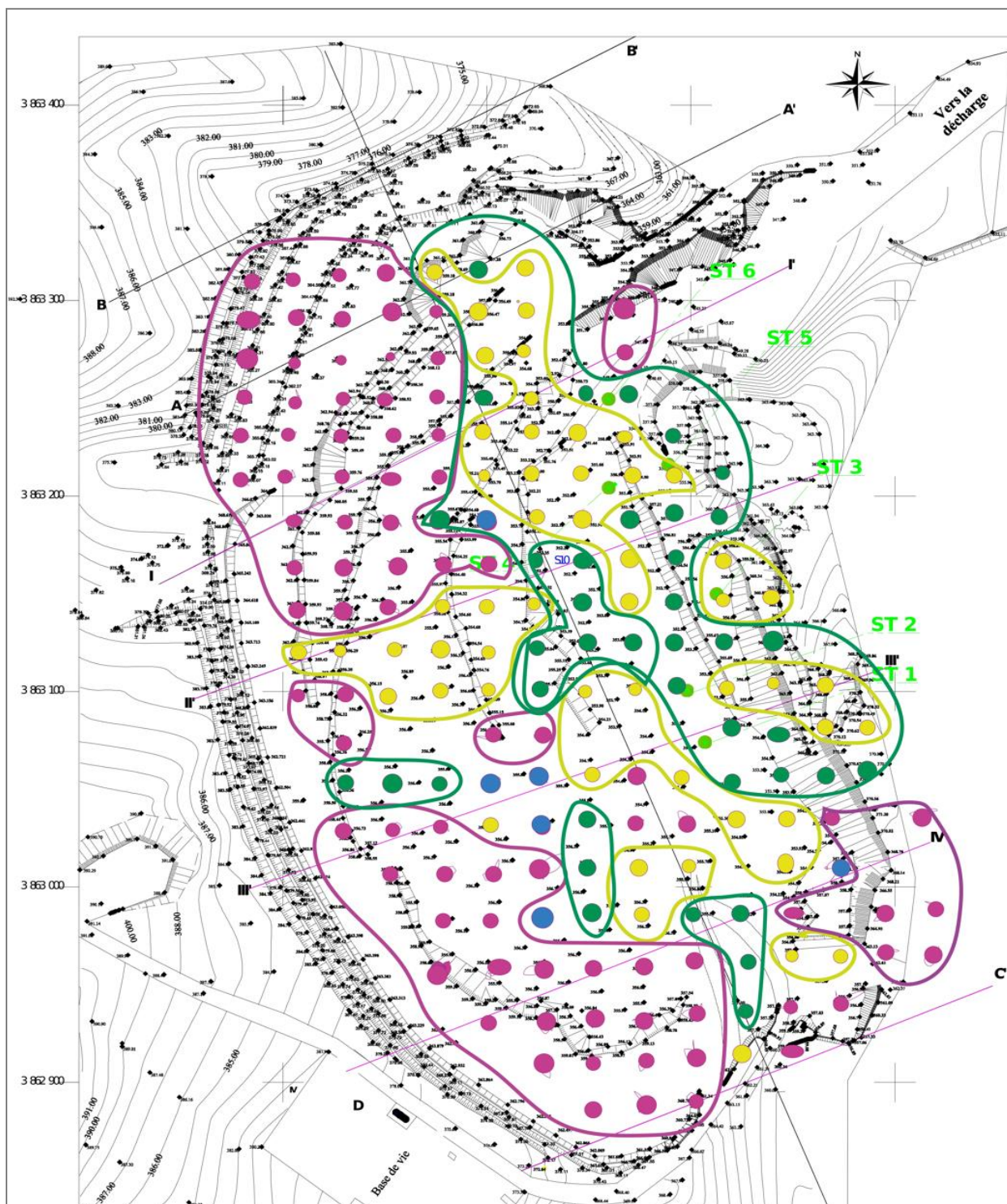
Qualité de la bentonite (Igiraneza,2017)

Les qualités des bentonites du gisement de Hammam Boughrara varient en fonction des Carrières et des profondeurs ce qui permet leurs utilisations dans plusieurs domaines (Mebarki Et Tabahriti, 2011).

