

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Minier

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE MINIER**

Thème :

***AMELIORATION DE LA QUALITE DE
LA BENTONITE DE MOSTAGANEM
PAR TRAITEMENT THERMIQUE***

Réalisé par:

M^r M.A.DERRIDJ

Dirigé par:

M^r M.OULD HAMOU

Promotion 2008

ملخص

البنطونيت ، وبعد المعالجة الميكانيكية والكيميائية تستخدم في الهندسة المدنية أو حفر الطين في شركة BENTAL فرع لشركة ENOF معالجة البنتونيت بسبب عدة مشاكل تقنية في السنة النهائية، حاولت في مشروعي النهائي تقديم مساهمتي من خلال اقتراح حل من شأنه أن تحسّن نوعية البنتونيت باستخدام مادة كيميائية عملية

مفاتيح البنتونيت

Résumé :

La bentonite, après traitement mécanique et chimique est utilisée en génie civil ou comme boue de forage.

A BENTAL, filiale de l'ENOF, le traitement de la bentonite pose des problèmes d'ordre techniques.

Dans le cadre de mon projet de fin d'études, j'ai essayé d'apporter ma contribution en proposant une solution susceptible d'améliorer la qualité de la bentonite en utilisant un procédé chimique.

Mots clés: bentonite, flow-sheet,

Abstract:

The bentonite, after mechanical and chemical treatment is used in civil engineering or like mud of drilling.

With BENTAL, subsidiary of the ENOF, the treatment of bentonite poses technical problems.

Within the framework of my project of end of studies, I tried to contribute my share by proposing a solution that improves quality of bentonite by using a chemical process.

Key words: bentonite, flow-sheet

A MES CHERS PARENTS ;

D'ABORD MA MÈRE QUI N'A JAMAIS CESSÉ DE M'ENCOURAGER ET QUI S'EST TOUJOURS SACRIFIÉE POUR MON BIEN ÊTRE ET MA RÉUSSITE.

MON PÈRE QUI S'EST TOUJOURS MONTRÉ PRÉSENT ET QUI A FAIT EN SORTE QUE JE NE MANQUE DE RIEN DURANT TOUTE MA VIE.

A MES SŒURS AMEL, SOUMIA ET SARAH QUI M'ONT ENCOURAGÉ ET AIDÉ DURANT TOUTES MES ANNÉES D'ÉTUDES.

ET BIEN SUR, MA GRAND MÈRE KELTOUMA, MON ANGE GARDIEN. JE NE TE REMERCIERAI JAMAIS ASSEZ.

Dédicaces

A tous mes professeurs du département Génie Minier.

Je n'oublierai jamais mes chers camarades de la spécialité à savoir, Hana KERKEBANE, Yasmina BOUZAROUR, AlaEddine BEJAOUI, Omar DJAZAIRI, Ali ABDOUNI, ainsi que Mustapha MERBOUTI.

A mes oncles maternels ; Mohamed, Boualem, Rezki et leurs enfants.

A mes oncles paternels ; Rachid, Mustapha, Ahcène, Abdelkrim et leurs enfants.

A ma tante Malika et à ses enfants.

Je dédie mon travail à ceux qui ont toujours été à mes côtés, qui n'ont jamais douté de moi, à qui je suis reconnaissant ; mes adorables amis. A Imad Eddine BAHIANI, Djalal Eddine BENHABILES, Amine LOUNES, Oussama DJEBALI, ainsi que tous ceux avec qui j'ai grandi.

Sans oublier bien sur, Boudj, Mahdi, Riad, Bilel, Hocine, et tous ceux qui m'ont accompagné pendant mon cursus universitaire au sein de l'école.

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur M.OULD HAMOU qui a été présent et qui nous a encadré pendant la réalisation de ce projet de fin d'études.

Je tiens à remercier l'encadreur de la société ENOF, en commençant par Monsieur Karim HAMADOU, qui nous a montré son intérêt à ce que nous comprenions et que nous réussissions dans notre travail.

Mes remerciements vont également aux enseignants du département Génie Minier qui ont contribué à ma formation.

Et en fin je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce modeste travail.

LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX	9
INTRODUCTION GENERALE	10
CHAPITRE I	
GENERALITES SUR LA BENTONITE	12
1.DEFINITION DES ARGILES	13
2.TYPES ET STRUCTURES DES MINERAUX ARGILEUX	13
2.1 STRUCTURE DES MINERAUX ARGILEUX	13
2.2 LES TYPES DES MINERAUX ARGILEUX.....	15
2.2.1 <i>Les minéraux de type 1:1</i>	15
2.2.2 <i>Les minéraux de type 2:1</i>	15
2.2.3 <i>Les minéraux de type 2:1:1</i>	15
3.STRUCTURE DES SMECTITES ET COMPOSITION DES FEUILLETS	16
4.STRUCTURE DE LA MONTMORILLONITE	17
4.1 DEFINITION DE LA BENTONITE	18
4.2 TYPES DE BENTONITES.....	19
4.3 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA BENTONITE	20
4.3.1 <i>Composition chimique de la bentonite</i>	20
4.3.2 <i>Gonflement</i>	20
4.3.3 <i>Plasticité</i>	21
4.3.4 <i>Gels de bentonite</i>	21
4.3.5 <i>Suspension de bentonite</i>	21
4.3.6 <i>L'eau libre</i>	22
4.3.7 <i>La viscosité</i>	22
4.3.8 <i>La densité</i>	22
4.3.9 <i>Mesure du PH</i>	22
4.3.10 <i>Couleur</i>	22
5.PRINCIPALES UTILISATIONS DE LA BENTONITE	23
5.1 BOULETTAGE DES MINERAIS DE FER	23
5.2 SABLES DE FONDERIE	24
5.3 LES BOUES DE FORAGE.....	24
5.4 APPLICATIONS RELIEES AU GENIE CIVIL.....	26
5.5 DECOLORATION DES HUILES VEGETALES	26
5.6 FILTRATION DES HUILES MINERALES	26
5.7 CLARIFICATION DES VINS, DES JUS ET DES BIERES	27
5.8 AUTRES APPLICATIONS	27
CHAPITRE II	
LE GISEMENT BENTONITIQUE DE M'ZILA	28
1.LOCALISATION ET INFRASTRUCTURE REGIONALE	29
2.GEOLOGIE REGIONALE	31

2.1 Stratigraphie :	
A. LE MIOCENE INFERIEUR.....	31
B. LE MIOCENE SUPERIEUR.	31
C. LE PLIOCENE	32
D. LE QUATERNAIRE	32
3.GEOLOGIE LOCALE.....	34
A. LES MARNES	34
B. LES ARGILES BENTONITIQUES	34
C. LES GRES	34
4.LE GISEMENT DE M’ZILA.....	35
5.EXPLOITATION	39
5.1 CHOIX DE LA METHODE :	39
5.2 MODE D’EXPLOITATION :	39
5.3 PRINCIPE DE LA METHODE	39
5.4 MODE D’OUVERTURE	39
5.5 TRAVAUX D’INFRASTRUCTURES	39
5.6 LES CONDITIONS GEOTECHNIQUES	39
5.7 LES CONDITIONS HYDROGEOLOGIQUES	40
5.8 TECHNOLOGIE D’ABATTAGE	40
5.9 CHARGEMENT ET TRANSPORT	40
6.ETAT DES EQUIPEMENTS CARRIERE ET USINE EXERCICE 2008.....	41
7.CLASSEMENT DE LA BENTONITE AU PRORATA DES PARAMETRES QUALITATIFS.....	42
8.SPECIFICATION TECHNIQUES DES DIFFERENTS TYPES DE BENTONITE DU GISEMENT M’ZILA.....	43
8.1 CARACTERISTIQUES DU TOUT VENANT	43
8.2 BENTONITE DE FORAGE HYDRAULIQUE ET PETROLIER	44
8.3 BENTONITE DE FONDERIE	45
8.4 BENTONITE DE CHARGE INDUSTRIELLE	46
CHAPITRE III	
PROCESSUS DE TRAITEMENT DE LA BENTONITE DE MOSTAGANEM	47
1.PROCESSUS DE TRAITEMENT, DESCRIPTION DU PROCEDE	49
1.1 STOCKAGE ET ACTIVATION	49
1.2 CONCASSAGE.....	52
1.3 SECHAGE	53
1.4 BROUAGE.....	57
1.5 DEPOUSSIERAGE	57
1.6 ENSACHAGE.....	58
1.7 CAPACITE DE STOCKAGE PRODUIT FINI	59
2.SCHEMA DE TRAITEMENT :	61
3.ETAT D’INSTALLATION	62
4.DIAGNOSTIC TECHNIQUE DES EQUIPEMENTS DE MOSTAGANEM.....	64

5.CONCLUSION	64
CHAPITRE IV	
PARTIE EXPERIMENTALE.....	65
TRAITEMENT DE LA BENTONITE PAR LA METHODE CHIMIQUE.....	65
1.COMPOSITION MINERALOGIQUE DES ECHANTILLONS D'ARGILE DE M'ZILA	66
2.DETERMINATION ET IDENTIFICATION DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DE L'ARGILE DE M'ZILA.....	66
3.DETERMINATION DES PARAMETRES RHEOLOGIQUES ET DE FILTRATION	67
ESSAIS DE VALORISATION.....	67
4.DESSABLAGE DE LA BENTONITE	67
TABLEAU V.2 : PROPRIETES RHEOLOGIQUES DE LA BENTONITE DE MOSTAGANEM.....	67
5.ACTIVATION A LA SOUDE DE LA BENTONITE DESSABLEE	67
6.DOSAGE A L'AIDE D'UN POLYMERE	68
CONCLUSION	69
7.REDUCTION DE LA PERTE EN FILTRAT PAR AJOUT DE POLYMERE CMC .	69
CONCLUSION GENERALE.....	70
ANNEXE .1_essai de laboratoire	72
ANNEXE .2_API SPECIFICATION 13A.....	81

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 (A) (B) (C) : <i>Eléments structuraux : les tétraèdres</i>	14
Figure I.1 (D) (E): <i>Eléments structuraux : les octaédres</i>	15
Figure I.2 : <i>Eléments constitutifs d'une smectite</i>	16
Figure I.3: <i>Représentation schématique de la structure de la montmorillonite</i>	18
Figure I.4 : <i>Schéma montrant l'écoulement de boue de forage dans un puits d'huile</i>	25
Figure II.1 : <i>Carte de localisation des gisements d'argile bentonitique de la région de Mostaganem</i>	30
Figure II.2 : <i>Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem</i>	33
Figure II.3 : <i>Géologie locale du gisement bentonitique de M'zila</i>	35
Figure III.1 : <i>schéma d'appareillage du traitement de bentonite de forage à Mostaganem flow –sheet</i>	48
Photo III.1: <i>Vue du tout-venant stocké sur l'aire de l'usine de Mostaganem</i>	49
Photo III.2: <i>Treuil qui alimente le skip au niveau de l'usine de Mostaganem</i>	50
Photo III.3 : <i>Un skip de capacité 400 kg utilisé dans l'usine de Mostaganem</i>	51
Photo III.4 : <i>skip qui circule sur rails de l'usine de Mostaganem</i>	52
Photo III.5 : <i>Trémie d'alimentation du concasseur</i>	52
Photo III.6 : <i>chambre de réception du sécheur rotatif au niveau de l'usine de Mostaganem</i>	53
Photo III.7 : <i>la chambre de combustion au niveau de l'usine de Mostaganem</i>	54
Photo III.8 : <i>Le sécheur rotatif utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem</i>	54
Photo III.9 : <i>Deuxième chambre de réception du séchoir de l'usine de Mostaganem</i>	55
Photo III.10 : <i>Elévateur à godets utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem</i>	56
Photo III.11 : <i>Trémie du broyeur de l'usine de Mostaganem</i>	56
Photo III.12 : <i>Broyeur pendulaire PM-8 5 utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem</i>	57
Photo III.13 : <i>Une ensacheuse utilisée dans l'usine de traitement de Mostaganem</i>	58
Photo III.14 : <i>grands sacs dans l'usine de traitement de Mostaganem</i>	59
Figure III.2: <i>Schéma de traitement (organigramme)</i>	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : <i>composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem.....</i>	20
Tableau II.1 : <i>Principales caractéristiques des 14 couches.....</i>	36
Tableau II.2 : <i>Etat des équipements carrière et usine exercice 2008.....</i>	41
Tableau II.3 : <i>Classement de la bentonite au prorata des paramètres qualitatifs.....</i>	42
Tableau II.4 : <i>caractéristiques physico-mécaniques des tou-venant.....</i>	43
Tableau III.1 : <i>Etat d'installation des appareillages de l'unité de traitement de Mostaganem actuel.....</i>	63
Tableau IV.1 : <i>composition minéralogique des argiles de M'zila – Mostaganem.....</i>	66
Tableau IV.2 : <i>propriétés rhéologiques de la bentonite de Mostaganem.</i>	67
Tableau IV.3 : <i>propriétés rhéologiques de la bentonite dessablé et traitée à la soude de Mostaganem.....</i>	68
Tableau IV.4: <i>propriétés rhéologiques de la bentonite dessablée activée à la soude dopée avec le Jorco M-20, de Mostaganem.....</i>	69

Introduction générale

Les gisements d'argiles bentonitiques en Algérie sont exploités depuis plus de 50 ans dans les régions de Maghnia et Mostaganem. Après traitement chimique, les produits sont utilisés dans les boues de forage et la décoloration des huiles. Après traitement mécanique elles sont aussi utilisées en fonderie et en génie civil.

