

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

***La réduction de la silice du gisement de bentonite de
Maghnia et de M'zila***

Présenté par : **Badreddine DIF & Brahim YOUSFI**

Sous la direction de Dr. Malek OULD HAMOU

Présenté et soutenu publiquement le (20/06/2018)

Composition du jury :

Président	Mr. Larouci CHANANE	M.A.A	Ecole nationale polytechnique
Promoteur	Mr. Malek OULD HAMOU	Dr	Ecole nationale polytechnique
Examineur	Mr. Djamel BENKACI	M.A	Ecole nationale polytechnique

ENP 2018

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département de Génie Minier

Laboratoire de Génie Minier

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

***La réduction de la silice du gisement de bentonite de
Maghnia et de M'zila***

Présenté par : **Badreddine DIF & Brahim YOUSFI**

Sous la direction de Dr. Malek OULD HAMOU

Présenté et soutenu publiquement le (20/06/2018)

Composition du jury :

Président	Mr. Larouci CHANANE	M.A.A	Ecole nationale polytechnique
Promoteur	Mr. Malek OULD HAMOU	Dr	Ecole nationale polytechnique
Examineur	Mr. Djamel BENKACI	M.A	Ecole nationale polytechnique

ENP 2018

Remerciements :

Nous tenons à remercier et exprimé notre gratitude et reconnaissance tout d'abord

Au bon Dieu le tout puissant qui nous éclaire le bon chemin, et n'oublions pas nos chers parents qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Dr. Ouled Hamou Malek, le chef de département du Génie Minier de l'Ecole Nationale Polytechnique, qui nous a encadré et accompagné avec beaucoup de patience tout au long de ce projet.

Nous remercions l'ensemble du personnel de l'entreprise ENOF qui nous a guidés durant notre stage.

On remercie également, Mr. CHANANE Larouci, et Mr. BENKACI Djamel d'avoir accepté de juger ce travail. Et aussi pour nous avoir aidé lors de nos travaux au niveau de notre laboratoire. Sans oublier l'ensemble du corps enseignant qui a encadré notre formation.

En fin un grand merci à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicace :

Je dédie ce mémoire

*A mes chers parents ma mère et mon père
Pour leur patience, leur amour, leur soutien*

Et leur Encouragement

A mes sœurs

A mes frères Hamid, Ahamed et Belaid

A mes Oncles Chiekh et Seddik et leurs familles

Pour leur affection et leur soutien moral

A mes cousins et leurs familles

A toute ma famille

A tous mes Cher amis

A tous les habitants de mon village

A ma chère grand-mère ” رحمها الله ”

Je le dédie également à tous mes camarades mes amis et à toute la classe de la

promotion 2018 Génie Minier ENP.

Sans oublier mon binôme Y. Brahim

A tous ceux qui ont une relation de proche ou de loin

Avec la réalisation du présent mémoire.

En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me

permettre d'atteindre ce niveau de ma vie.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail
À mes cher parents, pour leur, amour, soutien,
encouragement et sacrifices.*

*Mes frères et ma sœur
Qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples
De persévérance, de courage
Et de générosité.*

*Ma grand-mère, mes oncles
Et leurs petites familles*

*Ainsi qu'à toute ma promotion de génie minier
Et à tous mes amis proches
Qui m'ont
Soutenu et encouragé.*

Brahim YOUSFI

ملخص:

البنطونيت هو طين يتكون بشكل رئيسي من مونت موريلونيت ، وهو معدن طيني من مجموعة السميكتيت ، ويمكن أن يحتوي أيضا على معادن أخرى تحتوي أساسا على السيلييس والتي تعتبر شوائب. يهدف هذا المشروع إلى تحسين جودة عينتين من نوعين مختلفين من البنطونيت الجزائري اللتين تم إحضارهما من موقعين مختلفين هما مغنية ومزيلة من خلال ازالة أكبر قدر ممكن من الشوائب عن طريق الحد من السيلييس من خلال استخدام طريقتين مختلفتين مرة باستخدام الانصهار ومرة أخرى عن طريق التعويم .

الكلمات الدالة : البنطونيت , المونت موريلونيت , جودة البنطونيت , السيلييس , التعويم , الانصهار الالكيني.

Abstract:

Bentonite is clay consisting mostly of montmorillonite, clay mineral of the smectite group; it may also contain other minerals mainly composed of silica SiO₂ which are considered as impurities.

This project aims to improve the quality of both types of Algerian bentonites reduced from two different sites MAGHNIA and M 'ZILA by eliminating as much as possible impurities by the reduction of silica by adopting two different methods alkaline fusion and flotation.

Keywords: bentonite clay, montmorillonite, bentonite quality, silica, flotation, alkaline fusion.

Résumé :

La bentonite est une argile constituée principalement de la montmorillonite, un minéral argileux du groupe des smectites, elle peut aussi contenir des autres minéraux qui sont composés principalement de la silice SiO₂, considérée comme principale impureté.

Ce projet a pour but d'améliorer la qualité de deux bentonites algériennes ramenées des sites de MAGHNIA et de M' ZILA, en réduisant autant que possible la silice, en adoptant deux méthodes différentes : La fusion alcaline et la flottation.

Mots clés : la bentonite, montmorillonite, qualité de bentonite, la silice, la flottation,

La fusion alcaline.

TABLE DES MATIERES :

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale.....	12
1 Généralité sur les bentonites	15
1.1 Introduction	15
1.1.1 Classification des minéraux argileux	15
1.1.2 Propriétés et applications des argiles	18
1.2 La Bentonite	18
1.2.1 Origine et formation de la Bentonite	19
1.2.2 Classification de la Bentonite	20
1.2.3 La microstructure de la bentonite	20
1.2.4 Aspect macroscopique de la Bentonite	22
1.2.5 Propriétés physico-chimiques de la Bentonite	22
1.2.6 Principales utilisations de la Bentonite	25
1.2.7 La qualité de la bentonite	28
2 Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila	32
2.1 Introduction	32
2.2 Présentation de l'entreprise ENOF et de la filiale BENTAL	32
2.2.1 Présentation de l'entreprise ENOF	32
2.2.2 Présentation de la filiale BENTAL	32
2.3 Gisement de M'ZILA	34
2.3.1 Localisation géographique de M'Zila	34
2.3.2 Géologie du gisement	35
2.3.3 Exploitation de la Bentonite de M'zila	42
2.4 Gisement de MAGHNIA(<i>HAMMAM BOUGHRARA</i>)	43
2.4.1 Localisation géographique	43
2.4.2 Géologie du gisement	45
2.5 Production de la Bentonite	47
2.5.1 Processus de traitement de la Bentonite de Mostaganem	47
2.5.2 Processus de traitement de la Bentonite de maghnia (<i>Hammam Boughrara</i>)	51

2.5.3	Les essais effectués aux laboratoires des deux unités	55
3	Les méthodes du traitement.....	62
3.1	Introduction	62
3.2	La fusion alcaline	62
3.3	La flottation.....	62
3.3.1	Les interfaces de la flottation.....	63
3.3.2	Paramètres influençant le système solide-liquide-gaz	64
3.3.3	Les réactifs de flottation.....	64
3.3.4	Les exigences aux réactifs de flottation	68
3.3.5	Les Paramètres influant sur l'opération de flottation.....	68
3.3.6	Les types de Flottation	69
3.3.7	Appareils de flottation.....	69
4	Partie expérimentale	72
4.1	Introduction :	72
4.2	L'étape01 : Préparation des échantillons.....	73
4.2.1	Concassage	73
4.2.2	Séchage.....	73
4.2.3	Broyage	74
4.2.4	Échantillonnage :	74
4.2.5	Analyse granulométrique	75
4.3	L'étape02 : Séparation magnétique	78
4.3.1	Le principe de fonctionnement :	78
4.3.2	Le mode opératoire :	79
4.3.3	Interprétation des résultats	80
4.4	L'étape03 : Méthodes de traitement	81
4.4.1	Traitement par voie thermique (la fusion alcaline)	81
4.4.2	Traitement par voie humide (la flottation)	85
4.4.3	Technique d'analyse.....	92
	Conclusion générale	101
	Références bibliographiques.....	102

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1. 1 *Tableau simplifié montrant la classification des principaux groupes des minéraux argileux et de leurs espèces.*

Tableau 1. 2 *Composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem.*

Tableau 2. 1 *Composition chimique de la bentonite naturelle de M'zila*

Tableau 2. 2 *Composition chimique de la bentonite naturelle de Hammam Boughrara*

Tableau 2. 3 *Tableau des exigences du plan de contrôle.*

Tableau 4. 1 *Résultat d'Analyse granulométrique d'un échantillon de la bentonite*

De M'zila

Tableau 4. 2 *Résultat d'Analyse granulométrique d'un échantillon de la bentonite de Maghnia.*

Tableau 4. 3 *les résultats de la séparation magnétique.*

Tableau 4. 4 *Résultat de la fusion alcaline.*

Tableau 4. 5 *Les réactifs utilisés lors de l'essai de flottation.*

Tableau 4. 6 *Consommation en réactifs variante 1.*

Tableau 4. 7 *Tableau regroupant les réactifs de flottation.*

Tableau 4. 8 *Résultats de la variation 1 pour la bentonite de Maghnia.*

Tableau 4. 9 *Résultats de la variation 1 pour la bentonite de M'zila.*

Tableau 4. 10 *Consommation en réactifs variante 2.*

Tableau 4. 11 *Résultats de la variation 2 pour la bentonite de Maghnia.*

Tableau 4. 12 *Résultats de la variation 2 pour la bentonite de M'zila.*

Tableau 4. 13 *Résultat du spectrophotomètre des échantillons bruts.*

Tableau 4. 14 *Résultats du spectrophotomètre de la fusion alcaline.*

Tableau 4. 15 *Résultats du spectrophotomètre de la variation 01 pour l'échantillon de Maghnia.*

Tableau 4. 16 *Résultats du spectrophotomètre de la variation 01 pour l'échantillon de M'zila.*

Tableau 4. 17 *Résultats du spectrophotomètre de la variation 02 pour l'échantillon de Maghnia.*

Tableau 4. 18 *Résultats du spectrophotomètre de la variation 02 pour l'échantillon de M'zila.*

LISTE DES FIGURES :

Figure 1. 1 Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1

Figure 1. 2 Structure de la Montmorillonite

Figure 1. 3 Structure multi-échelle de la montmorillonite

Figure 1. 4 Schéma descriptif du rôle de la boue de forage bentonitique

Figure 2. 1 Situation géographique des unités de BENTAL

Figure 2. 2 Localisation géographique du gisement de M'Zila (Carte Michelin).

Figure 2. 3 Carte géologique de la bordure occidentale du massif du DAHRA, Feuille N°10 à l'échelle 1/250 000, (PERRODON, 1957).

Figure 2. 4 Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem.

Figure 2. 5 Colonne stratigraphique du gisement de M'Zila.

Figure 2. 6 Carte de situation de gisement de bentonites.

Figure 2. 7 Localisation de l'unité de MAGHNIA par rapport au gisement (image de satellite).

Figure 2. 8 Le périmètre du gisement de Hammam Boughrara.

Figure 2. 9 Carte de répartition des gisements de bentonites de Hammam Boughrara.

Figure 2. 10 Stockage du tout-venant sur l'aire de l'usine de Mostaganem.

Figure 2. 11 Le sécheur rotatif utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem.

Figure 2. 12 Broyeur pendulaire PM-8 5.

Figure 2. 13 Une ensacheuse.

Figure 2. 14 Cycle de production de l'usine de MAGHNIA

Figure 2. 15 Concasseur cylindrique

Figure 2. 16 Doseur malaxeur

Figure 2. 17 Un séchoir

Figure 2. 18 Un Broyeur SOUDRON SACRE

Figure 3. 1 Schéma représentatif de l'action du collecteur.

Figure 3. 2 Schéma montrant l'action des moussants sur la surface d'une particule.

Figure 3. 3 Schéma de cellule de flottation

Figure 3. 4 Schéma descriptif d'une colonne de flottation.

Figure 4-1 Flowsheet des processus de traitement.

Figure 4-2 Un diviseur rotatif Retsch.

Figure 4-3 Courbe granulométrique de la bentonite de M'zila.

Figure 4-4 Courbe granulométrique de la bentonite de Maghnia.

Figure 4-5 Schéma résume le principe de fonctionnement du séparateur magnétique.

Figure 4-6 Résultat de la séparation magnétique.

Figure 4-8 Un schéma résume les étapes du processus de la fusion alcaline.

Figure 4. 9 Protocole adopté de fusion alcaline.

Figure 4. 10 Une masse fondue

Figure 4. 11 Précipitation d'une poudre blanche

Figure 4-12 Cellule de flottation DENVER.

Figure 4-13 Essai de flottation de la bentonite.

Figure 4-14 Rendement massique de la flottation en fonction de la variation du collecteur.

Figure 4-15 Rendement massique de la flottation en fonction de la variation de la classe granulométrique.

Figure 4. 16 Spectrophotomètre Hach Lange DR2800.

Figure 4. 17 Courbe de variations de concentration de SiO_2 en fonction de la quantité du collecteur.

Figure 4. 18 Histogramme de variations de concentration de SiO_2 en fonction de la classe granulométrique pour la bentonite de Maghnia.

Figure 4. 19 Histogramme de variations de concentration de SiO_2 en fonction de la classe granulométrique pour la bentonite de M'zila.

Introduction Générale

Les argiles présentent un intérêt croissant par des applications industrielles qui ne cessent de se diversifier. L'argile, objet de ce travail, est connue sous le nom de "*bentonite*". Elle se présente sous la forme pâteuse ou à l'état de poudre ; Elle est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels, tels que l'agroalimentaire et dans la composition de certains produits cosmétiques et pharmaceutiques... A l'état liquide, la bentonite joue généralement le rôle d'un composant "**viscosifiant**" dans les boues de forage des puits pétroliers.

La bentonite est composée d'argiles hautement colloïdales et plastiques qui contiennent principalement de la montmorillonite, un minéral argileux du groupe des smectites, et elle est produite par l'altération et la transformation hydrothermale de cendres et, des tufs volcaniques riches en verre. En plus de la montmorillonite, la bentonite peut contenir de autres minéraux, comme les feldspaths, la cristobalite et le quartz cristallin ou des résidus de silice amorphe. Les propriétés spéciales de la bentonite sont :

- sa capacité à former des gels thixotropes avec de l'eau.
- sa capacité à absorber de grandes quantités d'eau.
- sa capacité d'échange cationique.

Les propriétés de la bentonite sont dérivées de la structure cristalline du groupe smectite, qui est une couche d'alumine octaédrique, entre deux couches de silice tétraédriques. Les variations de l'eau interstitielle et des cations échangeables dans l'espace inter-couche affectent les propriétés de la bentonite et donc les utilisations commerciales des différents types de bentonite.

Grâce à ses propriétés rhéologiques, la bentonite est utilisée couramment et avec beaucoup de succès comme additif de base dans les fluides de forage à base d'eau, pour la commande de viscosité et de filtration. Des études de transformation ou d'enrichissement sont effectuées pour améliorer leur capacité de gonflement, éliminer les impuretés et augmenter leur teneur en montmorillonite en convertissant les bentonites de calcium en bentonites sodiques en traitant avec des sels de sodium afin d'échanger les ions calcium pour les ions sodium, pour répondre aux exigences d'un matériau d'argile standard. Cependant la bentonite contient des substances minérales non argileuses qui sont des impuretés affectant leur qualité, y compris des impuretés cristallines et amorphes (la silice).

Les minéraux non argileux qui sont considérés comme impuretés affectent négativement la qualité de la bentonite sont généralement à base de silice. D'où la nécessité de réduire au maximum cette dernière.

L'Algérie a suffisamment de réserves de gisements d'argile bentonitique riche en silice. Son enrichissement pour diverses applications devient une nécessité, ne serait-ce que pour sa consommation et usage national ; ce qui aidera à réduire la facture des importations et à promouvoir la création de nouveaux produits, comme la literie des animaux domestiques. Les grands gisements d'argiles sont situés principalement dans la partie Nord-Ouest de L'Algérie dans les régions de Mostaganem et Maghnia, avec d'importantes réserves exploitables en bentonite.

Après un stage en milieu industriel, au niveau des sites miniers de M'zila et de Maghnia, nous avons décidé d'apporter notre humble contribution scientifique, et avons soumis à l'approbation de notre département le thème que nous avons souhaité développer et qui s'intitule : Réduction de la silice contenue dans la Bentonite de M'zila et Maghnia.

Pour les besoins de notre travail expérimental, des échantillons ont été ramenés des deux sites d'intérêt ; M'zila et Maghnia.

De nombreux essais de valorisation ont été entrepris sous la direction de Dr OULD HAMOU et deux méthodes ont été adoptées : la flottation et la fusion alcaline.

Notre manuscrit, fruit de notre travail est composé de deux grandes parties :

Partie I : *partie théorique*, organisée autour de trois chapitres :

I) Généralité sur les bentonites.

II) les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila.

III) les méthodes du traitement.

Partie II : *partie expérimentale*, articulée autour d'une application de deux méthodes différentes afin d'analyser les résultats obtenus et vérifier l'efficacité de ces méthodes pour atteindre l'objectif de ce travail.

CHAPITRE 01 : Généralités sur les bentonites

1 Généralité sur les bentonites

1.1 Introduction

Les minéraux argileux sont parmi les plus importants, de nos minéraux industriels. Des millions de tonnes sont utilisés annuellement dans une grande variété d'applications. Les progrès de la technique, tant en ce qui concerne le traitement des matières premières que l'élaboration de produits nouveaux, élargissent sans cesse le domaine de leurs applications. Ces minéraux ne se rencontrent pas isolément, mais dans des roches composées d'un mélange de minéraux typiques des argiles et d'autres minéraux ou matériaux associés (quartz, oxydes de fer, calcite, débris végétaux).

L'argile qui fait l'objet de notre travail est connue sous le nom de "bentonite". Dans ce chapitre, nous présentons, en premier lieu les argiles, classification, propriétés et applications des minéraux argileux et aussi la bentonite, ses propriétés, classifications et sa structure

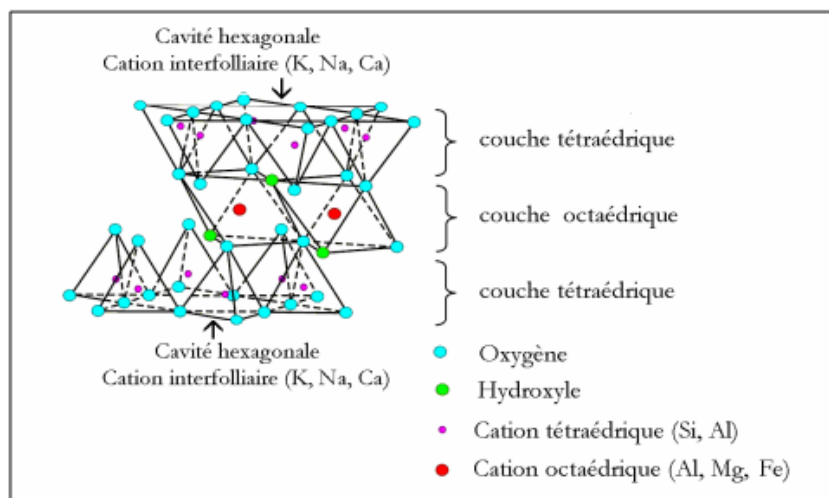


Figure 1. 1 Représentation schématique d'un feuillet de phyllosilicate 2:1

[3].

1.1.1 Classification des minéraux argileux

La classification des minéraux argileux est basée sur des notions structurales : le nombre de couches octaédriques et tétraédriques. Les minéraux argileux qui font partie du groupe des phyllosilicates se composent de couches élémentaires organisées de manière caractéristique : tétraèdres (SiO_4) et octaèdres (Al/MgO-OH). Le tableau 1.1 montre la classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces. [5, 8].

Parmi l'ensemble des argiles citées dans Le tableau 1.1, les trois familles les plus importantes sont les groupes kaolinites, l'illite et les smectites.

1.1.1.1 Kaolinite

Dans le cas de la kaolinite, le feuillet est toujours neutre, dioctaédrique et alumineux, de composition $(Si_2)(Al_2)O_5(OH)_4$ par demi-maille [4].

Morphologiquement, la kaolinite se présente sous forme de particules hexagonales constituées par des empilements de feuillets [5].

1.1.1.2 Smectites

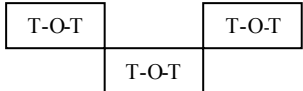
La structure de la couche octaédrique des smectites, ainsi que la localisation des substitutions, ont conduit à une classification de ces minéraux. Ainsi, il existe deux grandes catégories de smectites. Les premières sont dites dioctaédriques du fait de l'occupation de seulement deux sites octaédriques sur trois. Parmi elles, certaines présentent majoritairement des substitutions dans la couche octaédrique (montmorillonite), alors que d'autres sont principalement substituées dans les couches tétraédriques (beidellite). Typiquement, l'ion en site octaédrique est alors l'aluminium, qui est remplacé par du magnésium ou du fer, alors que le silicium tétraédrique est remplacé par de l'aluminium. Il existe un troisième type de smectite dioctaédrique, possédant essentiellement du fer ferrique (Fe^{3+}) au degré d'oxydation III dans sa couche octaédrique, remplacé par de l'aluminium ou du magnésium (nontronite).

Les autres smectites sont trioctaédriques, car, dans ce cas, tous les sites octaédriques sont occupés. L'ion en site octaédrique est en général le magnésium. Parmi elles, certaines sont caractérisées par des substitutions du magnésium par le lithium dans la couche octaédrique (hectorite), alors que pour d'autres, les substitutions ont principalement lieu dans la couche tétraédrique, où le silicium est remplacé par de l'aluminium (saponite). La localisation des substitutions est un facteur déterminant dans les propriétés d'adsorption des smectites, d'où l'importance de la classification décrite ici. Cependant, la montmorillonite et l'hectorite, dans lesquelles les substitutions ont principalement lieu dans la couche octaédrique, sont les plus répandues dans la nature, et donc les plus souvent étudiées.[7].

1.1.1.3 Illite

Comme les smectites, cette famille est aussi un phyllosilicate 2:1. Les feuillets possèdent une charge globale négative, plus élevée que celle des smectites, qui est compensée par des ions potassium. La différence fondamentale avec les smectites réside dans le fait que les ions compensateurs (potassium) ne sont que très faiblement échangeables : l'illite a une capacité d'échange cationique faible. Il n'y a pas d'hydratation des espaces inter foliaires.

Tableau 1-1 Tableau simplifié montrant la classification des principaux groupes de minéraux argileux et de leurs espèces [5]

Groupe de minéraux argileux	Espèce minérale	Structure T= couche de tétraèdres O= couche d'octaèdres
Kaolinites	<ul style="list-style-type: none"> • Kaolinite • Halloysite • Dichite • Nocrite • Métahalloysitehalloy site 	Minéraux à 2 couches 1 :1 T-O T-O
Smectites	<ul style="list-style-type: none"> • Montmorillonite • Saponite • Beidellite • Nontronite • Hectorite 	Minéraux à 3 couches 2 :1 T-O-T T-O-T
Vermiculites	<ul style="list-style-type: none"> • Di-thioctaedrique 	Minéraux à 3 couches 2 :1 T-O-T T-O-T
Illites	<ul style="list-style-type: none"> • Illite • Vermiculite • Muscovite • Biotite 	Minéraux à 3 couches 2 :1 T-O-T <H ₂ O, cation>T-O-T
Chlorites	<ul style="list-style-type: none"> • Chlorite 	Minéraux à 4 couches 2 :1 :1 T-O-T-O T-O-T-O
Sepiolites Palygorskites	<ul style="list-style-type: none"> • Sepiolite (écume de mer) • Attapulгите 	Minéraux en latte 

1.1.2 Propriétés et applications des argiles

Les diverses applications des argiles sont liées à leurs propriétés spécifiques dont le gonflement-retrait, l'adsorption, l'échange d'ions et la nature de leurs surfaces. L'argile, par la nature colloïdale de ses particules de silicates, montre en présence d'eau, des propriétés spécifiques qui permettent le façonnage. Après séchage et cuisson, elles forment des matériaux céramiques silicatés à usage décoratifs et culinaire. Calcinées à haute température avec du calcaire, elles forment des ciments. En association avec des minéraux riches en alumine, elles servent de matériaux réfractaires.

Les propriétés colloïdales des argiles sont largement utilisées dans l'industrie (papeterie, cosmétique, etc.). Les propriétés adsorbants des argiles jouent un rôle très important dans l'agriculture (adsorption et échanges d'ions minéraux) et l'industrie (décoloration, dégraissage, clarification des eaux, etc.). Les argiles sont aussi exploitées pour leurs propriétés catalytiques : la surface étendue que forment leurs microcristaux favorise les propriétés physico-chimiques de ces surfaces.

Dans le milieu naturel, les argiles favorisent aussi bien la fertilité des sols, la rétention de polluants (pesticides par exemple), la formation de barrières géochimiques pour le stockage des déchets, les propriétés rhéologiques des boues de forage. Les matériaux argileux sont également des traceurs pétro-géochimiques : produits d'altération hydrothermale, indicateurs de diagenèse, propriétés chimiques d'adsorption, etc. [10]

1.2 La Bentonite

Le terme Bentonite a été employé en premier par Knight en 1898, pour décrire une argile plastique fortement colloïdale et fortement gonflante de la région de Fort Benton dans le Wyoming (Etats-Unis d'Amérique). Ce terme a ensuite été étendu aux matériaux naturels dont la composition et les propriétés sont dominées par les Smectites.