Selon les résultats des essais physico-chimiques faits par BUMIGEME (société canadienne), la Répartition qualitative du minerai de bentonite dans les carrières de Roussel I et Dar M'Barek Est la suivante :

Carrière de Dar M'Barek (réserves de 5.20 Mt de minerai)

- 60% pour boues de forage/terre décolorante et
- 40% pour fonderie



LEGENDE :

- : Bon qualité ($l_{600}/16h > 25$) ● : Qualité médiocre ($l_{600}/16h$ entre 18 et 16)
● : Mauvaise qualité ($l_{600}/16h < 18$) ● : Stérile éch : 1/1000

Fig.35 : Carte de qualité de la bentonite du gisement Dar M'Barek, Mai 2023

CHAPITRE IV : NOTION DES
RESERVES ET GENERALITE
SUR LES IMPACTS
ENVIRONNEMENTAUX

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

I. Rappel de la notion de réserves et leur classification

Dans le domaine des sciences de l'environnement, le concept de réserves minérales peut sembler complexe, mais il est crucial de le comprendre en raison de son importance mondiale inhérente. Ce guide complet propose une plongée dans les subtilités de la compréhension et de l'étude des réserves minérales, depuis leur explication de base jusqu'à des exemples pratiques. Tu auras également un aperçu des resettes du rôle des pratiques durables. En outre, le rôle de la géologie des gisements de minerai et les nuances du système de classification des ressources minérales seront abordés. Embarque dans cette exploration scientifiquement instructive et découvre les nombreuses couches des réserves minérales.

En général, on distingue quatre grandes catégories de réserves :

1. **Réserves géologiques** : Ensemble des réserves tout confondues en éléments utiles d'un Gisement ;
2. **Réserves exploitables** : Ensemble des réserves géologiques qui peuvent être exploitées Avec profit. Celles qui ne peuvent être exploitées pour de multiples raisons (conditions D'exploitation défavorable, traitement du minerai trop couteux, etc.) sont appelées Réserves inexploitable.
3. **Réserves industrielles** : les réserves exploitables ne sont jamais extraites à 100%, la Partie des réserves laissée sur place s'appelle perte en projet. Les réserves industrielles Constituent donc à la soustraction des pertes en projet aux réserves exploitables.
4. **Réserves récupérables** : les réserves industrielles ne sont jamais récupérées à 100%, il Y a toujours une partie des réserves qu'on appelle perte d'exploitation laissée sur place À cause de la mauvaise conduite des travaux, d'erreurs techniques ou accidents Géologiques. Les réserves récupérables constituent donc celles récupérées à la fin du Processus d'exploitation. Selon le degré de prospection et d'étude, les réserves géologiques se classent en trois Catégories :
 - **Réserves Prouvées ou certaines (B)** : Une réserve de minerai « prouvée » est L'estimation de la masse (tonnage) et de la teneur/qualité de la ressource minérale « Mesurée » qui peut être extraite légalement et à profit, selon le plan minier choisi.

Compte tenu de la faible marge d'erreur qui caractérise cette catégorie répond aux Exigences de la planification et de la faisabilité de la production.

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

- **Réserves Probables (C1) :** Une réserve de minerai « probable » est l'estimation De la masse (tonnage) et de la teneur/qualité de la ressource minérale « indiquée », qui Pourrait être extraite selon un plan minier. En conséquence de la marge d'erreur typique

De cette catégorie de ressource, la faisabilité technique, la planification minière et Les estimations des coûts et revenus, ne peuvent être établis que d'une façon préliminaire

Ou conceptuelle. Cette catégorie ne répond donc pas à toutes les exigences de la Faisabilité de la production.

- **Réserves possibles (C2):** ces sont des réserves très peu connus, qui sont établis par des Méthodes indirectes au cours de l'étude géologique.

II. Méthode Calcul de réserve

Les réserves géologiques de la carrière de Dar M'Barek ont été évoluées par la méthode des sections. Cette dernière consiste à tracer une suite de sections (habituellement Parallèles) à travers un gisement, déterminer les zones de minerais et de stérile dans chaque Section et enfin compiler le volume total, en utilisant les distances entre chaque section (FIG.

Pour évaluer les réserves de Dar M'Barek, quatre coupes géologiques ont été Réalisées (I-I', II-II', III-III' et IV-IV') (FIG. 16, 17, 18, 19) dans la direction E-W.