Dans le cadre de mon projet de fin d'étude intitulé : optimisation du processus de traitement de la bentonite de Mostaganem. J'ai effectué une visite à l'unité BENTAL de Mostaganem, filiale de l'ENOF, du 15 Mars au 23 Mars 2008, où j'ai pris part à des essais au niveau de cette entreprise.

BENTAL est une société par actions, filiale à 100% de ENOF Spa, Entreprise Nationale des Produits Miniers Non ferreux et des Substance Utiles, créée le 1^{er} janvier 2001. Le capital de BENTAL est de 60 000 000 DA. BENTAL est certifiée ISO9002/94. Ses activités concernent l'extraction, le traitement et la commercialisation des bentonites et du carbonate de calcium. Les gisements bentonitiques sont traités au niveau de deux usines, l'une à Maghnia et l'autre à Mostaganem.

L'usine de traitement étant vétuste, ses capacités de production sont très limitées. De plus, la nuisance à l'environnement est un facteur très important, vu que cette usine est localisée en zone urbaine.

Avec la collaboration des travailleurs et techniciens, nous avons pu entreprendre certains essais qui sont décrits en détail dans la partie expérimentale de ce mémoire, présentés comme suit :

- Le chapitre 1 traite des généralités sur la bentonite.
- Le chapitre 2 nous renseigne sur le gisement bentonitique de M'ZILA Algérie.
- Le chapitre 3 est dédié au traitement de la bentonite
- Le chapitre 4 est réservé aux essais réalisés, donc à la partie expérimentale

Nous terminons notre mémoire par une conclusion générale et recommandation.

CHAPITRE I

Généralités sur la Bentonite

1. Définition des argiles [1]

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. 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 (2μ),

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.

2. Types et structures des minéraux argileux [1]

2.1 Structure des minéraux argileux

Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates, empilements de feuillets bidimensionnels silicatés. Les feuillets qui constituent le motif de base de ces matériaux, sont formés par l'assemblage de une ou deux couches de **tétraèdres** siliceux SiO_4 et d'une couche d'**octaèdres** alumineux, ferrifères ou magnésiens.

Les silicates constituent le modèle de base. Ils sont formés par un agencement de tétraèdres de SiO_4^{4-} dans lesquels un atome de Si est entouré de 4 atomes d'Oxygène (**Figure II.1 (A)**).

Les tétraèdres s'agencent en se partageant les oxygènes en mailles hexagonales (**Figure II.1 (B)**). Les hexagones s'agencent et forment une double chaîne. Dans les phyllosilicates, les tétraèdres forment des feuillets composés de 6 tétraèdres. Les atomes d'Oxygène non partagés pointent tous dans la même direction.

La charge négative est compensée par accommodation de cations de petite taille Si, Al et rarement Fe^{3+} (**Figure II.1 (C)**).

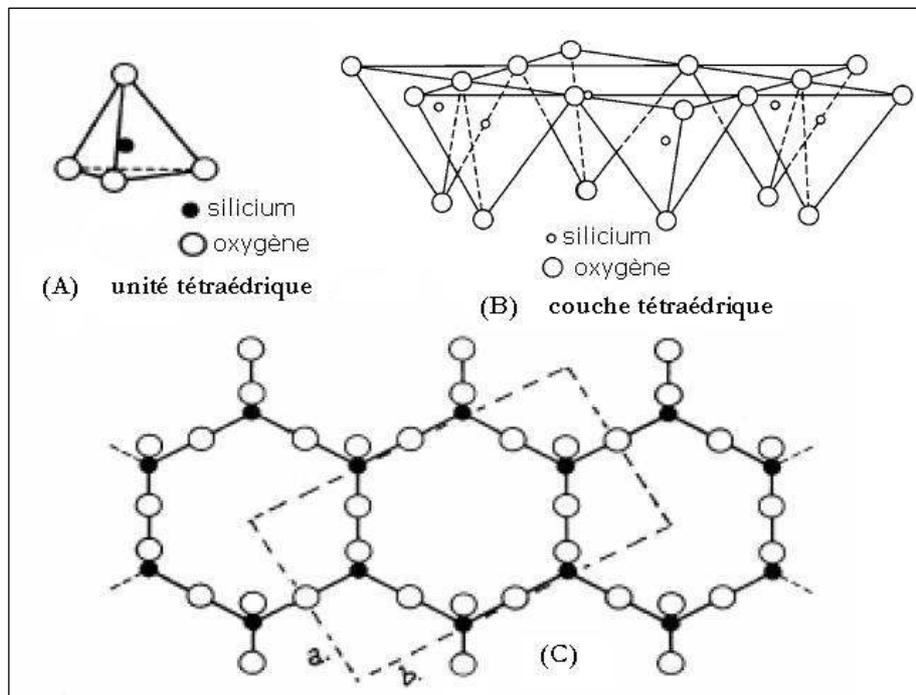


Figure I.1 (A) (B) (C) : *Eléments structuraux : les tétraèdres.*

Les tétraèdres s'associent à des feuillets octaédriques composés d'un cation central et 6 OH^- (**Figure II.1 (D)**).

Cette configuration permet d'accueillir des cations plus larges Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} mais pas Ca^{2+} , Na^+ , K^+ (trop larges). Le feuillet octaédrique est constitué de 2 plans d' OH ou O , il est couché sur une de ses faces. Il peut exister seul.

Dans la brucite (**Figure II.1 (E)**), $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$, toutes les positions cationiques sont occupées (3/3 = minéral trioctaédrique).

Dans la gibbsite, $\text{Al}_2(\text{OH})_6$, par contre 2 positions sur 3 sont occupées (minéral dioctaédrique)

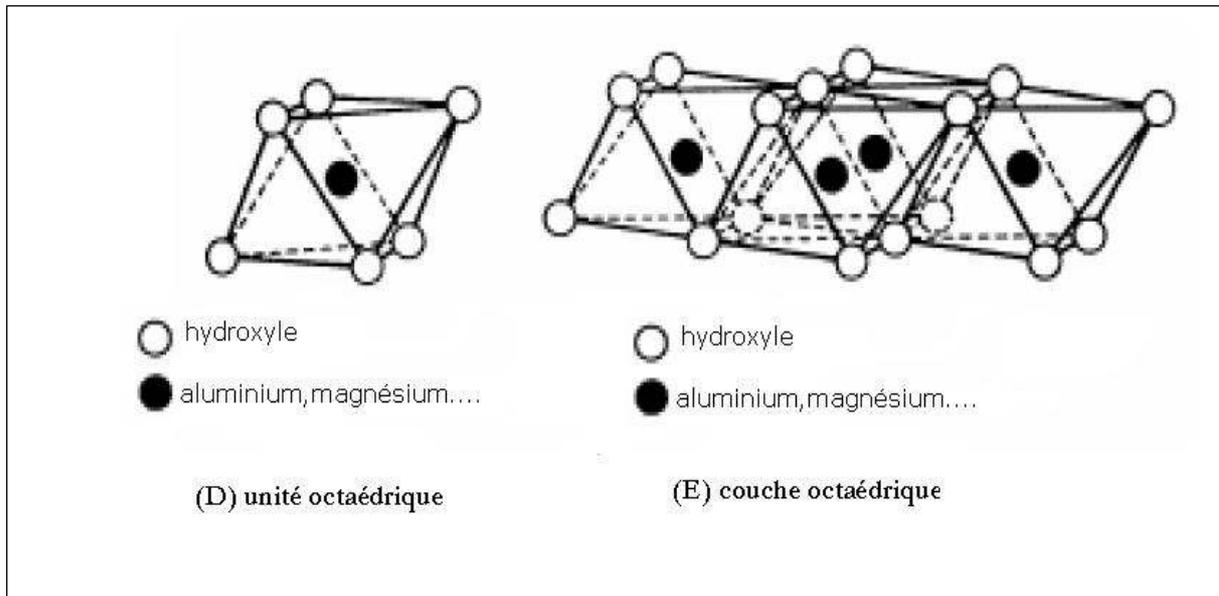


Figure I.1 (D) (E): *Eléments structuraux : les octaédres.*

2.2 Les types des minéraux argileux [1]

Selon le nombre de couches octaédriques (O) et tétraédriques (T), on distingue trois principaux types de minéraux:

2.2.1 Les minéraux de type 1:1 (ou T-O) à une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres. L'équidistance caractéristique est d'environ 7,1Å. A ce type correspond le groupe de la kaolinite;

2.2.2 Les minéraux de type 2:1 (ou T-O-T) à une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques. L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15 Å selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des **smectites**, des vermiculites et celui des micas;

2.2.3 Les minéraux de type 2:1:1(ou T-O-T-O) à une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdres; l'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å ; à ce type correspond le groupe de la chlorite.

3. Structure des smectites et composition des feuillets [2]

Les smectites sont des phyllosilicates constitués des deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique (phyllosilicates 2:1). Les minéraux les plus importants de cette famille sont **la montmorillonite**, la beidellite, l'hectorite et la saponite.

La formule générale pour la demi-maille de smectite est :



Où **CE** symbolise les cations échangeables et **R** représente le magnésium dans les montmorillonites types (on trouve cependant de nombreuses variétés chimiques où R représente des cations comme Fe^{2+} ou Mn^{2+}).

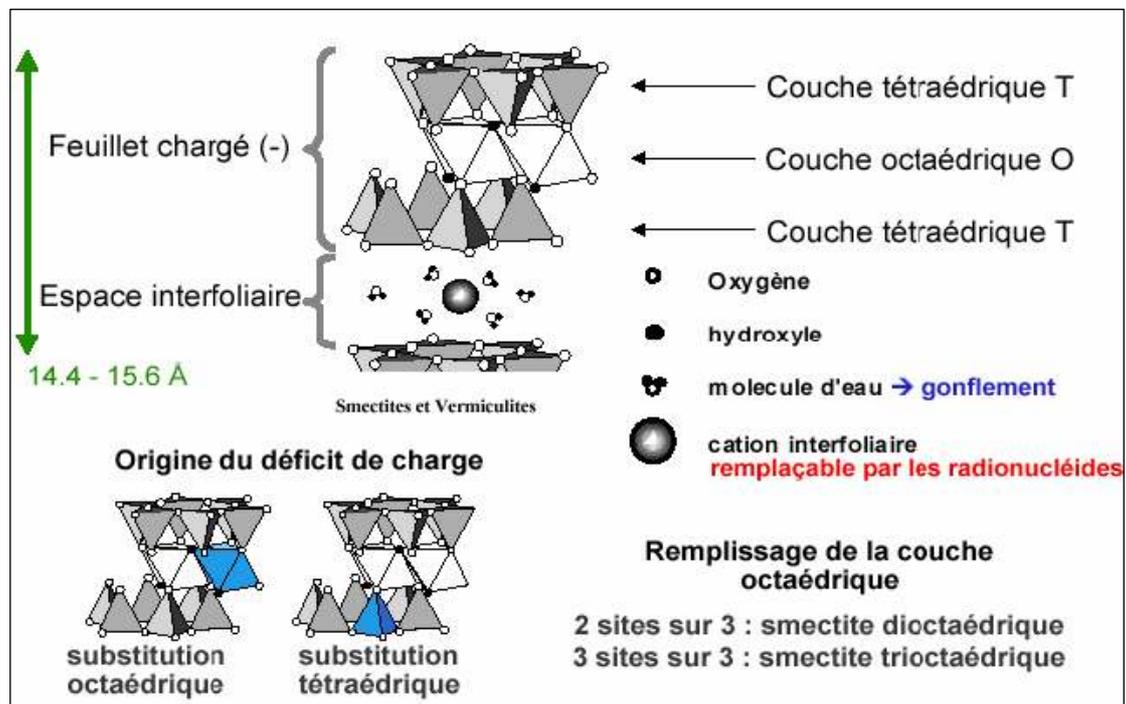


Figure I.2 : *Eléments constitutifs d'une smectite.*

La montmorillonite est une argile dioctaédrique. L'aluminium des couches octaédriques peut être remplacé par Mg, Fe, Zn, Ni, Li,.. Etc. Il peut d'autre part remplacer jusqu'à 15 % du silicium dans la couche tétraédrique.

