

	الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية	
	People's Democratic Republic of Algeria	
	وزارة التعليم العالي والبحث العلمي	
	Ministry of Higher Education and Scientific Research	
	جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم	
	Abdel Hamid Ibn Badis University – Mostaganem	
	كلية العلوم والتكنولوجيا	
	Faculty of Sciences and Technology	
قسم هندسة الطرائق		
	Department of Process Engineering	

N° d'ordre : M2/MHT/2025

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

**Filière : Génie des Procédés**

**Option : Génie Chimique**

**Thème**

**Caractérisation physico-chimique de la bentonite et optimisation  
des paramètres de production industrielle : Cas de l'unité ENOF-  
M'ZILA de Mostaganem**

**Réalisé par :**

Mlle MOKADEM Lamia

**Soutenu le 23/06/2025 devant le jury composé de :**

**Présidente :** BESSAHA Fatiha                      Professeure                      Université de Mostaganem

**Examinatrice :** BENYAKKOU Nabila                      MCB                      Université de Mostaganem

**Encadrante :** BENHOURIA Assia                      MCA                      Université de Mostaganem

**Année Universitaire : 2024 / 2025**

# Dédicace

*Avent toute, je dois rendre grâce à dieu de m'avoir donné le Courage  
de terminer ce travail.*

*Je dédie ce travail à ma famille Tout d'abord à mon cher père, A ma  
chère mère, aux prés de Qui Je trouve le réconfort et le repos, j'espère  
être à la hauteur de ses Espérances et ne jamais la décevoir.*

*A toute la famille MOKADEM et MAOUCHE.*

*Et toutes mes chères amies*

*A toute la promotion de génie chimique 2024 /2025.*

Lamia.

# Remerciement

*Tout d'abord je remercie le bon dieu de nous avoir accordé la santé, le courage et Surtout la volonté pour réaliser ce modeste travail je tene à exprimer notre profonde reconnaissance à madame **Dr. BENHOURIA Assia**, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin notre travail, nous lui très reconnaissants pour son soutien, son aide et sa gentillesse. Je espère qu'elle trouve ici l'expression de nos profondes gratitudes.*

*Nos plus vifs remerciements aux membres de jury **Dr. BENYEKKOU Nabila** qui a accepté de présider ce jury, **Pr. BESSAHA Fatiha** d'avoir bien voulu examiner ce travail. Je profite l'occasion pour remercier du fond du cœur toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Je remercie aussi tous nos enseignants qui nous ont suivis le long de nos études.*

*A, tous mes amis(e)s pour leur aide qu'ils m'ont apporté durant la période de travail*

*Enfin, je voudrais remercier mes parents, par qui tout a commencé et qui malgré la distance ont toujours été prêts à m'aider et à me soutenir surtout pendant les moments les plus difficiles.*

*Merci à tous.*

## Résumé

La présente étude concerne la caractérisation de la bentonite produite à Mostaganem. Le processus industriel en globe l'exploitation minière (décapage, extraction, transport), suivie du traitement en usine. Ce dernier implique l'activation avec des adjuvants ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ), le concassage, le séchage rotatif, le broyage, et l'ensachage final du produit. Suivant les analyses physico-chimiques (viscosité, humidité, indice de gonflement, perte au filtrat, taux de sable) garantissent la qualité. Cette dégradation de la qualité est liée à la diminution de la masse de bentonite avec l'augmentation de l'humidité et à une corrélation négative entre viscosité et volume de filtrat. Ces observations suggèrent une influence des conditions de séchage sur les propriétés finales, soulignant la nécessité d'optimiser ce paramètre pour garantir la conformité du produit.

**Mots clés :** La bentonite, l'humidité, séchage, carbonate de sodium, magnésium.

## Abstract

This study concerns the characterization of bentonite produced in Mostaganem. The industrial process compasses mining (stripping, extraction, transport), followed by in-plant processing. The latter involves activation with additives ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ), crushing, rotary drying, grinding and final bagging of the product. physico-chemical analyses (viscosity, moisture, swelling index, filtrate loss, sand content) guarantee quality. This deterioration in quality is linked to a decrease in bentonite mass within creasing humidity, and a negative correlation between viscosity and filtrate volume. These observations suggest an influence of drying conditions on final properties, underlining the need to optimize this parameter to guarantee product conformity.

**Key words:** Bentonite, moisture, drying, sodium carbonate, magnesium.

## ملخص

تتعلق هذه الدراسة بتخصيص البنتونيت المنتج في مستغانم. تشمل العملية الصناعية التعدين (التجريد، والاستخراج، والنقل)، تليها المعالجة في المصنع. وتشمل المعالجة الأخيرة التنشيط باستخدام المواد المضافة ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ، ( $\text{MgO}$ ) والسحق، والتجفيف الدوار، والطحن، والتعبئة النهائية للمنتج. يتم ضمان الجودة من خلال التحليلات الفيزيائية الكيميائية (اللزوجة، الرطوبة، مؤشر التورم، فقدان الترشيح، المحتوى الرملي). ويرتبط هذا التدهور في الجودة بانخفاض كتلة

البتونيت مع زيادة الرطوبة والعلاقة السلبية بين الزوجة وحجم الترشيح. تشير هذه الملاحظات إلى تأثير ظروف التجفيف على الخصائص النهائية، مما يؤكد الحاجة إلى تحسين هذا المتغير لضمان مطابقة المنتج

**الكلمات الرئيسية:** البتونيت، والرطوبة، والتجفيف، وكربونات الصوديوم، والمغنيزيوم

# Table de matière

## INTRODUCTION GENERALE .....

## CHAPITRE I : PARTIE THEORIQUE .....

### I.1 Présentation de l'entreprise ENOF .....

#### I.1.1 Présentation de l'entreprise de Mostaganem.....

I.1.1.1 Informations générales sur le gisement..... 4

I.1.1.2 Informations sur l'usine ..... 4

I.1.1.3 Organisation du travail ..... 5

I.1.1.4 Moyens de protection et de surveillance ..... 6

### I.2 Les argiles .....

#### I.2.1 Définition .....

#### I.2.2 Structure des argiles .....

#### I.2.3 Classification des minéraux argileux .....

### I.3 La bentonite.....

#### I.3.1 Définition .....

#### I.3.2 Types de bentonites .....

#### I.3.3 Origines de la bentonite.....

#### I.3.4 Les domaines d'utilisation de la bentonite.....

#### I.3.5 Structures de la bentonite .....

#### I.3.6 Avantage de bentonite .....

#### I.3.7 Composition chimique de la bentonite.....

#### I.3.8 Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite référence .....

#### I.3.9 Principales utilisations de la bentonite.....

## CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTAL .....

### II.1 Les travaux d'exploitation .....

#### II.1.1 Stade de découverte .....

#### II.1.2 Stade d'abattage ou d'extraction.....

#### II.1.3 Stade de chargement et transport .....

### II.2 Processus de traitement .....

#### II.2.1 Activation.....

#### II.2.2 Alimentation.....

#### II.2.3 Concassage.....

#### II.2.4 Séchage .....

#### II.2.5 Broyage.....

II.2.6 Ensachage .....

**II.3 Matériels et méthodes (laboratoire) .....**

II.3.1 Préparation de l'échantillon .....

II.3.2 Mesure de la viscosité .....

II.3.3 Mesure de L'humidité .....

II.3.4 Mesure l'indice du gonflement .....

II.3.5 Mesure de la perte au filtrat .....

II.3.6 Mesure du taux de sable (résidu 75 $\mu$ ) .....

**II.4 Résultats et discussions .....**

II.4.1 La viscosité .....

II.4.2 Calcul d'humidité.....

II.4.3 Calcul volume du filtrat .....

II.4.4 Calcul l'indice du gonflement.....

II.4.5 Calcul le taux de sable (résidu 75 $\mu$ ).....

II.4.6 La viscosité en fonction du volume de filtrat.....

**CONCLUSION GENERALE .....**

**ANNEXE A .....**

**BIBLIOGRAPHIE .....**

# Liste des Figures

<b>Figure I.1</b> : Vue générale de l'Algérie du Nord. ....	6
<b>Figure I.2</b> : Situation du gisement par rapport à l'unité de Mostaganem. ....	7
<b>Figure I.3</b> : Vue générale du gisement de M'Zila. ....	7
<b>Figure I.4</b> : Unité ENOF Mostaganem. ....	8
<b>Figure I.5</b> : Schéma de la structure générale d'une argile [7]. ....	9
<b>Figure I.6</b> : Représentation de la couche tétraédrique [9]. ....	9
<b>Figure I.7</b> : Représentation de la couche octaédrique [9]. ....	10
<b>Figure I.8</b> : Structure idéale de la montmorillonite et de la beidellite référence. ....	14
<b>Figure II.1</b> : Décapage du stérile. ....	19
<b>Figure II.2</b> : Extraction de la bentonite. ....	20
<b>Figure II.3</b> : Chargement et transport. ....	21
<b>Figure II.4</b> : Carbonate de sodium et la magnésie. ....	22
<b>Figure II.5</b> : Alimentateur. ....	22
<b>Figure II.6</b> : Concasseur. ....	23
<b>Figure II.7</b> : Séchoir. ....	23
<b>Figure II.8</b> : Broyeur. ....	24
<b>Figure II.9</b> : Ensacheuse. ....	24
<b>Figure II.10</b> : Big-Bag (1250kg). ....	24
<b>Figure II.11</b> : Protocol de préparation de produit fini. ....	26
<b>Figure II.12</b> : Appareillages de mesure la viscosité (a.Viscosimètre , b.Agitateur.). ....	27
<b>Figure II.13</b> : Méthode d'analyse de la viscosité. ....	28
<b>Figure II.14</b> : l'étuve. ....	29
<b>Figure II.15</b> : Méthode d'analyse de l'humidité. ....	29
<b>Figure II.16</b> : Méthode d'analyse de l'indice de gonflement. ....	30
<b>Figure II.17</b> : Filtre presse. ....	31
<b>Figure II.18</b> : Méthode d'analyse du volume de filtrat. ....	31
<b>Figure II.19</b> : Héxaméthaphosphate de sodium. ....	32
<b>Figure II.20</b> : La masse et l'humidité pour chaque échantillon. ....	34
<b>Figure II.21</b> : La masse en fonction de temps de séchage. ....	35
<b>Figure II.22</b> : La viscosité en fonction de volume filtrat. ....	37

# Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem .....	15
<b>Tableau II.1</b> : La viscosité des échantillons.....	33
<b>Tableau II.2</b> : La masse et l'humidité des échantillons. ....	33
<b>Tableau II.3</b> : Volume de filtrat des échantillons.....	35
<b>Tableau II.4</b> : L'indice du gonflement des échantillons.....	36
<b>Tableau II.5</b> : Les résultats du taux de sable.....	36
<b>Tableau II.6</b> : La viscosité en fonction du volume de filtrat pour chaque échantillon. ....	37

<b>API</b>	American Petroleum Institute
<b>BCI</b>	Bentonite de Charge Industrielle
<b>Cp</b>	Centi poise
<b>FB1</b>	Bentonite de forage hydraulique
<b>FB2</b>	Bentonite de forage pétrolier
<b>FD</b>	Fonderie
<b>H</b>	Heur
<b>Ha</b>	Hectare
<b>IG</b>	Indice de Gonflement
<b>L300</b>	Lecture de la viscosité à 300 rpm (rotation par minute)
<b>L600</b>	Lecture de la viscosité à 600 rpm (rotation par minute)
<b>Mesh</b>	est une convention American de mesure de maille « mesh » anglais d'un tamis
<b>MPa</b>	Mili Pascale
<b>P.F</b>	Produit Fini
<b>T</b>	Tonne
<b>T.V</b>	Tout Venant
<b>V.FIL</b>	Volume du filtrat

## Liste des Abréviations

# **Introduction Générale**

# Introduction Générale

L'Algérie, riche de ses ressources naturelles, abrite des gisements stratégiques pour divers secteurs industriels. Parmi ces ressources, la bentonite, une argile aux propriétés physico-chimiques exceptionnelles, revêt une importance particulière. Le gisement de M'Zila, en exploitation continue depuis 1947, constitue un pilier de cette industrie et a fait l'objet de multiples études et revues périodiques afin d'optimiser son potentiel et d'élaborer des plans de développement adaptés. Ce travail s'inscrit dans cette lignée, en se focalisant sur la caractérisation, l'exploitation et la valorisation de cette ressource précieuse [1].

L'entreprise ENOF, joue un rôle central dans la chaîne de valeur de la bentonite en Algérie. En tant qu'entreprise minière spécialisée dans les métaux non ferreux et les substances utiles, elle supervise l'extraction, le traitement et la commercialisation de la bentonite, notamment à travers son unité de production située à Mostaganem. Cette unité, dotée de ses propres infrastructures d'exploitation et de traitement, est au cœur des opérations, assurant une production diversifiée de bentonite pour des applications variées [2].

Les argiles présentent une grande diversité minéralogique et physico-chimique, qui leur procure des applications industrielles les plus diverses. Les plus connues sont les Kaolinites, les Illites, les Smectites et les Chlorites [3].

La Bentonite est une argile de la famille des Smectites. Elle provient de l'altération des Aluminosilicates. Elle est industriellement recherchée pour ses propriétés rhéologiques et physico-chimiques (viscosité, gonflement, adsorption etc...) [3].

Cette étude vise à fournir une vue d'ensemble complète de l'ensemble du processus, depuis la nature et structure de la bentonite, en passant par les méthodes d'exploitation minière, les différentes étapes de transformation industrielle, jusqu'aux procédures rigoureuses d'analyse en laboratoire. Elle mettra en lumière les spécificités du gisement de M'Zila et de l'unité de Mostaganem, détaillant les équipements et les protocoles mis en œuvre pour garantir la qualité et la conformité du produit final. Par cette approche intégrée, ce mémoire contribuera à une meilleure compréhension des défis et des opportunités liées à l'exploitation

et à la valorisation de la bentonite, un matériau indispensable à de nombreuses applications contemporaines.

Donc mon travail se présente en deux chapitres :

- Le premier chapitre pose les bases conceptuelles en introduisant le gisement de M'Zila et l'entreprise ENOF, acteur majeur de l'industrie minière algérienne, notamment à travers son unité de Mostaganem. Il fournit des détails sur l'organisation de cette unité, son statut et ses activités. La partie théorique approfondit la définition et la classification des argiles, en mettant l'accent sur la bentonite, ses types (sodique et calcique), ses origines et la diversité de ses applications industrielles (forage pétrolier, fonderie, génie civil, etc.).

- Le second chapitre se concentre sur les aspects pratiques et méthodologiques. Il décrit en détails étapes de l'exploitation de la bentonite dans les carrières de M'Zila, ensuite le processus de traitement industriel. Enfin, il présente les protocoles expérimentaux et les méthodes d'analyse physico-chimique employés au laboratoire pour contrôler la qualité du produit fini.

- Enfin, une conclusion générale sera présentée. Elle résumera les principaux résultats obtenus lors de ce travail de mémoire.

# **Chapitre I : Partie Théorique**

---

# Chapitre I :

## Partie Théorique

Le gisement de M'ZILA est en exploitation depuis 1947. La longue durée de son activité a nécessité des revues périodiques de l'état des réserves, ainsi que des mises à niveau régulières, afin de permettre l'élaboration de plans de développement en adéquation avec le potentiel existant. Ces exigences ont donné lieu à de nombreux travaux réalisés depuis l'indépendance jusqu'à aujourd'hui.

### I.1 Présentation de l'entreprise ENOF

L'entreprise ENOF, créé en 1983, est une Entreprise minière des métaux non ferreux et substances utiles, qui dispose de plusieurs gisements de : Baryte, Bentonite, Kieselguhr, Kaolin, Dolomie, Feldspath, plomb et zinc, Carbonate de calcium et Calcaire.

- **Statut juridique** : Société par action à la capitale de **1 100 000 000 DA**.
- **Activité** : Développement, production et commercialisation des produits miniers non ferreux et des substances utiles.
- **Siege social**: 31, Rue Med Hattab Hacen Badie El Harrach Alger.
- **Téléphone** : 045 42 78 66 / 045 42 78 09
- **Fax** : 045 42 78 32

#### I.1.1 Présentation de l'entreprise de Mostaganem

L'unité de Mostaganem est formée de 2 sites distincts, avec une usine de traitement située à l'intérieur du port, et un gisement d'argiles benthoniques brutes (portant le nom de M'zila) distant d'environ 40 km de cette dernière situé au Nord-Est de Mostaganem à environ 10 km à l'est du chemin goudronné reliant la commune de Sour à la Daïra de sidi Ali à l'est du village Achasta Amour, il y a à peu près 10 km de piste pour atteindre les chantiers en exploitation [4].

L'infrastructure routière actuelle s'avère adéquate pour la plupart des travaux et les besoins éventuels, seulement les pistes qui mènent aux chantiers en exploitation deviennent impraticables pendant la période des intempéries. Le gisement de M'ZILA peut être atteint par véhicule motorisé [4].

L'usine de traitement est vétuste datant de 1947, elle a des capacités limitées, cet état de fait aggrave les nuisances à l'environnement.

#### **I.1.1.1 Informations générales sur le gisement**

- Permis d'exploitation Minière N° 16 PXM du 17 Janvier 2025.
- Validité du permis minier : 10 ans.
- Superficie du périmètre minier : 369 Ha.

#### **Localisation :**

- Lieu-dit : M'zila
- Commune de : Sidi Ali
- Daïra de : Sidi Ali
- Wilaya de : Mostaganem
- Substance utile : Bentonite.

#### **I.1.1.2 Informations sur l'usine**

- Date d'entrée en production : 1947 Ex SECA – ALGERIE.
- Date de création de l'ENOF : 16 Juillet 1983.
- Activité : production et commercialisation de la Bentonite.
- Statut juridique : Société par actions.
- Tutelle : Ministère de l'industrie et des mines.
- Siège social : 31 Rue Mohamed Hattab – Belfort – ALGER.
- Adresse de l'unité : Terre-plein du port – Mostaganem.
- Superficie : 6200 m<sup>2</sup> environ (terrain Propriété de l'entreprise portuaire de Mostaganem).
- Patrimoines immobiliers : 01 atelier de maintenance et 01 magasin pour les approvisionnements (tous deux à l'extérieur du port).

**Produits** : 4 types de bentonite :

- Bentonite de forage pétrolier (boue viscosifiante des trous de forage).
- Bentonite de forage hydraulique (boue viscosifiante des trous de forage).
- Bentonite de fonderie.
- Bentonite de charge industrielle pour diverses industries.

**Délimitation de l'unité :**

- Au Nord : la marine nationale
- Au sud : Entreprise portuaire
- A l'Est : Route nationale N° 11
- A l'Ouest : Route du terreplein et la voie ferrée

**Téléphone :** 045 42 78 66 / 045 42 78 09

**Fax :** 045 42 78 32

**Infrastructure du site :**

- 2 aires de stockage du tout-venant (argile).
- 1 unité de transformation (usine).
- 2 aires de stockage et gerbage du produit fini.
- 1 bloc administratif.
- 1 atelier de maintenance.
- 1 Laboratoire

Nombre total de travailleurs : 103 Agents, répartir-en :

- Cadres : 29
- Maitrises : 7
- Exécutions : 67

**I.1.1.3 Organisation du travail**

**a. La carrière**

Un poste de travail de 8 à 16 h, durant les jours ouvrables, onze mois par ans. Le congé annuel est prévu pour le mois de décembre (la carrière devient impraticable et l'activité est réduite de plus de moitié).

Les travaux d'exploitation sont répartis sur quatre (04) chantiers sous la direction d'un chef de service exploitation secondé par un chef d'exploitation.

- Travaux de recherches pour l'exploitation (puits et fouilles de recherche).
- Travaux de découverte.
- Travaux d'extraction et mise en stock intermédiaire.
- Travaux de chargement et transport vers l'usine.

### b. Usine

Système de travail en continu (3x8) h y compris les week-ends, et jours fériés, avec des vacations à 5h, 13h et 21h. Pendant ces vacations que se fait la passation des consignes entre les chefs d'équipes production.

#### I.1.1.4 Moyens de protection et de surveillance

##### A. Clôture :

Construction en dur du bloc administratif et du mur extérieur de clôture longeant la RN N° 11. Les autres parties sont composées d'hangars en structures métalliques avec une toiture en tôles ondulées.

##### B. Surveillance :

Gardiens patrouilleurs de jour comme de nuit, et un système de télésurveillance avec 12 caméras réparties à travers l'unité.

##### C. Moyens d'alerte :

Sirènes et téléphones reliés à la protection civile ainsi qu'un standard téléphonique



Figure I.1 : Vue générale de l'Algérie du Nord.



Figure I.2 : Situation du gisement par rapport à l'unité de Mostaganem.