La Bentonite est une argile dont le principal constituant est la Montmorillonite. Ce dernier nom fut proposé pour la première fois en 1847, pour désigner une argile plastique découverte à Montmorillon, en France. [11]

Par extension, le terme bentonite est appliqué commercialement à toute argile plastique, colloïdale et gonflante indépendamment de son origine géologique. De telles argiles sont ordinairement composées en grande partie des minéraux du groupe montmorillonite.[12]

En Algérie, les gisements de Bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'Oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes, et celle de Mostaganem (M'Zila) avec des réserves de deux millions de tonnes. [6]

1.2.1 Origine et formation de la Bentonite

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres et, des tufs volcaniques riches en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux, qui font partie principalement du groupe des Smectites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de Bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming, Etats-Unis). Elle contient plus de 75 % de Montmorillonite. La dévitrification des cendres en bentonite apparemment a lieu uniquement dans l'eau (certainement l'eau de mer, probablement alcaline lacs, et éventuellement d'autres eaux douces) pendant ou après le dépôt. En plus de la montmorillonite, la bentonite peut également contenir des autres minéraux [12]

1.2.1.1 Les conditions de formation de la bentonite

Il est difficile de préciser, les conditions de formation de la bentonite, il semblerait que les minéraux à groupe non centro-symétrique seraient de néoformation et que les centrosymétriques seraient de dégradation.

La Montmorillonite est rencontrée :

- Dans les milieux sédimentaires, riches en magnésium et à PH légèrement ou nettement alcalins, un excès en potassium dans ces milieux, laisserait apparaître les micas.
- Au niveau des sols (chernozines, rendzines).
- Comme produit d'altération :
 - Des roches éruptives filoniennes acides (pegmatites....).
 - Des cendres volcaniques (fort benton, USA).
 - Des rhyolites (Maghnia, Algérie).
 - Des roches acides vitreuses (Smectite du Sud de l'Espagne).

L'altération hydrothermale peut conduire à la formation de la montmorillonite, localisée sur les bords de gisement alors que la kaolinite se forme à l'intérieur. Elle est aussi le produit de la synthèse hydrothermale (en présence de magnésium, ainsi qu'un pH relativement élevé).

1.2.1.2 Autres minéraux associés à la Bentonite

En dehors de la Montmorillonite, qui en constitue l'essentiel, la Bentonite peut renfermer d'autres minéraux associés [11] :

- Des minéraux argileux : Chlorite ou Sépiolite.

- Du quartz ou des résidus de silice amorphe.
- Des carbonates.
- Des sulfates (gypse).

1.2.2 Classification de la Bentonite

Il existe deux types de la Bentonite :

- la Bentonite sodique ou à base de sodium (Na-bentonite) qui augmente de volume lorsqu'elle est humide et qui peut absorber plusieurs fois sa masse en eau.
- La Bentonite calcique (Ca-bentonite) où Fe peut partiellement remplacer Al et gonfle peu. Elle forme par contre avec l'eau une suspension thixotropique. [11]

1.2.3 La microstructure de la bentonite

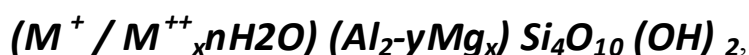
Dans cette partie nous allons essayer de décrire la structure multi-échelle des montmorillonites ainsi que leurs propriétés spécifiques. Les montmorillonites ont la particularité de présenter différents niveaux d'organisation selon l'échelle, présentés par le Pluart [1].

1.2.3.1 Structure de la Montmorillonite

L'établissement des structures de la Montmorillonite a fait l'objet de nombreuses études. La montmorillonite appartient au groupe des smectites caractérisé par un feuillet qui comporte une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques. La Montmorillonite est composée d'unités constituées de deux couches de silicium tétraédrique et d'une couche centrale d'aluminium octaédrique. Ces couches sont disposées de telles sortes que les atomes d'oxygènes des sommets de chaque tétraèdre de silicium et un des plans d'hydroxyles de la couche octaédrique se situent dans un même plan. Les sommets des tétraèdres sont formés par quatre atomes d'oxygène reliés à l'atome de silicium central ainsi qu'aux atomes d'oxygènes des octaèdres par liaisons covalentes. Les octaèdres ont par contre leurs sommets occupés par quatre atomes d'oxygènes et deux hydroxyles reliés à l'atome d'aluminium central par liaisons de coordinance.

Les hydroxyles de la couche octaédrique sont placés directement en dessous des cavités Hexagonales de réseau d'oxygène de couches tétraédriques. [11]

Donc aucune formule "moléculaire" ne peut être donnée. Cependant Brindley et Brown [15] ont proposé la formule moléculaire de la montmorillonite



Où $M^+ = Na^+, K^+$, tandis que M^{++} sont Mg^{2+}, Ca^{2+} et, $x = 33\%$

La figure suivante montre la structure de la montmorillonite :

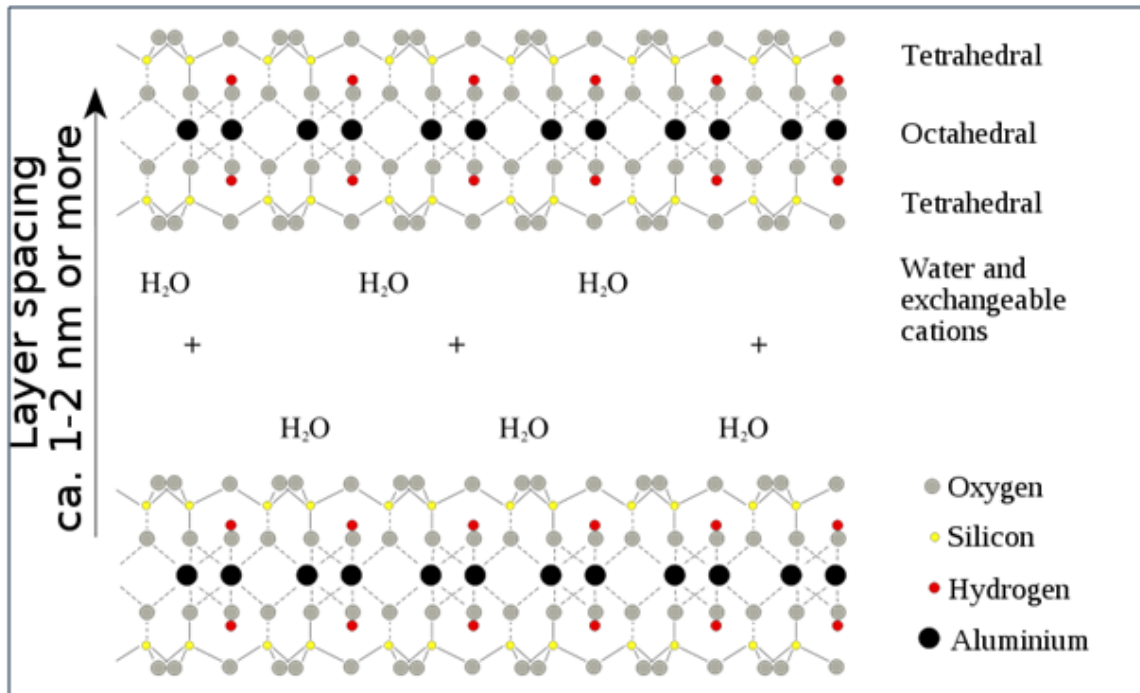


Figure 1. 2 Structure de la Montmorillonite

1.2.3.2 Les différents modes d'organisation de la montmorillonite

Différents auteurs ont mis en évidence trois niveaux d'organisation dans les systèmes argileux, particulièrement les montmorillonites. Nous avons repris sur la **Figure 1. 3** la présentation des différents niveaux d'organisation selon l'échelle d'observation proposée par Le Pluart [16]. Nous présentons donc dans cette partie les trois différents "objets" caractéristiques de cette structure multi-échelle des montmorillonites.

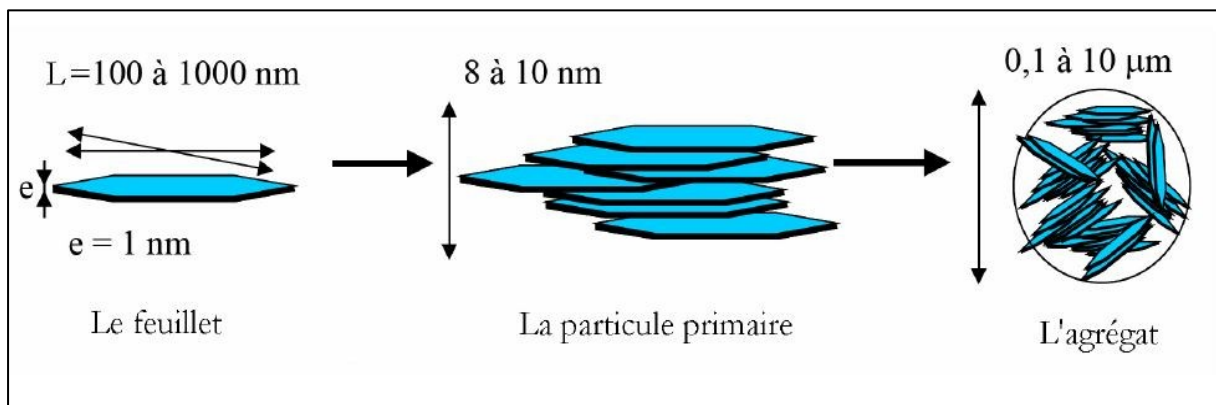


Figure 1. 3 Structure multi-échelle de la montmorillonite [16].

1.2.3.2.1 Le feuillet

Les feuillets sont les unités de base de la structure qui définissent la nature minéralogique, les propriétés physico-chimiques ainsi que le comportement macroscopique des argiles. Chaque feuillet est lui-même formé de la superposition de deux ou trois couches cristallisées, dans lesquelles les atomes, sont régulièrement distribués. L'inter feuillet est constitué d'eau assurant la liaison électrochimique entre les feuillets. L'épaisseur totale du feuillet et de l'espace inter foliaire associé est d'environ 1.4 nm [17].

1.2.3.2.2 La particule primaire

La particule est une unité structurale élémentaire qui résulte de l'empilement de quelques feuillets ou quelques cristallites. Les particules constituent le premier niveau d'organisation. La structure de la particule peut se présenter suivant trois grands types d'empilements:

1.2.3.2.3 L'agrégat

L'agrégat est l'association de particules pluri-feuillets. Ils ont une taille qui varie de 0.1 à 10µm. L'agrégat est plus ou moins dense selon la texture et le nombre des particules, ainsi que les distances entre elles [9]. La formation d'un réseau donne à la suspension, des propriétés mécaniques spécifiques (viscoélasticité...) [18].

1.2.4 Aspect macroscopique de la Bentonite

La Bentonite est un matériau au toucher savonneux, faisant des copeaux sous l'ongle, généralement non plastique à l'état humidité. A l'affleurement, elle forme rapidement par dessiccation d'importantes fissures de retraits. Un des traits caractéristiques de ces affleurements est l'absence de ravinement que l'on y observe par le jeu des hydratations et dessiccations successives, il se crée un talus constitué de petits grains d'argile. A la moindre pluie, ces grains gonflent et forment une mince couverture continue et parfaitement imperméable sur laquelle l'eau ruisselle [19].

1.2.5 Propriétés physico-chimiques de la Bentonite

La Bentonite se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques particulières (thixotropie : transformation d'un produit de l'état de gel à l'état liquide lorsqu'on le mélange ou qu'on le secoue).

1.2.5.1 Composition chimique de la bentonite

Les résultats obtenus pour la composition chimique de la bentonite brute de Mostaganem et de Maghnia, sont indiquées dans le tableau suivant

Tableau 1-2 *Composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem. [20] , Nd: non déterminé*

Eléments	Bentonite du Wyoming	Bentonite de Maghnia	Bentonite de Mostaganem
SiO ₂	64,3	60,2	67,36
TiO ₂	n.d	0,28	0,44
Al ₂ O ₃	19,8	18,5	14,93
Fe ₂ O ₃	4,04	3,45	3,97
FeO	2,6	n.d	0,7
MnO	n.d	0,06	0,03
MgO	2,03	4,14	2,11
CaO	0,73	1,07	2,08
Na ₂ O	2,81	0,94	2,18
K ₂ O	0,44	1,5	1,55
H ₂ O ⁺	1,14	4,46	3,27
H ₂ O ⁻	2,11	8,26	6,06
P ₂ O ₅	n.d	0,05	0,06
SO ₃	n.d	0,68	0,02

1.2.5.2 Gonflement

Mise en suspension dans l'eau, la Bentonite forme une suspension colloïdale provoquant un important gonflement qui est un des indices marquants de ce produit. Les bonnes Bentonites commerciales gonflent jusqu'à 15 à 20 fois leur volume initial. Certaines qualités peuvent atteindre un gonflement de 40 fois. Cependant, cette propriété de gonflement est détruite par la chaleur. Elle est réversible et peut être activée par des additions de soude ou de phosphate solubles. [21]

1.2.5.3 Capacité d'échange d'ions

Pour la compensation des charges, des cations sont faiblement liés au réseau structural. Ils sont d'habitude alcalins ou alcalino-terreux. Susceptibles d'être échangés dans certaines conditions. L'épaisseur des couches d'eau entre les feuillets de la Montmorillonite dépend du cation interchangeable : pour le Na⁺, il y a une couche monomoléculaire (distance

interlamellaire = 1.25 nm) ; avec des ions Ca^{+2} il y a deux couches de molécules d'eau (distance = 1.45 à 1.5 nm). Les cations échangeables ont une influence notable sur les propriétés des Bentonites.[21]

1.2.5.4 Plasticité

Du fait de leur richesse en particules colloïdales, les Bentonites sont très plastiques. L'étendue du domaine plastique (IP : indice de plasticité) des bentonites est élevé et varie de 500 à 700 % suivant la nature de la Bentonite. Les bentonites sont capables de retenir sous forme « rigide » une grande quantité d'eau (IL : indice de liquidité) de façon à constituer un état plastique. Les Montmorillonites sodiques ont des valeurs qui vont de 350% à plus de 700% tandis que les Montmorillonites calciques ont des valeurs de IL de 100 à 200 %. Par broyage.[21]

1.2.5.5 Gels de Bentonite

Si la quantité d'eau introduite dans une Bentonite est faible, les particules s'immobilisent les unes contre les autres et on obtient des gels de dureté variable avec la concentration et dont la consistance augmente plusieurs heures après la préparation. Ces gels manifestent le phénomène de thixotropie, c'est à dire qu'ils épaississent au repos prolongé et reprennent leur viscosité normale par simple agitation.[21]

1.2.5.6 Suspension de Bentonite

Si la quantité d'eau d'apport est forte par rapport à la quantité de la Bentonite, la dispersion atteint progressivement un degré très élevée. C'est ainsi qu'à des concentrations de l'ordre de 5% dans l'eau pure les bentonites peuvent donner des suspensions qui demeurent stables pendant plusieurs jours. Le pH de ces suspensions est généralement au voisinage de 9, qui correspond à l'optimum de stabilité. Les acides provoquent la précipitation à une rapidité croissante avec la variation du pH. [21]

1.2.5.7 La teinte de la Bentonite

La teinte de la Bentonite est souvent indicatrice de ses applications. La Bentonite de couleur vert brunâtre est généralement de bonne qualité pour les boues de forage, tandis que la Bentonite blanchâtre est bonne pour les moules de fonderie. [21]

1.2.5.8 La viscosité

Les viscosités apparentes déterminées sont assez élevées et varient entre 10 et 20 CP.

1.2.5.9 La densité

La densité mesurée de la bentonite brute est égale à 2.00g/cm^3 .

1.2.5.10 PH

Le PH = 9.83 montre une basicité de la bentonite qui serait due aux sels solubles basiques notamment des carbonates, bicarbonates alcalins ou les silicates, qui rentrent généralement dans la composition des bentonites.

1.2.5.11 Couleur

La bentonite est blanche, avec un reflet grisâtre, quelquefois bleuté, rose, rouge, éventuellement verte.

1.2.6 Principales utilisations de la Bentonite

La bentonite est utilisée dans des larges applications, toujours plus nombreuses, dans différents domaines (forage, fonderie, céramique, peinture, pharmacie, terres décolorantes, ..., etc.). La majeure partie de la Bentonite exploitée dans le monde est utilisée comme liant du sable de moulage, dans l'industrie de la fonderie et aussi pour épaissir les fluides de forage.

1.2.6.1 Les boues de forage

La Bentonite sodique est la constituante majeure des boues de forage. Nous n'entrerons pas ici dans une description détaillée du rôle joué par la Bentonite dans les boues de forage. Il suffit de comprendre que le quasi totalité des forages pour le pétrole et le gaz se fait en milieu fluide.

L'eau seule n'ayant pas la viscosité souhaitable, on y ajoute la Bentonite. La boue de forage joue un rôle essentiel en refroidissant et lubrifiant l'outil de forage, en maintenant les parois et en véhiculant les débris et fragments arrachés des roches vers la surface. La boue maintient aussi une pression hydrostatique sur les couches traversées (1-1). Cette application de la Bentonite est évidemment reliée au nombre de trous forés et non à la productivité des puits. C'est ce qui explique la position dominante du marché mondial.

De fait la publication "Word Oil" rapportait que 89 % du total des mètres forés en exploration pour le pétrole et le gaz l'avait été en Amérique du Nord qui produisait la même année 24 % seulement de la production mondiale de Pétrole.

La quantité de Bentonite par 300 mètres forés a varié de 4,05 à 4,72 tonnes. On peut donc estimer une utilisation de 4 tonnes de Bentonite par 300 mètres forés pour jauger du potentiel d'un marché. Et grâce aux propriétés rhéologiques, une tonne de Bentonite sodique permet de produire plus de 16 m³ de boue, pour le forage en milieu non salé. [11]

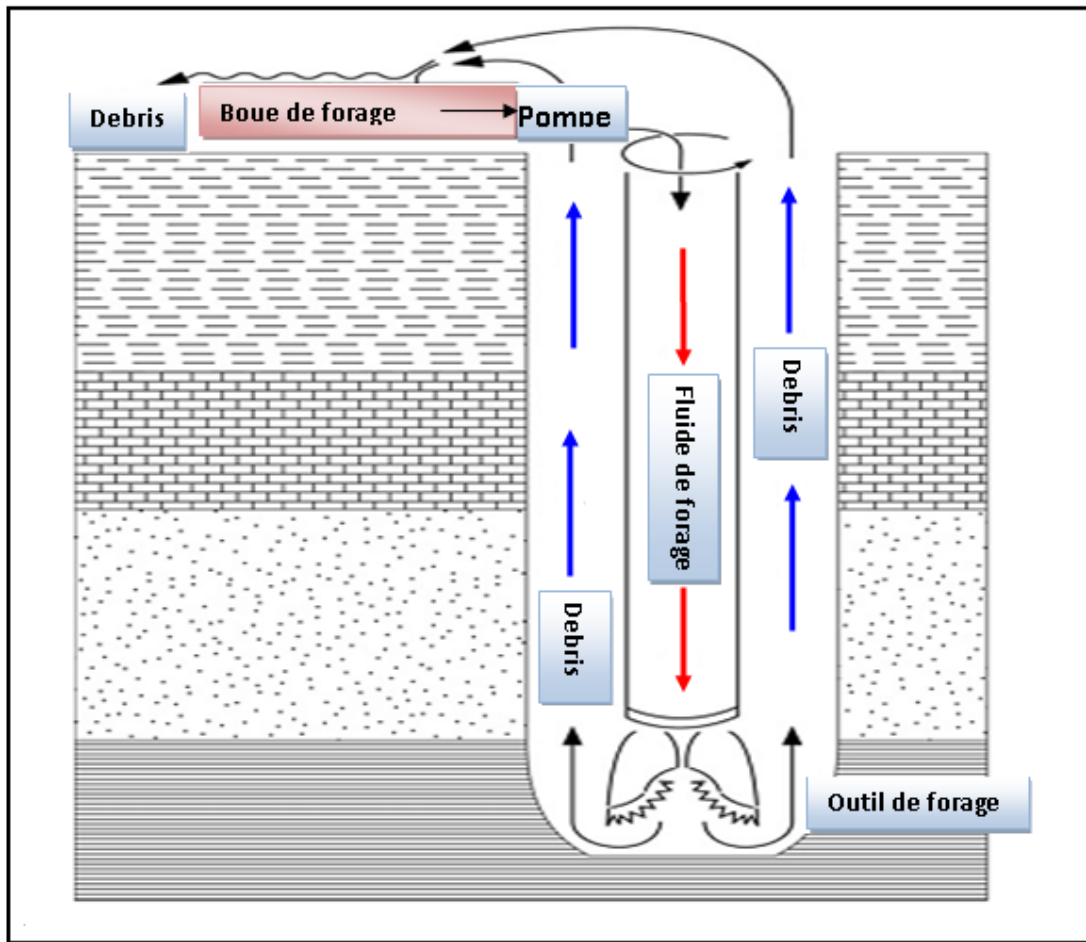


Figure 1. 4 Schéma descriptif du rôle de la boue de forage bentonitique[11].

1.2.6.2 La Bentonite de fonderie

La Bentonite de fonderie sert à la préparation des moules en fonderie. Cette application est liée à l'arrivée des sables qualifiés de synthétiques sur le marché. Ce sont essentiellement des sables de silice auxquels on mêle une argile sodique dans une proportion de 4 à 6 %. Cette proportion peut varier considérablement et peut atteindre 10 à 15 % pour les moulages à pression. L'argile utilisée peut être une Bentonite naturelle du type Wyoming ou une Bentonite de traitement (terres décolorantes ou Bentonite non-gonflante selon la terminologie américaine, traitée en y ajoutant de faible quantité de carbonate de sodium).

La tendance des sables dits synthétiques à remplacer les sables naturels (bien que ceux-ci continuent d'être utilisés) s'explique par leur uniformité et la fiabilité des résultats d'application.

La pénétration de ce secteur par les Bentonites est un développement qui s'accroît. Aux États-Unis, le sable de fonderie est le premier marché pour les bentonites non-gonflantes et le troisième en importance pour la Bentonite du type Wyoming [11].

1.2.6.3 Bouletage des minerais de fer

Le bouletage du minerai de fer consiste à agglomérer les particules de minerai en forme de boulettes grâce à l'ajout de 4.5 à 8 Kg de Bentonite par tonne de minerai. La Bentonite naturelle (gonflante) est préférée par les compagnies minières à cause de ses qualités liantes supérieures et de son action de renforcement à haute température. Les compagnies visent évidemment à utiliser le moins de Bentonite possible pour atteindre les propriétés désirables dans le bouletage. Essentiellement, les boulettes doivent être suffisamment solides pour résister au transport et à la manutention et posséder une bonne réductibilité. Des études ont montré que l'utilisation d'additifs (de quelque nature que ce soit) dans le procédé de bouletage, comporte certains désavantages. Ainsi la Bentonite contamine les concentrés de minerai, diminuant le contenu en fer de 0,6 % et augmentant le contenu en silice de 0,5 % pour chaque unité (%) de Bentonite ajoutée. Ce faisant, la teneur du concentré au haut fourneau est réduite, nécessitent ainsi l'usage de quantités additionnelles de calcaire et de coke durant la réduction. L'industrie du fer oriente surtout ses recherches vers l'amélioration des qualités chimiques des boulettes, par exemple, en ajoutant de la chaux [11].

1.2.6.4 Génie civil

Pour la création de voile d'étanchéité d'excavations, l'injection de coulis de ciment (la présence de bentonite permettant le maintien en suspension du ciment).

1.2.6.5 Terres décolorantes

Les bentonites trouvent également des débouchés pour la décoloration des huiles et comme support de catalyse (bentonites activées à l'acide).

1.2.6.6 Les céramiques

La bentonite permet de maintenir des mélanges de particules assez grossières en suspension dans les émaux [11].

1.2.6.7 La peinture

Dans l'industrie de la peinture, la bentonite est utilisée pour épaissir les liquides. L'écoulement de la peinture doit être suffisant pour permettre une bonne couverture et doit pouvoir se structurer en gel dès l'arrêt des cisaillements. La durée de séchage de la peinture (liée à la thixotropie) doit être ni trop courte sous peine de conserver les marques de pinceau, ni trop longue pour ne pas entraîner des coulures [11]

1.2.6.8 La pharmacie et la cosmétique

Les smectites sont largement employées en dermopharmacie et dermocosmétiques pour leurs propriétés de gonflement (onctuosité, consistance) ainsi que leurs propriétés mécaniques.

Leurs formulations doivent répondre à de nombreuses exigences telles que la facilité d'étalement (rhéofluidifiant) et la restructuration liée à sa thixotropie. Leur utilisation permet d'éviter l'emploi de corps gras dans les shampoings, les crèmes et les pâtes dentifrice. Les propriétés de gonflement des argiles sont également utilisées comme principes actifs (protection gastro-intestinale, laxatifs, anti-diarrhéiques) ou comme excipients (base inertes, émulsifiants, lubrifiants). Les suspensions argileuses ont une forte adhésion à la peau. En cosmétique cette propriété facilite la diffusion de l'eau interstitielle et contribue à l'échauffement local qui assure une dilatation des pores et contribue à son hydratation. [11].

1.2.6.9 Autres utilisations

- La bentonite est un nanocomposite recherché comme charge minérale dans les insecticides et pesticides, les aliments de bétails, les engrais, les produits cosmétiques, les polymères, en pharmacie (comme pansement gastrique). [11]
- La bentonite est employée aussi dans la réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels, ménagers (géomembranes bentonitiques) et radioactifs (barrières ouvragées, poudre compactées).[27]
- La bentonite est employée aussi comme échangeur de chaleur au sol.[28]

1.2.7 La qualité de la bentonite

La bentonite commerciale (montmorillonite de sodium) est utilisée dans le monde entier en tant qu'additif fluide de forage. Ses principales fonctions sont de viscosifier la boue et de réduire la perte de fluide à la formation. Nous avons remarqué une baisse générale de la qualité de bentonite au cours des dernières dans un certain nombre des applications :

- la floculation des boues de ciment se produit dans les cas où la bentonite est utilisée comme agent d'allongement, les propriétés des bentonites changent considérablement d'un lot à un autre.
- une performance médiocre et / ou imprévisible de bentonite a été signalé pour le forage sous dures conditions.