Les montmorillonites ayant des liaisons interfeuillet très faibles assurés uniquement, par des molécules d'eau polaires, présentent des structures très dispersées. L'argile qui sera constituée par ce minérale sera gonflante.

4. Structure de la montmorillonite [3]

L'établissement des structures a fait l'objet de nombreuses études. La plus connue est celle de Hofmann, Endel et Wilm (1933).

La montmorillonite appartient au groupe des minéraux argileux à 10 Å°. Caractérisé par un feuillet qui comporte une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques type 2 :1.

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.

Le phosphore peut remplacer le silicium dans la couche tétraédrique, tandis que le magnésium, le zinc, le nickel remplace l'aluminium dans la couche octaédrique.

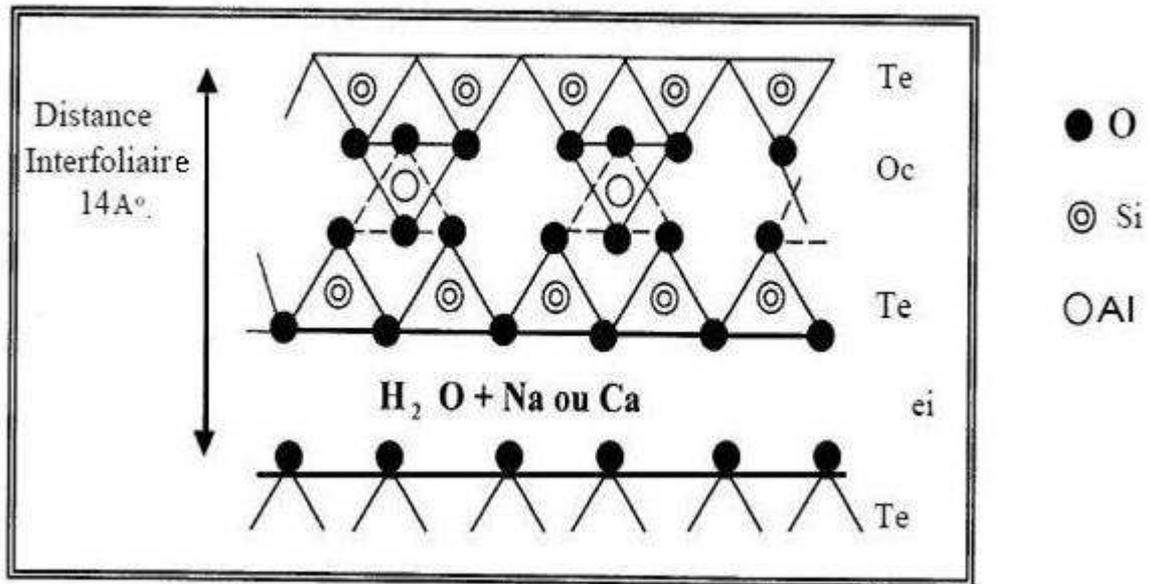


Figure I.3: Représentation schématique de la structure de la montmorillonite.
(Projection sur un plan perpendiculaire aux feuillets).

Avec :

- **Oc:** Couche d'octaèdres d'atomes d'oxygène avec un aluminium au centre ;
- **Te:** Couche de tétraèdre d'atomes d'oxygènes avec un silicium au centre ;
- **ei :** Espace interfoliaire où peuvent se placer divers cation.

4.1 Définition de la bentonite

L'utilisation des argiles dans divers domaines de l'industrie fait l'objet de nombreuses études où l'intérêt est orienté vers la détermination et l'amélioration des performances qu'elles peuvent offrir. Parmi ces argiles qui constituaient le substrat de base de plusieurs recherches, est celle dénommée bentonite. Cette dernière a été découverte vers la fin du 19ème siècle près de Fort-Benton dans le Wyoming.

Les principaux gisements d'argile bentonitiques dans le monde sont localisés en Floride, Géorgie, Alabama, Californie (USA), Montmorillon dans la Vienne (France), en Allemagne, au Japon, etc.

Le terme bentonite désigne une argile composée essentiellement de montmorillonite du groupe des smectites et qui se caractérise par une forte capacité de gonflement (pouvoir absorbant) après absorption d'un liquide : eau ou un liquide organique.

Les bentonites conservent l'humidité plus longtemps que les argiles ordinaires. Leur couleur est généralement gris-clair, grise, aux teintes bleuâtres (à l'état sec) et verdâtre (à l'état humide).

Les bentonites peuvent être classées en 2 groupes selon qu'elles sont sodiques (gonflables et conviennent pour les boues de forage) ou calciques (avec un indice de gonflement très faible et une forte capacité d'adsorption)

4.2 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 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.

4.3 Caractéristiques physico-chimiques de la bentonite [4]

4.3.1 Composition chimique de la bentonite

Elle est variable et dépend de la teneur variable en eau. Les résultats obtenus pour la composition chimique de la bentonite brute de Mostaganem, sont indiquées dans le tableau suivant :

%massique	Sud U.S.A	Wyoming	Maghnia	Mostaganem
SiO ₂	59.00	64.30	58.89	65.50
TiO ₂	Nd	Nd	0.28	0.27
Al ₂ O ₃	18.40	19.80	17.37	13.85
Fe ₂ O ₃	5.10	4.04	3.32	2.91
FeO	1.26	2.60	Nd	0.70
MnO	Nd	Nd	0.07	0.03
MgO	2.86	2.03	3.37	2.27
CaO	3.88	0.73	1.06	1.86
Na ₂ O	0.41	2.81	1.32	2.22
K ₂ O	0.78	0.44	1.30	0.97
H ₂ O ⁺	2.91	1.14	4.46	3.27
H ₂ O ⁻	5.40^{^^}	2.11^{^^}	8.26	6.06
P ₂ O ₅	Nd	Nd	0.05	0.06
SO ₃	Nd	Nd	0.68	0.02
TOTAL	100.00	100.00	100.43	99.99

Tableau I.1 : composition chimique des gisements de bentonite de Maghnia et Mostaganem.

Nd : non déterminer

4.3.2 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).

4.3.3 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 de 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.

4.3.4 Gels de bentonite

Si la quantité d'eau introduite dans une bentonite est faible, les particules s'immobilisent les une 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.

4.3.5 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 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.

4.3.6 L'eau libre

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

4.3.7 La viscosité

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

4.3.8 La densité

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

4.3.9 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.

4.3.10 Couleur

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

5. Principales utilisations de la bentonite [6]

L'intérêt porté à la montmorillonite s'explique par les propriétés suivantes :

- Une capacité de gonflement dans certains liquides et en particulier dans l'eau.
- Une capacité de fixation de cation comparable à celle de tous les échangeurs d'ion naturels.

On peut rappeler quelques uns des domaines dans lesquels les bentonites sont couramment employées :

5.1 Bouletage des minerais de fer :

Le bouletage des minerais de fer est le principal débouché pour la bentonite gonflante au Canada et aux États-Unis. Cette application prend également de l'importance dans le reste du monde. La quantité ajoutée au minerai varie de 4.5 kg à 8 kg la tonne, selon le type de concentré. Les statistiques publiées aux États-Unis et au Canada laisse supposer que plus de 20 livres de bentonite sont mêlées aux concentrés, ce qui est peu probable, car un surplus de bentonite amollirait la boulette produite. 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 compagnies minières canadiennes ont communiqué 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, nécessitant ainsi l'usage de quantités additionnelles de calcaire et de coke durant la réduction. Des produits concurrents, tels le clinker de ciment, la chaux, et en Australie des boues naturelles, sont utilisés avec succès rapporte-t-on. Ces applications demeurent tout de même restreintes et ne mettent aucunement en danger la position de la bentonite comme principal liant de bouletage pour plusieurs années encore. L'industrie du fer oriente surtout ses recherches vers l'amélioration des qualités chimiques des boulettes, par exemple, en ajoutant de la chaux.

5.2 Sables de fonderie :

La bentonite naturelle et la bentonite de traitement servent à la préparation des moules de 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 haute pression. De très nombreux mélanges sont préparés dans le commerce pour des spécialités. 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.

Au Canada, le marché des sables de fonderie fournit le second débouché d'importance à la bentonite du type Wyoming. Bien que les produits concurrents aient été développés (silicates et résines synthétiques) dont l'usage est surtout orienté vers les sables secs, il est peu probable que la bentonite soit remplacée dans les sables verts. C'est un liant économique (récupérable en partie et montrant peu de perte au procédé de moulage). La tendance vers les moulages à haute pression ne peut qu'amplifier la demande pour la bentonite .

5.3 Les boues de forage :

On utilise principalement de la bentonite du type Wyoming pour cette application., Plus de 600 000 tonnes sont utilisées annuellement aux États-Unis dans le secteur de la recherche pétrolière. Quelque 150 000 tonnes sont exportées chaque année à travers le monde par des sociétés spécialisées. 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 presque la 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 résidus de roche vers la surface.

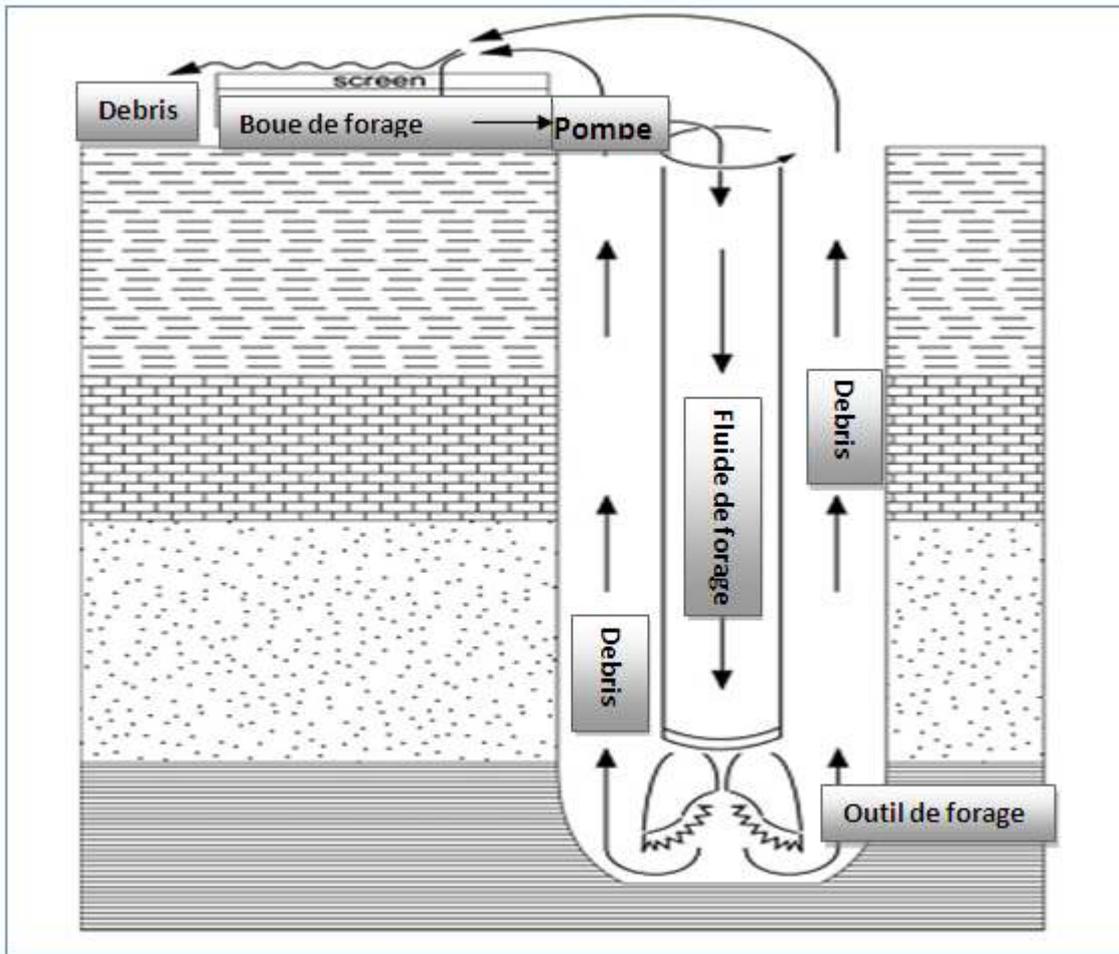


Figure II.4 : Schéma montrant l'écoulement de la boue de forage dans un puits d'huile.

La boue maintient aussi une pression hydrostatique sur les couches traversées. 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 nord-américain. On fore beaucoup plus en Amérique du Nord pour une productivité inférieure qu'au moyen Orient où sont les champs pétroliers les plus productifs. De ce fait la publication "World Oil" rapportait que 89 % du total de pieds 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.