Les Formules utilisées pour le calcul de volume entre les coupes géologiques sont comme suit :

Prisme : $V = \frac{(S1+S2) \times D}{2}$; Distance entre deux coupes successives :

Cône : $V = \frac{S \times D}{3}$

a- Réserve exploitable :

L'ensemble des réserves calculées dans toutes les catégories est évalué à 4 842 845,82 T, dont 2 302 867,26 T de réserves géologiques de catégorie B. Le tableau ci-présents forts à 9 sortis antes de la fin de la formation. (Voir l'annexe Tab.1). Les argiles bentoniques utilisables extraites de la carrière de Dar M'Barek se trouvent dans une limite entre le niveau de 370 mètre à 260 mètre. La méthode des niveaux d'exploitation est utilisée pour estimer les

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

réserves contenues dans cette section du gisement. L'ensemble des réserves calculées toutes catégories confondues s'élève à 4 775 298,97 T, dont 2 853 478 T de réserves exploitables de catégorie B+C1 et 1 921 821 T de réserves de catégorie C2.

Dans le cadre de transfert des réserves de la catégorie C2 vers C1, il est souhaitable

D'effectuer des travaux de reconnaissance supplémentaire dans le gisement de Dar M'Barek Afin d'assuré que les réserves exploitables sont suffisantes pour alimenter l'usine de Traitement qui sera implanté à Bab El Assa.

Le programme des travaux complémentaire prévus comprend 04 sondages carottant (Fig.37, 38, 39,40).

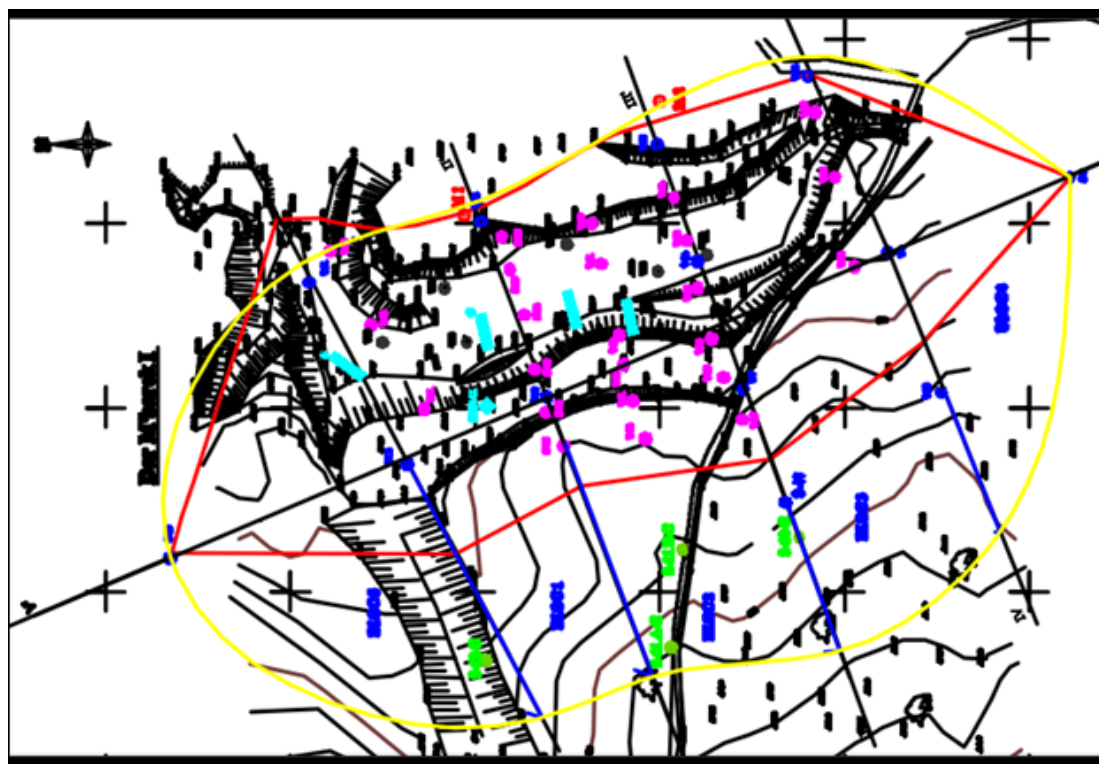


Fig.36 : Plan de calcul des réserves du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