**Figure I.4 :** Unité ENOF Mostaganem.

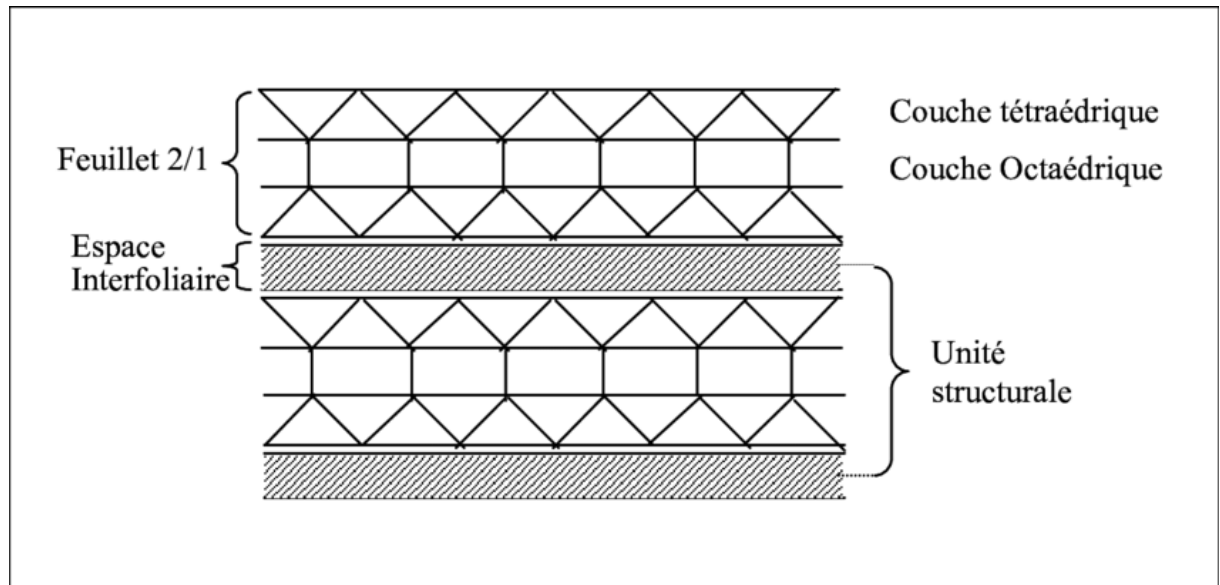
## **I.2 Les argiles**

### **I.2.1 Définition**

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus haute antiquité, son nom vient de grec (argilos) dérivé de (Argos), qui veut dire blanc ou du latin (argila). La définition de l'argile et des espèces argileuses a évolué de manière très remarquable au cours du temps. En effet vers 1973, Atterberg a donné la classification granulométrique [5]. Par la suite, les cristallographes ont développé la notion d'espèces argileuses. L'argile au sens granulométrique est définie par convention, comme étant la fraction dont le diamètre moyen des particules est inférieur à deux microns ( $2\mu$ ), du point de vue chimique l'argile est une roche sédimentaire, composée pour une large part de minéraux spécifiques, silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllosilicates) qui explique leur plasticité, ou bien une structure fibreuse (sépiolite et playgorskite) qui explique leurs qualités d'absorption[5].

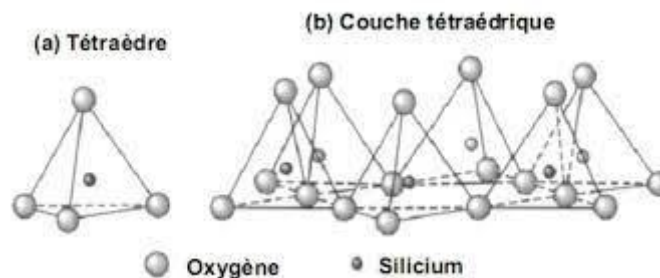
## I.2.2 Structure des argiles

Les argiles se caractérisent principalement par une structure en feuillets, ces feuillets sont composés de couches tétraédriques et octaédriques, séparés par des espaces interfoliaires. Ces derniers peuvent être vides ou occupés par divers cations. L'ensemble feuillet-espace interfoliaire est appelé "unité structurale" [6].



**Figure I.5 :** Schéma de la structure générale d'une argile [7].

Le plan de tétraèdres, noté T est composé de tétraèdres formés d'un atome central A (en principe du silicium), entouré de quatre atomes d'oxygène. Chaque tétraèdre est connecté à d'autres tétraèdres adjacents en partageant trois angles. Six tétraèdres sont reliés pour former une cavité hexagonale. Le cation tétraédrique généralement  $\text{Si}^{4+}$  peut être substitué par  $\text{Al}^{3+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ . L'épaisseur de la couche tétraédrique est de 4,6 Å [8].



**Figure I.6 :** Représentation de la couche tétraédrique [9].

Le plan d'octaèdres, noté Oc, est formé d'un atome central A (généralement de l'aluminium), entouré d'atomes d'oxygène et de groupes hydroxyles. Chaque octaèdre est connecté aux autres octaèdres adjacents en partageant uniquement les arrêts entre eux. Les cations octaédriques sont généralement  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ . L'épaisseur de cette couche octaédrique est de 5,05 Å [8].

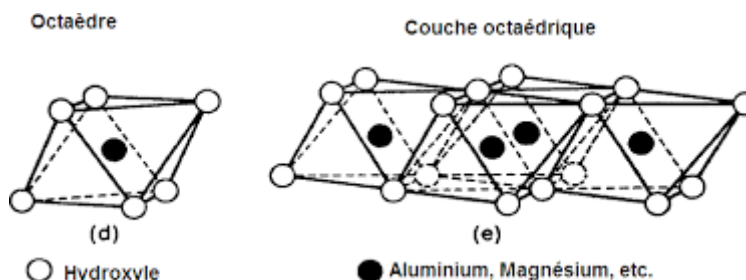


Figure I.7 : Représentation de la couche octaédrique [9].

### I.2.3 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 ( $\text{SiO}_4$ ) et octaèdres ( $\text{Al/MgO-OH}$ )[8].

#### A. Kaolinite

Dans le cas de la kaolinite, le feuillet est toujours neutre, dioctaédrique et alumineux, de composition  $(\text{Si}_2)(\text{Al}_2) \text{O}_5(\text{OH})_4$  par demi-maille. Morphologiquement, la kaolinite se présente sous forme de particules hexagonales constituées par des empilements de feuillets[7].

#### B. 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 d'octaédriques 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 ( $\text{Fe}^{3+}$ ) 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[9].

### C. 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[9].

## I.3 La bentonite

### I.3.1 Définition

La bentonite est une argile colloïdale naturelle découverte aux Etats Unis en 1988 Fort Benton dans le Wyoming. L'expression bentonite a été introduite pour la première fois par le géologue américain KHIGTH [10]. La bentonite a la propriété dégonfler au contact de l'eau en donnant un gel plus ou moins épais. De très nombreux gisements ont été découverts dans le monde [11]. Le nom de bentonite désigne généralement une poudre minérale constituée essentiellement de l'argile de montmorillonite (famille des smectites). Dans leur état naturel, la plupart des gisements de bentonite sont hétérogènes ; ils sont constitués de smectites mélangées ou inter stratifiées avec l'illite et/ou la kaolinite et d'autres impuretés [12]. Selon leur origine, la bentonite présente des propriétés différentes ; Sur le plan minéralogique la bentonite est un

silicate d'alumine hydraté du groupe des Montmorillonites et qui regroupe trois types d'argile :

- Les bentonites sodiques naturelles (gonflantes et actives naturellement).
- Les bentonites calciques naturelles (peu gonflantes, peu actives mais donnant très peu de lies lors de leur utilisation dans les vins).
- Les bentonites activées gonflement et activité définis par le taux d'activation). Le volume de lie formée dans le vin est directement proportionnel au taux d'activation

### **I.3.2 Types de bentonites**

L'une des caractéristiques essentielles des montmorillonites est de posséder des cations échangeables avec le milieu. Dans la nature, les cations les plus fréquemment rencontrés sont le calcium et le sodium. On distinguera donc deux types de bentonites :

La bentonite à base de sodium appelée aussi bentonite de « Wyoming » ou « bentonite de l'ouest ». Sa teneur en  $\text{Na}_2\text{O} > 2\%$  lui confère un indice de gonflement élevé entre 15 et 20 et donc cette propriété est mise en valeur dans les mastics pour l'enfouissement de matières polluantes dans les sols et pour la fabrication des boues de forage.

La bentonite à base de calcium ou « bentonite de sud » qui est la plus courante, et qui ne possède pas ces propriétés de gonflement. Mais sa teneur élevée en ion échangeable (en particulier  $\text{Mg}^{2+}$ , lui confère une capacité d'adsorption très élevée, d'où son utilisation pour la production de terres décolorantes. Ces termes ne doivent pas prêter à confusion : une bentonite naturelle n'est jamais, ni totalement calcique, ni totalement sodique. Seul le cation dominant est ainsi désigné [13].

### **I.3.3 Origines de la bentonite**

L'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques riche en verre entraînent la néoformation des minéraux argileux [14] qui font partie principalement du groupe des smictites. Les roches argileuses ainsi formées portent le nom de bentonite, d'après le gisement situé près de Fort Benton (Wyoming- Etats unis). Elle contient plus de 75 % de montmorillonite Cette dernière fut découverte pour la première fois en 1847 près de Montmorillon, dans le département de la Vienne (France). Les bentonites se caractérisent par

une capacité élevée d'adsorption d'échange ionique et de gonflement, ainsi que par des propriétés rhéologiques. Elles ont de ce fait de larges applications, toujours plus nombreuses et dans différents domaines [15]. En Algérie, Les bentonites sont fréquentes dans le sous- sol. Certaines proviennent des cendres volcaniques comme celles de la vallée de la rivière du Chélif, alors que d'autres ont été formées par l'altération des roches rhyolites.