À la suite de ces observations, une enquête a été menée pour développer une bonne méthode de contrôle de Qualité de la bentonite. [13]

1.2.7.1 La qualité de la bentonite est déterminée principalement par quatre paramètres

1.2.7.1.1 Le contenu des matériaux autres que la montmorillonite

La bentonite pure ne devrait contenir que de la montmorillonite. Dans la pratique, en raison de la baisse des réserves de haute qualité de bentonite, autres matériaux sont associés à la montmorillonite affectent la qualité de la bentonite, telle que les argiles, la biotite, le quartz et les feldspaths.

Parce que les argiles montmorillonitiques ont la plus haute capacité de gonflement (qui est responsable de l'accumulation de la viscosité formation d'un gâteau de filtration à faible perméabilité), la présence des autres matériaux aura un effet négatif sur la qualité de la bentonite. [13]

1.2.7.1.2 Le type de contre-ion (s) présents sur les plaquettes de montmorillonite

Déficiences de charge dans la montmorillonite causée par l'échange d' Al^{3+} pour Si^{4+} et Mg^{2+} pour Al^{3+} , entraînent une charge négative à la surface des plaquettes d'argile. Cette charge est compensée par contre-ions positifs. Le type de contre-ions a un grand effet sur la capacité de gonflement de la montmorillonite. De loin, la meilleure performance est obtenue avec du sodium (sodium comme contre-ion). Si la montmorillonite contient des contre-ions autres que le sodium, les propriétés de gonflement, l'accumulation de viscosité et la perméabilité de filtration seront affectée. [13]

1.2.7.1.3 La taille et la charge de la montmorillonite plaquettes (selon la source)

Variations en charge et taille de la montmorillonite les plaquettes vont se produire, en fonction de leur source. Ces variations affectent les caractéristiques de gonflement du matériau et ainsi la qualité. L'épaisseur de la montmorillonite, les plaquettes varient entre 1 et 8 nm et le diamètre de la surface de 0,01 à 0,1 μm . [13].

1.2.7.2 L'influence de l'excès de silice cristalline (quartz) sur la qualité de la bentonite

La bentonite contient des substances minérales non argileuses de teneur élevée en silice SiO_2 comme le quartz et la cristobalite qui sont considérés comme des impuretés affectant leur qualité d'application surtout dans le cas de boue de forage tel que :

- La bentonite riche en silice provoque l'abrasion de l'équipement de forage.
- Affectent la circulation de la boue.
- Diminue le taux de forage.
- Le collage des tuyaux pendant les opérations de forage.

De plus les bentonites ayant une taille inférieure très fine sont utilisées dans différentes productions (le céramique, l'encre, les peintures, le plastique...). De préférence, ces argiles doivent contenir moins de 5% des impuretés non-smectites, pour améliorer leurs performances [14]

CHAPITRE 02 : Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

2 Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

2.1 Introduction

Notre stage pratique a été fait au sien de BENTAL, une filiale de l'entreprise ENOF, où nous avons fait une visite à l'unité de Mostaganem et celle de Maghnia qui sont fait le traitement et la production des bentonites .comme nous avons visités aussi la carrière du gisement de bentonite de M'zila à Mostaganem et celle de Hammam Boughrara à Maghnia à fin de ramener des échantillons pour faire l'objet de notre projet.

2.2 Présentation de l'entreprise ENOF et de la filiale BENTAL

2.2.1 Présentation de l'entreprise ENOF

Le groupe algérien ENOF Spa (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles) exploite 18 mines et carrières répartis sur le territoire national. Il est organisé en 6 filiales depuis le 1^{er} janvier 2001, il produit une gamme variée de minerais non ferreux et des substances utiles non métalliques. Le groupe ENOF a pour vocation : la production, la commercialisation et le développement de nouveaux produits miniers. La diversité et la qualité de ses produits font du groupe ENOF un acteur incontournable sur le plan national et international.

2.2.2 Présentation de la filiale BENTAL

La Société des Bentonites d'Algérie, BENTAL, est une filiale du groupe ENOF Spa. L'objet social de BENTAL est la recherche, le développement, la production, l'importation, l'exportation, et la distribution en l'état ou après transformation de tous produits miniers et substances minérales non métalliques. L'ENOF a transféré à la société BENTAL le patrimoine et les activités des deux unités de Mostaganem et de Maghnia.

2.2.2.1 L'unité de Mostaganem

Produit et commercialise de la bentonite, dont le principales les débouchées sont :

- Les forages pétroliers et hydrauliques.
- Les charges industrielles.

2.2.2.2 L'unité de Maghnia

Produit et commercialise la bentonite :

- Les forages pétroliers et hydrauliques.
- Les charges industrielles.
- La fonderie pour le moulage.



Figure 2. 1 Situation géographique des unités de BENTAL

2.2.2.3 Points forts de BENTAL

- Réserves importantes de bentonite des gisements de Hammam Boughrara à Maghnia et de M'Zila à Mostaganem.
- Demande locale relativement substantielle et diversifiée.
- Position géographique favorable pour accéder au marché méditerranéen (Maghreb, Europe de l'ouest, pays du sahel africain).
- Personnel expérimenté dans l'exploitation, le traitement et la maintenance.

BENTAL est le seul producteur au niveau national.

2.2.2.4 Points faibles de BENTAL

- Localisation à l'intérieur des villes de Maghnia et Mostaganem des usines de traitement, qui réduit les possibilités d'investissement.
- Faiblesse de la prospection de ses gisements sur les plans qualité des argiles brutes et leur traitabilité.
- Equipements de production vétustes.

2.3 Gisement de M'ZILA

2.3.1 Localisation géographique de M'Zila

Le gisement d'argiles bentonitiques de M'Zila est situé à 45 km au Nord-est de la ville de Mostaganem et à environ 10 Km à l'est du village côtier Achasta, dont le port abrite l'usine de traitement de la Bentonite (Figure 2. 2).

L'infrastructure routière actuelle est adéquate pour la plupart des travaux et les tâches courantes. Cependant le plus grand inconvénient que nous pouvons relever, ce sont les pistes d'accès aux chantiers d'exploitation qui deviennent impraticables pendant les périodes pluvieuses. Le caractère essentiel de la topographie du gisement réside dans l'apparition d'une masse marneuse qui forme des crêtes, de 0 à 100 m, plus marquée à l'Est. L'érosion par drainage et par ravinement a donné un cachet bien particulier à cette zone. Ce champ minier s'étale sur une superficie d'environ 5 Km², allongé dans le sens Est-Ouest.

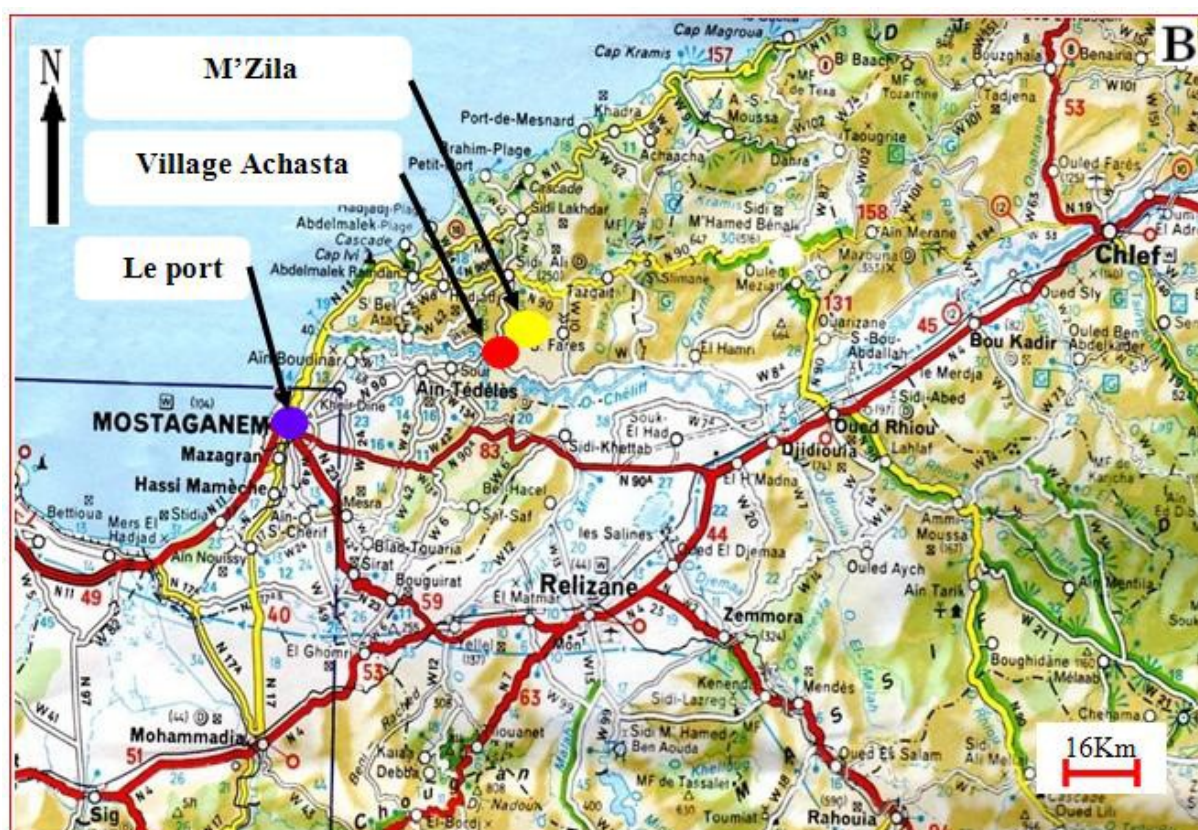


Figure 2. 2 : Localisation géographique du gisement de M'zila(Carte Michelin 2004).

2.3.2 Géologie du gisement

2.3.2.1 Contexte de géologie régionale

Le bassin du bas Chéelif forme une cuvette intramontaineuse de direction ENE-WSW. Il se situe dans la zone externe à la chaîne tellienne occidentale inscrite dans le contexte géodynamique de l'orogénèse alpine Nord-africaine.

D'Est en Ouest, le bassin du Chéelif est subdivisé en trois ensembles géographiques.

- le haut Chéelif ;
- le moyen Chéelif ;
- le bas Chéelif.

Le bassin du bas Chéelif est situé entre deux ensembles structuraux de formation géologique essentiellement d'âge cénozoïque qui sont le massif de la Dahra au Nord et l'Ouarsenis au Sud. Les dépôts accumulés du bassin du bas Chéelif vont du Miocène post nappe (Miocène moyen-sup) au Quaternaire.

Les reliefs occupent une partie importante dans le bassin où ils viennent s'accoler au massif crétacé du Dahra pour former un même ensemble orographique. Dès la mise en place du bassin (miocène inférieur et moyen), des mouvements NS à NW/ SE ont engendré le plissement des différentes formations Mio-plio-Quaternaire ainsi que la mise en place des failles. Ces différentes phases se traduisent par des discordances angulaires observées sur le terrain entre le miocène inférieur le miocène supérieur et le pliocène et à l'intérieur même de ces étages. Les cinérites forment un faciès important dans la formation des bentonites de la région étudiée. [20]

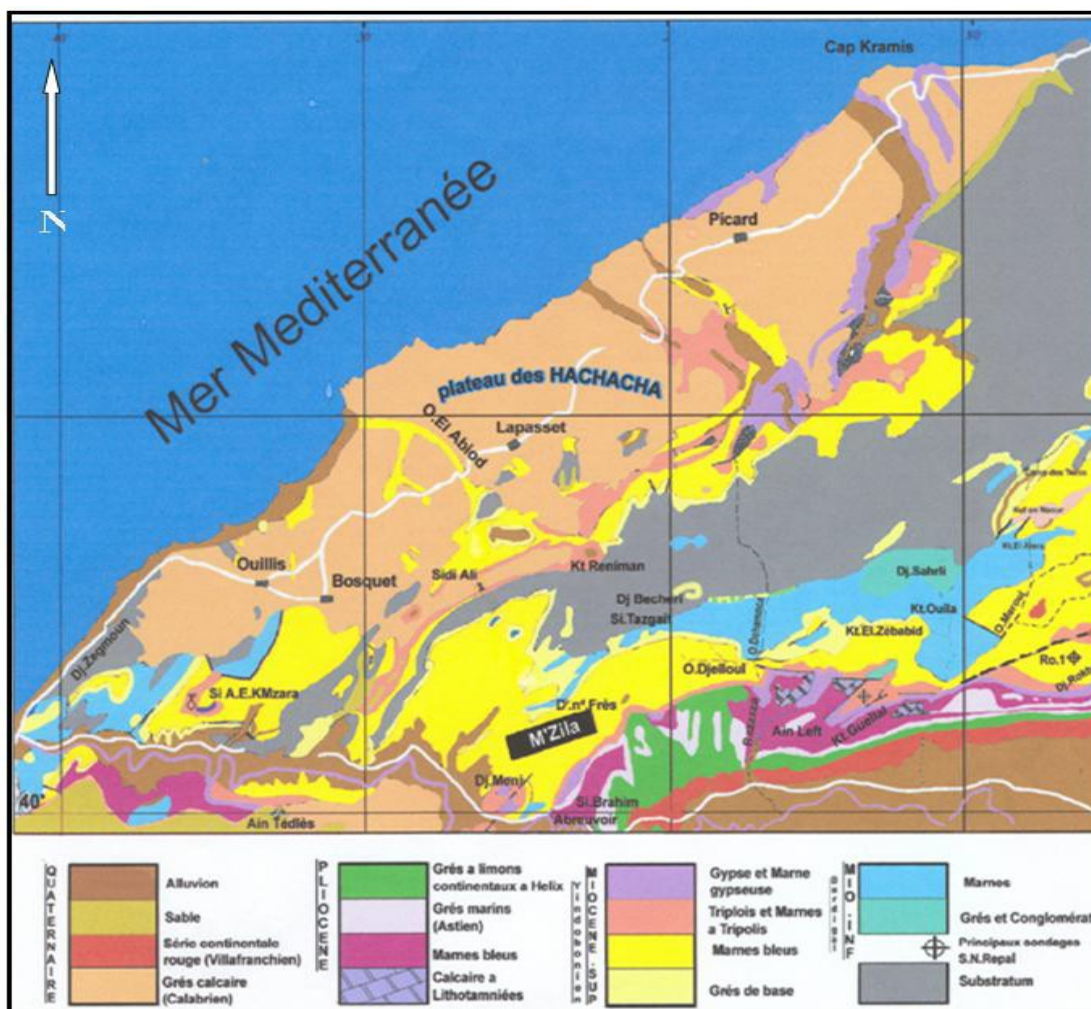


Figure 2. 3 : Carte géologique de la bordure occidentale du massif de DAHRA (Feuille N°10 à l'échelle 1/250 000, (PERRODON, 1957) [20]

2.3.2.2 Stratigraphie du bassin du bas Chélif (région de Mostaganem)

Géologiquement, le gisement de M'Zila fait partie du bassin du Bas Chélif, ce dernier est de type intramontagneux comblé relativement des sédiments du Mésozoïque, mais à dominance du Cénozoïque et par endroit de dépôts du Quaternaire.

2.3.2.2.1 Mésozoïque

Il est représenté par le Crétacé inférieur, il affleure le long d'une bande orientée Nord Est et caractérisé par des dépôts de quartzite, calcaire siliceux et de marnes schisteuses, d'une épaisseur de 200m environ.

2.3.2.2.2 Paléogène

Il est représenté par l'Oligocène qui affleure sur la côte Nord-Ouest sur une surface réduite, il est caractérisé par des marnes, d'argiles marneuses, du sable brun, des grès et des calcaires marneux.

2.3.2.2.3 Miocène

Le Miocène est très largement développé dans la région.

2.3.2.2.3.1 Miocène inférieur

Il est représenté par une série de lits argileux et des marnes renfermant des veines de gypse, grès et conglomérats.

2.3.2.2.3.2 Miocène supérieur

Il comporte une série de grès glauconieux, de marnes argileuses et une puissante couche de marnes bleues (550m) renfermant des intercalations de calcaires, de grès et d'argiles bentonitiques et d'argiles gypsifères. Le gisement de M'Zila appartient à cet horizon d'argiles bentonitiques. Les niveaux de cinérite riches en glauconie et de soufre sont repérés dans la formation des marnes bleues et observés au niveau de tous les ponts enjambant le Chéelif tandis qu'au niveau du bassin elles sont représentées par des tufs rhyolitiques qui séparent les deux formations Tiélat et Tefaraoui, ce niveau est riche en feldspath, Micas et silice en boules.

2.3.2.2.3.3 Miocène terminal

Le Miocène terminal repose sur les formations du Miocène supérieur. Il affleure en bandes caractérisées par une alternance de marnes à tripolis purs et de calcaires siliceux, l'épaisseur totale peut atteindre 30m par endroit.

2.3.2.2.4 Pliocène

En discordance sur le Miocène, le Pliocène contient à la base des grès et conglomérats ; le tout est surmonté par des grès marins (*Astien*) et des grès et limons continentaux à hélix. Ces dernières formations sont en discordance avec les précédentes.

2.3.2.2.5 Quaternaire

Il est représenté par des grès calcaires, évoluant à travers toute la zone Nord-Ouest, depuis la région de Hadjads et Sidi Ali jusqu'à la mer méditerranéenne par de différentes roches rubéfiées à faciès continental, sableuses et argileuse, ainsi que par des sables marins côtiers tout au long de la côte. [19]

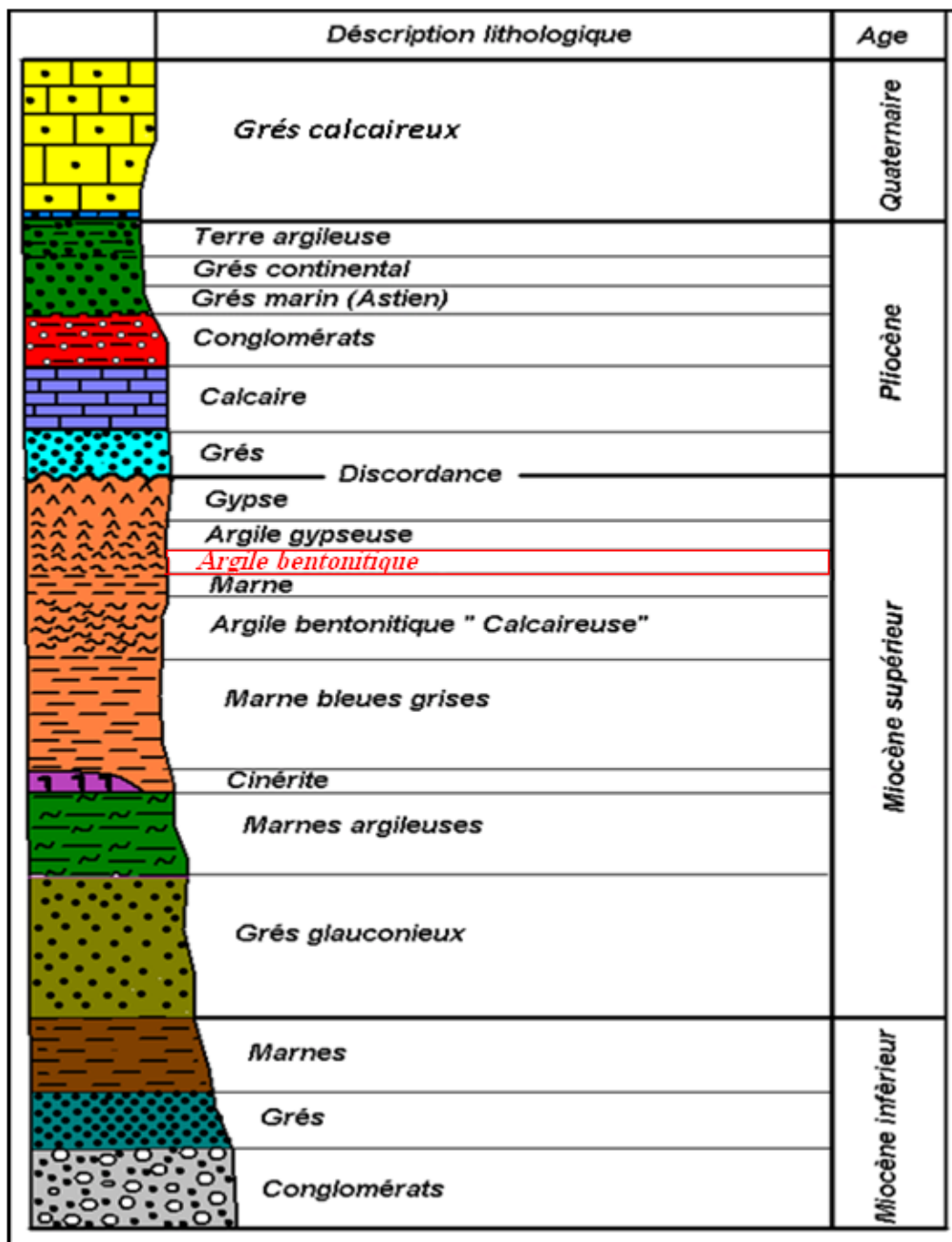


Figure 2. 4 : Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem. [19]

2.3.2.3 Contexte de géologie locale

2.3.2.3.1 Aperçu géologique du site

À l'échelle du gisement de M'Zila, la séquence du Miocène supérieur affleurant dans la région des exploitations débute à la base par un banc épais de marne bleue compacte. Cette dernière est surmontée par les couches d'argiles bentonitiques, qui sont interstratifiées avec des grès micacés de biotite. Cette séquence est ensuite recouverte par une marne argileuse (Figure 2.3). Quatorze couches d'argiles bentonitiques ont été repérées et reconnues dans le gisement de M'Zila. [19]

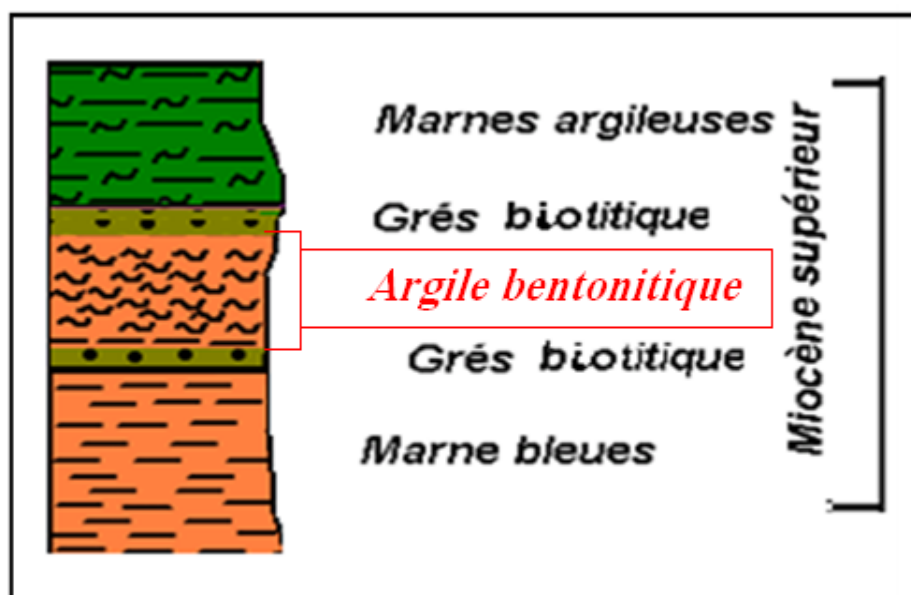


Figure 2. 5 : Colonne stratigraphique du gisement de M'Zila. [19]

2.3.2.4 Caractéristiques morphologiques du gisement

Les argiles exploitées de M'ZILA sont des bentonites assimilées à la montmorillonite qui appartiennent au groupe des smectites.

Le gisement de M'Zila est composé de 14 couches d'argiles bentonitiques identifiées de I à XIV (de I, la plus récente, vers le sommet à XIV la plus ancienne, vers la base) se situant au cœur d'un synclinal dont l'axe est presque Est-Ouest. Les couches du flanc Nord présentent un pendage 10° à 45° Sud et celles du flanc Sud un pendage 10° à 35° Nord.

Les 14 couches d'argiles bentonitiques du gisement de M'Zila sont disposées d'une façon discontinues (en direction), et entaillées par des ravins et un drainage dendritique.

Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

Leur extension se prolonge sous le terrain, dans une plaine à topographie moins accidenté. La limite Est des couches, traversée par une zone faillée, coïncide au nez du synclinal. A cet endroit, les couches changent de direction et s'incurvent pour continuer vers le Sud-ouest et ensuite vers l'Ouest.

Les couches du flanc Sud sont affectées par une tectonique cassante de faible amplitude. [22]

2.3.2.5 Qualité et réserves du gisement de Bentonite de M'Zila

La description qui suit présente un résumé de la qualité et importance en terme de réserves de chacune des couches de Bentonite reconnue dans le gisement de M'Zila

2.3.2.5.1 Couche I

Elle a été tracée sur les deux flancs du synclinal, sur une longueur minimale de 3300 mètres, et a été exploitée dans les chantiers 4 et 13.

2.3.2.5.2 Couche II

Elle a été exploitée dans le chantier 12. Par contre, elle ne possède pas une grande extension et ses réserves sont minimes.