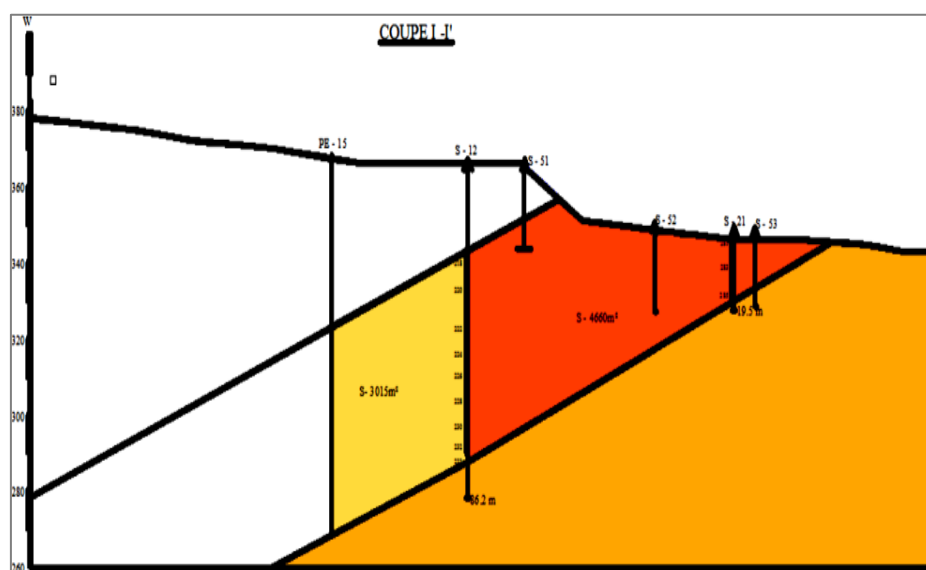


Fig.37 : Coupe géologique I-I' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).