### **I.3.4 Les domaines d'utilisation de la bentonite**

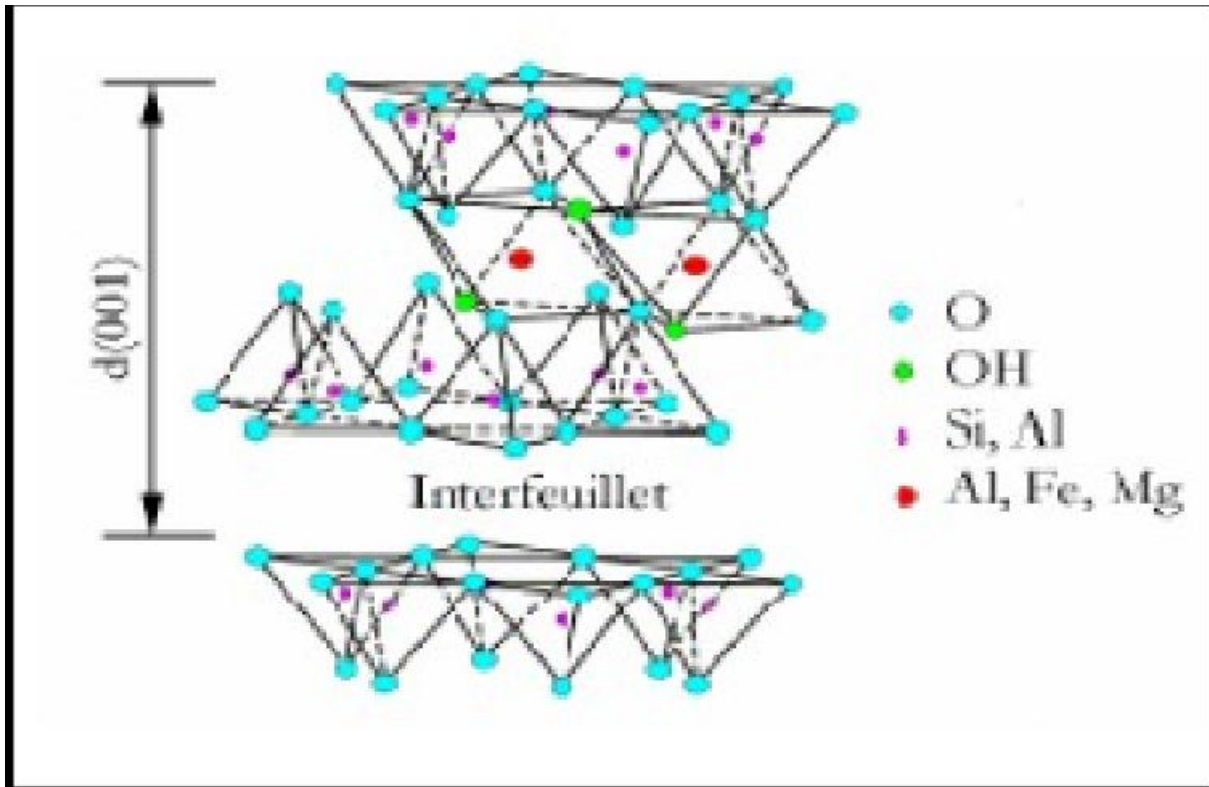
La bentonite est largement utilisée dans de nombreux secteurs industriels, Elle possède d'excellentes propriétés adsorbants, souvent utilisée en catalyse dans l'industrie du pétrole [16]. A l'état brut, sa plus importante application, après cuisson au-dessus de 1000 °C, est la production de céramiques (porcelaine, faïence...etc.). A l'état modifié, l'argile est utilisée dans l'industrie du papier, des produits cosmétiques, dans l'industrie pharmaceutique (fabrication des médicaments, tels : Smecta et Bedelix) [17,18]. Elle est utilisée pour la réalisation de barrières étanches pour les déchets industriels et ménage (géo membranes bentonitiques) et les déchets radio actifs (barrières ouvragées ; poudres compactées) [19]. Pour la stabilité des forages de fait, de ses propriétés rhéologiques [20] ainsi que le confinement des métaux lourds dans le traitement de seaux contaminés par ces dernières [21]. A un degré moindre, la bentonite est utilisée dans de nombreux autres processus industriels tels que la fabrication des peintures, l'aménagement des routes en travaux publics [22]. En agriculture, la bentonite contribue à l'augmentation de la teneur en azote assimilable dans le sol, la bentonite améliore aussi les paramètres chimiques des sols sableux, l'application de la bentonite augmente la production agricole, l'économie de l'eau et les éléments fertilisants [23].

### **I.3.5 Structures de la bentonite**

La montmorillonite (Figure I.6) est le constituant principal de la bentonite [24]. La montmorillonite provient de la transformation naturelle des cendres volcanique dans l'altération s'est produit il y a des milliers d'années par lessivage alcalin ou acide [25].

Elle fut découverte pour la première fois en 1847 dans la montagne de Montmorillon dans la Vienne (France) (Damour, 1847). La montmorillonite c'est un phyllosilicates 2 :1 (famille de smectites) dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale,des cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}$  et  $\text{Na}^+$ ) situés

principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité [24].



**Figure I.8 :** Structure idéale de la montmorillonite et de la beidellite [23].

### I.3.6 Avantage de bentonite

- Non toxique.
- Dilution rapide et efficace dans de l'eau claire et saline.
- Stable durant le forage.
- Recyclable.
- Naturellement biodégradable (un stabilisateur peut être rajouté pour retarder la biodégradation).

Peut être détruit chimiquement avec de l'Hypochlorite de calcium.

Faible coût de mise au rebut. Détruit ou dégrade naturellement le polymère CB-500 pour épandre les déblais de forage dans une cuve de décantation. La phase fluide peut ensuite être traitée dans une station d'épuration d'eaux d'égout, laissant des déblais à demi secs [26].

### I.3.7 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 I.1** : Composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem

% massique	Maghnia	Mostaganem
SiO <sub>2</sub>	58.89	65.50
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.37	13.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	2.91
FeO	ND	0.70
MnO	0.07	0.03
MgO	3.37	2.27
CaO	1.06	1.86
Na <sub>2</sub> O	1.32	2.22
K <sub>2</sub> O	1.30	0.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06
SO <sub>3</sub>	0.68	0.02
<b>TOTAL</b>	100.00	99.99

### I.3.8 Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite [27]

#### A. Gonflement

En présence d'eau, la bentonite forme une suspension colloïdale provoquant un important gonflement qui est un des caractères marquants du produit. Les bonnes bentonites commerciales gonflent de 15 à 20 fois leur volume initial. Certaines qualités peuvent atteindre un gonflement de 40. Cette propriété de gonflement est détruite par la chaleur. Elle est réversible et peut être activée par des additions (soude ou phosphate solubles).

## **B. 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 700 à 500 suivant la nature de la bentonite. Les bentonites sont capables de retenir sous forme « rigide » une grande quantité d'eau (WL= indice de liquidité) de façon à constituer un état plastique. Les montmorillonites calciques ont des valeurs d'IL de 100 à 200 % tandis que les montmorillonites sodiques ont des valeurs qui vont de 350% à plus de 700%. Par broyage, la bentonite peut être réduite à une finesse dix fois plus élevée que celle du ciment.

## **C. 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. Les gels peuvent être séchés, puis ramenés par mouillage à l'état de gels ; cette opération peut être répétée indéfiniment tant que le séchage ne dépasse pas 2000 et laisse dans la matière 5% d'eau environ.

## **D. Suspension de bentonite**

Si la quantité d'eau d'apport est forte par rapport à la quantité de bentonite, la dispersion atteint progressivement un degré très élevé. 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.

## **E. L'eau libre**

Sont considérées conformes aux normes requises, les bentonites à teneur en eau libre (EL) égale ou inférieure à 18 cm<sup>3</sup>.

## **F. La viscosité**

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

## **G. La densité**

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

## **H. Mesure du 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.

## **I. Couleur**

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

### **I.3.9 Principales utilisations de la bentonite**

#### **A . Fabrication de moules de fonderie**

4 à 8 % de bentonite sont ajoutées au sable de silice pour la réalisation des moules permettant de couler les pièces en métaux ferreux et non ferreux.

#### **B . Bouletage du minerai de fer**

Ce bouletage permet la réduction de minerais de fer pulvérulents ou trop fins dans des conditions rentables. Les boulettes sont préparées par addition au minerai de 0.5 à 0.7 % de smectique et 10 % d'eau.

#### **C . Boues de forage**

Grâce à ses propriétés rhéologiques, une tonne de bentonite sodique permet de produire plus de 16 m<sup>3</sup> de boue, pour le forage en milieu non salé. Les propriétés de viscosité de ces boues permettent de remonter les « cuttings » en surface. Cette boue permet aussi de créer, sur les parois du trou, un revêtement étanche et lubrifie les tiges et l'outil de forage.

#### **D . 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).

#### **E . Terres décolorantes**

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

#### **F . Autres applications**

Il existe une variété d'utilisations secondaires qui peuvent présenter des opportunités commerciales intéressantes. Mentionnons le secteur agricole (pesticides, herbicides, fertilisants, alimentation animale), le secteur industriel (entretien et nettoyage des planchers d'usines et d'ateliers), les produits cosmétiques les polymères, en pharmacie, comme pansement gastrique, et en Europe ainsi qu'aux États-Unis, l'utilisation des propriétés absorbantes de la bentonite pour litière d'animaux domestiques. Ce dernier marché en particulier, s'est développé rapidement au cours des dernières années.

# **Chapitre II : Partie Expérimental**

# Chapitre II :

## Partie Expérimentale

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés ainsi que le protocole mis en œuvre pour la préparation de la bentonite. Il détaille également les méthodes expérimentales adoptées pour la confection des pâtes (échantillons) et les différents essais réalisés dans le cadre de cette étude. L'unité de production de bentonite de Mostaganem s'articule autour de trois grandes étapes : l'exploitation, le traitement et le contrôle en laboratoire. L'extraction des argiles bentonitiques, effectuée dans les carrières de M'Zila, suit un processus en plusieurs phases successives, depuis le décapage initial jusqu'au transport vers l'unité de traitement.

### II.1 Les travaux d'exploitation

#### II.1.1 Stade de découverte

Ce stade est résumé comme suit :

Mise à nue de la couche de bentonite, dans le sens de sa direction et de son pendage, par décapage du stérile qui se trouve au-dessus de la couche (Figure II.1). Longueur moyenne est 100 m. La découverte mettra en évidence un tonnage de l'ordre de 36000 tonnes de tout venant [27].

**Moyens nécessaires :** un bulldozer, un conducteur.



**Figure II.1:** Décapage du stérile.

### II.1.2 Stade d'abattage ou d'extraction

Abattage de la bentonite à partir du front de taille, à l'aide de la pelle excavatrice (Figure II.2) pour la réalisation de 17 500 tonnes en produit fini et une mise en stock intermédiaire.



**Figure II.2:** Extraction de la bentonite.

### II.1.3 Stade de chargement et transport

Chargement à l'aide d'une pelle chargeuse, à partir de stocks tampons du TV et du TV extrait dans les diverses carrières, et son transport sur une distance de 40 km, reliant la carrière à l'usine à l'aide de 3 camions de 20 tonnes.