2.3.2.5.3 Couche III

Elle a été tracée seulement sur le flanc Nord du synclinal. Elle est en cours d'exploitation.

2.3.2.5.4 Couche IV

Selon l'interprétation de l'ENOF, Il s'agit d'une couche de bonne épaisseur qui se fusionnerait avec le nez de la couche VII sur le flanc Sud du synclinal. Elle a été exploitée dans les carrières 5 et 10, mais ses réserves restent encore importantes.

2.3.2.5.5 Couche V

Elle est de faible extension et ses réserves sont modestes. De plus, les analyses suggèrent qu'elle est de mauvaise qualité et ne pourrait servir que comme Bentonite de charge.

2.3.2.5.6 Couche VI

Elle est de faible extension et trop mince pour supporter une exploitation rentable.

2.3.2.5.7 Couche VII

Il s'agit d'une couche de bonne épaisseur qui a été tracée sur les deux flancs du synclinal. Elle ne possède pas les caractéristiques requises pour les boues de forage, mais elle est de bonne qualité pour la fonderie. La couche VII a été exploitée dans les chantiers 11 et 14.

2.3.2.5.8 Couche VIII

Elle n'a jamais été exploitée, probablement en raison de son épaisseur relativement faible (1,7m).

2.3.2.5.9 Couche IX

Cette couche est très mince, ne contient pas de réserves significatives. D'ailleurs, la Bentonite qui s'y trouve serait de mauvaise qualité.

2.3.2.5.10 Couche X

Il s'agit de la couche qui a été développée sur la plus grande distance, soit près de 5,4 kilomètres. Même si elle a été exploitée dans cinq chantiers (3, 6, 9, 15 et Fahim), elle contient encore de très importantes réserves.

2.3.2.5.11 Couche XI

Elle est restreinte à la partie Ouest du flanc Nord du synclinal. Elle a été exploitée dans le chantier 2, sur une longueur de 900 mètres. Cependant, sa limite vers l'Ouest contient encore des réserves importantes.

2.3.2.5.12 Couche XII

Elle n'est connue que sur le flanc Nord du synclinal. Cette couche exploitée dans le chantier 8 serait la même que celle qui affleure dans les chantiers 1 et 7 situés plus à l'Ouest.

2.3.2.5.13 Couche XIII

Elle a été exploitée dans la carrière 16, elle est de bonne qualité pour les boues de forage.

2.3.2.5.14 Couche XIV

C'est la couche la plus importante du gisement en épaisseur (9 à 12m) et en réserves (plus de 268 000 t). Le potentiel d'accroissement des réserves est réel à l'Ouest.

2.3.3 Exploitation de la Bentonite de M'zila

L'exploitation des argiles du chantier de M'Zila vise exclusivement la production de la Bentonite finie (boue de forage et charge industrielle).

L'exploitation à ciel ouvert des couches de Bentonite se fait à partir de chantiers se situant à l'affleurement des couches en surface, et plusieurs d'entre elles doivent être ouvertes simultanément pour alimenter l'usine.

Les chantiers peuvent fournir jusqu'à 250 tonnes par jour pendant 9 mois de l'année. La mine fonctionne avec un poste par jour et 5 jours par semaine. Cela tient compte d'une saison des pluies équivalentes à deux mois et d'une période de vacances d'un mois. Les réserves minières sont confinées essentiellement dans les couches III, IV, VII, X, XI et XIV. Les chantiers qui seront exploités au cours des années sont situés sur l'affleurement en surface de 6 couches. Ils sont donc de faible tonnage chacun, et il faut en exploiter plusieurs de façon simultanée.

La planification des développements de ces chantiers d'abattage est le pivot de l'exploitation. Une bonne planification est celle qui prévoit quels seront les chantiers à développer et ceux à exploiter de façon à ce que la production de minerai annuellement requise par l'usine soit de (23000 tonnes/an).

L'échantillonnage et l'analyse suivent toutes les phases d'extraction et de mélange.

Les travaux d'exploitation sont répartis sur trois chantiers :

- Travaux de découverte,
- Travaux d'extraction, homogénéisation et mise en stock intermédiaire,
- Travaux de transport du tout-venant vers l'usine.

2.3.3.1 Travaux de découverte

La rentabilité de la méthode appliquée est fonction du taux de découverte t qui est égale au rapport du volume de la découverte V (m^3) sur la quantité de réserves attendues T (tonnes); ce taux doit être inférieur ou égal à $5 m^3/tonnes$ dans le cas de la Bentonite $T = V/t$.
[23]

2.3.3.2 Travaux d'extraction, homogénéisation et transport de la Bentonite

L'extraction à lieu suivant le pendage de la couche avec une pelle mécanique sur chenilles. Après son étalage, concassage et aération le tout-venant extrait est acheminé par camions vers les stocks intermédiaires pour séchage et homogénéisation avant son transport

vers l'usine. L'échantillonnage et l'analyse suivent toutes les phases d'extraction et de mélange.

Pour des raisons d'hétérogénéité du minerai sur les mêmes parcelles, nécessitant un abattage sélectif, le service d'exploitation utilise une pelle excavatrice. "Plan d'exploitation". [24]

2.3.3.3 Travaux de transport du tout-venant vers l'usine

A l'aide d'une pelle chargeuse, le conducteur d'engin charge le produit stocké au niveau de l'aire de stockage sur des camions assurant le transport du minerai de la carrière vers l'usine. Le transport vers l'usine est assuré par 03 camions dont la charge utile est de 20 tonnes (2 camions) et l'autre 15 tonnes. Ils effectuent trois rotations par poste de travail, et par camion. [23]

2.4 Gisement de MAGHNIA (HAMMAM BOUGHRARA)

2.4.1 Localisation géographique

L'unité de production de la bentonite est située à l'entrée Est de la ville de MAGHNIA à 45Km de TLEMCEN.

Le gisement de bentonite en exploitation est situé à HAMMAM BOUGHRARA, à 15 Km de la ville de MAGHNIA.[25]

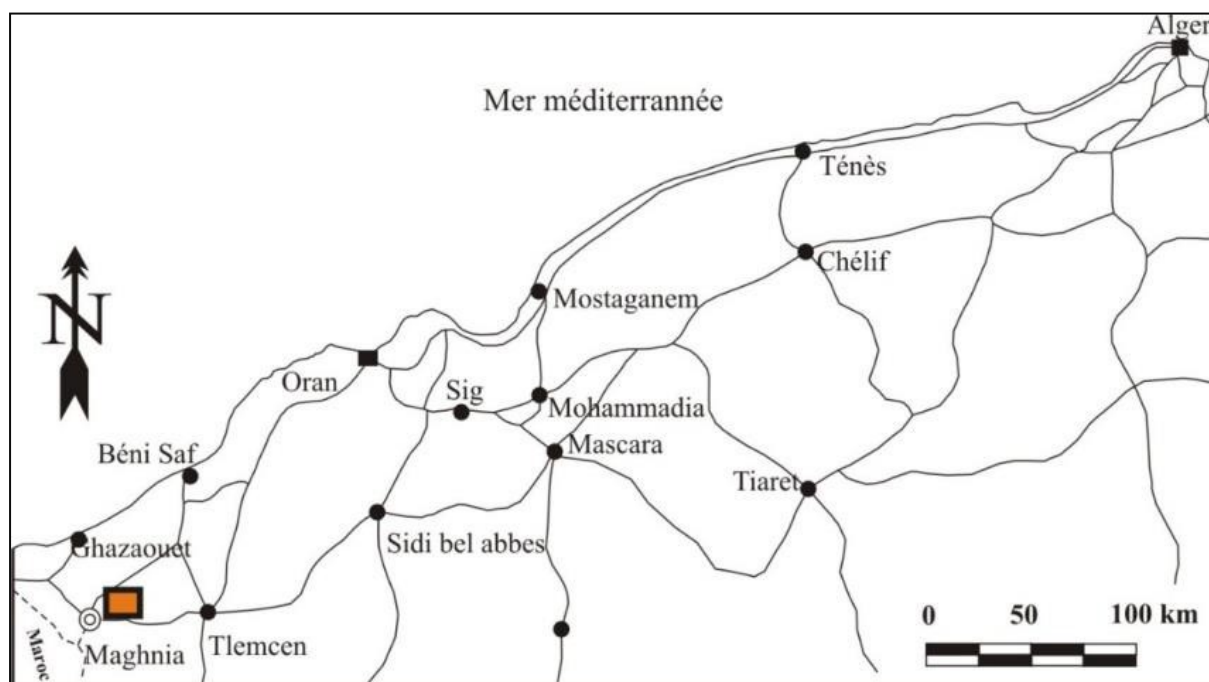


Figure 2. 6 : Carte de situation du gisement de bentonite de Maghnia.

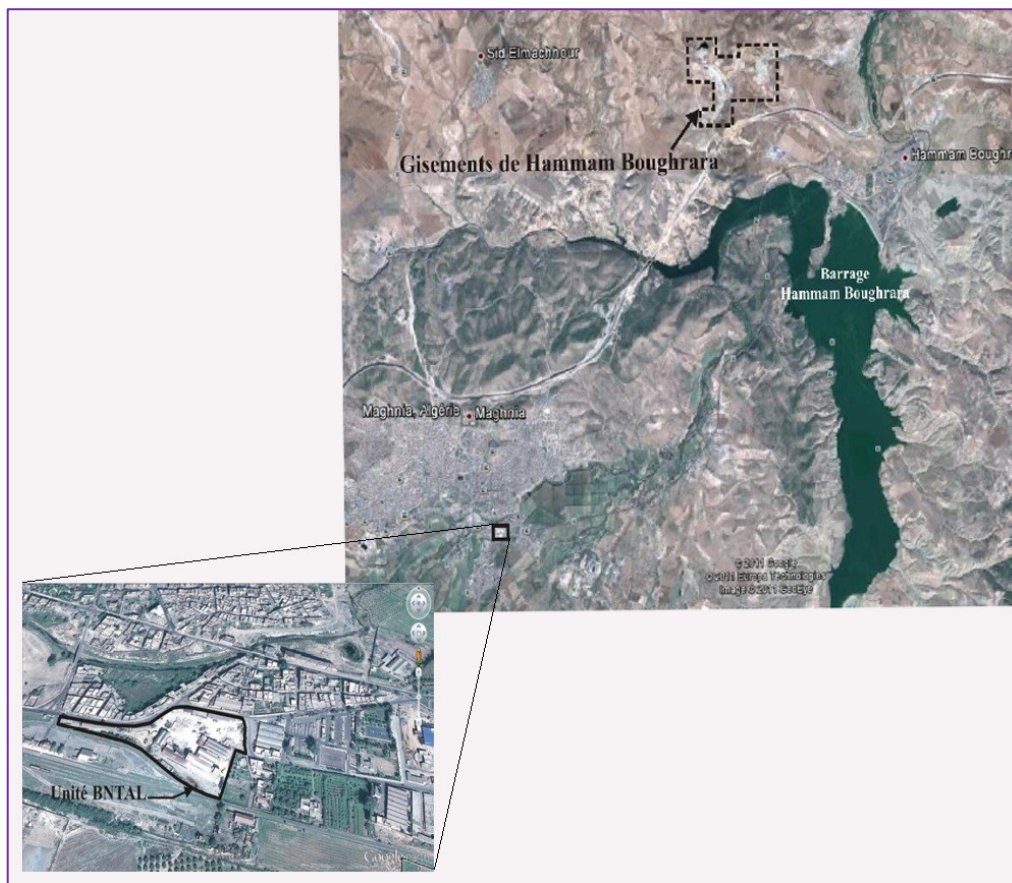


Figure 2. 7 : Localisation de l'unité de MAGHNIA par rapport au gisement (image satellite de Google earth, 2015).

Le gisement qui s'étale sur une superficie de 175Ha est composé de cinq carrières (Roussel, Roussel 2, DarM'Barek1, Dar M'Barek2 et RM).

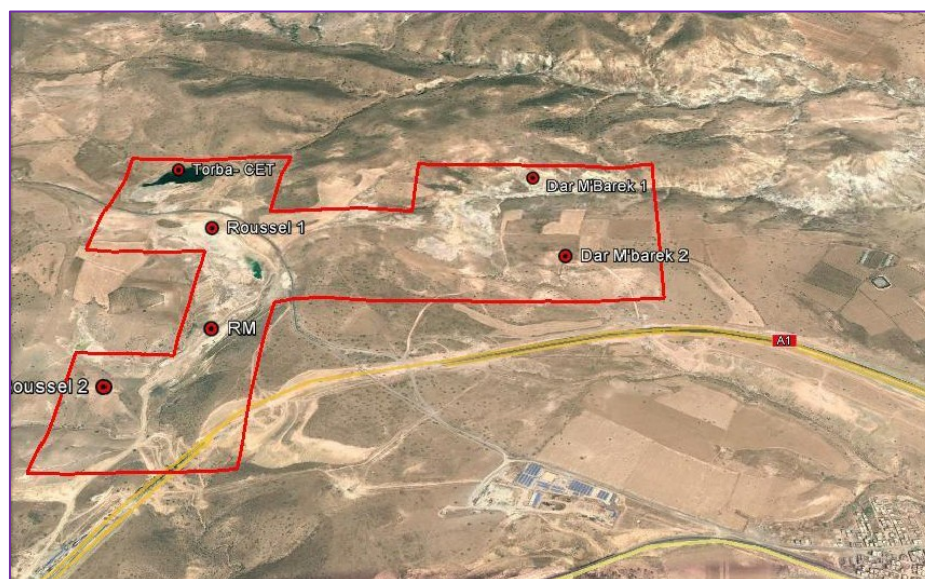


Figure 2. 8 : le périmètre du gisement de Hammam Bouhrara.

2.4.2 Géologie du gisement

2.4.2.1 Contexte de géologie régionale

La région de Maghnia est caractérisée par des formations sédimentaires du Miocène, représentées par des calcaires, marnes, grès, marnes gréseuses et argiles carbonatées. Elles sont recoupées par des rhyolites auxquelles sont associées des tufs volcaniques et tufs conglomératiques. Les tufs sont discordants sur les formations sédimentaires miocènes. Les argiles bentonitiques proviennent de l'altération hydrothermale des tufs volcaniques et pour partie d'une altération supergène. Les formations du Pliocène sont constituées de silstones, grès et calcaires et elles reposent en discordance angulaire sur le Miocène, et le Quaternaire est formé de blocs de galets plus ou moins cimentés. Il est recoupé par des necks de basalte.

Les argiles bentonitiques sont connues dans la région de Hammam Boughrara depuis le début de 20ème siècle. L.Gentil (1903), a communiqué les premières informations sur les argiles bentonitiques de Hammam Boughrara. Dans son mémoire, il a mentionné les types et variétés des argiles et leur a attribué la nomenclature des **smeectites**. Plus tard, ce sont Millot (1958), Boniface (1959) et G.Sadran (1964) qui se sont penchés sur la géologie de cette région. Dans son ouvrage, SADLAN (1958), a interprété en détail le volcanisme de la région, la pétrographie du matériel argileux, la genèse des bentonites et les phénomènes qui l'ont accompagné.

L'exploitation en carrière a débuté dans les années 30. Durant les années 50, l'exploitation artisanale a été menée par des concessionnaires étrangers à l'aide des puits et des galeries.

Cette exploitation, a ciblé les endroits riches en bentonite de meilleure qualité ; elle fut interrompue pendant la guerre entre 1954 et 1962 pour reprendre dès 1963 par la société CECA/ Algérie dans les carrières Roussel, RM, Torba.

1970 : des travaux de recherches et de prospections sur les argiles bentonitiques de la carrière Roussel et Dar Mbarek ont été menés par des spécialistes Hongrois, par la suite la tâche a été confiée à un groupe de géologues soviétiques.

1971 et 1978 : SONAREM a effectué une estimation économique des bentonites de Hammam Boughrara dont 4 gisements de bentonite (Roussel, Bab, Torba, DarEmbarek).

1979-1981 : SIDAM (Bureau Canadien), a expertisé et a réévalué les réserves dans le cadre d'une étude de développement de l'industrie algérienne de bentonite, kieselguhr, argiles activées et perlite expansée.

Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

1991-1992 : EREM (ALGERIE) évaluation des réserves de Dar Embarek-1 pour une utilisation en fonderie.

1994 : SIDAM (Expert conseil), a réévalué les réserves de Roussel-1 dans le cadre d'une étude de faisabilité préliminaire et a réalisé des cartes de distribution des paramètres chimique et physique des bentonites de la région de MAGHNIA.

2000-2001 : réalisation d'une carte-qualité pour la partie exploitation de la carrière Roussel-1. Cette carte constitue l'outil principal de la gestion des réserves qui permet d'orienter les tout-venants pour la terre décolorante ou la bentonite de forage.

Janvier 2005 : BENTAL, a réalisé le projet de forage par tarière de la carrière Roussel-1.

2005 : BENTAL, a réalisé le projet de découverte de carrière Roussel-1.

2008 : Etude de développement et de faisabilité technico-économique pour la réalisation d'usine de traitement et de production de bentonite (BUMIGEME).

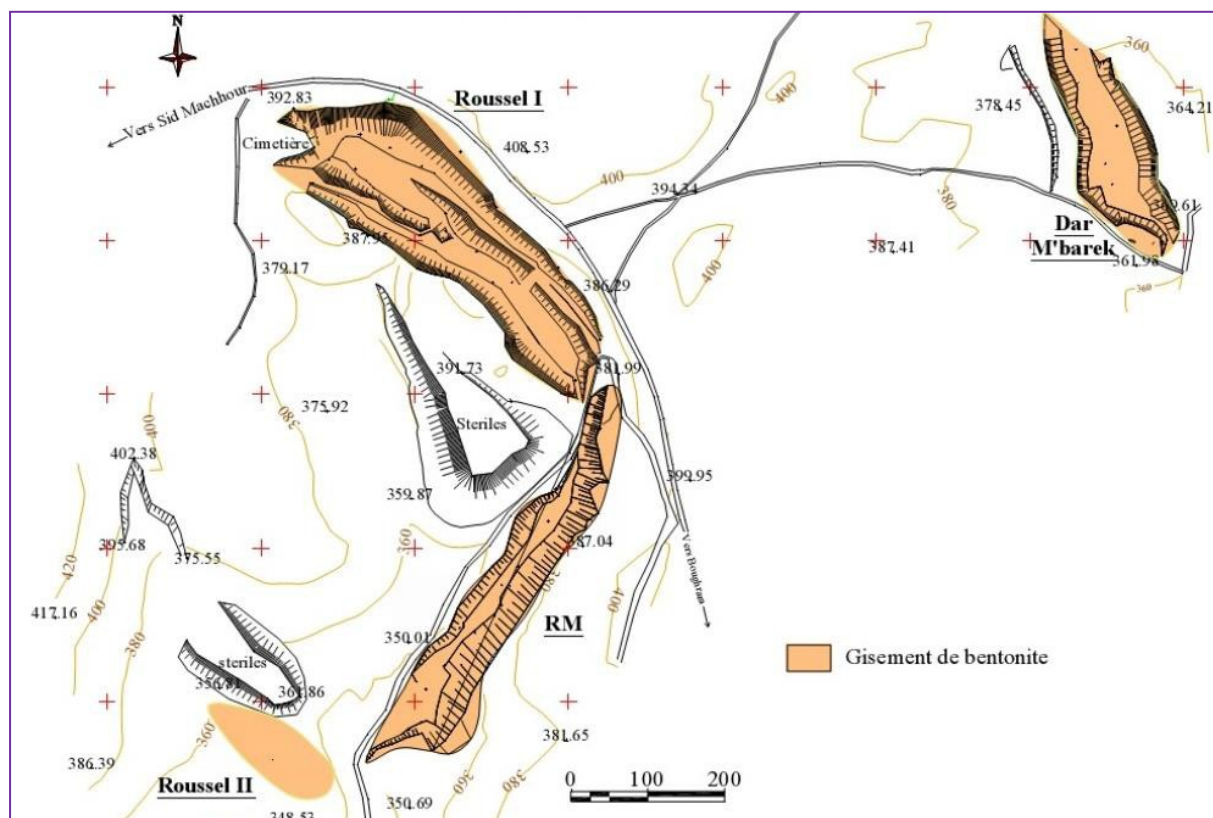


Figure 2. 9 : Carte de répartition des gisements des bentonites de Hammam Boughrara.

Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

Le district de Hammam Boughrara, sur lequel BENTAL détient les droits d'exploitation, comprend les gisements suivants : Roussel-1, Roussel-2, Bab, Dar Embarek, Torba et RM. Ils sont très favorables pour une exploitation à ciel ouvert. BENTAL exploite actuellement la carrière de Roussel, les autres constituent le potentiel de réserves. L'extraction se fait sans recours à l'explosif, par décapage au bulldozer. Les gisements d'argile bentonitique de Hammam Boughrara sont associés à des volcanites du Miocène supérieur. L'ensemble volcanique est recoupé par des formations rhyolitiques altérées et transformées en argiles bentonitiques. Dans la région du gisement actuellement en exploitation, Roussel-1, les terrains sédimentaires du miocène supérieur sont recoupés par des rhyolithes qui forment un massif extrudé à l'aspect d'un dôme dont le diamètre atteint 550 à 600 m.

Les gîtes d'argile bentonitique forment le contour externe de la principale extrusion de rhyolite et sont le produit de l'altération hydrothermale de roches intrusives et extrusive (tuf, pyroclastique) situés sur le pourtour du dôme.

Les argiles bentonitiques se placent le long du contact externe du massif extrudé, et leur extension atteint 500 m.

La largeur des gîtes est de 100 à 120 m pour la partie NW et de 60 à 70 m pour la partie SE du chantier. L'épaisseur de la couche varie de 10 à 40m et diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du contact externe. Le pendage est de 10° à 28° avec une direction NW-SE.

2.5 Production de la Bentonite

2.5.1 Processus de traitement de la Bentonite de Mostaganem

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

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

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

Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

Les résultats de la composition chimique sont consignés dans le **Tableau 2. 1**. Les données rapportées montrent que la teneur en SiO_2 est très importante (67.36%), suivi de Al_2O_3 (14.93%).

Tableau 2. 1 Composition chimique de la bentonite naturelle de M'zila

Élé ment	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	TiO_2	CaO	Na_2O	K_2O
teneur %	67,36	14,93	3,97	2,11	0,44	2,08	2,18	1,55

Le processus de traitement de la Bentonite issue de la carrière de M'Zila passe par les étapes suivantes :

2.5.1.1 Stockage et activation

La Bentonite brute ramenée de la carrière de M'Zila est déversée en tas sur la rampe d'alimentation de l'usine, en différentes catégories de qualité, selon les résultats des tests de laboratoire faits sur des échantillons sur les caractéristiques rhéologiques des échantillons. Cette catégorisation du brut permet d'approvisionner l'usine avec une qualité donnée.



Figure 2. 10 Stockage du tout-venant sur l'aire de l'usine de Mostaganem.

A l'aide d'une chargeuse la Bentonite brute alimente un skip de capacité 400 kg dans lequel sont aussi ajoutés les adjuvants suivants : le carbonate de sodium (Na_2CO_3) (à un taux de 1 à 2.5%) et la magnésie (MgO) (à un taux de 0.5%). L'activation consiste en un remplacement des cations d'échange Ca^{2+} , Mg^{2+} de Montmorillonite.

Le dosage se fait avant avec un doseur situé au-dessus de la chambre de réception du sécheur, mais le flux thermique entraîne des pertes quantitatives et qualitatives du carbonate de sodium. Le doseur lui-même étant défectueux.

2.5.1.2 Concassage

Le skip circule sur rails et s'élève pour déverser la bentonite brute et les adjuvants dans la trémie d'alimentation.

Par gravité le produit sera déposé sur l'alimentateur à tablier qui, à son tour achemine le produit vers le concasseur composé de deux rouleaux : un lisse et le deuxième à couteaux. La bentonite est concassée à 0-20mm. Les pertes de produit concassé sont récupérées par une goulotte et rechargées dans le godet du skip.

2.5.1.3 Séchage

Le produit concassé alimente par gravité la chambre de réception du sécheur horizontal rotatif, alimenté en chaleur en souterrain par la chambre de combustion. Le séchage est effectué dans le sécheur rotatif, le tout venant à l'entrée du sécheur ne doit pas contenir plus de 17-20% d'humidité. Cette étape du procédé est considérée comme critique, elle vise à descendre l'humidité du brut à 13-15% par chauffage modéré. La température de séchage varie entre 70 à 150°C en période hivernale. Une fois déversé dans la deuxième chambre de réception du sécheur, le produit séché est transporté par vis-sans-fin dans une fosse reliée à un élévateur à godets équipé de 52 godets, qui alimente à son tour la trémie du broyage.



Figure 2. 11 Le sécheur rotatif utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem.

2.5.1.4 Broyage

A l'aide d'un alimentateur jouant le rôle de régulateur de l'alimentation, le produit séché est déversé dans un broyeur pendulaire PM8 à moteur électrique de puissance 100cv, 75kw qui tourne à une vitesse de 1000 t/min.

L'aspiration du produit broyé se fait dans le cyclone propulsé par le ventilateur principal SV-RP92-19500 m³/H avec un moteur électrique de 80cv. Les particules fines sont séparées de l'air au niveau du cyclone.



Figure 2. 12 Broyeur pendulaire PM-8 5.

2.5.1.5 Dépoussiérage

L'installation est dotée d'un électro-filtre intensif type IFJC 5000 m³/heure, 5 rampes d'injection de 35 manches montées en circuit fermé avec le broyeur. Le cyclone installé après le broyeur a pour but la récupération de la poussière extrafine limitant les émissions à l'air libre qui sera réinjectée à la base du broyeur par une vis sous filtre. L'air poussiéreux est, par contre, repris par le ventilateur exhaure MB12-4 5000 m³/heure, 2900tr/min et sera déversé dans un bac d'eau de 3000m³ de capacité afin de récupérer les fines particules par floculation.