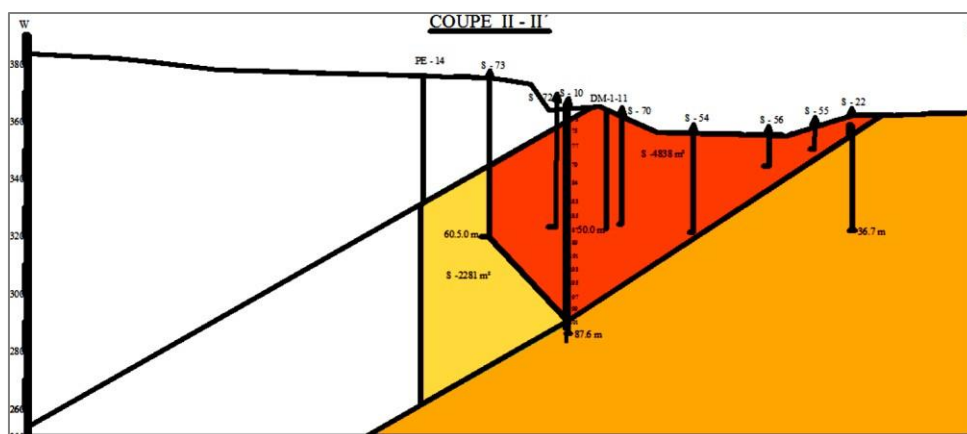


Fig.38 : Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

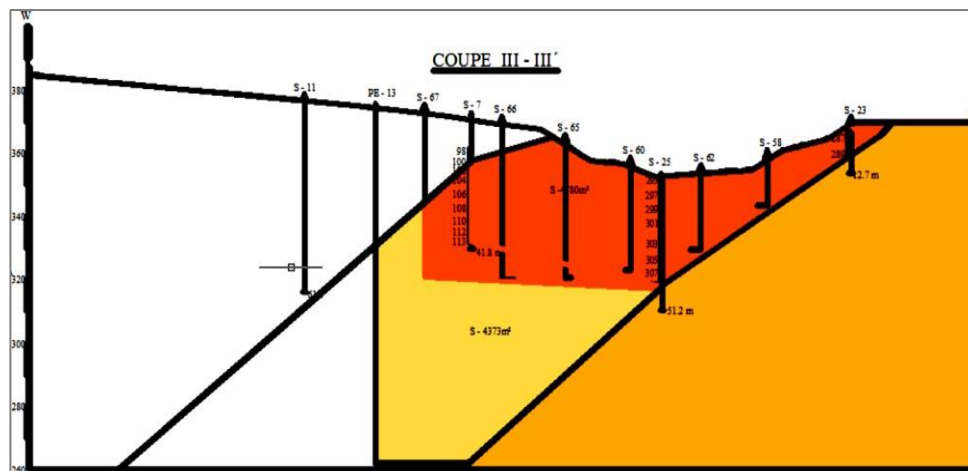
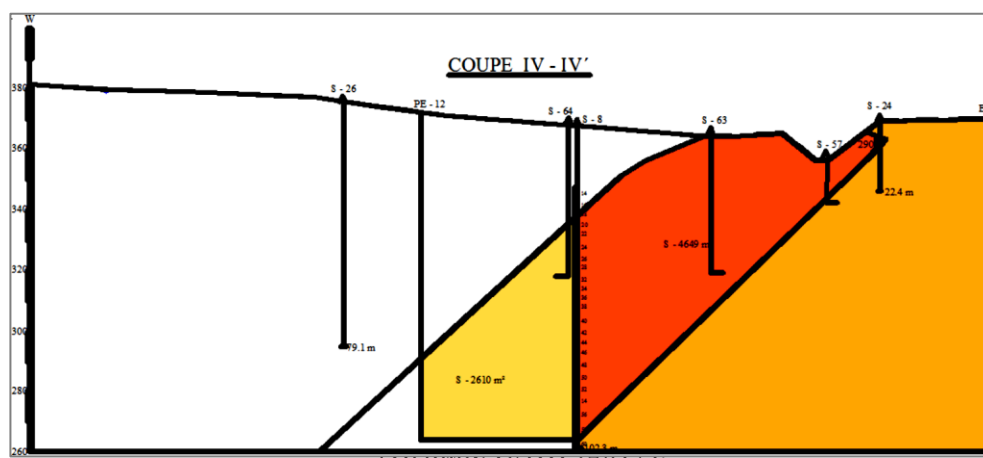


Fig.39 : Coupe géologique III-III' du gisement de Dar M'Barek (Groupe ENOF, 2017).



LEGENDE :

	Réserves géologique à la catégorie B
	Réserves géologique à la catégorie C1
	Réserves géologique à la catégorie C2
	Formation continentale (argiles, conglomérats)
	Tufs pyroclastiques de composition rhyolitique

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Conclusion :

Dans le développement d'un projet minier, l'estimation des réserves est l'étape la plus crucial pour la réussite du projet car c'est en fonction des réserves mise en évidence que se décide le sort de la mine surtout en termes d'investissements. Cette étape mérite donc une attention très Particulière pour éviter soit la surestimation ou la sous-estimation qui peuvent avoir des conséquences désastreuses sur le projet. Il est toujours préférable de chercher à tendre vers une

Connaissance parfaite du gisement en termes de réserves globales et celles exploitables. Les gisements de Dar M'Barek I est parmi les mieux connus par rapport aux autres gisements et les réserves globales sont au tour de 5 Millions de tonnes.

Cependant, en plus des réserves de catégorie C2 dont Le passage vers les réserves de catégorie C1 ou B exige d'autres forages de sondage, on remarque des variations des résultats dans les calculs des réserves qui ont été effectués par les différentes parties.

Pour une meilleure connaissance des réserves des gisements (qui conduira à une exploitation optimale des réserves), il est nécessaire de faire d'autres

Travaux d'exploration (sondages par forages, du gisement) pour augmenter les réserves Minérales déjà découvertes et exploitées, et surtout en utilisant de nouvelles approches et Technologies (autres méthodes de sondages, surtout les méthodes géophysiques, une Modélisation en 3D), tout en tenant compte de la rentabilité des investissements

La Durée de vie de la carrière de Dar M'Barek

La durée d'exploitation est déterminée par l'expression suivante : $T=Q/Pa$

Où : Q : les réserves exploitables du gisement, $Q= 4\,775\,298,97\text{ T}$ dont $2\,853\,478\text{ T}$ de catégorie B+C1.

P_a : la production annuelle de la carrière, $P_a = 220\,000\text{ tonnes/an}$.

Les réserves exploitables des argiles sont limitées entre le niveau 370 – 260 m et qui sont de l'ordre de $4\,775\,298,97\text{ T}$ pour une durée de vie de 21.5. $T= 21,5\text{ ans}$

CHAPITRE IV : NOTION DES RESERVES ET GENERALITE SUR LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Ce calcul reste valable si et seulement si les réserves en catégorie C2 seront certifiées en réserves de catégorie C1 ou B, sinon le cadrage de la fosse d'exploitation dans le nouveau modèle Géologique est nécessaire, et une nouvelle évaluation des ressources exploitables doit être établie. (Igiraneza 2017).