Bien que la consommation de bentonite varie dépendant du type de formation traversé et qu'il soit difficile de poser des absolus sur des patrons de consommation, certaines statistiques ont été établies qui permettent des rapprochements utiles entre la quantité de bentonite utilisées et le nombre de pieds forés.

5.4 Applications reliées au génie civil :

La bentonite a des propriétés thixotropiques (épaississement de gels au repos) qui lui ouvre d'intéressants débouchés dans le secteur des travaux publics. On s'en sert pour l'imperméabilisation des sols, la construction de murs de soutien ("diaphragm-walls" aux États-Unis), dans les travaux souterrains, pour stabiliser les sols, etc. Dans toutes ces applications, les gels produits "de différents mélanges selon les besoins", bouchent les pores, forment une pellicule imperméable et renforcent les terrains traversés. Ce secteur se développe rapidement et la littérature technique rapporte constamment de nouvelles applications. Des sociétés spécialisées fournissent une variété de boues pour des utilisations spécifiques. Il est difficile de déterminer l'importance de ce marché qui est de fait relié au type de travaux publics en chantier plutôt qu'à l'activité générale du secteur.

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).

5.5 Décoloration des huiles végétales :

Pour les huiles faiblement colorées (exemple : l'arachide) on utilise de préférence les terres naturelles, et pour les huiles plus colorées (exemple : le soya), les terres activées sont plus indiquées, pour des raisons techniques et économiques. Il faut 4 à 5 fois plus de terre naturelle que de terre activée pour obtenir le même effet décolorant.

La consommation de terre activée pour la décoloration des huiles végétales varie de 0.25 à 1% du volume d'huile traitée.

5.6 Filtration des huiles minérales :

Les terres activées sont utilisées concurremment avec d'autres procédés dans les raffineries de pétrole pour la filtration et la purification des huiles minérales.

La consommation de terre est du même ordre que pour les huiles végétales sauf dans le cas de régénération des huiles usées.

5.7 Clarification des vins, des jus et des bières :

Le pouvoir absorbant des terres décolorantes exerce une action clarifiante sur les vins, bières et jus de fruits.

De nombreux vins contenant des protéides coagulent spontanément sous l'action de la température et du temps en provoquant un trouble du vin. Cet inconvénient est éliminé par un traitement avec une terre activée.

Dans les bières, il s'agit d'éliminer les substances albuminoïdes susceptibles de flocculer et créer des voiles. L'action clarifiante des terres décolorantes évite les filtrations successives tout en gardant intactes les propriétés de la boisson (saveur, mousse etc.).

5.8 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

Le gisement Bentonitique de M'zila

1. Localisation et infrastructure régionale [6]

Les potentialités les plus intéressantes en argiles bentonitiques du pays sont situées dans les régions de Maghnia et de Mostaganem.

Ils sont exploités depuis plus de 50 ans. A l'échelle du gisement, la variation des compositions chimiques est telle que l'établissement d'une carte qualité s'est imposé comme outil de gestion de l'exploitation vers les trois principales qualités de bentonite brute recherchée : bentonite de forage pétrolier et hydraulique et bentonite de fonderie.

La bentonite pour charge minérale et pour le génie civil ne requiert pas de contrainte particulière, cependant toutes les couches de gisement peuvent fournir ces qualités.

Les carrières d'argile bentonitique désignées sous le nom de "chantier M'Zila" sont situées à 40 km au nord-est de Mostaganem, et à 10 kilomètres à l'est du chemin goudronné reliant la commune de Sour à la Daïra de Sidi Ali à l'est du village ACHASTA (figure 1).

Le site est facilement accessible par véhicule motorisé, d'abord par une route goudronnée, et ensuite par des pistes secondaires d'une dizaine de kilomètres de longueur qui mènent aux différentes exploitations.

Le site est très accidenté et le relief atteint une centaine de mètres. Conséquemment, certaines parties des gisements ne se prêtent pas au type d'exploitation pratiqué (tranchées peu profondes), à cause de la topographie trop abrupte.

L'exploitation ne nécessite pas d'électricité, ni d'eau. Une main-d'oeuvre qualifiée est disponible dans la région.

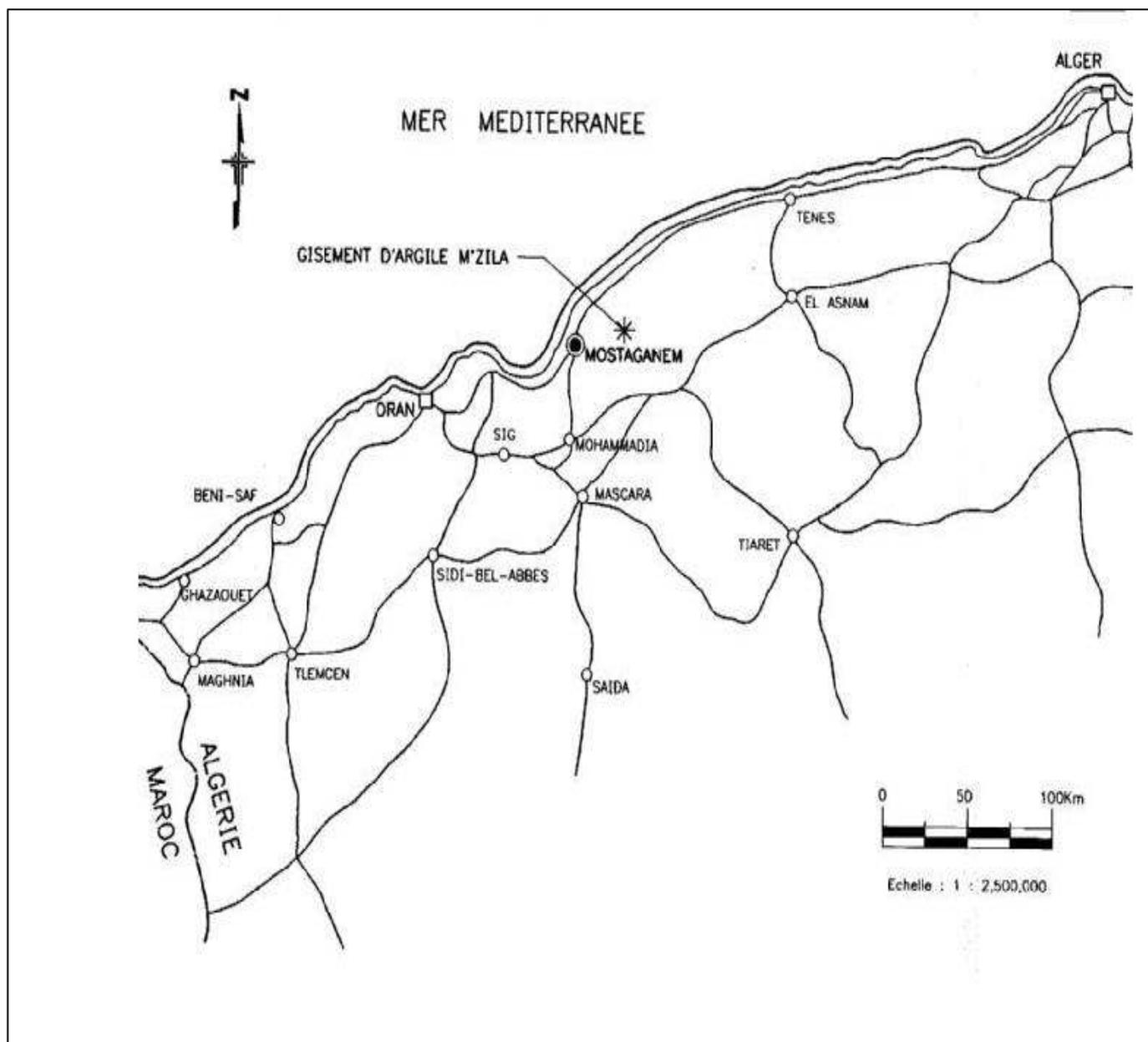


Figure II.1 : Carte de localisation des gisements d'argile bentonitique de la région de Mostaganem.

2. Géologie régionale [6]

Géologiquement, le gisement de M'Zila appartient au bassin sédimentaire du Chelif. Ce dernier est composé de formations d'âges Miocène inférieur, Miocène supérieur, Pliocène et Quaternaire (**Figure II.2**).

2.1 Stratigraphie :

a. Le Miocène inférieur est représenté dans le bassin du Chelif comme dans la partie orientale de la région Dj.Sahli, par des grès et des conglomérats de la série inférieure et par des marnes de la série supérieure.

b. Le Miocène supérieur débute par des grès glauconieux et des marnes argileuses surmontés par un banc puissant de 500m de marnes bleues et bleues gris, à faibles intercalations de calcaires, de grès et d'argiles bentonitiques dont la présence n'a été constatée que dans la région de M'zila - Oued Fares.

Dans le bassin du bas Chellif, les faciès détritiques du Miocène supérieur passent progressivement à des faciès de milieu littoral ou sublittoral, puis à un milieu néritique.

Le flanc sud de Dj. Lokba, est constitué par des argiles à diatomites, et des argiles gypsifères (125 m) et des gypses massifs (125 m).

Le flanc sud du massif de Dahra est formé par des diatomites et des argiles à diatomites surmontées par des gypses massifs et des argiles gypsifères à passées marno-calcaires et gréseuses.

Dans la région de l'oued Disseloul et au confluent de l'oued Mina et du Chellif, la puissance des marnes bleues atteint 900-1000 m, les marnes reposent sur un niveau détritique épais de 100 m environ.

Au flanc NO du Dj. Meni, le Miocène supérieur débute par des grès jaunes (20 m), recouvert de marnes bleues à niveaux détritiques à la base. La puissance des marnes dans cette région s'élève à 250 m. les marnes bleues se développent également dans le bassin de l'oued Bechela et de l'oued Melah où leur épaisseur jointe à celle des grès et du niveau détritique de base, est de 850 m environ.

Dans la région sud du plateau de Hadjads, le Miocène supérieur est transgressif sur le Miocène inférieur, représenté par des grès, marnes, argiles glauconieuses à conglomérat de base. L'épaisseur des marnes bleues s'élève à 100-300 m. les marnes bleues sont surmontées par des diatomites et des argiles à diatomites (100 m), ainsi que par des gypses dont le développement est relativement réduit.

c. Le Pliocène est représenté par des formations marines et continentales (grès, calcaires et conglomérats) discordantes sur le Miocène supérieur. Cet ensemble de roches est recouvert en discordance par des grès marin de l'Astien, des grès continentaux et des argiles fossilifères.

d. Le Quaternaire est représenté par des grès calcaires, qui couvrent toute la zone Nord de la région de Hadjads et Sidi Ali jusqu'à la côte méditerranéenne, par de différentes roches continentales rubéfiées, sableuses et argileuses ainsi que par des sables marins côtiers.