2.5.1.6 Ensachage

La mise en sac est assurée par une ensacheuse à air comprimé équipé d'une balance mécanique.

Le produit fini est rempli dans des sacs de 50kgs à valves et empilés dans des palettes de 1.250 t ou dans des grands sacs selon la commande.



Figure 2. 13 une ensacheuse.

2.5.2 Processus de traitement de la Bentonite de maghnia (Hammam Boughrara)

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

Les gisements bentonitiques de Maghnia et de M'zila

En 1994, SIDAM a réévalué les réserves de Roussel I, dans le cadre d'une étude de faisabilité préliminaire et réalisé des cartes de distribution des paramètres chimiques et

Tableau 2. 2 Composition chimique de la bentonite naturelle de Hammam Boughrara

Élément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	MnO	BaO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
Teneur %	60,2	18,5	3,45	4,14	0,28	0,06	0,1	1,07	0,94	1,5

physico- chimiques des bentonites de la région de Maghnia.

Les résultats de la composition chimique sont consignés dans le **Tableau 2. 2** Les données rapportées montrent que la teneur en SiO₂ st très importante (60.2%), suivi de

Al₂O₃ (18.5%).Les autres éléments sont présents en frés faible quantité.

2.5.2.1 La chaîne de production

Actuellement l'unité de traitement de Maghnia et M'zila ne produisent que les bentonites pour les foragespétrolier, la charge industriel et la bentonite de fonderie.

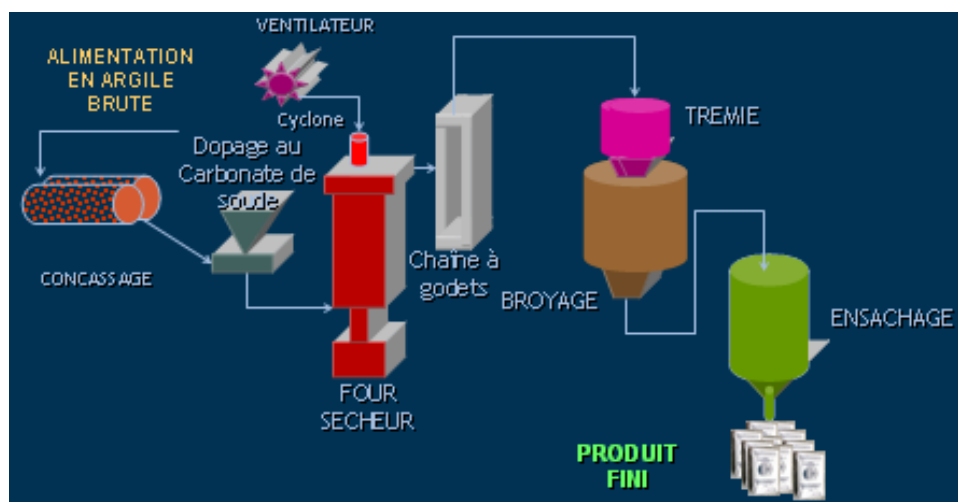


Figure 2. 14 Cycle de production de l'usine de MAGHNA

2.5.2.2 Transport et stockage de matières premières

Le tout venant est transporté par camions de la carrière de hammam Boughrara vers l'unité qui se situe à 15 Km environ.

2.5.2.3 Alimentation et concassage

Le concassage se fait par un concasseur cylindrique (**Figure 2. 4**).



Figure 2. 15 Concasseur cylindrique

2.5.2.4 Activation

Il est composé d'un doseur de carbonate de soude avec vibreur pour faciliter l'écoulement de réactif. Le mélange de TV bentonite et carbonate de soude (2 à 3%) se fait par une vis sans fin en présence d'eau pour faciliter la dissolution de carbonate et augmenter la réactivité (accélérer l'activation). A la sortie de la vis sans fin la bentonite activée est déversée dans un transporteur à bande qui alimente le séchoir.



Figure 2. 16 Doseur malaxeur

2.5.2.5 Séchage

Il s'effectue dans un four sécheur rotatif à écoulement parallèle (le TV et l'air chaud ont 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.



Figure 2. 17 Un séchoir

2.5.2.6 Broyage

Le broyeur à pendules 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 dé



Figure 2. 18 Un Broyeur SOUDRON SACRE

2.5.2.7 Ensachage

La bentonite broyée est stockée dans un silo de stockage de produit fini. L'écoulement de la poudre se fait par injection d'air (compresseur gonfleur) L'ensachage se fait dans des sacs de 50Kg et dans des big bag de 1.250 T selon la commande des clients

2.5.3 Les essais effectués aux laboratoires des deux unités

2.5.3.1 Activation a la soude – phase préparation

2.5.3.1.1 But de l'essai

Le but de cet essai est d'améliorer la bentonite et ses propriétés rhéologiques avec l'augmentation de la teneur du dopant, ici choisi comme étant le Na_2CO_3 .

2.5.3.1.2 Principe de l'essai

L'activation a la soude produit un échange cationiques entre le Ca^{2+} du tout-venant et les Na^+ de carbonate de sodium, Ca^{2+} a une affinité d'adsorbé l'eau qui se trouve dans la solution et par la suite augmenter la viscosité.

2.5.3.1.3 Matériel utilisé

- Balance de précision à 0,01 g
- Eau distillé
- Carbonate de sodium Na_2CO_3 – la soude –
- Etuve $105^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$
- Broyeur planétaire, Retsch PM 100 (voir annexe 4) permettant l'obtention d'un échantillon de fines

- Tamis de 150 microns

2.5.3.1.4 Préparation de l'échantillon

On réduit de l'échantillon global avec un diviseur ou par quartage, jusqu'à avoir des échantillons égale à 100 g.

2.5.3.1.5 Mode opératoire

- Prendre 100 g du tout-venant
- Ajouter 2 g de carbonate de sodium
- Mélanger le tout avec un peu d'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte
- Former de petites billes et les mettre à l'étuve jusqu'à séchage complet
- Broyer le produit après suscité
- Faire passer le produit dans un tamis 150 microns

On considère que la fraction broyé avec une granulométrie inférieur a 150 μm une fraction activé conforme pour les essaie qui suit.

L'activation peut être faite à plusieurs degrés d'activation : 2 g, 4 g, 8 g, ... selon le degré d'activation nécessaire.

2.5.3.2 Mesure de viscosité

2.5.3.2.1 But de l'essai

Cet essai est appliqué pour déterminer la viscosité significative d'un fluide.

2.5.3.2.2 Principe de l'essai

L'essai consiste a mesuré la viscosité d'un fluide, qui se traduit par la résistance d'écoulement du fluide. La viscosité de la boue détermine l'efficacité et même la capacité de lever des boutures sur le puits de forage. L'addition de différents types d'argile aura une incidence sur la viscosité, ainsi que l'utilisation de l'eau de mer comme opposer à l'eau claire.

Une lecture sur le viscosimètre est obtenu on changeant la vitesse de rotation de l'appareil et on changeant l'outil de mesure jusqu'à obtention de la valeur la plus approprié.

2.5.3.2.3 Matériels utilisés

- Balance de précision à 0,01 g
- Agitateur 11000 \pm 300 rpm
- Becher
- Eau distillé
- Eprouvette graduée de 500 \pm 5 cm³

- Minuterie mécanique à 0,1 mn de précision
- Viscosimètre: BROOKFIELD DIGITAL VISCOMETER model LVE

2.5.3.2.4 Préparation de l'échantillon

On utilise dans cet essai une pesé de l'échantillon activé et réduit auparavant pour avoir un petit échantillon significatif du lot étudiant.

2.5.3.2.5 Mode opératoire

- Calibré le viscosimètre en utilisant l'eau distillé, viscosité de l'eau dans les conditions normal = 1 Cp.
- Préparé 350 ml d'eau distillé dans le bécher et commencer l'agitation à l'aide du mélangeur.
- Peser une quantité de $10,5 \pm 0,1$ g de bentonite. à l'aide de la spatule, ajouter lentement et soigneusement et par quantité minime la totale quantité suscitée de la bentonite dans le mélangeur, en marche, pour éviter la création de la poussière et grumeaux.
- Après agitation de $5 \pm 0,5$ min, enlever le contenair de l'agitateur et gratter les grains de bentonite adhérente à la paroi du contenair.
- Remettre en agitation et répéter la même opération que précédemment après 5 - 10 mn d'agitation, le temps total est de 20 ± 1 mn.
- Placer le mélange dans le viscosimètre et mesurer la viscosité instantanée.
- Après vieillissement de 16 h, versez la suspension dans le container de l'agitateur et agiter pendant $5 \pm 0,5$ mn.
- Placer le mélange dans le viscosimètre et mesurer la viscosité instantanée

Le mélange pourra être préparé a plusieurs degré de saturation de bentonite (3% = 10,5 g, 6% = 21 g, 9% = 31,5 g ou autre).

L'eau utilisée pourra être remplacé par de l'eau salée à plusieurs degrés de salinité ou autre liquide faisant partie de l'étude.

2.5.3.3 Résidus 75 μ m

2.5.3.3.1 But de l'essai

Cet essai est appliqué essentiellement pour déterminé le pourcentage de la fraction des particules dépassant 75 μ m dans l'échantillon.

2.5.3.3.2 Principe de l'essai

L'essai consiste à séparer, au moyen d'un tamis 75 μ m, un matériau a plusieurs classes granulométriques en deux partie.

Le procédé adapté est le tamisage à voie humide.

La masse de grains retenus sur le tamis est rapportée à la masse initiale du matériau, on considérant que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.

2.5.3.3.3 Matériels utilisés

- Etuve 105°C ± 3°C
- Hexaméthaphosphate de sodium (40 ± 0,1 g Hexaméthaphosphate de sodium et 3,60 g de carbonate de sodium dans 1000 cm³ d'eau)
- Balance de précision à 0,01 g
- Mélangeur 11000 ± 300 rpm
- Bécher
- Tamis 15 microns.

2.5.3.3.4 Préparation de l'échantillon

On réduit de l'échantillon global avec un diviseur ou par quartage, jusqu'à avoir un échantillon égale à 10 g.

2.5.3.3.5 Mode opératoire

- prendre 10 ± 0,01 g de bentonite
- mettre en suspension avec 350 cm³ d'eau et additionner 0,2 g d' Hexaméthaphosphate de sodium
- agiter pendant 30 mn
- transférer l'échantillon dans le tamis, laver sur ce tamis avec de l'eau
- sécher jusqu'à poids constant

2.5.3.3.6 Calcul

Résidus 75µm (%) = (poids du résidu en g / poids de l'échantillon) X 100

2.5.3.4 Humidité

2.5.3.4.1 But de l'essai

L'essai a pour but de déterminer l'humidité d'un échantillon donc sa teneur en eau par rapport à son poids.

2.5.3.4.2 Principe de l'essai

La différence en poids entre l'échantillon brut et l'échantillon sécher représente la masse d'eau contenu dans l'échantillon. Par un simple calcul on détermine sa teneur en eau en %. Le séchage doit continuer jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

2.5.3.4.3 Matériels utilisés

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

2.5.3.4.4 Préparation de l'échantillon

On doit procéder à cet essai pour chaque échantillon voulant mesurer sa viscosité.

2.5.3.4.5 Mode opératoire

- peser 100,01 g de bentonite.
- Sécher à l'étuve jusqu'à poids constant (2 heures)
- Peser l'échantillon séché.

2.5.3.4.6 Calcul

Humidité (% du poids) = (perte en poids/poids de l'échantillon) / 100

2.5.3.5 Indice de gonflement :

2.5.3.5.1 But de l'essai

Cet essai a pour but de mesurer l'indice de gonflement qui représente l'habilité du matériau à se gonfler dans un fluide.

2.5.3.5.2 Principe de l'essai

A l'état anhydre, les feuillets argileux sont accordés les uns aux autres, mais ils s'écartent en présence d'eau, ce qui constitue l'une des propriétés caractéristiques des montmorillonites. Des études ont montré que l'intensité du gonflement dépend de la nature du cation compensateur, de la force ionique du milieu environnant et de la quantité d'eau totale.

2.5.3.5.3 Matériels utilisés

- Burette de 50 ml ± 0,1 ml
- Eau distillé
- Balance de précision à 0,01 g
- Etuve 105°C ± 3°C
- Minuterie mécanique à 0,1 mn de précision
- Spatule

2.5.3.5.4 Préparation de l'échantillon

On doit procéder à cet essai pour chaque échantillon voulant mesurer sa viscosité.

2.5.3.5.5 Mode opératoire

- remplir une burette de 50 ml de volume avec de l'eau distillée
- peser $0,5 \pm 0,01$ g de bentonite et verser la dans la burette
- laisser pendant 45 mn et rajouter une autre quantité similaire de bentonite
- laisser le tout au repos pendant 2h
- noter le volume du gonflement.

2.5.3.5.6 Calcul

Indice de gonflement (%) = (volume du gonflement X 50) / (50 – humidité)

2.5.3.6 Les exigences du plan de contrôle

Au niveau des unités de l'ENOF, la production de la bentonite est soumise à des exigences suivant la norme API 13, le tableau suivant montre les différentes propriétés spécifiques pour chaque type de produit.

Tableau 2. 3 Tableau des exigences du plan de contrôle.

	Humidité	Viscosité apparente	INDICE de Gonfle ment	Perte au filtrat (cm³)	Résidu 75 µm
Boue de forage	15% max	30Cp min	8% min	16 max	2.5%
Bentonite de fonderie	16%max.	/	10% min	16 max	/
Bentonite de charge industrielle(BCI)	18% max	/	/	/	/

CHAPITRE 03 : Les méthodes du traitement

3 Les méthodes du traitement

3.1 Introduction

Pour atteindre l'objectif de notre projet qui est la réduction de la silice de la bentonite de Maghnia et de M'zila, nous avons adopté deux méthodes de traitement différentes, un traitement par voie thermique (la fusion alcaline) et l'autre par voie humide (la flottation).

Dans ce chapitre on va expliquer brièvement ces méthodes

3.2 La fusion alcaline

La fusion alcaline est un processus thermique qui se produit souvent dans un four, permettant d'analyser les silicates à l'aide d'un fondant généralement une base (NaOH).

Dans notre cas cette méthode est destinée à dissoudre la silice à partir de bentonite à une température modérée de 550⁰C à l'aide d'un fondant basique l'hydroxyde de sodium NaOH.

Cette fusion est une combinaison de deux phénomènes :

- La déshydroxylation : qui est une décomposition de cristaux à une structure désordonnée.
- La dissolution par l'effet de l'hydroxyde de sodium NaOH : Perturbations structurelles menées par la rupture des liaisons instables d'argile sont suivies par l'effondrement de la structure et la formation de silicate de sodium et d'aluminate de sodium. [26]

3.3 La flottation

La flottation est un procédé de traitement physico-chimique pour les particules fines, basé sur les propriétés superficielles des minéraux, elle est parmi les méthodes de séparations du schéma descriptif d'une colonne de flottation les plus utilisées en industrie, notamment parce qu'elle permet des taux de récupération élevés pour de faibles teneurs et de petites granulométries.

La flottation peut être décomposée en un certain nombre d'opérations élémentaires :

- La mise en suspension des particules solides, idéalement constituées d'une seule phase qui doivent être séparées.

- Le traitement de la pulpe avec certains réactifs (conditionnement) pour rendre hydrophobe la surface de certaines particules.
- L'introduction de la pulpe dans les cellules de flottation, appareil munis d'un système d'injection de bulles d'air et fournissant l'agitation nécessaire à la suspension du solide.
- L'attachement des bulles d'air aux surfaces hydrophobes.
- La montée en surface due à la poussée d'Archimède des ensembles (agrégats) particule-bulle.
- L'établissement dans la partie supérieure de la cellule d'une phase écume stable dans laquelle vont se rassembler les particules qui flottent.
- L'enlèvement de l'écume enrichie en phase solide à séparer pour former le concentré.
- L'enlèvement de la pulpe restant dans la cellule.

3.3.1 Les interfaces de la flottation

3.3.1.1 L'interface solide-liquide

L'interface solide-liquide est l'interface la plus importante en flottation. Elle est caractérisée à la fois par des phénomènes électriques et par des phénomènes d'adsorption. Le phénomène le plus important qui se produit à l'interface solide-liquide est celui de l'adsorption qui est le phénomène le plus important réalisé par l'ajout des réactifs chimiques de flottation. [29]

3.3.1.2 L'interface liquide-gaz

En flottation, l'interface liquide-gaz met en relation la solution aqueuse avec les bulles d'air utilisées pour entraîner les particules hydrophobes au concentré. Les propriétés de cette interface sont influencées majoritairement par un composé appelé moussant. L'ajout de ce dernier à l'eau fait baisser sa tension inter faciale liquide-gaz et donc abaisser l'énergie potentielle d'une bulle d'air dans l'eau. En conclusion, la bulle d'air se sent nettement plus à l'aise dans la phase aqueuse.

3.3.1.3 Système solide-liquide-gaz

Les interfaces telles qu'elles ont été décrites n'existent pas en soi, mais plutôt en relation étroite l'une avec l'autre. Les propriétés du système délimité par les trois phases de l'eau, la particule minérale et la bulle d'air, soit l'angle de contact et l'adhésion, sont très importantes en flottation ; en fait, le comportement de ce système permet de déterminer la flottabilité d'une espèce minérale.

3.3.2 Paramètres influençant le système solide-liquide-gaz

3.3.2.1 Angle de contact

L'angle de contact est l'angle mesuré dans la phase aqueuse entre l'interface solide-liquide et l'interface liquide-gaz.

On comprend que l'expression angle de contact est bien choisie puisqu'elle désigne à quel point un contact donné est réussi entre une bulle d'air et un minéral. Ainsi, un angle de contact nul ou très petit caractérise un minéral non hydrophobe mais hydrophile. On dit alors que la solution mouille le solide. Un angle de contact élevé, par contre, signifie qu'une particule est hydrophobe, donc qu'elle est apte à être attachée solidement à la bulle d'air, donc flottable.

3.3.2.2 Adhésion

L'adhésion est un état stable d'attachement découlant d'un contact, d'une collision entre une bulle d'air et une particule. Cet état stable est caractérisé par un angle de contact favorable ($>80^\circ$ généralement).

Enfâite, il faut noter que le comportement de l'interface solide-liquide est conditionné, en flottation, par l'action des collecteurs, des activant et des déprimants. Quant aux caractéristiques de l'interface liquide-gaz, elles dépendent principalement de l'action du moussant. Par ailleurs, ce sont presque tous les réactifs qui caractérisent l'interface solide-gaz.

3.3.3 Les réactifs de flottation

Les réactifs de flottation sont des substances chimiques qu'on ajoute à la pulpe dans le but de réaliser une flottation sélective des minéraux et ainsi améliorer son efficacité. Ceux-ci se divisent en deux classes et qui sont :

- Les réactifs de flottation agissant sur la surface des minéraux qu'on divise en groupes selon leurs fonctions et qui sont : Les collecteurs, Les déprimants (dépresseurs), les activant, et les régulateurs de milieu.
- Les réactifs de flottation agissant sur la surface de séparation gaz-liquide. Ce sont les moussants qui font disperser l'air aspiré dans la cellule de flottation et contribuent à la formation d'une mousse stable et solide.[24]

3.3.3.1 Les collecteurs

Les collecteurs sont des substances organiques qui se fixent sur la surface de certains minéraux et augmentent leur flottabilité. Ils permettent la réduction de la mouabilité des minéraux par la formation sur leur surface d'une pellicule hydrophobe contribuant à l'adhésion des minéraux aux bulles d'air. Les collecteurs peuvent être des composants

Les méthodes du traitement

ionisants, aptes à se dissocier dans l'eau comme ils peuvent être des composants non ionisants, qui sont pratiquement insolubles et tendent à le rendre imperméable en couvrant sa surface avec une couche fine.

Les collecteurs sont divisés en trois grandes catégories :

- Les collecteurs non ionisés et non polaires : leur particularité est qu'ils ne contiennent pas la partie polaire, c'est pourquoi ils n'agissent pas avec l'eau et avec les surfaces des minéraux, mais ils ont la possibilité de se fixer sur la surface hydrophobe des minéraux. On utilise ces collecteurs pour la flottation des minéraux hydrophobes, ayant une haute flottabilité naturelle. Il s'agit dans ce cas des hydrocarbures.
- Les collecteurs anioniques : ce sont des collecteurs lors de la dissociation desquels le radical hydrocarbure entre dans la composition de l'anion. On distingue les carboxyles et les tiocarboxyles. On peut citer les xanthates et les aérofloats...
- Les collecteurs cationiques : ce sont les collecteurs lors de la dissociation desquels le radical hydrocarbure entre dans la composition du cation. Ce sont les amines et leurs sels.

Tous les collecteurs sont des réactifs organiques. La plupart du temps, ce sont des composés hétéropolaires constitués de deux extrémités : une non-polaire ou hydrophobe, généralement une chaîne hydrocarbonée. L'autre, polaire et hydrophile, est souvent chargée négativement ou positivement.

Le mécanisme d'action du collecteur est le suivant : la tête polaire va se fixer sur la surface de la particule dont la charge a été acquise lors du broyage, et la chaîne organique va, par adsorption, rendre la surface de la particule hydrophobe. Ce mécanisme est schématisé sur la figure suivante :

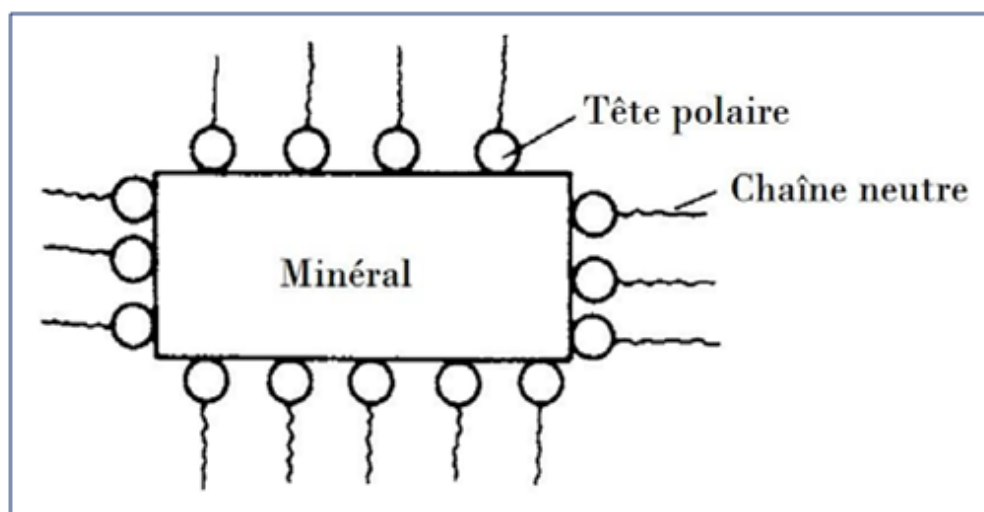


Figure 3. 1 Schéma représentatif de l'action du collecteur.

3.3.3.2 Les déprimants

Les déprimants ou bien dépresseurs sont des substances ayant grand rôle dans la flottation qui consiste à augmenter la sélectivité d'action des collecteurs par rapport aux minéraux à valoriser.

Les déprimants sont les produits chimiques sélectifs les plus utiles en flottation. Il en existe une gamme très étendue entre des réactifs organiques et inorganiques. Les minéraux qui se rapportent à la même classe (ex : minéraux sulfatés) flottent avec le même collecteur. L'utilisation du déprimant permet d'augmenter la sélectivité de l'action du collecteur aux minéraux appartenant à la même classe.

Le rôle du déprimant est d'annuler l'effet du collecteur sur certaines surfaces minérales précises, et ainsi de faire plonger les minéraux que l'on ne veut pas flotter, en évitant par-là leur piègeage dans le produit de mousse. On peut citer quatre mécanismes principaux de l'action des déprimants :

- ✓ La dissolution de la couche du collecteur qui se trouve sur la surface du minéral et la création des conditions qui empêchent la formation d'une telle couche.
- ✓ La supplantation des ions du collecteur par les ions du déprimant forment avec les ions du minéral la combinaison hydrophile difficile à dissoudre.
- ✓ La formation sur la surface du minéral d'une combinaison superficielle hydrophile (sans supplantation du collecteur).
- ✓ La formation sur la surface du minéral déprimé de la couche hydrophile qui est constituée de particules fines.

3.3.3.3 Les moussants

Un agent moussant est un réactif organique hétéropolaire, c'est-à-dire qu'une extrémité de la molécule est polaire et hydrophile, et l'autre est non polaire et hydrophobe. Cette molécule est tensioactive : elle permet pour de faibles concentrations en solution d'abaisser la tension interfaciale liquide-gaz à une valeur minimale.

Les moussants contribuent à la formation d'une mousse stable et solide et cela est assuré en jouant sur la dimension des bulles d'air et la solidité de la mousse comme suit :

- ✓ Diminution de la dimension moyenne des bulles d'air ainsi que leur vitesse : En réduisant la taille des bulles et régularisant leur forme ; plus sphériques et plus petites,

les bulles remontent plus facilement et plus lentement à la surface, et leur finesse augmente la surface de l'interface liquide-gaz.

- ✓ Augmentation de la solidité de la mousse : Stabiliser la mousse à la surface de la cellule, ce qui permet une meilleure récupération du minerai à flotter, tout en évitant de le mélanger avec les autres minéraux en présence dans la pulpe.