**Moyens Nécessaires :** 3 Camions, 1 Pelle chargeuse, 4 Conducteurs.



**Figure II.3:** Chargement et transport.

## II.2 Processus de traitement

Le procédé de traitement pour la bentonite de forage de l'unité de Mostaganem fait ressortir les étapes suivantes :

- Activation
- Concassage
- Alimentation
- Séchage
- Broyage
- Ensachage

### II.2.1 Activation

Actuellement, le dosage se fait manuellement à l'aide de pelle dans le godet du skip par couches alternées : un tiers du godet du skip en tout venant, une couche d'adjuvants ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  +  $\text{MgO}$ ) bien étalée, un deuxième tier de tout venant et une couche d'adjuvants, suivis d'un troisième tiers de tout venant et d'une couche d'adjuvants [27].



**Figure II.4:** Carbonate de sodium et la magnésie.

### II.2.2 Alimentation

La bentonite brute ramenée de la Carrière de M'Zila est déversée en tas sur la rampe d'alimentation de l'usine.



**Figure II.5:** Alimentateur.

### II.2.3 Concassage

A noter des pertes de produit concassé qui sont récupérés et rechargés sur le convoyeur. Tout le système est porté par une ossature métallique.



**Figure II.6:** Concasseur.

### **II.2.4 Séchage**

Le produit concassé est transporté par le convoyeur au sécheur horizontal rotatif, alimenté en chaleur par la chambre de combustion. A noter des pertes de produit à la sortie du sécheur et sa connexion à deux chambres de réception sans toutefois interférer dans la rotation de ce dernier.

Le séchoir est équipé des chicanes permettant l'avancée du produit et son homogénéisation.



**Figure II.7:** Séchoir.

### **II.2.5 Broyage**

Une fois déversé dans la deuxième chambre de réception du séchoir, le produit séché est transporté par une vis sans fin dans une fosse reliée à un élévateur à godets qui alimente à

son tour la trémie du broyage. Le produit séché est déversé dans un broyeur pendulaire. Le broyeur est relié à sa base à un ventilateur principal qui crée une dépression laquelle pulvérise le produit fini. Ce dernier est aspiré vers un cyclone qui dessert l'ensacheuse, les fines particules et les poussières créées à ce niveau cyclone sont récupérées par un filtre de dépoussiérage.

**Figure II.8:**

Broyeur.

### II.2.6 Ensachage

Dans cette dernière étape, on conditionne le produit fini dans l'emballage de 1250kg big-bag (Figure II.10) ou en vrac selon la demande du client. Ensuite, les sacs chargés sont déplacés par un chariot élévateur et stockés

**FigureII.9:** Ensacheuse.**FigureII.10:** Big-Bag (1250kg).

dans l'entrepôt.

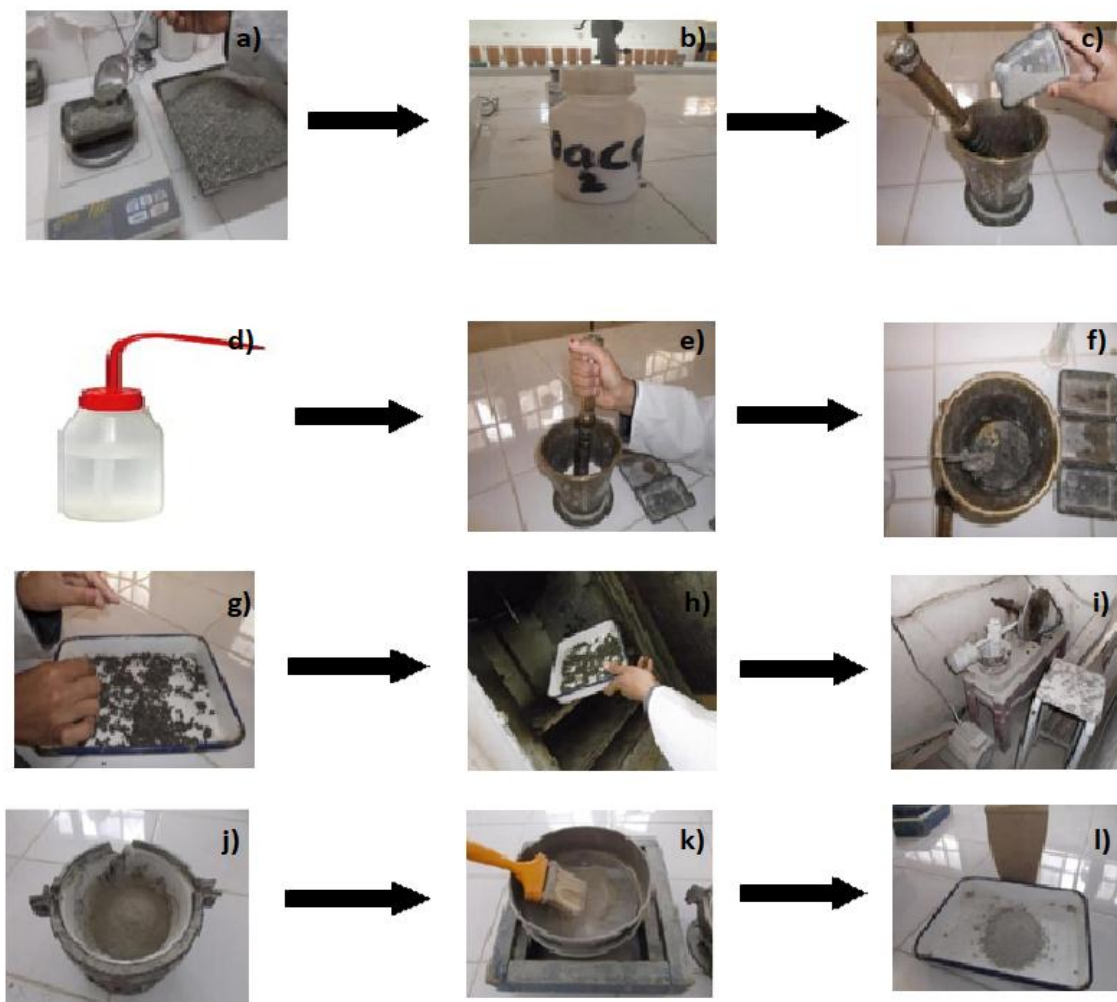
### II.3 Matériels et méthodes (laboratoire)

Cette partie a pour objet de décrire les méthodes d'analyse effectuées au niveau du laboratoire, afin de s'assurer que les produits fabriqués ou achetés satisfont aux exigences spécifiées. Les paramètres physico-chimiques retenus sont : la viscosité, l'humidité, l'indice de gonflement, le taux de sable et la perte au filtrat.

#### II.3.1 Préparation de l'échantillon

La préparation s'effectue au laboratoire sur une masse de 50 grammes ( $m=50g$ ) selon les opérations suivantes :

- On ajoute 1.6 g de  $Na_2CO_3$  (voir Figure II.11.b).
- Malaxage et pétrification à l'eau (voir Figure II.11.e).
- Boudinage de la pâte obtenue (voir Figure II.11.g).
- Séchage à l'étuve à  $110^{\circ}C$  (voir Figure II.11.h).
- Broyage au pilon présenté (voir Figure II.11.i).
- Tamisage sur un tamis 100 mèches. Le tamisât obtenu constitue un produit fini prêt aux différentes analyses présentées dans la figure II.11.k.



**Figure II.9:** Protocol de préparation de produit fini.

La même procédure et les mêmes mesures ont été appliquées aux cinq échantillons

successifs, prélevés à partir du même gisement à une fréquence hebdomadaire, et nommée I, II, III, IV et V.

### II.3.2 Mesure de la viscosité

#### a. Matériels utilisés

- Balance.
- Eprouvette graduée de 100 mL.
- Mélangeur ou (Proctor silex) présenté dans la figure II.12.b.
- Viscosimètre présenté dans la figure II.12.a.



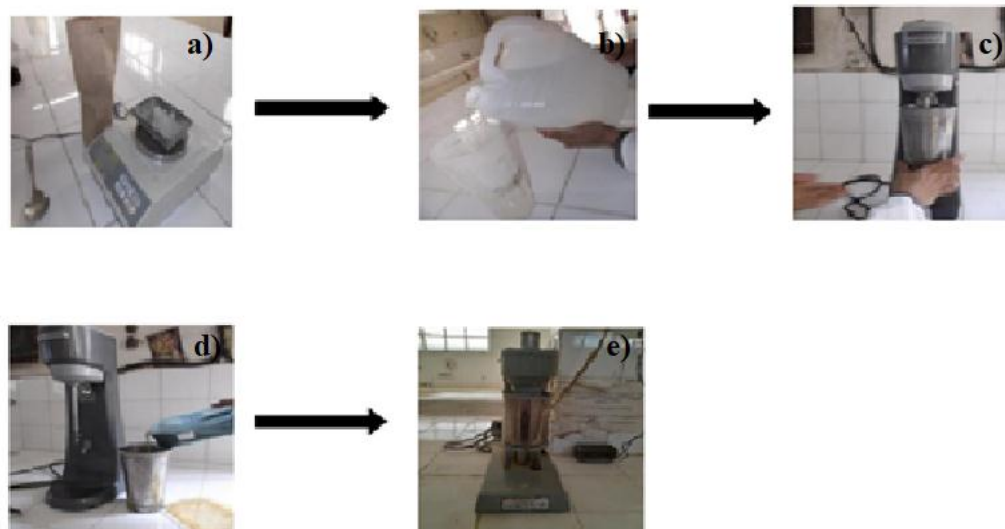
**Figure II.10:** Appareillages de mesure la viscosité (a. Viscosimètre, b. Agitateur.).

#### b. Mode

#### opérateur

- Préparer une suspension de  $(22,5 \pm 0,1)$  g de bentonite dans  $(350 \pm 0,5)$  cm<sup>3</sup> d'eau distillée (voir la figure II.2.a.b).
- Après agitation durant  $(5 \pm 0,5)$  min dans un malaxeur (Hamilton Beach), enlever le bol de l'agitateur et gratter les grains de bentonite collés à la paroi (voir la figure II.3.c).
- Remettre en agitation et répéter la même opération chaque 5 à 10 min pendant 20 min.
- Laisser la suspension de bentonite reposer dans un bloc couvert (voir la figure II.4.d).
- Après vieillissement de 16 heures, verser la suspension dans le bol de l'agitateur et agiter de nouveau pendant  $(5 \pm 0,5)$  min.

- Placer la suspension dans le bol du Viscosimètre FANN et noter les lectures L600 et L300 et ce, quand l'aiguille se stabilise sur le cadran (voir la figure.II.5.e).