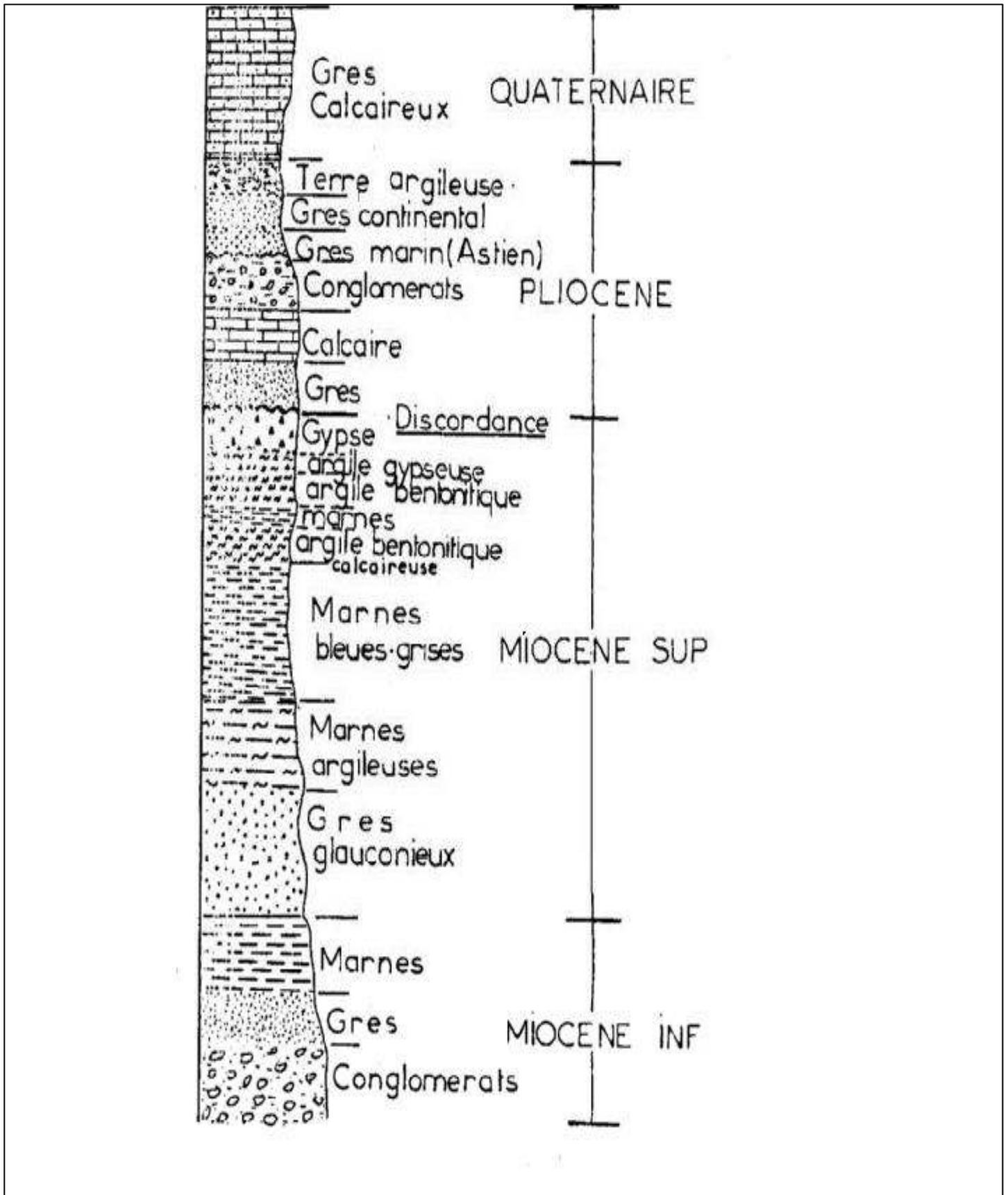


Figure II.2 : Colonne stratigraphique du bassin du Chélif dans la région de Mostaganem.

3. Géologie locale [6]

Le gisement d'argiles bentonitiques de M'zila est encaissé dans le Miocène supérieur, représentée par des marnes bleues (500 m) à passées argileuses et gréseuses. Ces marnes sont recouvertes en transgression par des diatomites et des argiles gypsifères. La série se caractérise par les passages progressifs d'argiles finement dispersées à des marnes argileuses. Les unes comme les autres sont généralement de couleur grise ou brune grise, légèrement bleuâtre et verdâtre (à l'état humide) (**Figure II.3**).

Au sein des argiles et des marnes s'individualisent nettement quelques faibles passés gréseuses (à 1m), hétéro granulaires, et plus rarement des intercalations d'argiles riches en biotites. L'épaisseur des argiles fines peut s'élever à 4-5m.

Dans le secteur du gisement, cette série constitue le cœur et les flancs d'un synclinal dont l'axe à orientation sublatitudinale plonge progressivement vers l'Ouest. Au flanc nord du synclinal affleurent les couches d'argiles bentonitiques à pendage Sud d'environ 30-35°, rarement 40°. Au flanc sud, les argiles bentonitiques ont un pendage nord d'environ 10-15°, rarement 30-35°. Le flanc sud du synclinal est affecté par une tectonique cassante de faible amplitude.

La partie orientale du gisement est affectée par une zone de faille où les roches sont broyées, les variétés siliceuses sont plus compactes et plus dures.

a. Les marnes comme les argiles, sont tendres, finement poreuses, argileuses (elles happent à la langue), friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont mouillées.

b. Les argiles bentonitiques forment presque toujours avec les grès et grès biotitiques, des bancs isolés puissants (épaisseur maximum 20-22m). A l'œil nu, les argiles bentonitiques sont à cassure conchoïdale, fine, visqueuse, non compacte, grasse au toucher, peu carbonatées, gonflantes. La couleur des bentonites est généralement grise clair, grise, aux teintes bleuâtres à l'état sec et verdâtres à l'état humide.

c. Les grès se trouvent le plus souvent associés aux couches bentonitiques, tantôt à la base, et tantôt au sommet de la série parfois dans les parties médianes. Les grès biotitiques sont à grains fins et très fins, à ciment argileux ou argilo-carbonaté parfois légèrement gonflants.

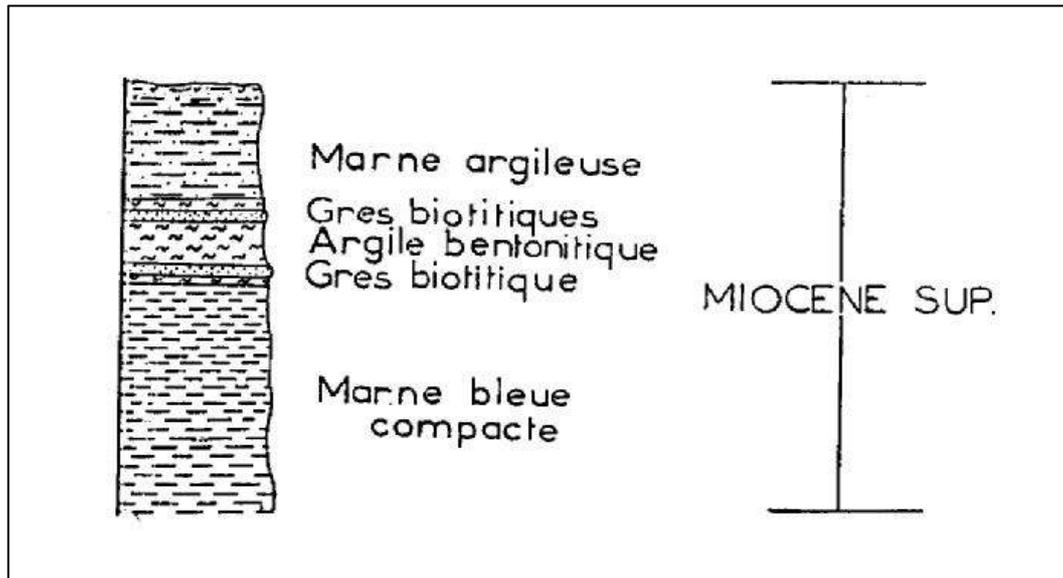


Figure II.3 : Géologie locale du gisement bentonitique de M'zila.

4. Le gisement de M'zila [7]

Le gisement de M'zila se compose de quatorze (14) couches d'argile bentonitique identifiées de I à XIV. Leurs affleurements, discontinus, se suivent sur une distance latérale d'environ 3,5 km. Leur extension Ouest plonge sous des terrains morts.

A leur limite Est qui coïncide avec la terminaison du synclinal soulignée par une zone faillée, les couches changent de direction et s'incurvent pour continuer vers l'Ouest et le Sud Ouest. Les argiles bentonitiques ont une puissance d'environ 2 à 10 m, parfois elle ne dépasse pas quelques centimètres. Toutes ces argiles sont légèrement carbonatées, elles gonflent avec l'absorption d'eau et ont une viscosité et des gels différents qui les caractérisent les unes des autres.

Plusieurs échantillons ont été prélevés par SIDAM pour la détermination des caractéristiques physiques. Contrairement aux résultats rapportés par l'équipe soviétique (1972), les viscosités déterminées sont assez élevées et varient entre 10 et 20 cP.

Une description succincte des couches d'argiles bentonitiques avec les caractéristiques propres à chacune d'elle et les usages projetés, est présentée en se basant sur les travaux de SIDAM (1994). Les paramètres requis pour la classification des bentonites en fonction de leur utilisation n'ont pas été mesurés systématiquement pour chaque couche, la viscosité et le

volume d'eau libre sont les deux seuls paramètres dont les valeurs soient disponibles pour la plupart des couches, ils ont été mesurés en 1972 rapport SONAREM.

Les résultats mentionnés ne sont cependant pas fiables car plusieurs de ces analyses indiquaient une viscosité faible et un volume d'eau libre élevé pour des bentonites qui en pratique produisait des boues de forage de bonne qualité.

Pour les mêmes couches d'argile bentonitique, les analyses plus récentes que celles de 1972 du laboratoire de l'unité de l'ENOF à Mostaganem et qui ont été fournies à SIDAM ont donné de bien meilleurs résultats. Pour cette raison et à cause probablement de l'amélioration de la qualité des analyses dans le temps, SIDAM estime que les analyses récentes doivent être préférées aux plus anciennes. (Voir tableau II.1 ci-dessous des principales caractéristiques).

Couches/ parcelles		Caractéristiques géométriques			Caractéristiques physiques moyenne					
		Long (m)	Larg (m)	Epais (m)	Vis. L600 (cp)	filtrat (cm ³)	Res >75 μ (%)	IG (%)	CPV (g/cm ²)	CXV (g/cm ²)
I	A B	3000	8	1.1	03.80	22.00	-	-	-	-
III	B	60	10	04	07.93	28.94	06.81	-	-	-
	A	70	10	04	09.75	24.67	06.15	8.82	683.6	112
IV	A	130	10	04	11.48	17.94	05.00	12.00	480	113
	AEK	70	8	04	11.11	18.18	05.13	-	4.17	-
VII	A	60	12	07	05.64	19.28	09.76	11.00	591	139
X	GRA	60	08	02	17.91	15.86	01.33	13.80	-	-
	D1	45	08	07	16.00	17.75	13.90	-	-	-
	Ben.	50	10	05	13.93	21.28	02.19	10.27	-	-
	B4	60	08	03	15.00	21.68	04.46	11.36	-	-
	T2	100	10	02	18.45	23.75	-	-	-	-
XI	A2	900	8-30	6	19.00	20.00	08.00	11.00	-	-
XII		3738	05	03	33.00	16.00	-	-	-	-
XIII	C	700	7	0.9	25.00	22.00	-	-	-	-
XIV	D	25	12	06	36.00	30.04	13.50	11.00	-	-
	E	40	12	06	33.86	27.27	13.50	11.00	-	-
	F	40	12	6	29.26	26.02	06.50	-	-	-
	C	60	03	6	22.81	19.66	5.16	12.30	-	-

Tableau II.1 : Principales caractéristiques des 14 couches.

Interprétation du tableau II.1

Présentation des différentes couches.

La couche I affleure dans les deux flancs du synclinal, sur une longueur de 3300 m. Elle a été exploitée dans les carrières 4 et 13. Elle est de bonne qualité pour les boues de forage.

La couche II a été exploitée dans la carrière 12, elle n'a pas une grande extension, et ses réserves sont très faibles.

La couche III affleure au flanc nord du synclinal, elle n'a pas été encore exploitée mais sa partie ouest a été préparée pour l'extraction au cours de 1994.

La couche IV est importante en épaisseur et fusionne avec la couche VII dans la fermeture périclinal au flanc sud du synclinal. Au flanc nord du synclinal son extension est de 2551m. Elle a été exploitée dans les carrières 5 et 10, ses réserves sont encore importantes 154 000 t environ.

La couche V a une faible extension (207m) et ses réserves ne sont pas importantes. Sa qualité est moindre et suggère une utilisation comme bentonite de charge.

La couche VI est faible en épaisseur et en longueur (214m). Et trop mince pour supporter une exploitation rentable

La couche VII est reconnue dans les deux flancs du synclinal (extension globale 2603m), elle est de bonne qualité pour la bentonite de fonderie. La couche VII a été exploitée dans les carrières 11 et 14, et ses réserves restent importantes 86 500 t.

Remarque : les teintes des bentonites du gisement de M'zila sont souvent un indice de leurs applications possibles : vert brunâtre pour les boues de forage, blanchâtre pour fonderie.

La couche VIII présente une épaisseur relativement faible (1,7m). D'après la carte de SIDAM (1979) elle se poursuivrait vers le flanc sud du synclinal. Elle est de bonne qualité pour les boues de forage.

La couche IX a une épaisseur très faible, les réserves ne sont pas significatives, et elle est de mauvaise qualité.

La couche X est la plus importante avant la couche XIV. Elle s'étend sur près de 5,4 km et les réserves sont de 230 000t environ. Elle a été exploitée dans cinq (05) carrières : 3, 6, 9, 15 et la carrière Fahim. Elle est bonne pour la fonderie.

La couche XI est reconnu uniquement dans la partie ouest du flanc nord du synclinal. Elle a été exploitée au niveau de la carrière 2 sur une longueur de 900 m. Elle n'est pas délimitée vers l'ouest et les réserves pourraient être importantes.

La couche XII n'est connue que sur le flanc nord du synclinal. Cette couche exploitée dans la carrière 8 serait la même que celle qui affleure dans les anciennes carrières 1 et 7 plus à l'ouest. Les argiles de cette couche sont de bonne qualité pour la boue de forage.

La couche XIII a été exploitée dans la carrière 16, elle est d'excellente qualité pour la boue de forage.