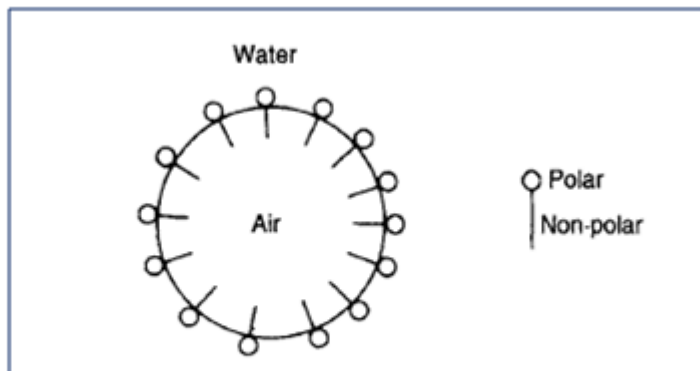


Figure 3. 2 schéma montrant l'action des moussants sur la surface d'une particule.

3.3.3.4 Les activant

L'activant est employé avant d'ajouter le collecteur pour rendre la surface d'un minéral donné apte à l'adsorber, Il contribue donc à une meilleure fixation du collecteur sur les surfaces minérales.

Généralement, les activant sont des sels solubles qui s'ionisent en solution. Les ions réagissent alors avec les surfaces minérales pour former de nouveaux composés, peu solubles, qui se déposent de nouveau sur ces surfaces et forment avec le collecteur un film hydrophobe qui permettra la récupération des minéraux voulus.

3.3.3.5 Les régulateurs du milieu

Les collecteurs, les déprimants et les activant réagissent directement avec les minéraux en changeant leurs flottabilité.

Les régulateurs des milieux exercent leur influence sur la flottabilité des minéraux par voie indirecte en changeant la composition ionique de la pulpe.

Un régulateur est un réactif déterminant le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe. Il s'agit d'acides ou de bases, utilisés pour régler le pH du milieu qui, comme indiqué précédemment, possède une grande influence sur le rendement d'une opération de flottation.

Les fonctions principales de ces réactifs sont la régulation du PH de la pulpe ainsi que l'élimination des ions indésirables.

3.3.4 Les exigences aux réactifs de flottation

Les réactifs de flottation doivent être :

- Bon marché c'est à dire pas chers.
- Etre stable lors du stockage.
- Etre solubles dans l'eau.
- Ne pas être toxiques.
- L'action des réactifs de flottation doit être sélective.
- La qualité des réactifs de flottation doit être standardisée.

3.3.5 Les Paramètres influant sur l'opération de flottation

L'efficacité du procédé de flottation dépend des conditions suivantes :

3.3.5.1 La grandeur du minerai à flotter

La préparation mécanique d'un minerai avant sa flottation revêt une importance considérable, car le degré ainsi que le mode de broyage ont une influence directe sur le rendement de l'opération. En effet, il faut en premier lieu que la maille de libération du minéral à extraire soit atteinte, de façon à obtenir une récupération optimale du minéral avec un minimum de gangue. Par ailleurs, il est absolument nécessaire d'éviter le sur broyage du minerai qui aurait pour effet de créer un phénomène d'adagulation, ou slimecoating (littéralement : recouvrement par les ultrafines) ; les ultrafines, ou schlamms, recouvrent les particules minérales, gênant ainsi la fixation du collecteur et diminuant le rendement de l'opération. De même, les grandes particules sont indésirables pour la flottation, vu qu'elles exigent une grande consommation des collecteurs pour augmenter leur hydrophobie.

3.3.5.2 La densité de la pulpe de flottation

Il est indésirable d'avoir des pulpes très denses ainsi que les pulpes très diluées. La dilution optimale de la pulpe dépend de la grosseur du minéral à flotter, sa densité et de la qualité voulue du produit de mousse.

La densité optimale de la pulpe augmente avec l'augmentation de la grosseur et de la densité du minéral à flotter.

Pour diminuer les pertes du minéral utile dans un rejet on utilise les pulpes plus denses. Alors que pour augmenter la qualité du produit de mousse, on utilise les pulpes plus diluées.

3.3.5.3 La température de la pulpe

La flottation est un procédé physico-chimique dont la vitesse dépend de la température du milieu ; en effet, l'augmentation de la température de la pulpe implique une amélioration en

termes de dispersion du collecteur dans la cellule et donc, une augmentation de la vitesse de flottation.

3.3.5.4 Influence du pH

De même que pour le broyage, le pH possède une influence certaine et non-négligeable sur le rendement d'une opération de flottation. De fait, le pH du milieu agit directement sur le potentiel surfacique des particules. Ainsi, on définit le Point de Charge Nulle (PCN ou PZC, Point of Zero Charge), pour lequel le potentiel zêta d'une particule minérale est nul, et qui est atteint à un pH déterminé. On comprendra aisément l'intérêt présenté par le PCN lors de la flottation, car il facilite l'action du collecteur, ce qui conduit à une réduction de sa consommation ; dans certains cas, on peut même se passer de l'utilisation du collecteur.

3.3.6 Les types de Flottation

Il existe plusieurs types de flottation utilisés dans l'industrie et qui sont connus sous les noms de la flottation directe et la flottation inverse.

3.3.6.1 La flottation directe

La flottation directe consiste à extraire prioritairement la substance utile comme produit de mousse et on laisse la gangue plonger en produit de cellule. On effectuera donc une flottation directe du minéral utile. Cette flottation est généralement utilisée pour récupérer des petites quantités valorisables présentes dans une gangue importante, ou purifier le produit de cellule des impuretés qui y sont présentes.

3.3.6.2 La flottation Inverse

En revanche, ce procédé consiste à faire flotter la gangue, en laissant la substance utile en produit de cellule, dépendamment des quantités à récupérer et des réactifs nécessaires, il peut parfois être plus intéressant d'effectuer une flottation inverse de la substance utile, notamment lorsque la flottation sélective de certain minéraux s'avère difficile à effectuer car demandant des conditions particulière qu'il rendu d'obtenir et de conserver.

3.3.7 Appareils de flottation

Cette section se veut comme une brève introduction aux appareils de flottation, et ce afin de faciliter la compréhension des points subséquents.

3.3.7.1 La cellule de flottation

Les cellules sont essentiellement constituées d'un réservoir, dans lequel une turbine est entourée de chicanes, dont l'un des rôles est d'assurer l'homogénéité de la pulpe

Les méthodes du traitement

L'air provient de l'axe de la turbine et l'aération peut se faire de deux façons. Elle peut se faire de façon indépendante par la pression négative générée par la rotation très rapide de la turbine qui aspire l'air ou par l'injection d'air à l'aide d'une soufflante à faible pression. L'air est ainsi introduit dans le système, puis dispersé sous forme de fines bulles grâce à l'action combinée de la turbine et des chicane. Le diamètre des bulles est une caractéristique très importante, car il définit la surface disponible pour l'adhésion des particules solides. Le concentré, constitué de mousse chargée de particules hydrophobes, est recueilli à la surface de la cellule, généralement à l'aide d'un dispositif appelé écumeur.

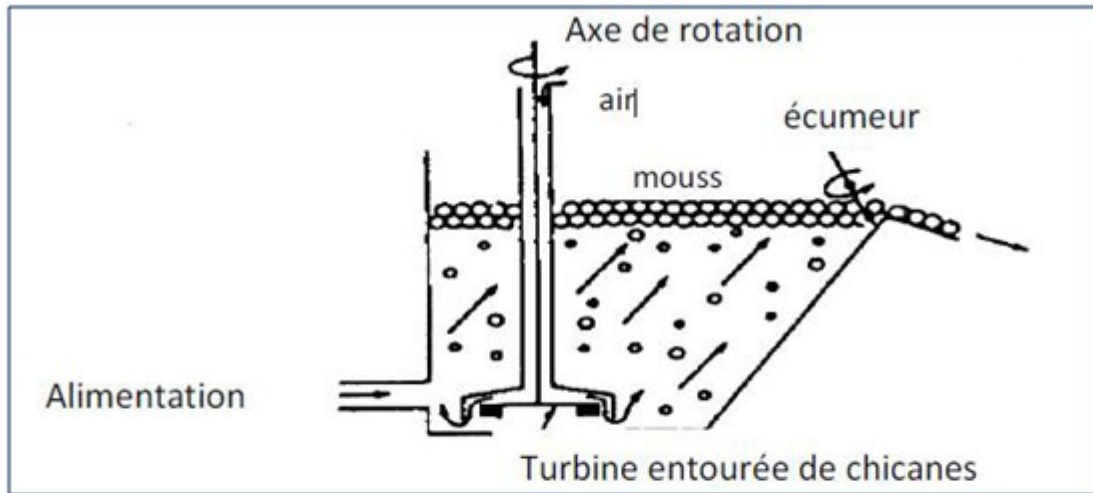


Figure 3. 3 Schéma de cellule de flottation.

3.3.7.2 La colonne de flottation

Ce sont des cellules ne comportent pas d'agitation mécanique. L'air y est introduit par un générateur de bulles, en fond de cellule. Quant à la pulpe, elle est injectée à environ les deux tiers de la hauteur de la colonne. Les particules solides cheminent à contre-courant du flux des bulles. Les mousses recueillies à la partie supérieure sont lavées par aspersion d'eau.

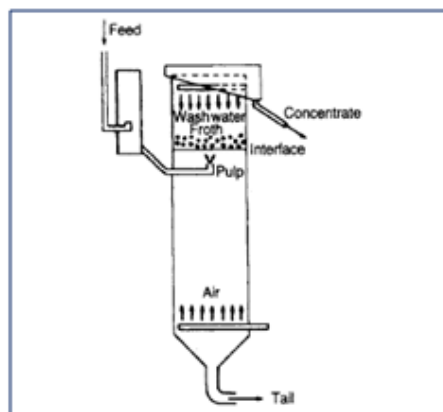


Figure 3. 4 Schéma descriptif d'une colonne de flottation.

CHAPITRE 04 : Partie expérimentale

4 Partie expérimentale

4.1 Introduction :

Deux types d'échantillon de bentonite naturelle sont utilisés dans ce travail, le premier a été ramenée du gisement de HAMMAM BOUGHRARA, qui est située à 15 km au Nord-est de la ville de MAGHNIA, et le deuxième a été ramenée du gisement de M'Zila qui est située à 35 km au Nord-est de la ville de MOSTAGANEM.

Cette partie est organisée autour de trois étapes principales pour le traitement qui a le but d'améliorer la qualité de la bentonite par la réduction de la silice.

- En première étape les deux types de la bentonite sont utilisés après des processus de préparation préalable (séchage, concassage, broyage, échantillonnage et analyse granulométrique).
- Nous avons utilisé en deuxième étape la séparation magnétique en éliminant les impuretés des oxydes du fer.
- Dans la troisième étape nous avons adopté deux méthodes de traitement qu'on a déjà expliqués dans le chapitre précédent.

Le schéma ci-dessous résume les étapes expérimentales entreprises au laboratoire de valorisation des minéraux utiles du département de Génie Minier – ENP Alger.

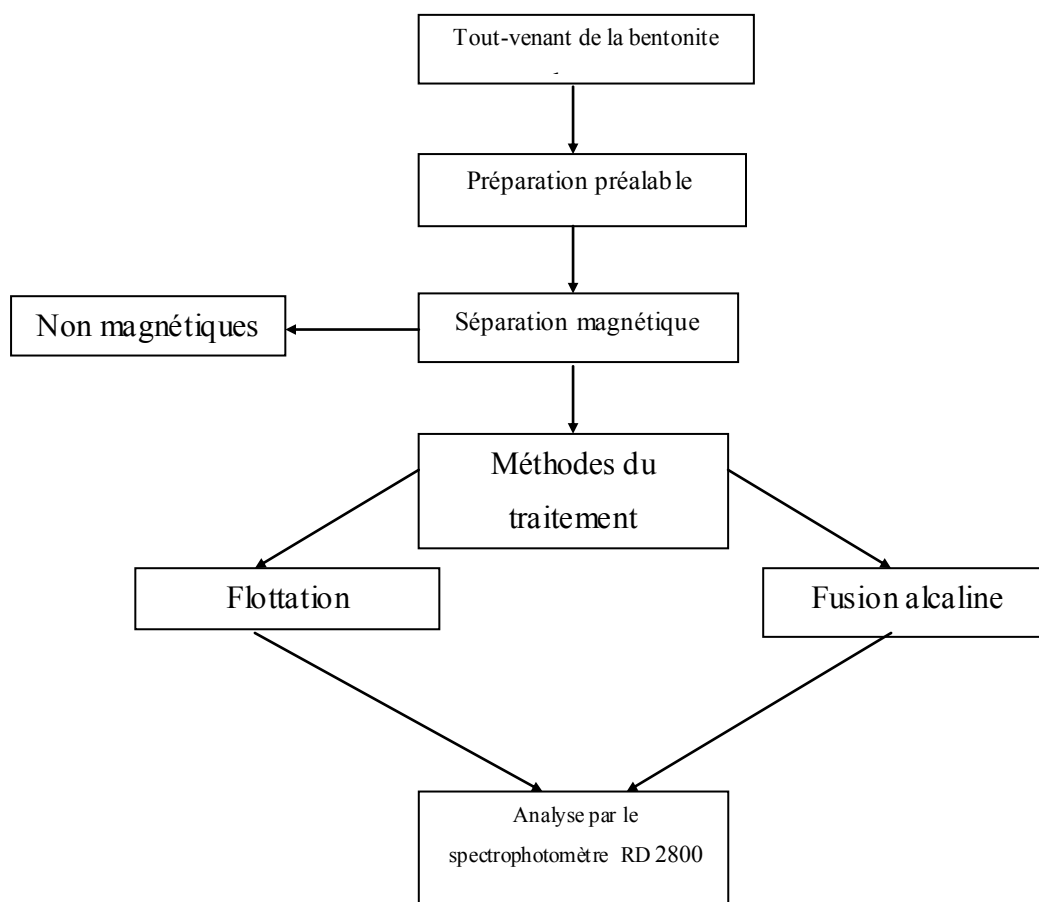


Figure 4-1 Flowsheet des processus de traitement.

4.2 L'étape01 : Préparation des échantillons

Ces processus suivants sont utilisés pour les deux types de la bentonite :

4.2.1 Concassage

Le concassage est une opération de réduction du tout-venant extrait de la mine ou de la carrière jusqu' à une dimension de l'ordre de quelques centimètres. Le concassage a été effectué à l'aide d'un concasseur à mâchoire au niveau de notre laboratoire de département de génie minier. Ce concasseur permet de réduire un échantillon de 0-50 mm jusqu'à 0-3 mm.

4.2.2 Séchage

Le séchage a été effectué à l'aide d'une étuve (à 100⁰C pendant 2h) au niveau de notre laboratoire de département de génie minier. Ce séchage pour but de faciliter le broyage.

4.2.3 Broyage

A la sortie du concasseur, et après avoir réduit la taille des touts venants jusqu'à moins de 3 mm, l'étape suivante consiste à réduire encore la dimension des grains jusqu'à une certaine granulométrie. Un broyage a été effectué à l'aide d'un broyeur à boulets du laboratoire de génie minier, qui nous a permis d'avoir des granulométries de moins de 250 microns

4.2.4 Échantillonnage :

L'échantillonnage est l'opération qui permet d'obtenir plusieurs échantillons représentatifs à partir d'un seul échantillon primaire en le divisant suivant des procédures bien précises ou bien en utilisant des machines conçues spécialement pour ça.

Cette étape est très importante dans une opération de valorisation, car c'est à partir de la qu'on peut juger la fiabilité des résultats en fonction de la manière de l'effectuer. Il s'agit d'une phase décisive du travail, car seul le bon échantillonnage assure la représentativité de l'échantillon et donc la conservation des propriétés initiales du tout venant.

L'échantillonnage a été effectué à l'aide d'un diviseur rotatif *Retsch*. C'est une opération qui consiste à diviser une quantité de minerai donnée en plusieurs parties représentatives et homogènes.



Figure 4-2 Un diviseur rotatif Retsch

4.2.5 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est l'opération qui permet de répartir quantitativement une masse de minerais à travers une série de tamis dont les ouvertures suivent des lois conformément aux normes, afin de connaître le comportement de la roche lors du concassage qui dépend principalement de la constitution des grains et de leur dureté, ainsi que de fournir des fractions granulométriques qui serviront aux prochaines étapes de valorisation et de traitement.

On effectue une analyse granulométrique selon la norme européenne EN 933-1. Cette analyse consiste à établir un classement des différents grains de l'échantillon à l'aide de plusieurs tamis selon leurs dimensions dont les mailles sont décroissantes du haut vers le bas.

On place notre échantillon dans la partie supérieure des tamis (le tamis ayant la plus grande dimension) et on lance le processus de l'analyse granulométrique qui nous permettra d'obtenir un classement des grains par vibration de la colonne des tamis.

4.2.5.1 Mode Opérateur

Afin de procéder à l'analyse granulométrique à notre échantillon, qui est éventuellement sec, sera versé dans le tamis se trouvant en haut de la colonne, il correspond au tamis dont la maille a la plus grande ouverture. Dans, la séries utilisée, les ouvertures ont une relation constante l'une avec l'autre,

Il s'agit d'une, échelle métrique, une racine deuxième de 2 (1.41), chaque dimension de maille d'un tamis correspond donc à la dimension du précédent multipliée par 1.41 (module $\sqrt{2}$) ce qui permet un dimensionnement étroit des particules.

La durée d'un essai de l'analyse granulométrique est en fonction du nombre de tamis utilisé, à raison de 2 minutes par tamis. Après avoir effectué l'analyse granulométrique, on met le produit de chaque tamis dans un sac et on les pèse pour de réaliser une courbe granulométrique.

Les appareils à utiliser pour réaliser cette analyse sont :

- Un plateau ;
- Une balance électronique ;
- Une série de tamis de la norme AFNOR en inox ayant les diamètres qui seront cités dans les tableaux suivants (250 ; 200 ; 160 ; 125 ; 80 ; 63 ; 40) μm
- Une tamiseuse ;
- Des bacs, des brosses et des sacs

Les résultats sont représentés dans les tableaux suivantes :

4.2.5.2 Essai 1 : bentonite de M'zila

Un échantillon de masse initiale de $m_0=600$ g.

Tableau 4-1 Résultat d'Analyse granulométrique d'un échantillon de la bentonite de M'zila

Tamis (μm)	Refus (g)	refus cumulé (g)	refus cumulés %	Tamisât %
+250	4	4	0,67	99,33
-250 + 200	14	18	3,00	97,00
-200 +160	116	134	22,33	77,67
-160 +125	73	207	34,50	65,50
-125 +80	86	293	48,83	51,17
-80 +63	101	394	65,67	34,33
-63 +40	88	482	80,33	19,67
-40 +0	118	600	100	0

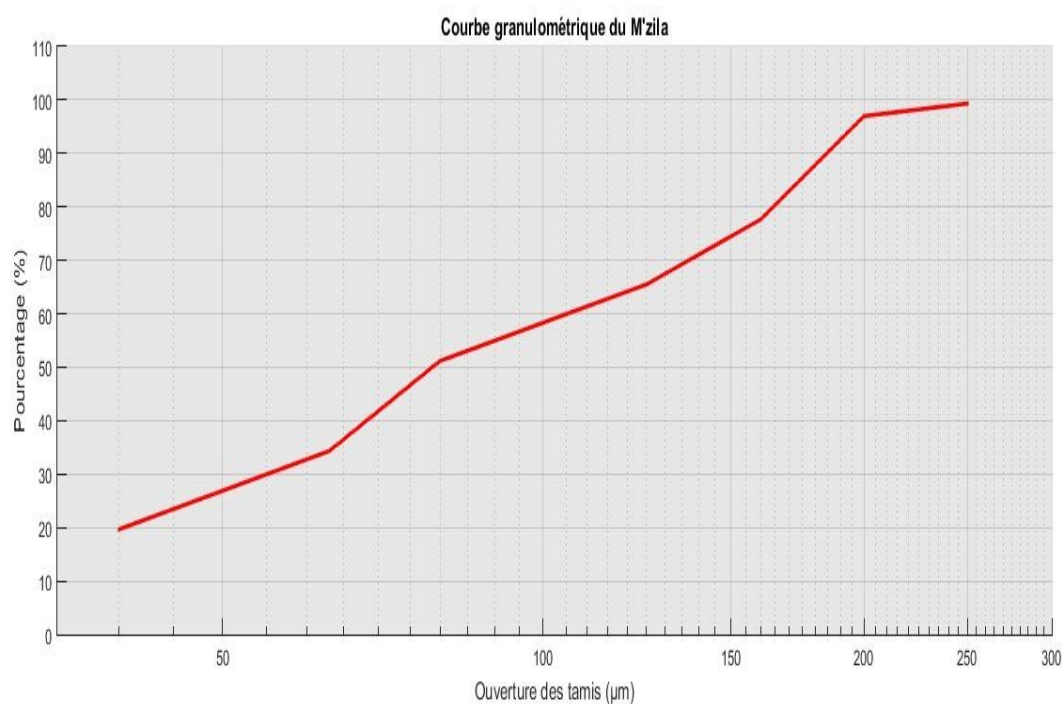


Figure 4-3 Courbe granulométrique de la bentonite de M'zila.

4.2.5.3 Essai 2 : bentonite de Maghnia

Un échantillon de masse initiale de $m_0=500$ g.

Tableau 4-2 Résultat d'Analyse granulométrique d'un échantillon de la bentonite de Maghnia.

Tamis (μm)	refus(g)	refus cumulé(g)	refus cumulés %	Tamisât %
+250	13	13	2,6	97,4
-250 + 200	58	71	14,2	85,8
-200 +160	116	187	37,4	62,6
-160 +125	66	253	50,6	49,4
-125 +80	87	340	68	32
-80 +63	74	414	82,8	17,2
-63 +40	62	476	95,2	4,8
-40 +0	24	500	100	0

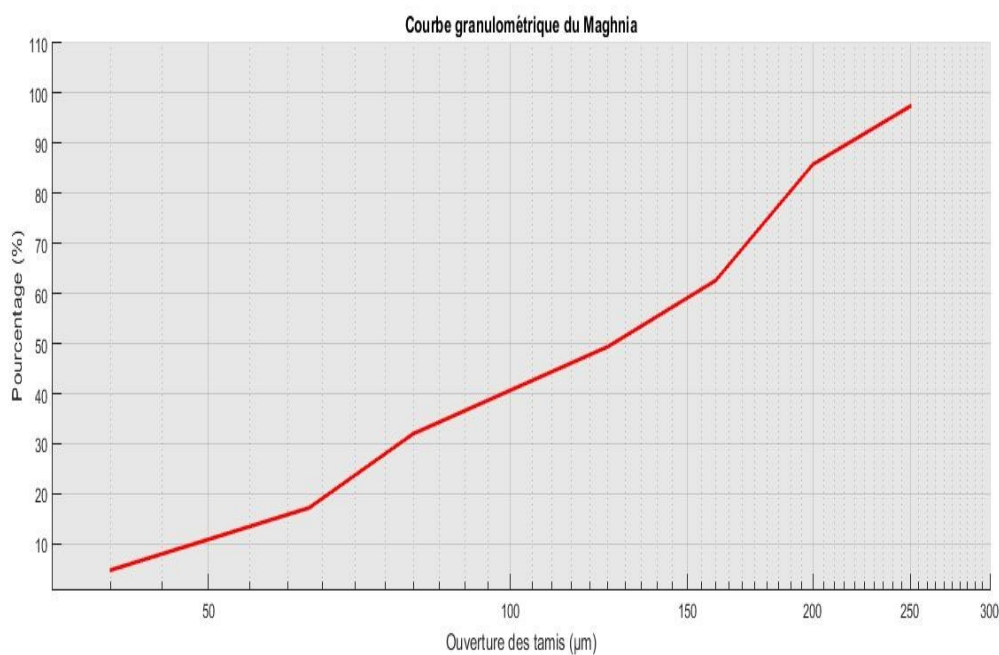


Figure 4-4 Courbe granulométrique de la bentonite de Maghnia .

4.3 L'étape02 : Séparation magnétique

La séparation magnétique permet de séparer les matériaux selon leur tendance à se magnétiser. Elle est basée sur la compétition entre les trois forces tractives magnétiques et les forces interarticulaires attractives. Un séparateur produisant un champ magnétique sera apte à séparer les éléments ferromagnétiques des autres matériaux. Le mécanisme fondamental de ces éléments est la capacité de former des aimants permanents, ou sont attirés par des aimants (comme le fer).

Le but de cette étape est pour retirer les oxydes du fer contiennent dans la bentonite. Le travail se fait par un séparateur magnétique SMHI au notre laboratoire de département génie minier par un séparateur magnétique dont leur principe de fonctionnement est illustré dans la figure suivante :

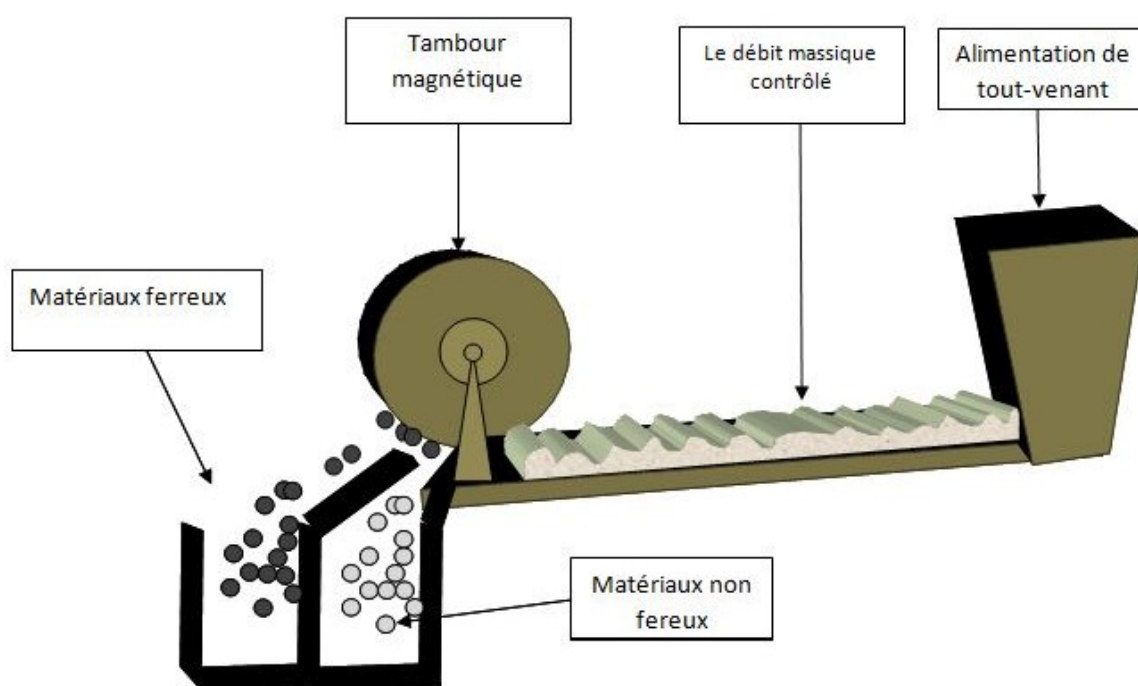


Figure 4-5 Schéma résume le principe de fonctionnement du séparateur magnétique.