Réhabilitation des carrières :

L'exploitation minière est essentielle pour le progrès du pays, mais comme toute activité humaine, elle peut avoir des impacts environnementaux négatifs, tels que des perturbations du relief, la contamination et la réduction ou l'extinction de la faune et de la flore. La restauration du site exploité par la carrière est essentielle pour préserver l'apparence naturelle de la région. Il est donc conseillé de planifier cette opération soit au fur et à mesure de l'exploitation, soit une fois celle-ci terminée. Conformément à la législation minière en Algérie, celui qui détient

Le titulaire du permis minier est obligé de procéder à la réhabilitation et à la remise en état du site de manière à réinsérer autant que possible le lieu dans son environnement d'origine, ou du moins à lui attribuer une nouvelle fonction qui pourrait s'intégrer à ce contexte, ou encore à le transformer pour d'autres usages dans les limites du faisable.

En général, la restauration implique une revitalisation de la zone grâce à la plantation d'essences forestières. (Igiraneza 2017).

CHAPITRE V :CONCLUSION
GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présence de la bentonite dans la région de Hammam Bouhrara est étroitement liée aux événements tectoniques et volcaniques qui ont touché le nord-ouest algérien ainsi que la zone de Maghnia. Ce gisement est le produit de la transformation des rhyolites, perlites et tufs pyroclastiques, sous l'influence d'un processus hydrothermal, facilité par la présence de failles et de fractures. Les argiles bentonitiques provenant du site de Dar M'Barek sont d'une excellente qualité et sont aptes à être employées comme boues de forage, terres décolorantes, bentonite pour fonderie, bentonite de remplissage et bentonite pour la granulation du fer. Les failles constituent un facteur géologique influant directement sur la qualité et la quantité de bentonite. la composition du substrat d'origine des argiles bentonitiques et le processus d'altération (bentonitisation) qui contrôle les dépôts pyroclastiques et en définit l'épaisseur des réserves. Le gisement de Dar M'Barek I est le plus connu par rapport aux autres, avec des réserves totales estimées à environ 5 millions de tonnes.

À l'issue de cette étude, nous proposons d'autres suggestions essentielles et indispensables pour une utilisation optimale, rationnelle, lucrative et conforme à normes minières et environnementales

Pour mieux comprendre les réserves des gisements de Dar M'Barek I et parvenir à une exploitation optimale, il est primordial d'effectuer davantage de travaux d'exploration (forages) afin d'accroître les réserves minérales déjà identifiées et exploitées. Il est crucial d'employer des techniques novatrices et des technologies avancées (méthodes de forage différentes, notamment géophysiques, modélisation 3D), tout en prenant en compte la rentabilité des investissements.

De plus, une analyse des paramètres pétro-physiques a été menée sur 5 échantillons dans le but d'obtenir une vision d'ensemble de la qualité et du groupe minéral présent dans cette argile bentonitique. Dans ce cadre, les conclusions tirées de l'analyse des paramètres pétro-physiques sont principalement attribuées aux trois produits spécifiques : la bentonite de forage, la bentonite industrielle et la bentonite de fonderie. Les résultats obtenus sont en adéquation avec l'énorme API, ce qui signifie que la bentonite prévue comme matière première pour ces produits est de qualité supérieure.

CHAPITRE V : CONCLUSION GENERALE

Cette étude nous permet de déduire que Hammam Boughrara détient d'importantes réserves stratégiques de bentonite. Ces ressources contribuent à la fabrication de produits finis de haute qualité qui répondent aux besoins du marché, tant national qu'international.

ANNEXES

ANNEXES 01

	Cat.Des réserves	N°des coupes	Surface des sections	Surface moyenne	Distance	Formule de Calcule	Volume	Réserve en tonnes
	B	I-I'	4 666,00	4 749,00	83,00	Prisme	394 167,00	674 025,57
	B	II-II'	4 838,00					
	B	II-II'	4 838,00	4 809,00	102,00		490 518,00	838 785,78
	B	III-III'	4 870,00					
	B	III-III'	4 870,00	4 714,00	98,00		46 221,00	790 055,91
	B	IV-IV'	4 649,00					
Totale	B						1 346 706,00	2 302 867,00
	C1	I-I'	4660,00	1553,00	132,00	Cône	204 996,00	350 543,16
	C1	IV-IV'	4649,00	1549,50	101,00		156 499,50	267 614,15
Totale	C1						361 495,50	618 157,31
	C2	I-I'	3 015 ,00	2 648,00	80,00	Prisme	211 840,00	362 246,40
	C2	II-II'	2 281,00					
	C2	II-II'	2 281,00	3 327,00	105,00		349 335,00	597 362,85
	C2	III-III'	4 373,00					
	C2	III-III'	4 373,00	3 491,50	98,00		342 167,00	585 105,57
	C2	IV-IV'	2 610,00					
		I-I'	3 015,00	1 005,00	132,00	Cône	132 660,00	226 848,60
		IV-IV'	2 610,00	870,00	101,00		87 870,00	150 257,70
Totale	C2						1 123 872,00	1 921 821,12
TOTALE	B+C1+C2							4 842 845,49