La couche XIV est la couche la plus importante du gisement en épaisseur (9-12m) et en réserves (plus de 268 000 t). Elle est de bonne qualité pour la boue de forage malgré un volume d'eau libre légèrement plus élevé que la norme. Le potentiel d'accroissement des réserves est réel vers l'ouest.

En résumé, les couches I, IV, VII, XI, XII, XIII, et XIV possèdent des réserves significatives et sont de bonne qualité pour la préparation des boues de forage. Les couches VII et X ont des réserves importantes mais ne satisfont que la qualité des bentonites de fonderie. Les couches II, VI, et IX sont à réserves négligeables. Quant à la couche V, ses réserves sont peu importantes et sa qualité est médiocre (bentonite de charge).

5. Exploitation [7]

5.1 Choix de la méthode :

La rentabilité de la méthode appliquée est fonction du taux de découverte qui est égale au rapport du volume de la découverte sur la quantité de réserves préparées ; ce taux doit être inférieur ou égal à 5

5.2 Mode d'exploitation :

L'exploitation est conduite à ciel ouvert

5.3 Principe de la méthode :

L'exploitation du gisement de M'ZILA dont le terrain est assez stable se fait par de grandes tranchées et ou par petites carrières en gradins à ciel ouvert ; l'accès à ces dernières est rendu possible par des pistes dont le traçage et l'aménagement sont fonction du relief et de la géométrie du site.

5.4 Mode d'ouverture :

Les parcelles destinées à l'exploitation sont rendues accessibles par l'aménagement de pistes d'accès et de découverte.

5.5 Travaux d'infrastructures :

Les pistes d'accès aux parcelles d'exploitations dont la longueur atteint les 20 Km nécessitent un entretien périodique deux (02) fois par an. Elles deviennent impraticables après les pluies.

5.6 Les conditions géotechniques :

Les conditions géotechniques s'avèrent adéquates pour le déroulement des travaux notamment ceux liés à l'exploitation malgré que le terrain du gisement possède un relief très accentué et accidenté à collines abruptes et ravinées.

5.7 Les conditions hydrogéologiques :

Les eaux pluviales qui ruissellent, par ravinement et talwegs et des petits cours d'eau, forment ainsi d'importantes marres qui sont évacuées à l'aide de drainage par moyen mécanique et manuel.

5.8 Technologie d'abattage :

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 (louée).

5.9 Chargement et transport :

Le chargement s'effectue à partir des stocks intermédiaires à l'aide d'une pelle mécanique .Le transport vers l'usine est assuré par trois (03) camions dont la charge utile est de 12 tonnes , et 19 tonnes, ils effectuent trois (03) rotations par poste de travail, et par camion.

6. Etat des équipements carrière et usine exercice 2008

DESIGNATION	MARQUE	TYPE	Pui (Ch)	Année mise en circulation	Tonnage	AFFECTATION
Camion	SONACOME	C 260	34	1994	12 T	CARRIERE
Camion	HYUNDAI	HD 270	32	2003	12 T	CARRIERE
Camion	HINO I	ZM 802	34	1984	12 T	CARRIERE
Camion	MAN I	GA33360	32	2006	19 T	CARRIERE
Camion	MANII	GA33360	32	2006	19 T	CARRIERE
Chariot Elévateur	GERMAN	CE 130 D	75	2003	/	USINE
Pelle Chargeuse	JCB	3C4	75	1983	/	USINE
Pelle Chargeuse	KOMATSU II	D75 S3	175	1979	/	CARRIERE
Pelle Chargeuse	KOMATSU III	D75 S3	175	1984	/	CARRIERE
Bulldozer	HARVESTER	TD15C	300	1976	/	CARRIERE
Bulldozer	KOMATSU	D155A1	320	1984	/	CARRIERE
Pelle Chargeuse	CATERPILAR	424D-4x4 MP	75	2003	/	CARRIERE

Tableau II.2 : Etat des équipements carrière et usine exercice 2008.

7. Classement de la bentonite au prorata des paramètres qualitatifs

L'étude et la comparaison des paramètres rhéologiques des échantillons d'argiles aux normes requises (API ou bien internes) à l'entrée de l'usine a permis d'obtenir 04 classes de bentonite.

Classe A : Argile apte à la fabrication de bentonite pour boue de forage pétrolier.

Classe B : Argile caractérisée par une bonne viscosité et un filtrat élevé ; ce type d'argile exige des adjuvants pour la fabrication de la boue de forage pétrolier.

Classe C : Argile avec une faible viscosité et un filtrat admissible ; cette argile est utilisée pour le coupage des classes A et B et éventuellement pour la fabrication de la bentonite de forage hydraulique.

Classe D : Argile caractérisée par une faible viscosité et un filtrat élevé ; ce type d'argile est destiné à la fabrication de la bentonite de charge industrielle

COUCHE	PARCELLE	CLASSE	ORIENTATION	TAUX SALISSAGE	RES.REC. (t)
XIV	D	B	Argile de forage	30	1263
	E	B	//	20	2704
	F	B	//	20	1392
XI	A2	A	//	5	5300
X	1	C	//	-	3215
	T2	B	//	-	800
VII	1	C,D	Argile de Fonderie	-	9704
IV	A.E.K.	C,D	//	-	3616
III	B	D	Argile de Fonderie	-	0
TOTAL RESERVES RECUPERABLES POUR LE FORAGE PETROLIER					29348 t
TOTAL RESERVES RECUPERABLES POUR LA FONDERIE					26640 t

Tableau II.3 : Classement de la bentonite au prorata des paramètres qualitatifs

8. Spécification techniques des différents types de bentonite du gisement M'zila « Mostaganem »:

8.1 Caractéristiques du tout venant :

L₆₀₀: exprimée en centipoises. Viscosité à vitesse 600 tr/mn.

Fil: exprimé en centimètre cube, eau libre.

H₂O : exprimée en %. (humidité)

R₂₀₀: refus 200 mèches exprimé en %.

IG : indice de gonflement

Res.>75 μ :

CPV : compression à vert exprimée en g / cm²}. Essai de compression.

CXV : cisaillement à vert exprimé en g / cm²}.

Produit	Visc.L600 (cp)	Fil. cc	H ₂ O %	R ₂₀₀	Res> 75 μ	IG	CPV	CPX
Pétrolier.	16 Min	25 max	11-25	15 Max	15 Max	/	/	/
Hydraulique	12 Min	27 max	11-25	15 Max	25 Max	/	/	/
Fonderie	/	/	15-20	/	/	10 Min	350 Min	120 Min
BCI	/	/	15-18	/	/	/	/	/

Tableau II.4 : caractéristiques physico-mécaniques des tou-venant

Caractéristiques commerciales des produits finis de bentonite en fonction de son usage

8.2 Bentonite de forage hydraulique et pétrolier :

Composition chimique :

SiO ₂	55-65%
Al ₂ O ₃	12-19%
Na ₂ O	2-3%
CaO	1.5-5.5%
K ₂ O	0.5-1.8%
MgO	2-3%
Fe ₂ O ₃	0-2%

Caractères physiques :

Poudre fine, non toxique, couleur uniforme pour l'ensemble du produit, gonflable, non dangereuse, non abrasive et non corrosive.

Humidité	15% max
Gonflement	8% min
P.A.F (1000° C)	7.5 % max
Viscosité apparente	15cp min

Les caractéristiques rhéologiques :

Rendement pondéral	60g/T max
Rendement volumique	16 m ³ /T min
Yield	90 us, Barrel /SH.T.
Filtrat	15 cm ³ /30mn max

Répartition granulométrie :

Refus au tamis : 200mèches	-hydraulique : 6%max	
	-pétrolier : 2 à 4% max	
Passant au tamis : 100mèches		98%max

Emballage :

Sac de : 50 ou 25kg en papier kraft multiple

Palettes houssées de 1 tonne, conteneur élingué de 1 tonne.

Remarque : viscosité apparente = (L600 / 2)

8.3 Bentonite de fonderie,

Composition chimique :

SiO ₂	55-65%
Al ₂ O ₃	12-18%
Na ₂ O	1-3%
CaO	1-5%
K ₂ O	0.76-1.75 %
MgO	2-3%
Fe ₂ O ₃	traces

Caractères physiques :

Poudre fine, non toxique, couleur uniforme pour l'ensemble du produit, non dangereuse.
(En plus non corrosive et non abrasive pour la BCI).

Humidité	10%max.
Gonflement	0,8%
P.A.F (1000° C)	0,6 % max.
Réfraction	1 000 ± 20° C
Absorption de bleu de méthylène	100 mg/go

Les caractéristiques mécaniques :

Humidité	0,3 % max.
Résistance à la compression: Humide	600-800g/ cm ²
Résistance à la compression: Sec	3000 g/cm ² max
Résistance au Cisaillement : Sec	150g/cm ² max
Résistance au Cisaillement: Humide	1000 g/cm ² max

Destruction thermique :

Résistance à la compression : Humide ou à Sec.
Résistance au Cisaillement: Humide ou à Sec.
Ces propriétés varient de valeur initiale 1 à 15 %.

Granulométrie :

Refus au tamis :200 mèches	15 % max
Passant au tamis 100 mèches (pour BCI) :	98max

Emballage :

Papier d'emballage : 50 ou 25 kg
Couverture – plastique : 1tonne, 250kg

8.4 Bentonite de charge industrielle:

Composition chimique :

SiO ₂	55-65%
Al ₂ O ₃	12-18%
Na ₂ O	1-3%
CaO	1-5%
K ₂ O	0.76-1.75%
MgO	2-3%
Fe ₂ O ₃	p.p.m%

Caractères physiques :

Humidité	6% max
P.A.F (1000° C)	0.6% max

Répartition granulométrie :

Refus au tamis : 200mèches	2%max
Passant au tamis : 100mèches	98%max

Emballage :

Papier d'emballage : 50 ou 25 kg
Couverture – plastique : 1tonne ou 250kg

CHAPITRE III

Processus de traitement de la Bentonite de Mostaganem

Le schéma d'appareillages du procédé de traitement pour la bentonite de forage de l'unité de Mostaganem fait ressortir les étapes suivantes (Figure III.1)

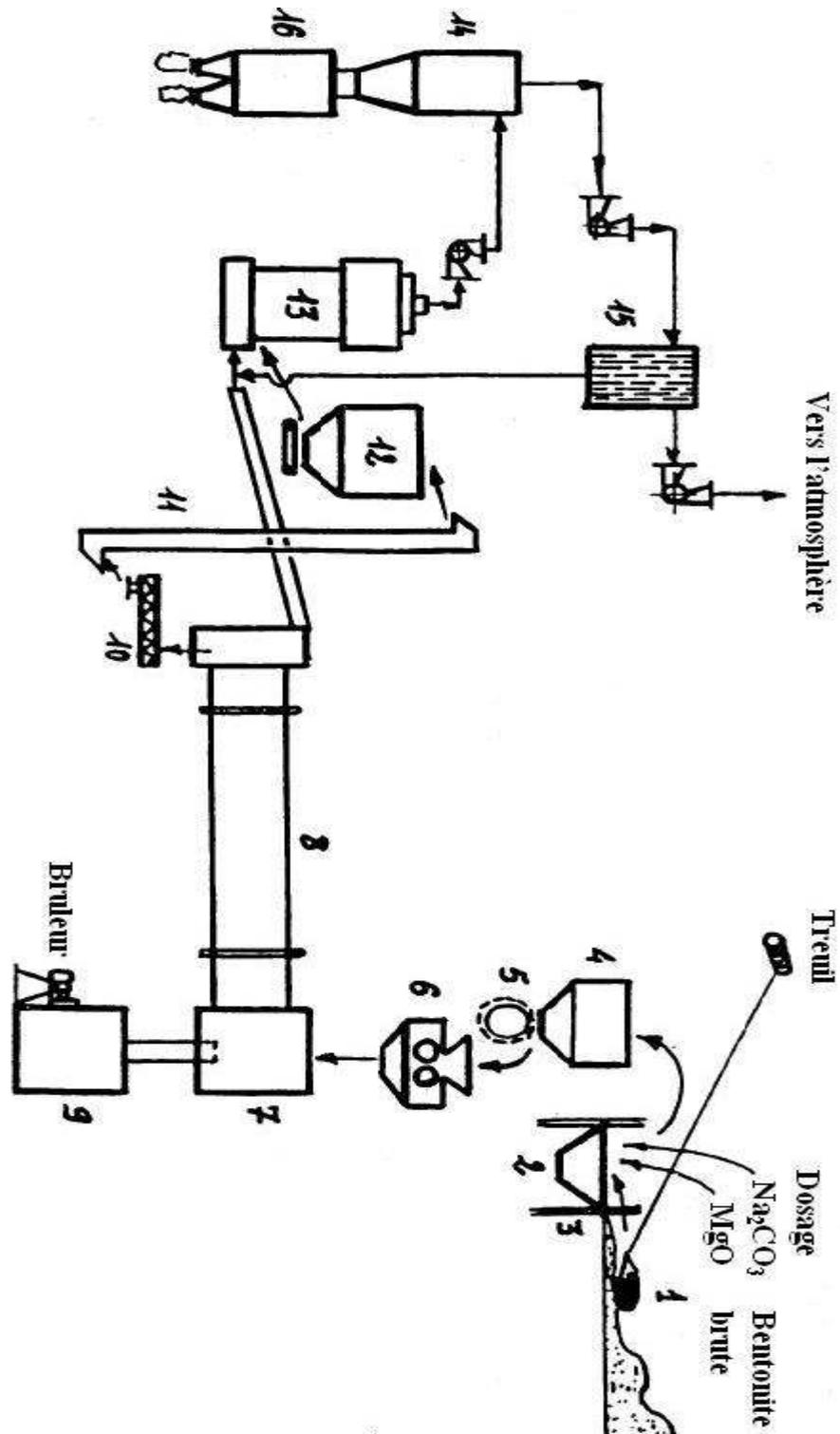


Figure III.1 : schéma d'appareillage du traitement de la bentonite de forage à Mostaganem
flow-sheet

1. Processus de traitement, description du procédé :

Le processus de traitement de la bentonite issue de la carrière de M'ZILA passe par les étapes suivantes :

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 (**Photo III.1**), en différentes catégories de qualité, selon les résultats des tests de laboratoire faits sur des échantillons sur les caractéristiques rhéologiques. Cette catégorisation du brut permet d'approvisionner l'usine avec une qualité prévisible.