4.3.1 Le principe de fonctionnement :

Le principe consiste à alimenter le tout-venant (l'échantillon broyé de classe 250 μ m) dans un réservoir d'alimentation dont l'ouverture de sortie est variable pour but de contrôler le débit, puis l'échantillon se déplace régulièrement sur un convoyeur vibrant par la suite un tambour rotatif magnétisé qui permet de séparer les particules ferromagnétiques de l'échantillon.

Partie expérimentale

Après plusieurs essais initiaux on arrive à choisir les paramètres optimaux liés au séparateur, pour récupérer le maximum de la quantité des oxydes du fer contenant dans la bentonite.

Les paramètres choisis sont :

- L'intensité maximale : $I=12v$
- L'angle de clapet : $\theta=43^0$
- Le débit massique optimal : $Q=20g/min$

4.3.2 Le mode opératoire :

- On pèse 1000g de chaque type de la bentonite.
- Puis on alimente le séparateur magnétique, il y aura deux parties séparées, les éléments magnétiques et les non magnétiques.
- À chaque fois on récupère la quantité des éléments magnétiques séparés.
- On répète le même processus pour la partie non magnétique jusqu'on est sûr que les éléments magnétiques sont tous séparés.

A la fin, on pèse la quantité séparée(les éléments magnétiques).

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau 4-3les résultats de la séparation magnétique.

Type d'échantillon	Quantité initiale (g)	Quantité séparée(g)	Le pourcentage massique %
Bentonite de M'zila	1000	4.6	0.46
Bentonite de Maghnia	1000	2.2	0.22



Figure 4-6 Séparateur magnétique SMHI.

La figure suivante montre un résultat de la séparation magnétique :

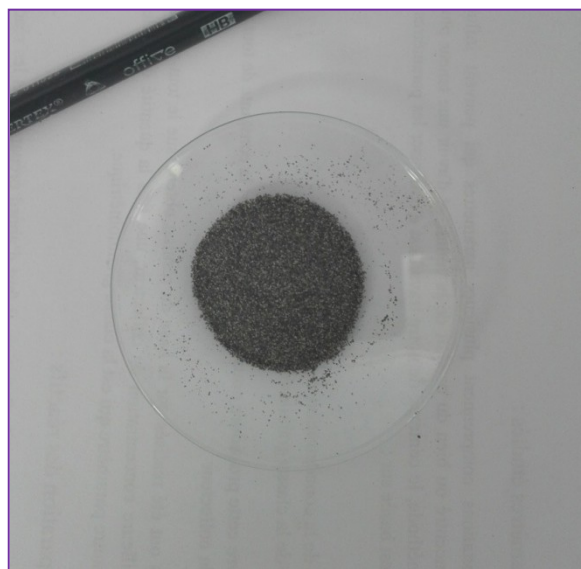


Figure 4-7 Résultat de la séparation magnétique.

4.3.3 Interprétation des résultats

Nous pouvons constater qu'une quantité de fer qui est illustrée par la figure 4.7 a été enlevée. N'ayant pas pu caractériser le produit non magnétique, il nous est impossible de connaître exactement la quantité qui demeure dans le produit non magnétique. Nous avons juste présenté le rendement massique.

4.4 L'étape03 : Méthodes de traitement

4.4.1 Traitement par voie thermique (la fusion alcaline)

4.4.1.1 Méthodologie

La réduction de la silice de la bentonite a été réalisé en adoptant la procédure de fusion alcaline qui consiste à :

- mélanger la bentonite en poudre avec l'hydroxyde de sodium pour un rapport en poids, (Bentonite / NaOH) de (1 : 1,2).
- Chauffer le mélange obtenu à 550°C pendant 1 h dans un four. La masse fondue obtenue est refroidie à la température ambiante pendant une nuit.
- Après cette étape, la bentonite fondue est mélangée avec de l'eau distillée pour un rapport en poids de (1 :4) (bentonite/eau).
- Le mélange est vieilli pendant 2h à la température ambiante sous agitation,et centrifugé pendant plusieurs minutes.

Deux phases distinctes ont été formées ; une phase solide et une autre liquide appelée surnageant. La figure 4-8résume toutes les étapes du processus.

- La quantité du surnageant est dosé par l'acide acétique 1M après quelque minutes une suspension blanche commence à se former. Après filtration, lavage et séchage une poudre blanche qui représente le silicate de sodium et l'aluminate de sodium est récupérée puis pesée.
- Une fois la suspension blanche commence à se former .Et après filtration, lavage et séchage une poudre blanche qui représente le silicate de sodium et l'aluminate de sodium est récupérée puis pesée.

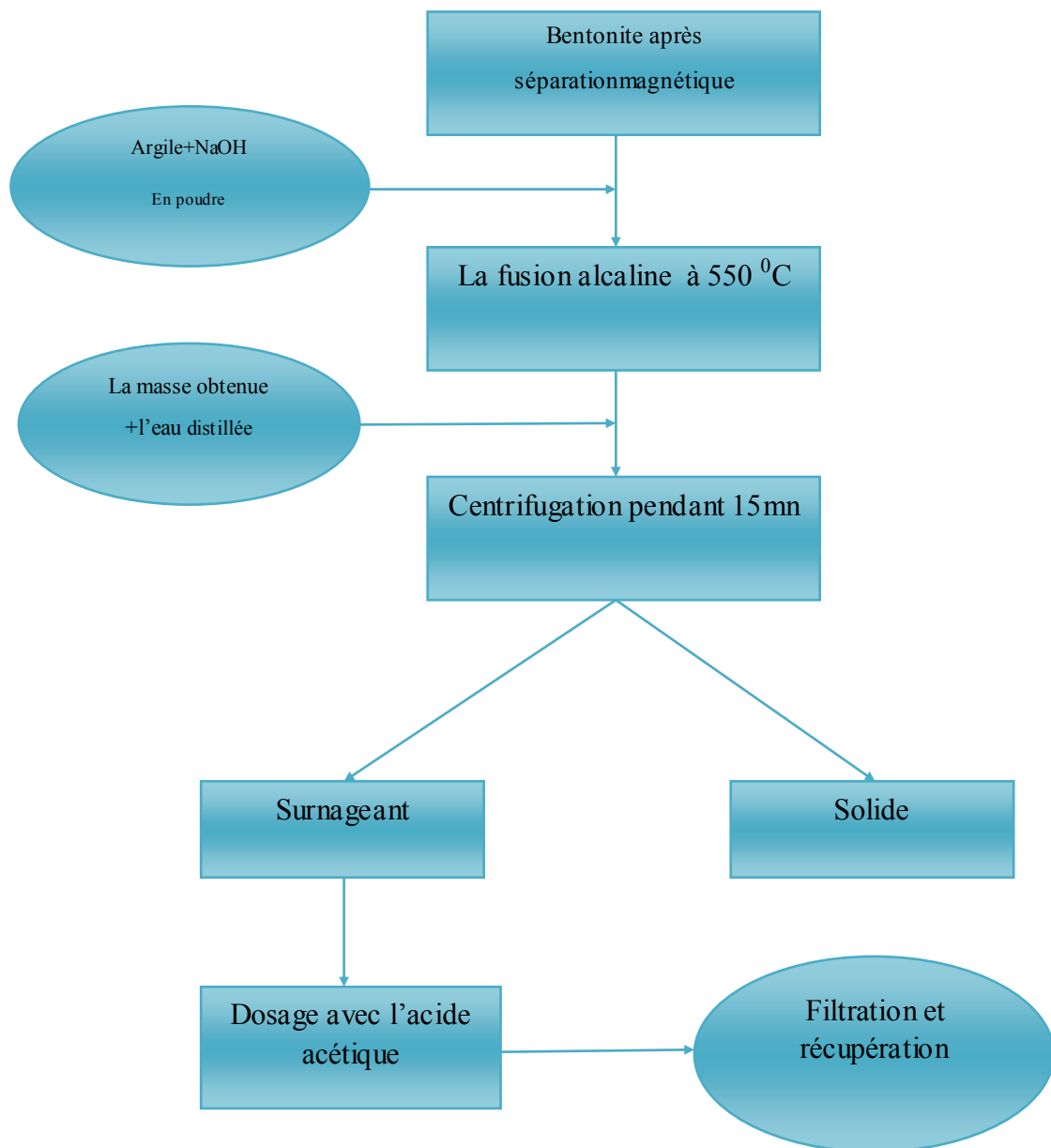


Figure 4-8 Un schéma résume les étapes du processus de la fusion alcaline.

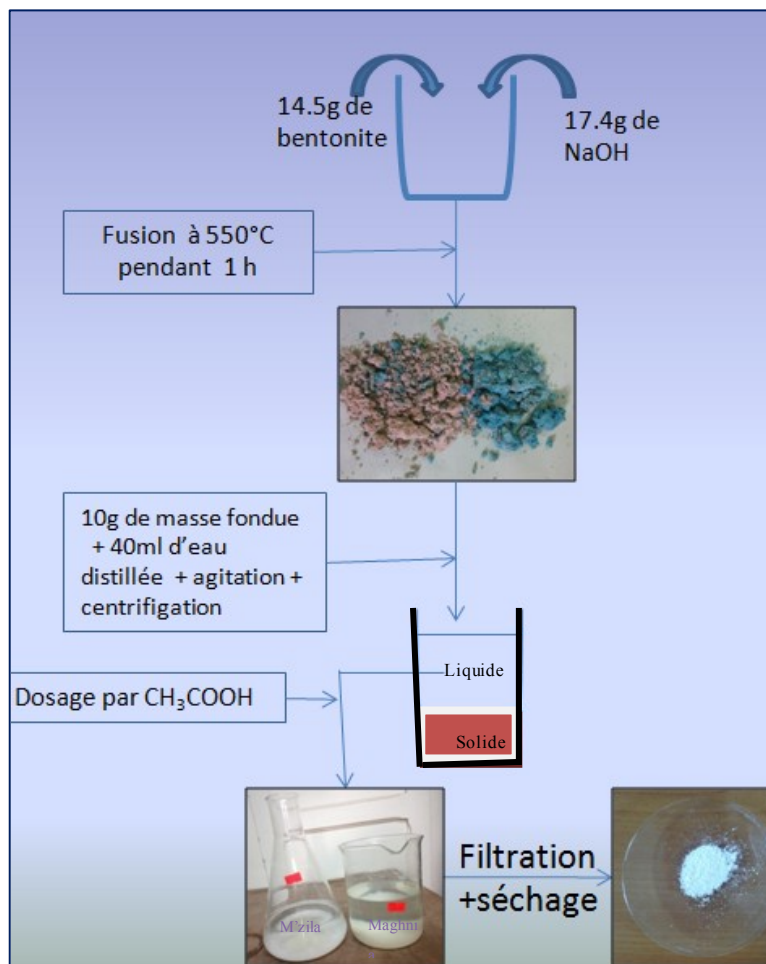


Figure 4. 9 Protocole adopté de fusion alcaline



Figure 4. 10 une masse fondue.

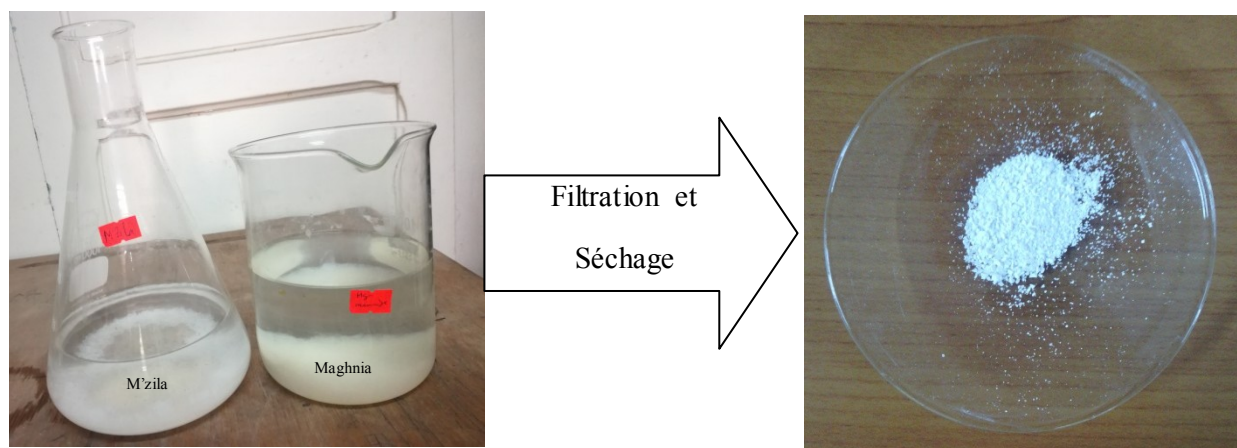


Figure 4. 12 précipitation d'une poudre blanche

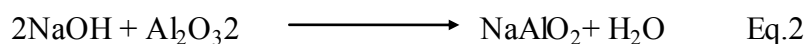
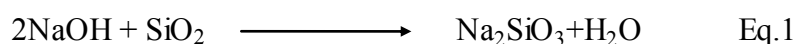
Les résultats du processus sont donnés dans le tableau suivant

Tableau 4-4 Résultat de la fusion alcaline.

Type de bentonite	La bentonite de M'zila	La bentonite de Maghnia
La quantité pesée (g)	0.11	0.28
Le pourcentage massique %	0.76	1.93

4.4.1.2 Interprétation des résultats

Au niveau du four, la fusion alcaline de la bentonite dissout la totalité des composés pour obtenir le silicate de sodium (Na_2SiO_3) Eq.1 et aluminat de sodium (NaAlO_2) Eq.2.



La bentonite fondue est mélangée avec de l'eau distillée, pour dissoudre le silicate de sodium (Na_2SiO_3) Eq.1 et aluminat de sodium (NaAlO_2), qui sont solubles dans l'eau.

Nous pouvons constater que la silice peut être réduite.

Mais le problème qui se pose est le suivant : Est ce que la bentonite récupérée est stable à 550°C et garde-t-elle ses propriétés et ses minéraux fondamentaux? On parle dans ce cas, en particulier, de la montmorillonite, la composante principale de la bentonite.

Ce qui nécessite une caractérisation chimique et minéralurgique pour dire si oui ou non, cette méthode est utile pour la réduction de la silice.

4.4.2 Traitement par voie humide (la flottation)

Dans cette partie, l'objectif est de réduire la teneur de la gangue contenue dans la bentonite nous avons utilisé la méthode de flottation qui consiste à faire flotter la bentonite pauvre en silice SiO_2 (bentonite de bonne qualité), et avoir un produit de cellule riche en SiO_2 qui est considérée comme impuretés.

4.4.2.1 Préparation des échantillons

Afin de procéder à des essais de flottations, il faut d'abord atteindre la meilleure maille de libération, dans notre cas de la bentonite de Maghnia et de M'zila.

Des essais ont été effectués sur les échantillons représentatif pour les deux types de la bentonite est sur trois fractions granulométrique qui sont :

- ❖ Fraction (-250 +160) μm .
- ❖ Fraction (-160 +80) μm .
- ❖ Fraction inférieure à 80 μm .

4.4.2.2 Paramètres étudiés

Les essais de flottations comprennent plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur la récupération du concentré ou bien du produit de la cellule et d'avoir une teneur plus élevée d'où l'objectif de cette méthode, le contexte de notre travail est d'optimiser les paramètres de flottation, donc notre étude se basera sur :

- L'influence de la concentration du collecteur.
- L'influence de la classe granulométrique.

Les essais ont été réalisés sur la base du résultat obtenue sur le tout-venant pour pouvoir sélectionner la meilleur concentration du collecteur, une fois la quantité du collecteur est fixée nous avons varié l'autre qui est la classe granulométrique.

4.4.2.3 Réactifs utilisés

Les réactifs dans les essais de flottation sont décrits dans le tableau suivant :

Tableau 4-5 Réactifs utilisés lors de l'essai de flottation

Type du réactif	Non du réactif
Régulateur du milieu	La chaux
Dispersant	Na ₂ SiO ₃
Déprimant	KCN
Collecteur	Acide oléique
Moussant	Huile de pin

4.4.2.4 Préparation des réactifs

Avant de commencer nos essais de flottation, il faut d'abord préparer tous les réactifs nécessaires dans ces essais.

4.4.2.4.1 Préparation des réactifs à partir des produits solides

Il s'agit de KCN et la chaux .pour nous avons pesé 10g de produit solide que nous avons mélangé avec 500ml d'eau distillée que nous avons agité dans une fiole.

Pour la chaux (CaO) nous avons pesé 25g de produit solide que nous avons mélangé avec 500ml d'eau distillée que nous avons agité dans une fiole.

Pour le Na₂SiO₃ on met 2g dans une fiole jaugée de 100 ml puis on complété le volume de la fiole jusqu'au traits de jauge avec de l'eau distillé.

4.4.2.4.2 Préparation des réactifs à partir de la solution concertée

Il s'agit dans ce cas l'acide oléique. Pour ce dernier, la démarche consiste à mettre un peu d'éthanol dans une fiole jaugée de 500 ml et mettre ensuite 10ml de l'acide oléique concentré puis on complété le volume de la fiole jusqu'au traits de jauge avec de l'éthanol et bien mélanger le contenu.

4.4.2.5 Essais de flottation

Nous avons effectué la flottation de chaque type de bentonite avec :

- La classe granulométriques de $250\mu\text{m}$ et différentes quantités de collecteur
- Variation des classes granulométriques et collecteur constant

Les essais de flottation sont réalisés dans le laboratoire du Génie Minier à l'aide d'une cellule de flottation de modèle Denver.



Figure 4-12 Cellule de flottation DENVER.

4.4.2.5.1 Mode opératoire

- On pèse une quantité de 100 g du minerai brut broyé que nous avons déposé dans un récipient contenant de l'eau et on place ce dernier dans la cellule de flottation et on laisse le mélange sous agitation.
- Environ 5 minutes d'agitation sont nécessaire bonne récupération de solide dans la pulpe.
- On ajoute graduellement la chaux (CaO) comme étant un régulateur du milieu jusqu'à l'obtention d'un $\text{PH}=10.5$ le temps de conditionnement est de 1 minute.
- Une fois le PH du milieu atteint une valeur de 10.5, on ajoute le silicate de sodium (Na_2SiO_3), on laisse le mélange toujours sous agitation pendant 5 min.
- On ajoute KCN et on laisse agiter pendant 5 min.

Partie expérimentale

- On ajout comme collecteur, de l'aide oléique .Ce réactif adhère à la surface des oxydes et flotte avec la bentonite pauvre en silice à la surface après l'injection de l'air (il est rend hydrophobes) la durée d'agitation est de 5 min.
- On laisse agiter encore pendant 2 min et on ajoute le moussante qui est l'huile de pin (1 goutte).
- Après l'ajout de tous les réactifs chimiques, on ouvre le bouton d'injection d'air pour provoquer la formation d'une mousse à la surface
- Le produit de mousse est automatiquement récupéré par raclage.



Figure 4-13 Essai de flottation de la bentonite.

4.4.2.6 Variante 1 : Variation de la teneur du collecteur

Dans cette étape nous avons fixé tous les paramètres et nous avons varié seulement la quantité du collecteur (acide oléique).

Tableau 4-6 Consommation en réactifs, variation 1.

Réactif	Concentration	Quantité (g/t)
La chaux	5%	Selon pH
Na ₂ SiO ₃	2%	50
KCN	2%	60
Acide oléique	6%	Variable

4.4.2.6.1 Influence de la quantité du collecteur

Acide oléique est le collecteur de SiO₂, la quantité utilisant dans notre essais été variées de la manière suivante :

Tableau 4-7 Tableau regroupant les réactifs de flottation.

Réactif		Quantité (g/t)	Concentration	Volume (ml)
La chaux		/	5%	Selon pH
Na ₂ SiO ₃		50	2%	0,25
KCN		60	2%	0,3
acide oléique	essai n° 1	100	6%	0,16
	essai n° 2	200		0,33
	essai n° 3	300		0,5
	essai n° 4	400		0,66
Huile de pin		/	/	Une goutte

4.4.2.6.2 Résultats de la variante 1

Les résultats obtenu après avoir récupérer les deux concentrés produit de cellule et produit de mousses sont filtrés et séchés, puis on les fait passer à la balance pour déterminer leurs masses respectives afin de choisir la quantité optimale du collecteur à utiliser.

Tableau 4-8 Résultats de la variation 1 pour la bentonite de Maghnia

Bentonite de Maghnia			
Essai	Le rapport massique du collecteur (g/t)	La quantité de la bentonite récupérée (g)	Le rondement(%)
1	100	39	39
2	200	51	51
3	300	47	47
4	400	55	55

Tableau 4-9 Résultats de la variation 1 pour la bentonite de M'zila.

Bentonite de M'zila			
Essai	Le rapport massique du collecteur (g/t)	La quantité de la bentonite récupérée (g)	Le rondement(%)
1	100	48	48
2	200	58	58
3	300	61	61
4	400	65	65

4.4.2.6.3 Représentation graphique

La figure suivante montre la représentation graphique du rondement de la variation 1 :

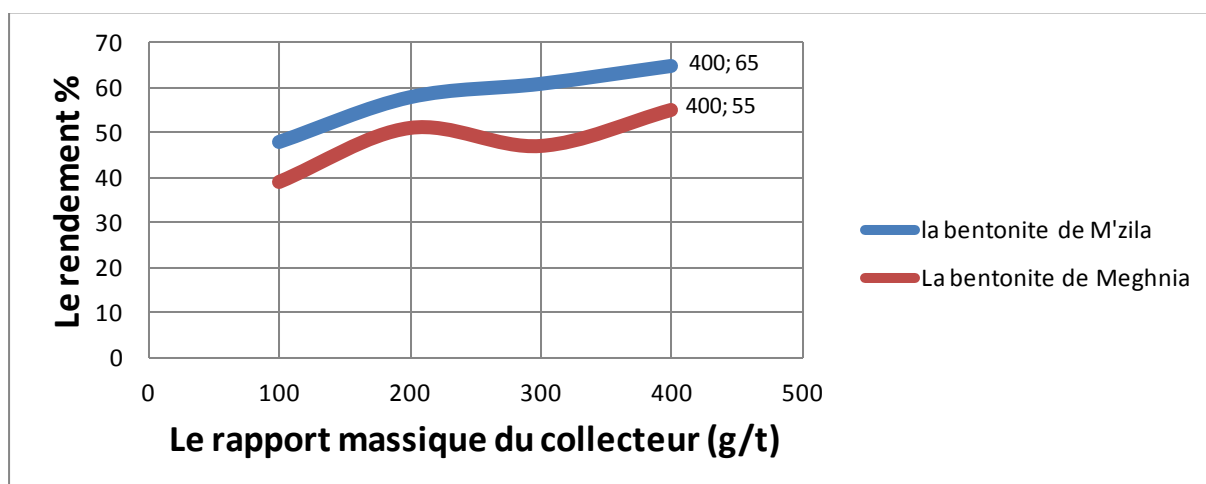


Figure 4-14 Rendement massique de la flottation en fonction de la variation du collecteur.

4.4.2.6.4 Interprétation des résultats

On remarque que la récupération pour les deux types de la bentonite augmente lorsqu'on augmente la quantité de collecteur de 100 à 400g/t. C'est à dire qu'il y a une relation proportionnelle entre la récupération et la quantité du collecteur utilisée, néanmoins nous avons trouvé que la récupération atteint le maximum à 400 g/t du collecteur donc on conclue que la quantité optimale du collecteur (acide oléique) est de 400g/t.

4.4.2.7 Variante 2 : Flottation des classes granulaires

A partir des résultats obtenus après les essais effectués dans le cas de variation de la quantité du collecteur, on a conclu que la valeur optimale du collecteur correspond à 400g/t. donc pour que l'opération de flottation se déroule dans les meilleures conditions on doit fixer la quantité du collecteur à 400g/t, puis on passe au deuxième paramètre qui est la variation de la classe granulométrique.