Tableau1 : Réserves géologique du gisement de Dar Mbarek (2017)

Référence bibliographie

- ABDERRAHIM, M., BENMELOUKA M., TOLBA, W.** (2020). Plan de développement du quartier Roussel ii du complexe minier de bentonite, hammam boughrara, tlemcen
- BELGHOUL, MA.,** (2015). Etude du vieillissement de la bentonite de Maghnia, Tlemcen. ENP. Page 110
- BELLON, H., GUARDIA, P., et MAGNE, J.** (1984) : Les associations volcaniques du Miocène supérieur de la région oranaise (Algérie occidentale).
- BENDOUKHA, R.,** (2008). Etude dynamique et géochimiques de volcanisme Mioplio-quaternaire de l'oranie nord occidental
- BOUKHEDIMI, MA.,** (2008): Origine du processus de bentonitisation des terrains Volcanogènes rhyolitiques de Hammam Boughrara (Maghnia, Algérie Nord
- BOUNOUAR, Z., BOUZID, L.,** (2024): cartographie petrographique des terrains volcanogenes rhyolitiques de hammam boughrara et des gisements de bentonites associes
- BUMIGEME, INC.,** (Janvier 2010) : étude technique et économique des gisements de Bentonite de M'Zila (Mostaganem) et de hammam boughrara (Maghnia) : Évaluation Et caractérisation des réserves, volume ii.
- CHRISTIDIS, G.E.,** (1998). Comparative study of the mobility of major and trace elements during alteration of an andesite and a rhyolite to bentonite, in the islands of Milos and Kimolos, Aegean, Greece. *Clays and Clay Minerals*, 46(4), 379–399.
- ENOF Maghnia (Mars 2017) : Plan de développement et d'exploitation de la carrière d'argiles bentonitiques de Dar M'Barek 01, Hammam Boughrara (W. Tlemcen),
- HARVEY, C.C., & LAGALY, G.** (2006). *Clays and Clay Minerals*. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.
- HOSTERMAN, J.W., & PATTERSON, S.H.** (1992). Bentonite and Fuller's Earth Resources of the United States. U.S. Geological Survey Bulletin 2142.
- IGIRANEZA, A.,** étude géologique et valorisation du gisement de bentonite des carrières roussel i et dar m'barek i, (hammam boughrara, maghnia, tlemcen
- INDUSTRIAL MINERALS ASSOCIATION.** (2022). Bentonite. Retrieved from <https://www.ima-europe.eu/industrial-minerals/bentonite/>
- Konta, J.,** (1986). Clay and man: Clay raw materials in the service of man. *Applied Clay Science*, 1(5), 379–395

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

NABIL, B., (2022) Caractérisation, valorisation des bentonites Algériennes pour L'utilisation dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique : Cas du gisement de Maghnia , Tlemcen-Algérie

SAFI, S., (2014) : Etude du comportement de la bentonite et caractérisation physico-chimique Par FTIR au niveau de la société BENTAL – unité de Mostaganem.

SANA, B. & ASMA, G., (2021) caractérisation petrophysique et géochimique d'un gisement de bentonite. Exemple : gisement de dar M'barek –maghnia.

SEGHIR, H., (2010) : « Critique et réorganisation des travaux d'exploitation de La mine à ciel ouvert de Bentonite de Hammam Bouhrara (Maghnia) », Projet de Fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Minier, École Nationale Polytechnique d'Alger.

USGS (2023). Mineral Commodity Summaries – Bentonite. United States Geological Survey.

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-bentonite.pdf>

<https://www.studysmarter.fr/resumes/science-del'environnement/environnement-physique/reserves-et-ressources-minerales/>