Photo III.1: *Vue du tout-venant stocké sur l'aire de l'usine de Mostaganem.*

A l'aide d'un scraper (1) tracté par un treuil, comme indiqué sur la photo suivante (Photo III.2)



Photo III.2: Treuil qui alimente le skip au niveau de l'usine de Mostaganem.

La bentonite brute alimente un skip (2) de capacité 400 kg (Photo III.3) 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 constitue en un remplacement des cations d'échange Ca^{+2} , Mg^{+2} de montmorillonite.



Photo III.3 : *Un skip de capacité 400 kg utilisé dans l'usine de Mostaganem.*

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

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 2^{ème} tiers de tout venant et une couche d'adjuvants, suivis d'un 3^{ème} tiers de tout venant et d'une couche d'adjuvants.

1.2 Concassage

Le skip circule sur rails (3) (**Photo III.4**) et s'élève pour déverser la bentonite brute et les adjuvants dans la trémie d'alimentation (4) (**Photo III.5**),



Photo III.4 : skip qui circule sur rails de l'usine de Mostaganem.



Photo III.5 : Trémie d'alimentation du concasseur.

Par gravité le produit sera déposé sur l'alimentateur à tablier (5) qui, à son tour achemine le produit vers le concasseur (6) composé de deux rouleaux : un lisse et le deuxième à couteaux. La bentonite est concassée à 0-20 mm.

On note que les pertes de produit concassé sont récupérées par une goulotte et rechargées dans le godet du skip.

Tout cet ensemble est porté par une ossature métallique au dessus de la première chambre de réception et indépendante de celle-ci.

1.3 Séchage

Le produit concassé alimente par gravité la chambre de réception (7) (photo III.6) du sécheur horizontal rotatif (8) (photo III.8), alimenté en chaleur en souterrain par la chambre de combustion (9) (photo III.7).

On note que les 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.



Photo III.6 : chambre de réception du sécheur rotatif au niveau de l'usine de Mostaganem.



Photo III.7 : *la chambre de combustion au niveau de l'usine de Mostaganem.*

Le séchoir est équipé de lames permettant l'avancée du produit et son homogénéisation.

Le séchage se fait dans un four rotatif à écoulement co-courant où la bentonite et l'air chaud s'écoule dans le même sens.



Photo III.8 : *Le sécheur rotatif utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem.*

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 séchoir (**photo III.9**), le produit séché est transporté par vis-sans-fin (**10**) dans une fosse reliée à un élévateur à godets (**11**) équipé de 52 godets (**photo III.10**), qui alimente à son tour la trémie du broyage (**12**) (**photo III.11**).



Photo III.9 : *Deuxième chambre de réception du séchoir de l'usine de Mostaganem*



Photo III.10 : *Elévateur à godets utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem.*



Photo III.11 : *Trémie du broyeur de l'usine de Mostaganem.*

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 et tourne à une vitesse de 1000t/min **(13)** (photo III.12).



Photo III.12 : Broyeur pendulaire PM-8 5 utilisé dans l'usine de traitement de Mostaganem

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 (la matière) sont séparées de l'air au niveau du cyclone **(14)**.

1.5 Dépoussiérage

L'installation est dotée d'un electro-filtre intensif type IFJC 5000 m³/heure ,05 rampes d'injection de 35 manches **(15)** montées en circuit fermé avec le broyeur et le cyclone, il 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.

1.6 Ensachage

La mise en sac est assurée par une ensacheuse (16) (photo III.13) à air comprimé équipé d'une balance mécanique.

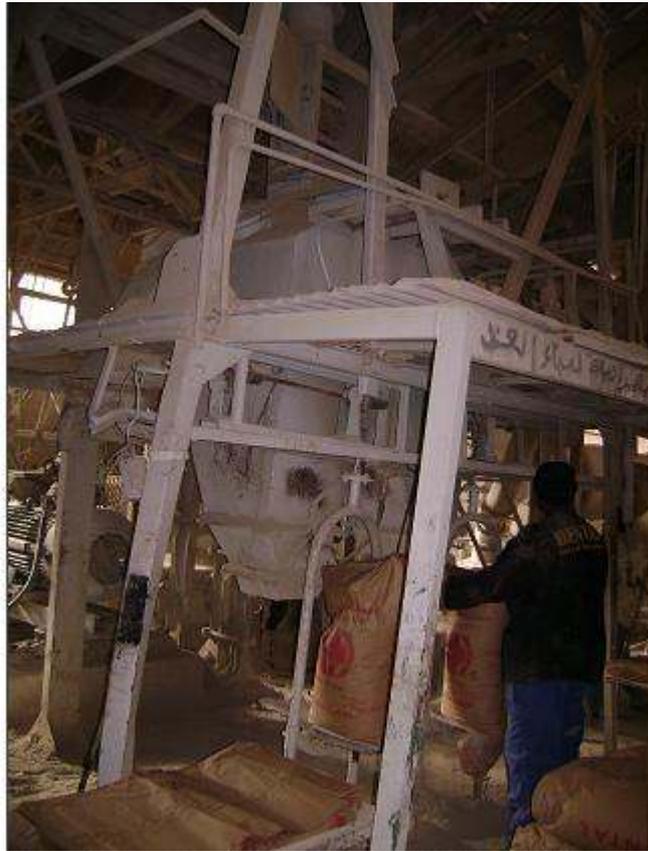


Photo III.13 : Une ensacheuse utilisée dans l'usine de traitement de Mostaganem.

Le produit fini est rempli dans des sacs de 50kgs à valves et empilés dans des palettes de 1t250 ou dans des grands sacs selon la commande (photo III.14).



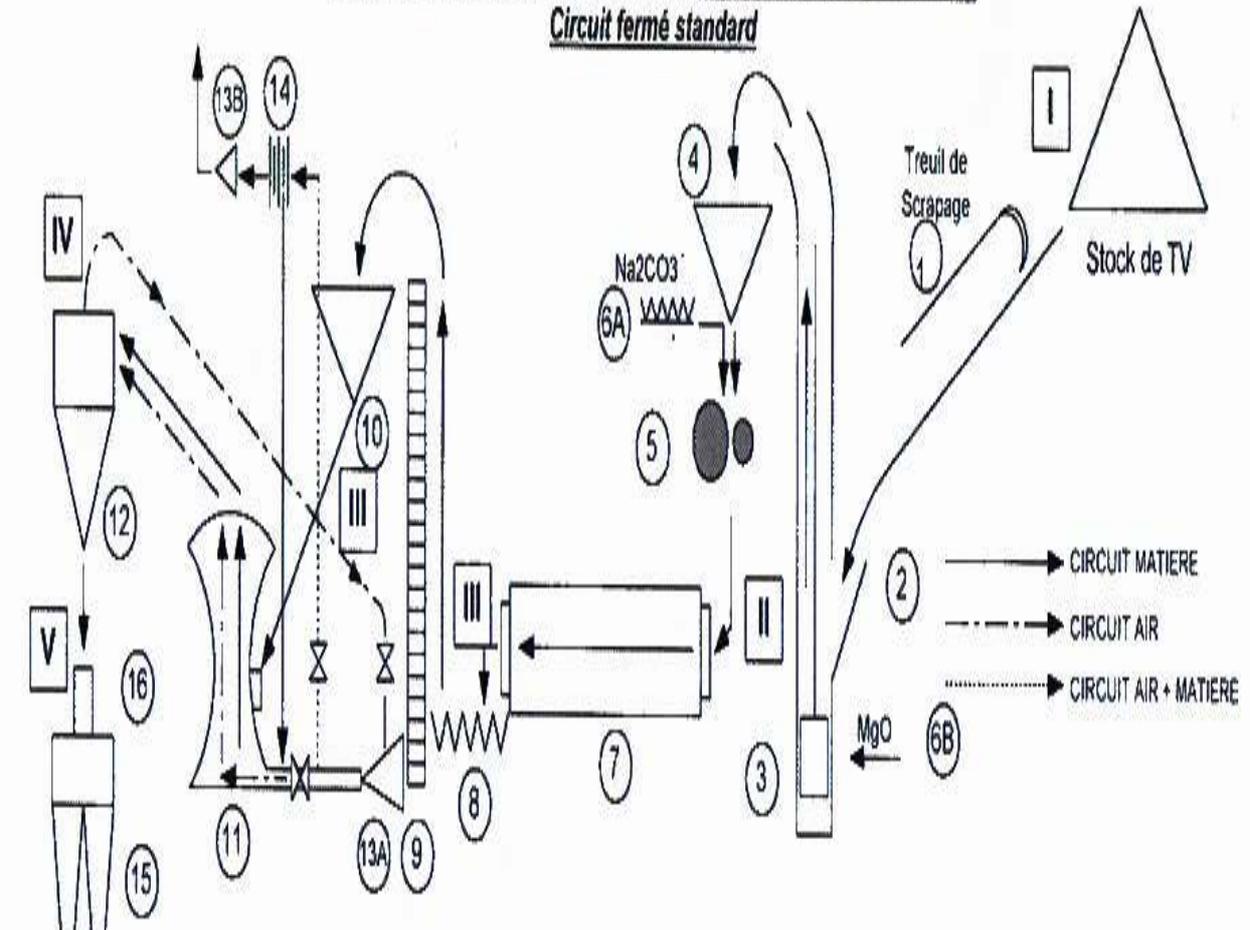
Photo III.14 : *grands sacs dans l'usine de traitement de Mostaganem.*

1.7 Capacité de stockage produit fini :

L'usine est dotée de 04 aires de stockage séparées par des murs en briques, la capacité totale de stockage est de 2500tonnes en produit fini