Tableau 4-10 *Consommation en réactifs, variation 2.*

Réactif	Quantité (g/t)	Concentration	Volume (ml)
La chaux	/	5%	Selon pH
Na ₂ SiO ₃	50	2%	0,25
KCN	60	2%	0,3
Acide oléique	400	6%	0,66
Huile de pin	/	5%	Une goutte

4.4.2.7.1 Résultats de la variante 2

Les résultats et les interprétations des essais de flottation des classes granulométriques choisies pour chaque type de bentonite seront mentionnés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 4-11 *Résultats de la variation 2 pour la bentonite de Maghnia.*

Bentonite de Maghnia		
Classe granulométrique (µm)	La masse Récupérée(g)	Le rendement (%)
250	55	55
160	41	41
80	57	57

Tableau 4-12 *Résultats de la variation 2 pour la bentonite de M'zila.*

Bentonite de M'zila		
Classe granulométrique (µm)	La masse récupérée(g)	Le rendement (%)
250	65	65
160	63	63
80	75	75

4.4.2.7.2 Représentation graphique

La figure suivante montre la représentation graphique du rendement de la variation 2 :

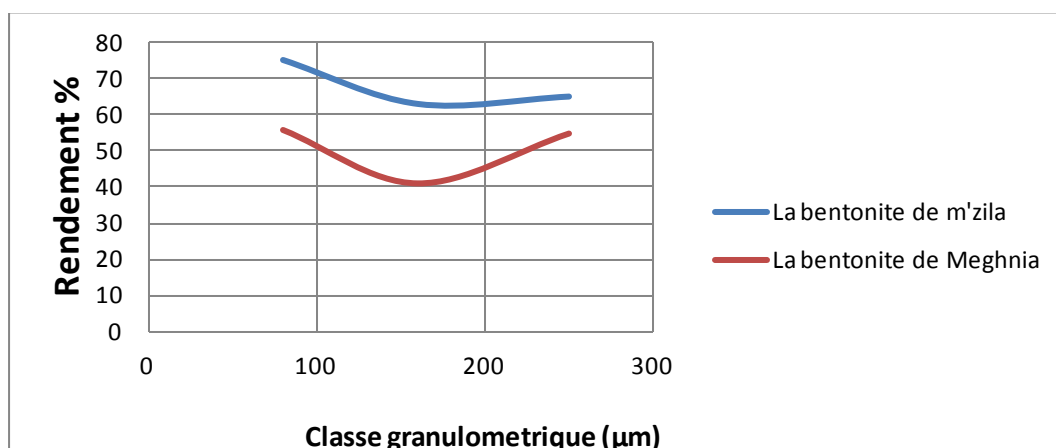


Figure 4-15 Rendement massique de la flottation en fonction de la variation de la classe granulométrique.

4.4.2.7.3 Interprétation des résultats

D'après les résultats de rendement de la flottation obtenus sous l'influence de changement des classe granulométriques on remarque que la récupération maximale de la bentonite flottée a été enregistrée avec classe granulométrique de 80μm, c'est à dire le rendement est maximal pour cette classe.

4.4.3 Technique d'analyse

4.4.3.1 Introduction

Une fois que les résultats sont obtenus par les deux méthodes de traitement donc il est nécessaire de faire des mesures sur les quantités récupérées en terme de concentration de la silice si elle est réduit ou non ? Et pour dire que nous avons atteint notre but principal ou non ? Et s'il y a une réduction de silice, quelle est la meilleure parmi les méthodes utilisées et quels sont les paramètres optimaux ayant le plus grand rendement ?

Pour cela, on a fait les analyses au laboratoire de notre département en utilisant l'appareil de spectrophotomètre RD 2800.

4.4.3.2 Le spectrophotomètre DR2800

Le spectrophotomètre DR2800 est destiné à identifier les composés chimiques présents dans l'eau, par balayage de longueurs d'onde. Etant un appareil indispensable, ce spectromètre permet de donner la concentration de ces espèces dans l'eau analysée.

Grâce à son faisceau de référence intégré, menus et le grand écran tactile facile à comprendre et minimiser la familiarisation d'éviter les erreurs de se produire. le spectrophotomètre DR2800 est approprié aux applications au laboratoire ou sur le terrain. Il permet de réaliser plus de 200 analyses qui sont pré-programmées.



Figure 4. 16 Spectrophotomètre Hach Lange DR2800

L'analyse par le spectrophotomètre d'un composé chimique nécessite le dissoudre dans l'eau. Dans ce cas, il faut trouver un moyen de dissoudre la silice :

4.4.3.3 La dissolution de la silice

La silice, également connue sous le dioxyde de silicium (SiO_2), est un composé chimique le plus souvent trouvé dans la nature comme le quartz. Connue pour son extrême dureté. Mais elle est difficilement soluble.

Pour les besoins de sa caractérisation par spectromètre DR 2800, nous avons utilisé l'acide fluorhydrique HF qui peut dissoudre la silice et former alors de l'acide fluosilicique H_2SiF_6 en solution.

4.4.3.3.1 Mode opératoire

- On verse une petite quantité (2g) de l'argile bentonitique, dans la base d'un plat en plastique.
- On ajoute à la boîte une quantité égale d'acide fluorhydrique (1,74 ml) avec une pipette en plastique.
- On mélange les ingrédients ensemble, en utilisant un mouvement d'agitation douce, avec la pointe de la pipette en plastique. Cela entraînera la silice à se dissoudre.
- On verse la solution dans un flacon puis on ajoute de l'eau distillée jusqu'à 20 ml (facteur de dilution égale à 5).
- On Agite la solution pendant deux heures.
- Centrifugation pendant quelques minutes.
- Récupération de la partie surnageant et analyse au spectrophotomètre DR 2800.

4.4.3.4 Analyse des échantillons récupérés

Tous les résultats obtenus sont analysés suivant le même mode opératoire ci-dessus.

Dans le menu principal du spectrophotomètre

- appuyez sur **Programmes enregistrés** et choisissez le programme Silice 100mg/l
- Insérez la cuvette remplie de l'eau distillée.
- appuyez sur **Zéro**.
- retirez la solution zéro et insérez la cuve d'échantillon dans le compartiment pour cuves.
- appuyez sur **Lecture**. Le résultat s'affiche.

4.4.3.4.1 Les analyses des échantillons bruts

Après l'attaque chimique par HF et dissolution de la silice les résultats obtenus par le spectrophotomètre sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 4-13 Résultat du spectrophotomètre des échantillons bruts.

Classe granulométrique (μm)		250	160	80
SiO ₂ (mg/l)	Bentonite de Maghnia	4,6	4,9	4,7
	Bentonite de M'zila	7	5,3	5,2

4.4.3.4.1.1 Interprétation des résultats

Les résultats montrent que la concentration de SiO₂ dans l'échantillon de M'zila est plus élevée par rapport à celle-ci dans l'échantillon de Maghnia.

Le même échantillon avec des différentes classes granulométriques donne des résultats différents.

4.4.3.4.2 Les analyses des résultats obtenus par la fusion alcaline

Les quantités récupérées de la bentonite par la méthode de la fusion alcaline (la partie solide après centrifugation) sont analysés par le spectrophotomètre, les résultats sont enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 4-14 Résultats du spectrophotomètre de la fusion alcaline.

fusion alcaline		
SiO₂ (mg/l)	Bentonite de M'zila	1,2
	Bentonite de Maghnia	2,3

4.4.3.4.2.1 Interprétation des résultats

Les résultats dans le tableau 4.15 sont spécifiques pour la classe granulométrique 250µm.

En comparant avec les résultats des échantillons bruts de même classe, on remarque qu'il y a une diminution de concentration de la silice.

Une diminution de 7 jusqu'à 1.2 mg/l pour l'échantillon de M'zila.

Une diminution de 4.6 jusqu'à 2.3 mg/l pour l'échantillon de Maghnia.

Donc, on est arrivé à de bons résultats pour l'échantillon de M'zila (une réduction à l'ordre de 6 fois la concentration de la silice), sachant qu'il a une concentration élevée par rapport à l'échantillon de Maghnia.

Les résultats pour les deux types de la bentonite sont satisfaisants pour dire que nous avons atteint notre objectif. Il reste à vérifier si la bentonite garde ses propriétés principales sous la température de 550⁰C.

4.4.3.4.3 Les analyses des résultats obtenus par la flottation

Les produits de la flottation (p-mousse et p-cellule) de chaque variation sont analysés par le spectrophotomètre.

4.4.3.4.3.1 La variation 01 de la quantité du collecteur

Les masses obtenues par la variation 01 de la flottation sont analysés par le spectrophotomètre pour les deux types d'échantillon, les résultats sont enregistrés dans les tableaux suivants :

Tableau 4-15 Résultats du spectrophotomètre de la variation 01 pour l'échantillon de Maghnia .

Bentonite de Maghnia					
Le rapport du Collecteur (g/t)		100	200	300	400
SiO ₂ (mg/l)	p-mousse	4,2	4	3,9	2,1
	p-cellule	5,3	4,9	6,3	7,6

Tableau 4-16 Résultats du spectrophotomètre de la variation 01 pour l'échantillon de M'zila.

Bentonite de M'zila					
Le rapport du Collecteur (g/t)		100	200	300	400
SiO ₂ (mg/l)	p-mousse	6,2	6	5,5	3,5
	p-cellule	7,4	6,8	6,1	10,2

4.4.3.4.3.1.1 Représentation graphique :

Les résultats de la variation 01 pour les deux échantillons sont présentés dans la figure suivante sachant qu'on prend en considération que les résultats pour le produit de mousse (p-mousse).

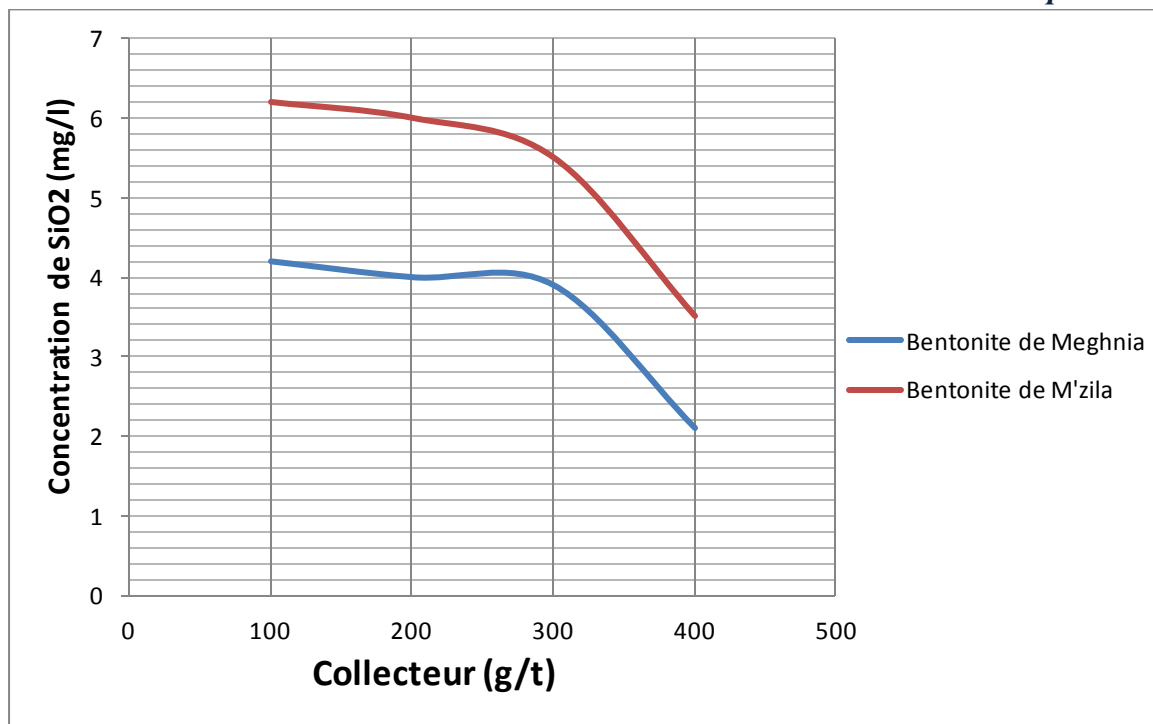


Figure 4. 17 Courbe de variations de concentration de SiO_2 en fonction de la quantité du collecteur.

4.4.3.4.3.1.2 Interprétation des résultats :

D'après ces résultats de concentration de SiO_2 de produit de mousse on voit que lorsqu'on augmente la quantité de collecteur on aura une diminution de la concentration de dioxyde de sodium (SiO_2) des produits de mousse de chaque type de la bentonite par rapport à celle de la bentonite brut.

Ainsi on remarque que la meilleure quantité de collecteur qui permet de réduire la silice est de 400 g/t.

4.4.3.4.3.2 La variation 02 de la classe granulométrique

Les masses obtenues par la variation 02 de la flottation sont analysés par le spectrophotomètre pour les deux types d'échantillon, les résultats sont enregistrés dans les tableaux suivants :

Tableau 4-17 Résultats du spectrophotomètre de la variation 02 pour l'échantillon de Maghnia.

Bentonite de Maghnia				
La classe granulométrique (μm)		250	160	80
SiO2 mg/l	p-mousse	2,1	4,5	2,8
	p-cellule	7,6	5,6	14,6

Tableau 4-18 Résultats du spectrophotomètre de la variation 02 pour l'échantillon de M'zila.

Bentonite de M'zila				
La classe granulométrique (μm)		250	160	80
SiO ₂ mg/l	p-mousse	3,5	4,8	4
	p-cellule	10,2	6,4	9,1

4.4.3.4.3.2.1 Représentation graphique :

Les résultats de la variation 02 pour les deux échantillons sont présentés dans les figures suivantes sachant qu'on prend en considération que les résultats pour le produit de mousse (p-mousse).

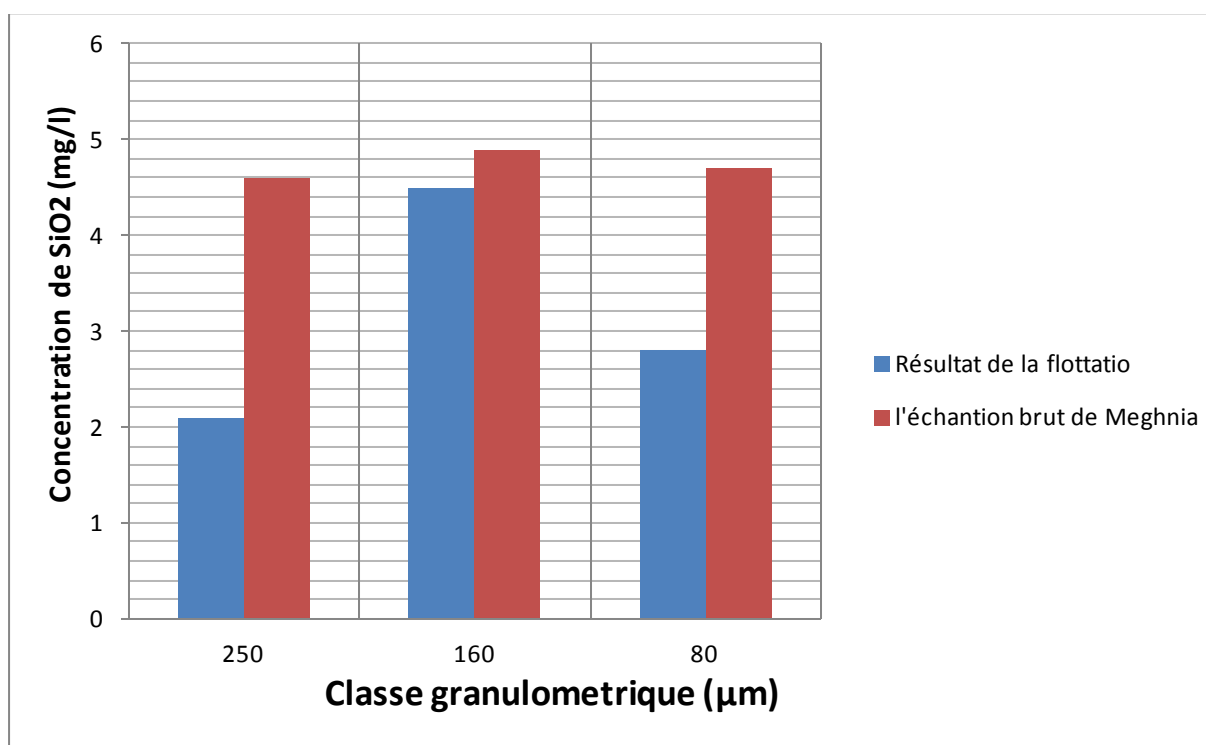


Figure 4. 18 Histogramme de variations de concentration de SiO₂ en fonction de la classe granulométrique pour la bentonite de Maghnia.

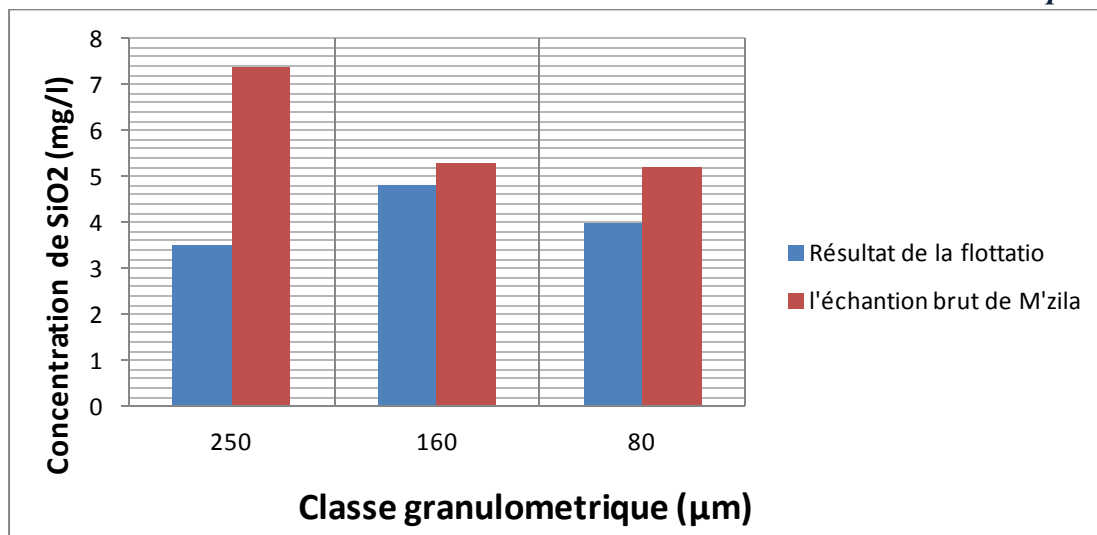


Figure 4. 19 Histogramme de variations de concentration de SiO_2 en fonction de la classe granulométrique pour la bentonite de M'zila.

4.4.3.4.3.2.2 Interprétation des résultats :

Les résultats d'analyse obtenus par spectrophotomètre DR 2800 des produits de mousse pour chaque type de la bentonite en faisant varier la granulométrie montrent qu'il y a une réduction de la silice. Et d'après ces résultats la classe granulométrique optimale est de 250 microns pour les deux types d'échantillons.

4.4.3.5 Conclusion

Nos essais au laboratoire par flottation ou par calcination ont montré que la réduction consécutive de silice contenue dans la bentonite est possible. Les résultats sont très satisfaisants et prometteurs.

La méthode de la fusion alcaline est plus efficace que la flottation, en termes de réduction du % de silice mais sa faisabilité à l'échelle industrielle est à étudier. De plus, il faut s'assurer que la bentonite calcinée garde ses mêmes propriétés pour qu'elle puisse être utilisée.

La flottation est plus sûre que la calcination et même si le degré d'extraction est moins important en comparaison avec la calcination, elle peut être développée industriellement.

Après plusieurs essais, les paramètres optimaux pour la flottation qui nous donnent le meilleur rendement sont :

L'acide oléique avec 400 g/t (collecteur) et la classe granulométrique est de (-250μm, +160μm)

Conclusion générale

Le premier chapitre est dédié aux généralités sur la bentonite en détaillant la microstructure des argiles, essentiellement la montmorillonite, sa classification et son usage. A souligner que la qualité de la bentonite est affectée par les minéraux non argileux riches en silice.

Les argiles, grâce aux types des espèces qu'elles contiennent sont classées en différents groupes et la bentonite qui est une argile à base de montmorillonite, une espèce minérale du groupe smectite ayant une structure élémentaire appelée feuillet, qui est une superposition de trois couches : une couche d'alumine octaédrique entre deux couches de silice tétraédrique.

La bentonite a des larges applications dans différents domaines industrielles grâce à ses propriétés spécifiques.

La bentonite calcique peu se modifier et se transformer en bentonite sodique en ajoutant le carbonate de sodium NaCO_3 ; ce type est utilisé couramment pour former la boue des forages pétroliers.

Les autres minéraux riches en silice qui sont associés à la bentonite comme le quartz et la cristobalite affectent sa qualité, surtout dans le cas de boue de forage.

Nous avons apporté notre contribution, par ce travail expérimental qui a pour seul objectif la réduction de la silice. En adoptant deux méthodes du traitement différentes et au vu des résultats obtenus, nous estimons que l'objectif est atteint.

L'étude expérimentale que nous avons totalement menée au laboratoire pédagogique de notre département de Génie Minier sous la direction de Dr OULD HAMMOU Malek, qui nous a aidé à travers les protocoles du traitement.

Les réactifs utilisés dans les processus de traitement ont été à faible concentration comme le KCN à 6% qui est toxique, mais avec cette concentration le risque de pollution ne pose aucun problème sur l'environnement reste faible. Toutefois, ce réactif sera remplacé par un autre si la méthode est retenue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Le Pluart, L., 2002. "Nanocomposites Epoxyde/amine/montmorillonite : Rôle des interactions sur la formation, la morphologie aux différents niveaux d'échelle et les propriétés mécaniques des Réseaux," Thèse de doctorat de L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [2] : Caillère, S., S. Hénin and M. Rautureau., 1882. "Minéralogie des argiles" Masson, Tomes 1 et 2, 184p et 189p.
- [3]: Luckham, P. F. and S. Rossi, 1999. "Colloidal and rheological properties of bentonite suspensions" *Adv. Colloid Interface Sci.* 82, 43-92 .
- [4] : Pédro, G., 1999. "Les minéraux argileux" dans "Pédologie Constituants et propriétés du sol". Eds. Duchaufour Ph. et Southier B. Masson, Paris 665p, 47-64.
- [5] : Jozja, N., 2003. "Étude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation "multi-échelle" d'une bentonite Magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans.
- [6] : BOURAS, O., 2003. Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation. Thèse de doctorat. Université de Limoges de France.
- [7] : Viallis-Terrisse, H., 2000. "Interaction des Silicates de Calcium Hydratés, principaux constituants du ciment, avec les chlorures d'alcalins. Analogie avec les argiles., Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne .
- [8]: M'bodj, O., N. K. Ariguib, M. T. Ayadi and A. Magnin., 2004 "Plastic and elastic properties of the systems interstratified clay-water-electrolyte-xanthan" *J. Colloid Interface Sci.* 273, 675-684;
- [9]: <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/argiles.htm>. (10/05/2018) .
- [10] : GAOMBALET, J., 2004. Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage. Thèse de doctorat. Ecole Polytechnique de Paris.
- [11] : HAYDN, H.M., 2007. Applied clay mineralogy.
- [12]: *International Journal of Biological Macromolecules* 47 (2010) 196–200 (Synthesis of chitin–bentonite clay based polyurethane bio-nanocomposites.
- [13]: G.M. Bol, Koninklijke/Shell E&P Laboratorium. 1986. Bentonite Quality and Quality-Evaluation Methods.
- [14] : Bilal S*, Mohammed-Dabo I.A., Dewu B.B.M., Momoh O.R., Funtua I. I., Oladipo M.O.A., Arabi A.S. and Tukur M. ,2015 Effect of Quartz (Free Silica) Removal on the Quality of Nigerian Bentonitic Clays for application in Drilling Fluid Formulation .

- [15]: G.W. Brindley, G. Brown (Eds.), Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification, Mineralogical Society, London,
- [16]: Le Pluart, L., J. Duchet, H. Sautereau, P. Halley and J.-F. Gerard., 2004. "Rheological properties of organoclay suspensions in epoxy network precursors" Appl. Clay Sci.
- [17] : Viallis-Terrisse H., 2000. "*Interaction des Silicates de Calcium Hydratés, principaux constituants du ciment, avec les chlorures d'alcalins. Analogie avec les argiles*". Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne.
- [18] : Paumier S., 2006. "*Facteurs déterminant l'organisation et la rhéologie du système argile-eau pour des suspensions de smectites*", thèse de doctorat de l'université de Poitiers.
- [19] : BENTAL, 1994. Projet de développement d'exploitation du gisement des argiles bentonitiques de M'Zila. Groupe Minier SIDAM. Inédit.
- [20] : irradiations micro-ondes. Application à l'adsorption de l'Uranium". Thèse magistère de l'école nationale polytechnique département Génie Chimique 2006.
- [21] : DEHIM, S., 2004. Etude géologique des argiles bentoniques. Mémoire de fin d'études. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene d'Alger.
- [22] : SONAREM, 1972
- [23] : BENTAL, 2009. Plan d'exploitation annuelle. Inédit.
- [24] : BENTAL, 2007. Protocole d'analyse. Inédit.
- [25] : A.ZADJAOUI ; "Rapport annuel, 2007-2008-2009", ANGCM.
- [26]: T. Ali-Dahmane, L. Brahmi, R. Hamacha, F. Villieras and A. Bengueddach 2017 SYNTHESIS OF MCM-41 NANOMATERIAL FROM ALGERIAN BENTONITE: INFLUENCE OF SYNTHESIS pH.
- [27]: R.P. Chapuis. 2002. The 2000 R.M. Hardy Lecture: Full-scale hydraulic performance of soil bentonite and compacted clay liners
- [28]: Chulho LEE, et al. 2010. (Characteristics of thermally-enhanced bentonite grouts for geothermal heat exchanger in South Korea).
- [24]: OuldHamou Malek. 2016. Cours de Flottation.