**Figure II.11:** Méthode d'analyse de la viscosité.

**c. Calcul:**

$$(VP) = L600 - L300$$

$$\text{Yield point} = L300 - VP$$

$$\text{Ratio} = \text{Yield point} / VP$$

**VP:** Viscosité plastique (Cp).

**L300 :** Lecture de la viscosité à 300 rpm (rotation par minute).

**L600 :** Lecture de la viscosité à 600 rpm (rotation par minute).

### II.3.3 Mesure de L'humidité

**a. Matériels utilisés**

- Balance
- Etuve à 110°C



**Figure II.12:** l'étuve.

**b. Mode opératoire**

Il se fait selon les étapes suivantes :

- On mesure 10g de la matière première (bentonite) (voir figure II.15.a)
- On le place dans l'étuve pendant 2 heures (voir figure II.15.b)



**Figure II.13:** Méthode d'analyse de l'humidité.

- On le pèse après le séchage (voir figure II.15.c)

**c. Calcul**

$$\text{Humidité (\% en poids)} = \frac{100 \times (\text{Poids de l'échant. de départ} - \text{Poids de l'échant. Séché})}{\text{Poids échantillon de départ}}$$

**II.3.4 Mesure l'indice du gonflement**

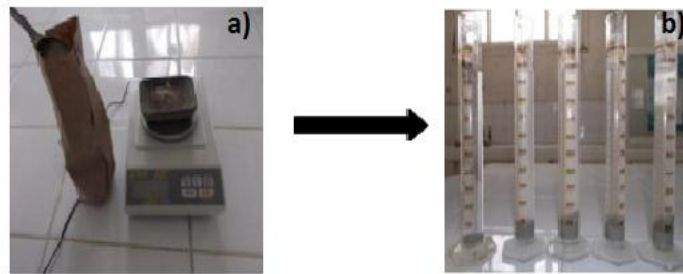
**a. Matériels utilisés**

- Balance

- Eprouvette gradué 100mL

### b. Mode opératoire

- On verse 1g de la bentonite (produit fini) dans un éprouvette rempli d'eau distillé 100mL (voir figure II.16.a)
- Après une heure on verse le deuxième gramme de la bentonite.
- Une heure après, on lit sur l'éprouvette le gonflement de la bentonite (voir figure II.16.b).



**Figure II.14:** Méthode d'analyse de l'indice de gonflement.

### c. Calcul du gonflement

$$V' = 100 V / 100 - M$$

$V'$  : volume de gonflement calculé en rapport avec la matière solide (mL).

$V$  : volume de dépôt (mL).

$M$  : teneur en humidité (% en poids).

## II.3.5 Mesure de la perte au filtrat

### a. Matériels utilisés

- Eprouvette.
- Chronomètre.
- Filtre presse (voir figure II.17.)



Figure II.15: Filtre presse.

### b. Mode opératoire

- On verse le mélange dans la cellule de filtre à presse (voir figure II.18.a).
- On ouvre la vanne à 7bars puis on place l'éprouvette sous de la cellule (voir figure II.18.b).
- On attend 30 minutes puis on lit le volume surfiltrat (voir figure II.18.c).



Figure II.16: Méthode d'analyse du volume de filtrat.

### II.3.6 Mesure du taux de sable (résidu 75 $\mu$ )

#### a. Matériels utilisé

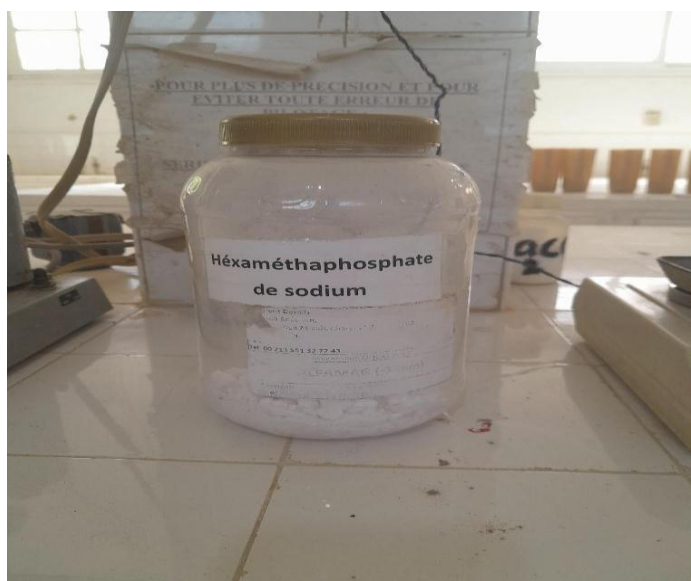
- Tamis 149 $\mu$ .
- Etuve 110°C.

#### b. Mode opératoire

##### 1) Voie humide

- Prendre (10  $\pm$  0,01) g de bentonite
- Mettre en suspension dans 350 cm<sup>3</sup> d'eau.

- Additionner de 0,2g d'héxaméthaphosphate de sodium (voir figure II.19).
- Agiter pendant 30 min.
- Transférer la suspension dans un tamis 200 mèches.
- Laver l'échantillon sur ce tamis avec de l'eau contrôlée à  $(10\pm 1)$  PSI, avec la buse de régulation et ce, pendant 2 min. Au moment du lavage, laisser le coude de la buse reposer sur le bord du tamis et déplacer le jet sur tout l'échantillon.
- Transférer le résidu du tamis au plateau d'évaporation.
- Sécher à l'étuve jusqu'à poids constant.



**Figure II.17:** Héxaméthaphosphate de sodium.

## 2) Voie sèche

- Prélever 15g de produit fini ;
- Sécher pendant 2 heures ;
- Peser 10g de l'échantillon séché ;
- Tamiser la quantité pesée sur un tamis 200 mèches (75 microns).

## II.4 Résultats et discussions

### II.4.1 La viscosité

**Tableau II.1:** La viscosité des échantillons.

Echantillons	Viscosité (Cp)
I	27
II	24
III	23
IV	21
V	20

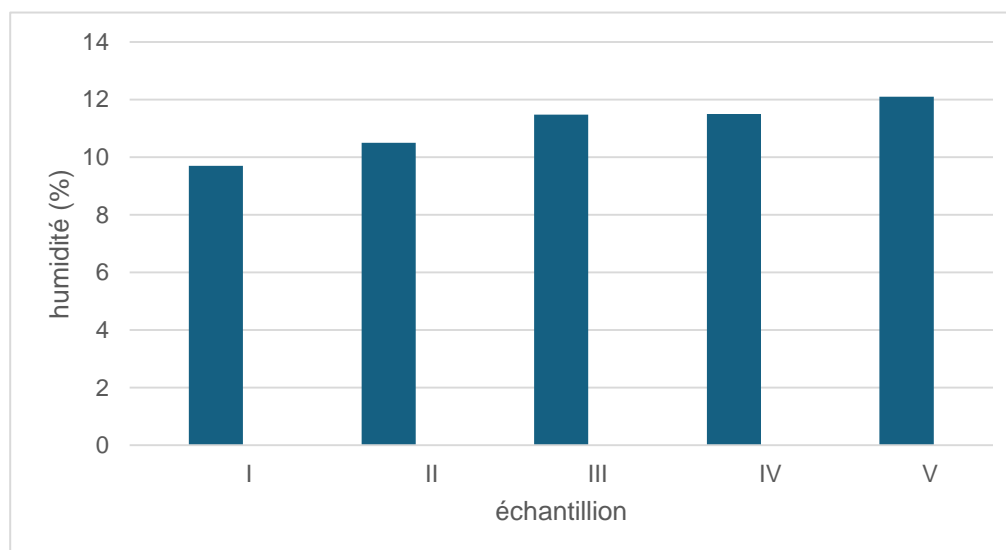
Le tableau II.1 présente les valeurs de la viscosité mesurées pour les cinq échantillons. Les résultats montrent une variation de viscosité comprise entre 20 et 27 Cp. Ces résultats indiquent qu'il n'y a pas de variations significatives de la viscosité de l'échantillon au cours du temps.

### II.4.2 Calcul d'humidité

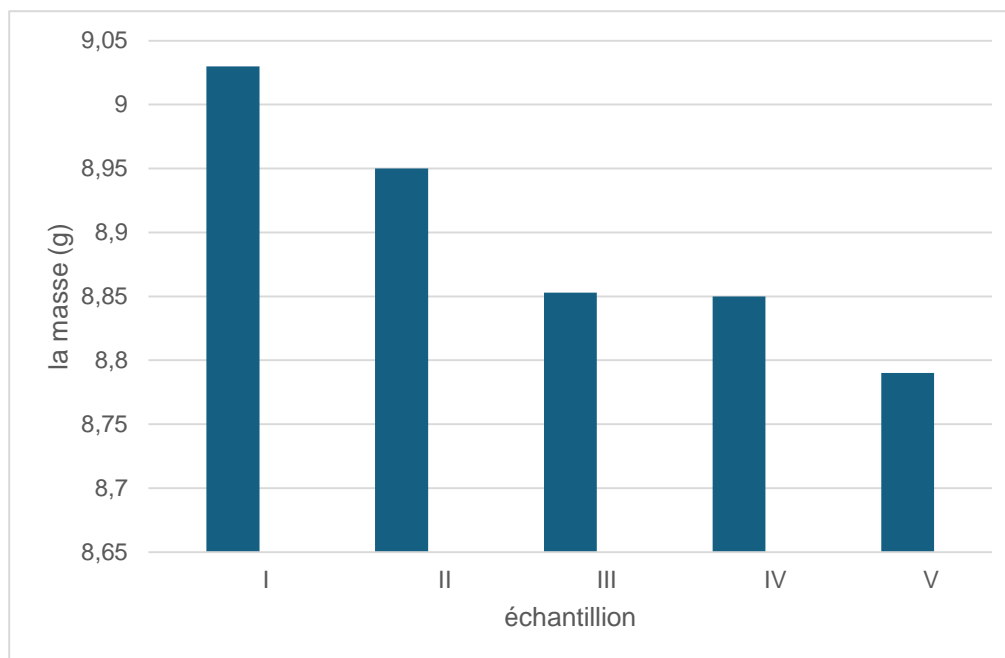
**Tableau II.2:** La masse et l'humidité des échantillons.

Echantillons	I	II	III	IV	V
Humidité(%)	9.7	10.5	11.47	11.50	12.1
La masse(g)	9.03	8.95	8.853	8.85	8.79

A.



B.



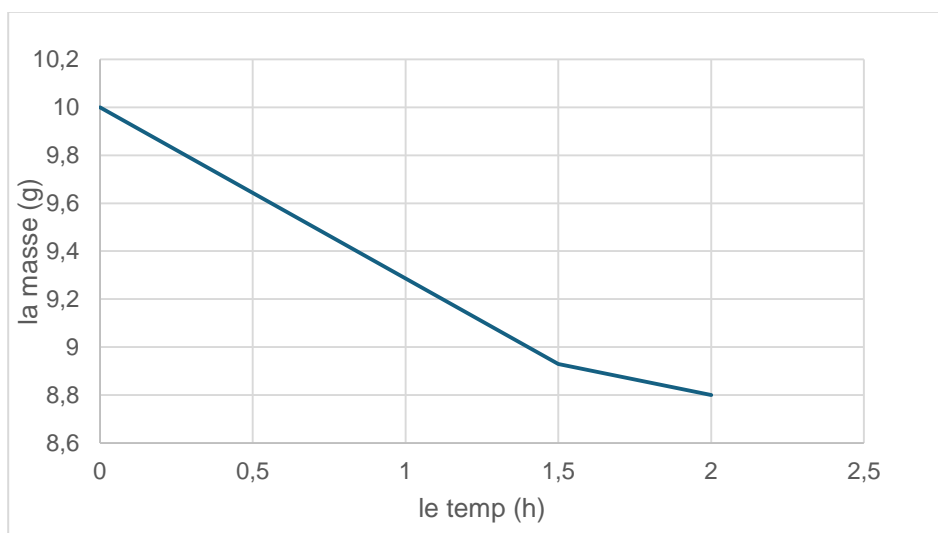
**Figure II.18:** La masse et l'humidité pour chaque échantillon.

Selon la figure II.20.A, l'humidité augmente progressivement d'un échantillon à l'autre, passant de 9,7 % pour l'échantillon I à 12,1 % pour l'échantillon V. Cela peut indiquer une variation dans les conditions de stockage ou une hétérogénéité dans la teneur en eau de la bentonite analysée.

Selon la figure II.20.B, La masse des échantillons diminue légèrement au fur et à mesure que l'humidité augmente. Elle passe de 9,03 g pour l'échantillon I à 8,79 g pour l'échantillon V.

Selon le tableau II.2, on observe une diminution progressive de la masse de la bentonite, passant de 9,03 g à 8,79 g, parallèlement à une augmentation de l'humidité de 9,7 % à 12,1 % entre les échantillons I et V. Cette tendance met en évidence une corrélation inverse entre l'humidité et la masse des échantillons, suggérant une altération partielle de la matière sèche en lien avec une teneur en eau plus élevée. Ce phénomène peut être attribué à une dégradation de la qualité de la bentonite, probablement causée par une modification des paramètres de séchage, notamment la température et le temps de passage du produit brut dans

le four. Des conditions inadéquates pourraient entraîner un séchage incomplet, favorisant une rétention d'humidité excessive dans le produit final.



**Figure II.19:** La masse en fonction de temps de séchage.

Selon la figure II.21, on observe une diminution continue de la masse au fur et à mesure que le temps augmente, passant d'environ 10,0 g à 8,7 g entre 0 h et 2 h de séchage. Cette perte de masse s'explique par l'évaporation progressive de l'humidité contenue dans l'échantillon. Plus le temps de séchage est long, plus l'eau est éliminée, ce qui réduit la masse totale. La courbe présente une pente marquée durant la première heure, indiquant une perte rapide d'humidité au début du séchage, suivie d'un ralentissement au-delà de 1,5 h, suggérant que la majeure partie de l'eau libre a déjà été évacuée. Cette tendance est caractéristique d'un séchage en deux phases : une phase rapide (évaporation de surface) suivie d'une phase plus lente (évaporation de l'humidité interne).

#### II.4.3 Calcul volume du filtrat

**Tableau II.3:** Volume de filtrat des échantillons.

Echantillons	Le volume de filtrat (mL)
<b>I</b>	18
<b>II</b>	20
<b>III</b>	23

<b>IV</b>	24
<b>V</b>	26

Le tableau II.3 présente le volume de filtrat des cinq échantillons, les résultats indiquent une stabilité des volumes de filtrat pour les 5 échantillons. Les valeurs obtenues se situent dans un intervalle (18-26) mL.

#### II.4.4 Calcul l'indice du gonflement

**Tableau II.4:** L'indice du gonflement des échantillons.

<b>Echantillons</b>	<b>IG</b>
<b>I</b>	8.3
<b>II</b>	8.73
<b>III</b>	9.94
<b>IV</b>	10.16
<b>V</b>	10.80

Le tableau II.4 révèle une augmentation progressive de l'Indice de Gonflement (IG) des échantillons de bentonite, allant de 8,3 à 10,80 (Échantillons I à V). Un IG élevé est crucial pour la bentonite dans des applications comme les fluides de forage, car il indique une meilleure capacité d'absorption et de gonflement.

#### II.4.5 Calcul le taux de sable (résidu 75 $\mu$ )

**Tableau II.5:** Les résultats du taux de sable.

<b>Echantillons</b>	<b>Résidu 75<math>\mu</math> (%)</b>
<b>I</b>	2.24
<b>II</b>	2.06
<b>III</b>	1.94
<b>IV</b>	1.82
<b>V</b>	1.74

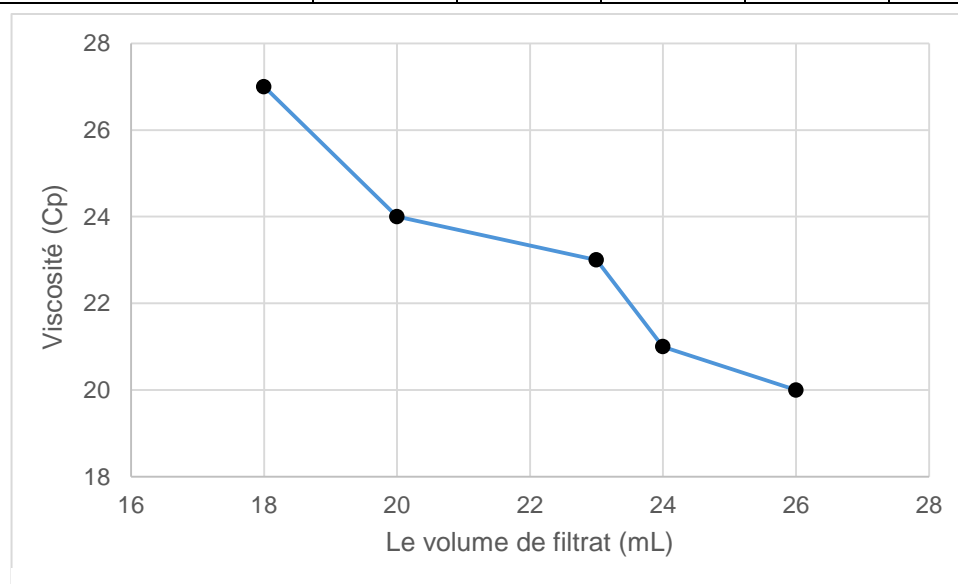
Selon le tableau II.5, On observe une diminution progressive du pourcentage de "Résidu 75 $\mu$ " des échantillons I à V. Cela signifie que la quantité de particules plus grossières

diminue d'un échantillon à l'autre, suggérant une finesse croissante ou une meilleure élimination des impuretés à gros grains dans les échantillons ultérieurs

#### II.4.6 La viscosité en fonction du volume de filtrat

**Tableau II.6:** La viscosité en fonction du volume de filtrat pour chaque échantillon.

Echantillons	I	II	III	IV	V
Viscosité (Cp)	27	24	23	21	20
Le volume de filtrat (mL)	18	20	23	24	26



**Figure II.20:** La viscosité en fonction de volume filtrat.

Les résultats présentés dans le tableau II.6 et la figure II.22 montrent que la viscosité des échantillons diminue progressivement, tout en restant dans une plage de valeurs relativement étroite. Parallèlement, le volume de filtrat augmente également de manière modérée. Cette tendance indique une évolution mesurée des propriétés rhéologiques et de la perméabilité des échantillons, suggérant une influence progressive mais contrôlée des paramètres de traitement sur la qualité de la bentonite.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

L'objectif de ce travail de mémoire a été focalisé principalement sur l'analyse approfondie de la bentonite, de son gisement à M'Zila jusqu'à sa valorisation industrielle et son contrôle qualité au niveau de l'entreprise ENOF, et plus particulièrement de son unité de Mostaganem. Cette étude a été effectuée par trois procédés suivantes :

- Les travaux d'exploitation
- Processus de traitement
- Partie laboratoire qui présente l'étude de la viscosité, du temps de séchage et de la température sur la qualité de la bentonite, ainsi que les analyses rhéologiques et physico-chimiques.

Les résultats obtenus montrent que les propriétés physicochimiques du produit fini (bentonite), dépendent de l'augmentation du temps de séchage dans le four et de l'augmentation brusque de la température. Les principaux résultats obtenus sont:

- Les mesures de viscosité pour les cinq échantillons varient entre 20 et 27 Cp. Ces résultats suggèrent une stabilité de la viscosité de l'échantillon au fil du temps.
- L'humidité des échantillons de bentonite a augmenté de 9,7 % à 12,1 % de l'échantillon I à V, suggérant une variation des conditions de stockage ou une hétérogénéité de la teneur en eau.
- L'Indice de Gonflement de la bentonite a augmenté de 8,3 à 10,80 (Échantillons I à V), ce qui est essentiel pour les fluides de forage en améliorant l'absorption et le gonflement.
- Le volume de filtrat des cinq échantillons montre une stabilité, avec des valeurs comprises entre 18 et 26 mL.
- Taux de sable des échantillons I à V, indiquant une finesse croissante ou une meilleure élimination des impuretés à gros grains.

Ces résultats ont été déterminés selon des normes et des règlements algériens bien détaillés utilisés au niveau de l'ENOF de Mostaganem afin d'améliorer la qualité de la bentonite. Selon les résultats trouvés, le problème de la dégradation de la qualité de la

sbentonite est dû au changement des paramètres de température et de temps de passage du produit brut dans le four. Il est recommandé de diminuer le temps de séchage du brut dans le four et de travailler à des températures comprises entre 100 °C et 110 °C pour améliorer la qualité de la bentonite.

A  
n  
n  
e  
x  
e  
A

Produit		Paramètres Requis										
		H2O	Visc. L600	V.FIL	Rés. > 75µ	Ratio	R100	CPV	CXV	IG	PH	Test Nitrate
Tout Venant	FB1	25 max	12 mini	27 max	25 max	/	/	/	/	/	/	/
	FB2	25 max	16 min	25 max	15 max	/	/	/	/	/	/	/
	FD	20 max	/	/	/	/	/	350 min	90 mini	10 mini	/	/
	BCI	18 max	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Produit Fini	FB1	13 max	20min	26 max	06 max	/	94 min	/	/	/	/	/
	FB2	13 max	30 min	16 max	2.5max	06max	/	/	/	/	/	/
	FD	10 max	/	/	/	/	/	400 min	90 mini	11 mini	/	/
	BCI	07 max	/	/	15 max	/	95 min	/	/	/	/	/
Réactifs	Na2CO3	01 max	/	/	/	/	/	/	/	/	10 mini	/
	MgO	01 max	/	/	/	/	/	/	/	/	10 mini	/
	Eau Distillée	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	claire

Nom usuel de l'équipement	Marque	Type	N° de Série	N° d'identification interne	Emplacement	contrôle		Périodicité	Critères d'acceptation
						Interne	Externe		
BALANCE	KEAN	442/44	WL0601946	BR1	LABORATOIRE		X	1/AN	PRECISION / PORTÉE
VISCOSIMETRE	FANN	355A	B5421	V1	LABORATOIRE		X	1/AN	NORME API
APPAREIL D'ESAI	GF	PFG	2483	B01W03	LABORATOIRE	X		1/AN	GAMME DE CPV et CXV
PH METRE	BARNAND	DIGITAL	D84005163	PM1	LABORATOIRE	X		proposé à la réforme le 25/04/03	GAMME DE PH
VISCOSIMETRE MARCH	BAROID	/	/	VM1	LABORATOIRE	X		A l'usage	OCMA/API
FOUR	CARBOLITE	CWF	397618	P1	LABORATOIRE		X	1/AN	TEMPERATURE
ETUVE	PROLABO	7	5872	E1	LABORATOIRE		X	Demande de réparation : 04/05/03 Proposé à la réforme le 20.12.03	TEMPERATURE
MANOMETRE	BAROID	AIRCO	3844	M1	LABORATOIRE		X	1/AN	GAMME DE PRESSION
BALANCE A ROBERVAL	/	/	/	BR1	LABORATOIRE		X	1/AN	POIDS
DAMOR	GF	SPRE	4274	D1	LABORATOIRE	X		1/AN	DIRECTIONS DE L'EPROUVETTE
PH METRE	BARNAND	DIGITAL	D84005168	PM2	LABORATOIRE	X		A l'usage	GAMME DE PH
BASCULE A ROMAINE	/	/	/	BT1	USINE		X	1/AN	POIDS
BASCULE A ROMAINE	/	/	/	BT2	APPRO		X	1/AN	POIDS
APPAREIL TOPOGRAPHIQUE	WILLIBERBRU GG	RD6	345895	AT1	EXPLOITATION	X		1/AN	COLLIMATION NET V
BALANCE	KEAN	440-33n	W65155719	BK3	LABORATOIRE		X	1/AN-première utilisation 20.12.03	PRECISION / PORTÉE
VISCOSIMETRE	OPITE	859	89262	R1	LABORATOIRE		X	1/AN-première utilisation 06.01.04	NORME API
BASCULE 2T	/	AROMANE	/	93/6.2	USINE		X	1/AN	POIDS

*Bentonite*  
*Bentonite*

**NTAL**  
ISO 9002/94

**BENTONITE COMPANY OF ALGERIA**

CAPITAL 60.000.000 DA

**ENOF subsidiary**

31, Med Hattab, Hacene Baddie, El Harrach - Algiers - Algeria.  
Tél. : +213 21 52 15 33 / 52 52 40 - 42  
Fax : +213 21 52 17 52 Site web : www.enof-mines.com  
E-mail : bentonitedalgerie@enof-mines.com

**Production units localisation**

25, Gharouben street, Po Box 47, 13230 Maghnia, Tlemcen Algeria.  
43 31 68 88 / 31 60 94 / Fax : +213 43 31 66 06

**NEM** : Po Box 67, Terre Plein du Port, Mostaganem, Algeria.  
45 21 51 74 / 21 61 39 / Fax : +213 45 21 51 74

E1  
E2  
E3  
E4  
E5  
E6  
E7

**SMELTING BENTONITE**

Chemical Composition	
SiO <sub>2</sub>	55 - 65 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12 - 18 %
Na <sub>2</sub> O	1-3 %
CaO	1-5 %
K <sub>2</sub> O	0.76 - 1.75 %
MgO	2 - 3 %

Physical Characteristics	
Humidity	10 % max.
Swell	0.8 %
Loss on ignition at 1000°C	0.6 % max
Refractority	1 000 ±20°C
Methylene Blue absorption	100 mg/g

Mechanical Characteristics	
Humidity	0.3 % max.
Resistance to compression : wet	600 - 800g/cm <sup>2</sup>
Resistance to compression : dry	3 000 g/cm <sup>2</sup> max
Resistance to cutting : dry	150 g/cm <sup>2</sup> max
Resistance to cutting : wet	1 000 g/cm <sup>2</sup> max

Thermal Deterioration	
Resistance to compression : wet and dry	
Resistance to cutting : wet and dry	
These properties vary decreasingly from their initial values by 1 to 15 %	

**Packing**

- 50 or 25 kg multi-ply Kraft paper bags
- 1 Ton or 1 Ton 250 kg plastic-covered pallets..

**Fields of use**

- Foundry
- Ceramics

# Bibliographie

[1] BACHOUCHE, Salima & BOUTALEB, Abdelhak. Géologie, minéralogie, and chemiserie M'zila bentonites deposit (Mostaganem, NW Alegria). 2011.

[2] BESQ, A. Ecoulements laminaires de suspensions de bentonite industrielles. Caractérisation rhéométrique-Ecoulements en conduites axisymétriques-Applications aux activités de génie civil. 2000. Thèse de doctorat de l'université de poitiers.

[3] BOUAZZA, F. Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées. 2012. Mémoire de magistère, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pp 9-11.

[4] CAILLIÈRE et coll. Minéralogie des argiles .1 classification et nomenclature. 1982. Ed.Masson.

[5] CAUSSIN, P., NUSINOVICI, J., BEARD, W. Using digitised X-ray powder diffraction scans as input for a new Pc-At search/match program. 1987. *Advances in X-ray Analysis*, 31: 423- 430.

[6] CHOUMANE, F. Elimination des métaux lourds et pesticides en solution aqueuse par des matrices argileuses. 2015. Doctoral dissertation, Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid, p. 52.

[7] DERRIDJ, Mohamed Amine. Amélioration de la qualité de la bentonite de Mostaganem par traitement thermique. 2008. École Nationale Polytechnique, Alger.

[8] FERHAT, M. Co-Adsorption des métaux lourds sur la bentonite modifiée en présence de flocculants minéral et biologique. 2012. Thèse de magister université Mouloud Mammeri-Tizi-ouzou.

[9] HAJJAJI, M. & EL ARFAOUI, H. Adsorption of méthylène blueand zinc ions on raw and acid-activated bentonite from Morocco. 2009. *Applied Clay Science*, 46: 418-421.

- [10] HALILAT, M.T. & TESSIER, D. Amélioration de la rétention en eau de matériaux sableux par l'ajout de bentonite. 2006. Cahiers Agricultures, Vol. n°4: 347-353.
- [11] JOZJA, N. Etude de matériaux argileux Albanais. Caractérisation multi-échelle d'une bentonite magnésienne. Impact de l'interaction avec le nitrate de plomb sur la perméabilité. 2003. Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans.
- [12] JULIA, Berger. Hydratation des argiles gonflantes et influence des bactéries. Etude expérimentale de réaction insitu. 2008. Thèse de Doctorat, de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, et Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre.
- [13] DERRIDJ, Mohamed Amine. Étude de l'activation de la bentonite algérienne par des méthodes classiques et sous irradiations micro-ondes. Application à l'adsorption de l'uranium. 2006. Mémoire de magistère. École Nationale Polytechnique, Département de Génie Chimique.
- [14] JULIEN, Laurent. Modifications de la répartition d'espèces métalliques (Cd,Cu) induites par des prétraitements physique (ultrasons), chimique (ozone) et thermique au sein des procédés à boues activées. 2009. Université ENSIL Limoges.
- [15] KUN, Su. Contribution à l'étude du comportement mécanique et thermo-hydro-mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien. 2005. Mémoire d'Habilitation, de l'Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL).
- [16] LARIBI, S., FLEUREAU, J.-M., GROSSIORD, J.-L. & KBIR-ARIGUIB, N. Comparative yield stress determination for pure and interstratified smectite clays. 2005. *Rheol. Acta*, 44:262-269.
- [17] LAURENT, F. Nouvelles approches d'utilisation de la spectroscopie de photoélectrons à rayons X (XPS) pour le développement et le contrôle des technologies FDSOI avancées. 2017. Diss, Université Grenoble Alpes (ComUE), pp 50-51.
- [18] LEKAN, A., DHAFER, A-S. Rapid Determination of Emulsion Stability Using Turbidity Measurement Incorporating Artificial Neural Network (ANN) : Experimental Validation Using

Video/Optical Microscopy and Kinetic Modeling. 2021. ACS Omega. XXXX.

10.1021/acsomega.1c00017.

[19] MEBARKI, Walid. Contrôle de la qualité de la Bentonite à la production par méthode géostatistique. Cas du gisement de M'Zila, Mostaganem. 22010.

[20] POINSAUT, P., HARDY, G. Les bentonites : Caractérisation -Analyse et Comportement –Utilisation des bentonites en oenologie. 1995. *Revue des œnologues* n°75 (Avril1995) n°76 (Juin 1995) N°77 (Septembre 1995).

[21] SIGG, J. Les produits de terre cuite. 1991. Paris : Éditions Septima.

[22] SWARNAKER, R., BRANDTAND & KYDD, A. 1996. Applied Catalysis A:General, 142: 61-71.

[23] THOMASSIN, H., DIDIER, G., PROUST, D., PANTET, A., FONTAINEC., DAUGER, N. & LAFOERST. Rencontre Universitaire de Génie Civil. 2008. Nancy.

[24] UNIVERSITE DES SCIENCES EXACTES ET DE L'INFORMATIQUE. Effet de la température sur la qualité de la bentonite et caractérisation physico-chimique par FTIR au niveau de la société ENOF- unité de Mostaganem. Master II Thesis.

[25] BENTAL. Plan d'exploitation. 2007.

[26] ENOF. Fiche Technique : Présentation de l'unité ENOF.

[27] ENOF. Documents techniques d'ENOF.

Wikipedia. Bentonite. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bentonite>