FLOW SHEET DE TRAITEMENT DE LA BENTONITE DE MOSTAGANEM

Circuit fermé standard

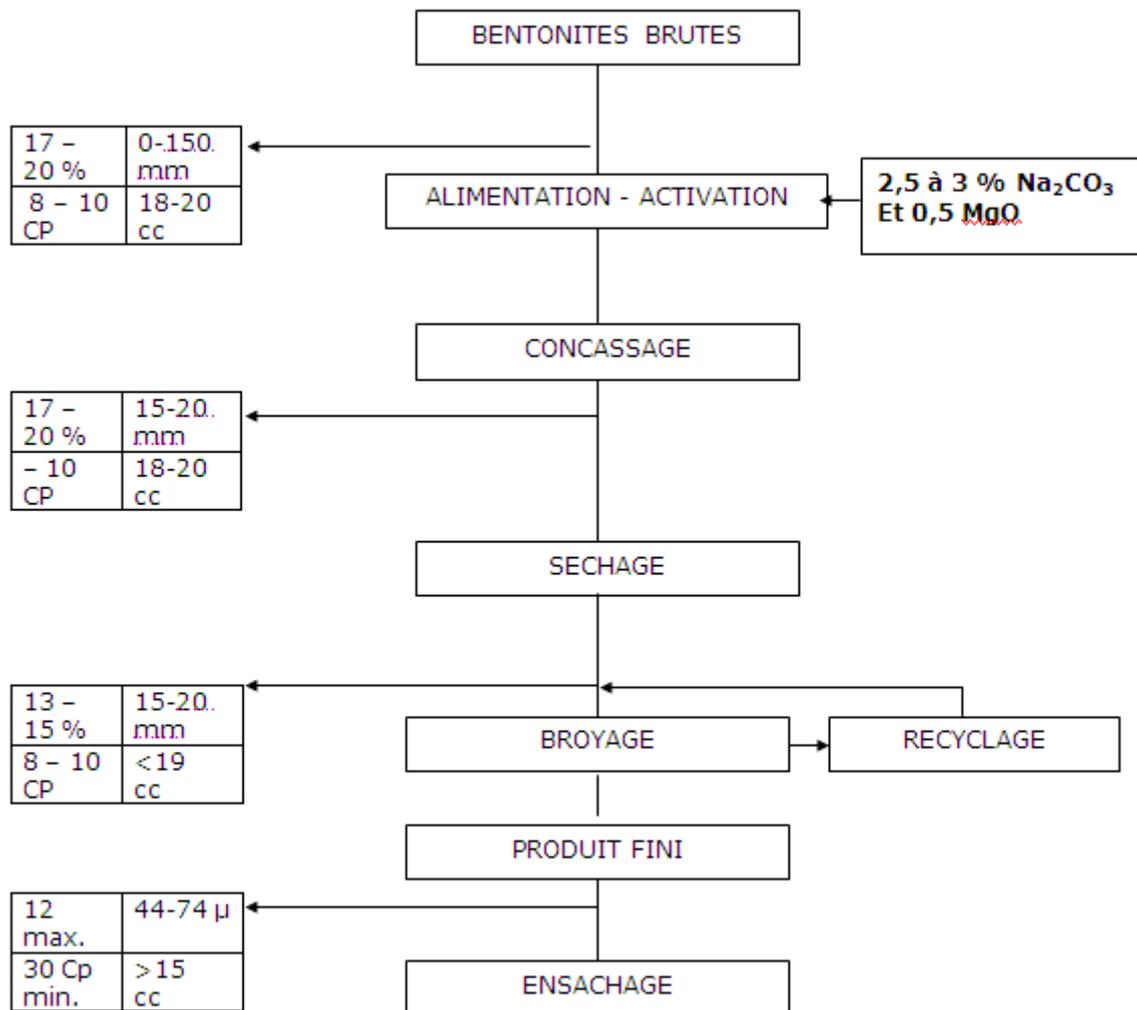


- 1- Treuil de scrapage
- 2- Trémie de réception du TV
- 3- Skip
- 4- Trémie d'alimentation du concasseur
- 5- Concasseur à rouleaux
- 6A- Doseur de carbonate de soude
- 6B- Doseur de Magnésie
- 7- Sécheur rotatif
- 8- Vis sans fin
- 9- Élévateur à godets
- 10- Trémie d'alimentation du broyeur
- 11- Broyeur PM8
- 12- Cyclone
- 13A- Ventilateur Principal
- 13B- Ventilateur d'exhaure
- 14- Filtre de dé poussiérage
- 15- Ensacheuse
- ⊗ Volets régulateur de débit d'air

	H2O	Granulométrie	L600	Filtrat
I - TV à l'alimentation	17 - 20 %	0 - 150 mm	08 - 10	18 - 20
II - Sortie concasseur entrée sécheur	17 - 20 %	0 - 20 mm	08 - 10	18 - 20
III - Sortie sécheur entrée broyeur	13 - 15 %	0 - 20 mm	08 - 10	18 - 20
IV - Sortie broyeur entrée cyclone	12 % Max	44 - 74 um	30 Min	< 19
V - Sortie cyclone entrée ensacheuse	13 % Max	44 - 74 um	> 30	> 15

2 Schéma de traitement :

Le traitement est basé sur un procédé de traitement conventionnel classique à voie sèche comprenant le concassage, l'activation, le séchage et le broyage ensachage du produit fini



LEGENDE

H2O	Gran
Vis	filtrat

Figure III.2: Schéma de traitement (organigramme)

3 Etat d'installation :

Equipement par étape	Caractéristiques		Capacité	Année	Etat
	Puissance (kW)	Dimensions (m)			
Section alimentation					
Treuil	17		150kg		Bon Ramené kherzet youcef
Godet	-				
Câble	-	70			
Trémie de transfert	-				
Skip	2x7,5	10	400kg	1947	Vétuste
Godet	-	1,2x0, 4x0, 9	0,5 t	//	
Câble	-	2x36		//	
Trémie	-		2,5 t	//	
Section concassage					
Alimentateur à tablier	2x0,75		4t/h	1947	Vétuste
Rouleurs concasseurs	2x5		4t/h	1947	Moyen
Activation					
Doseur	1,1		0,24 t	1995	Inefficace
Séchage					
Brûleur	6,6			1993	
Chambre de combustion	-	4,9x2,9x3,4		1947	
Tunnel	-	5x0,5x1,25		1947	Bon
Chambre de réception I	-	2,5x2,10x3,4		1947	vétuste
Sécheur rotatif	12	14	4.5 t/h	1981	moyen
Chambre de réception II	-			1947	
Convoyeur à vis	2.2	5,2	04 t/h	1996	
Elévateur à godets	4,8	08	3.5 t/h	1998	Moyen
Broyage					
Broyeur PM08	75		3.4t/h	1985	Bon
Alimentateur broyeur	0,75			1985	
Trémie	-			//	

Vent principal	75		22000 M ³ /H	//		
Sélection finesse						
Sélecteur statique	-			//	Bon	
Cyclone	-			1996	Vétuste	
Filtre de dépoussiérage	2,2			1984	Bon	
Ventilateur d'exhaure	11		3000M ³ /H	//	Bon	
Ensachage						
Ensacheuse	4		3.5t/h	1999	Moyen	
Equipements de service						
Compresseur	Ervor	15		10bars	2001	Bon
	ENTPE28	30		7bars	1994	Moyen
Pompe de graissage		0,25			1984	Bon
Vent soufflage pendule		1,1			1984	Bon
Tuyauterie					1996	Vétuste
Dia 700		14			1996	
Dia 300		-	15			
Manutention						
Chariot élévateur		-				Moyen
Pelle JCB		-				Vétuste
Dumper		-				Moyen

Tableau III.1 : Etat d'installation des appareillages de l'unité de traitement de Mostaganem actuel.

L'installation se subdivise en deux parties distinctes :

- La première partie composée de l'alimentation et la chaîne à godets en service depuis 1947 sans rénovation dans un état vétuste et nécessite des interventions régulières pour les maintenir a un taux de disponibilité acceptable.
- La deuxième partie comprenant (le séchoir rotatif, le brûleur et le broyeur) a été rénovée en 1983 actuellement dans un état moyen.
- Le cyclone et la tuyauterie ont été rénovés en 1996 ; cette dernière est usée.

4 Diagnostic technique des équipements de Mostaganem

- L'installation technique, bien que vétuste, est opérationnelle grâce à la rénovation de certains équipements cruciaux, tels que le skip, et à un entretien préventif et curatif efficace.

- Certains équipements nécessitent une rénovation telle que l'alimentateur à tablier (se décale souvent), la chambre de réception d'air du séchage (la chambre de combustion a été déjà rénovée de l'intérieur), le concasseur à rouleaux (un concasseur est en cours de rénovation), le doseur de carbonate de sodium, etc.

- Absence d'instrumentation de contrôle et de mesure (température, débit, pression) sur toute la ligne du procédé de traitement devant permettre une bonne maîtrise des paramètres technologiques.

- Nécessité d'un mélangeur - homogénéisateur de bentonite, carbonate de sodium et magnésie.

- Le dopage en carbonate de sodium et en magnésie n'est pas optimal : nécessite un doseur ; En effet, actuellement, le dopage se fait manuellement (à la pelle dans le godet du skip) et ne peut pas donc être performant.

- La localisation de l'usine de traitement en zone urbaine de la ville de Mostaganem, avec les problèmes d'atteinte à l'environnement par les dégagements de poussières, et le transport de tout venant jusqu'à l'usine de traitement (roulage). Oblige à faire une délocalisation vers les sites du gisement.

5. Conclusion

Afin d'obtenir une bentonite de qualité, il est recommandé :

- D'éliminer au maximum les impuretés telles que le quartz et le sable.
- De corriger la viscosité par l'ajout d'une concentration optimale de carbonate de soude.
- Afin de remédier au problème lié au filtrat, on peut penser à des opérations de dopage de cette bentonite par des polymères.
- Enfin, des investigations plus poussées peuvent être entreprises afin d'obtenir un composite à partir des échantillons sélectionnés qui ont des paramètres se rapprochant le plus de ceux requis et qui conduiraient à un produit conforme aux exigences (sélection des couches appropriées dans le gisement de M'zila.

CHAPITRE V

Partie expérimentale

Traitement de la Bentonite par la méthode chimique

1. Composition minéralogique des échantillons d'argile de M'zila

Le tableau suivant donne la caractérisation minéralogique des argiles du gisement de M'zila- Mostaganem par diffraction des rayons X, en fonction de 6 échantillons indicatifs sur les 30 échantillons analysées.

Echant	Minéraux argileux		Minéraux non argileux				
	Illite	Montmor	Quartz	Calcite	Dolomite	Feldspaths	Sidérite
MOS 1	4.80	91.20	4	-	Trace	Trace	-
MOS 5	34.65	42.35	20	2	-	Trace	Trace
MOS 8	9.80	88.20	2	Trace	-	Trace	Trace
MOS 13	29.60	44.40	20	4	-	Trace	Trace
MOS 17	4.95	94.05	Trace	-	-	Trace	-
MOS 24	24.85	46.15	19	-	-	Trace	-

Tableau V.1 : *Composition minéralogique des argiles de M'zila – Mostaganem.*

L'examen des résultats globaux sur les 30 échantillons analysés indique une prépondérance de montmorillonite avec une proportion moindre en illite. Cependant, on remarque que l'échantillon MOS5 contient 20% de quartz et le plus faible taux de montmorillonite, soit 42.35%, suivi de l'échantillon MOS13 avec 44.4% de montmorillonite et 20% de quartz et de l'échantillon MOS24 avec 46.6% en montmorillonite et 19% en quartz

Les impuretés cristallines (minéraux non argileux) se composent essentiellement de quartz, de résidus feldspathiques (plagioclases). La calcite, la dolomite et la sidérite sont à l'état de traces.

2 Détermination et identification des fractions granulométriques de l'argile de M'zila

Le taux de sable est variable selon l'échantillon considéré et il peut atteindre quelque fois 50% des minéraux en présence. Cela affecte directement les propriétés de suspension de l'argile et par conséquent les paramètres requis API.

3. Détermination des paramètres rhéologiques et de filtration

L'ensemble des échantillons testés ne répond pas aux exigences de la norme API 13A et les valeurs des paramètres mesurés sont loin des valeurs requises, cela était prévisible étant donné la nature brute des échantillons.

On peut néanmoins dégager de ces tests les échantillons dont les paramètres se rapprochent le plus de ceux requis et qui conduiraient à un produit conforme après traitement.

ESSAIS DE VALORISATION

4. Dessablage de la bentonite

Le taux de sable de l'échantillon de Mostaganem était de 3,65%. Le tableau V.2 montre les propriétés rhéologiques pour l'échantillon de bentonite tel que reçu et après dessablage.

Etat de l'échantillon	Viscosité apparente (cp)	Viscosité plastique (cp)	Point d'écoulement Ibs/100 Pi ²	Ratio P.é/V.p	Perte de filtrat (cc)	Indice de gonflement (cc)
Tel que reçu	3.6	2.4	2.4	1.0	30.4	12
Dessablé	2.5	2.2	0.4	0.18	29.0	12

Tableau V.2 : Propriétés rhéologiques de la bentonite de Mostaganem.

Les résultats indiquent que le dessablage de la bentonite n'améliore pas les propriétés rhéologiques.

5. Activation à la soude de la bentonite dessablée

Dans le but d'améliorer ses propriétés rhéologiques, la bentonite de Mostaganem a été traitée avec la soude de façon à obtenir une prépondérance d'ion sodium dans l'occupation des sites échangeables. La soude a été mélangée à la bentonite dont le taux d'humidité était de 25%. Le tableau 2 montre les résultats des propriétés rhéologiques de la bentonite traitée à la soude.

Quantité de soude %	Viscosité apparente (cp)	Viscosité plastique (cp)	Point d'écoulement Ibs/100 Pi ²	Ratio P.é/V.p	Perte de filtrat (cc)	Indice de gonflement (cc)
0	2.5	2.2	0.6	0.27	29.0	12
0.5	2.8	2.6	0.4	0.15	21.0	14
1.0	2.7	2.6	0.2	0.08	22.0	13
2.0	2.7	2.5	0.4	0.16	22.0	13
3.0	2.7	2.5	0.4	0.16	22.0	13

Tableau V.3 : *Propriétés rhéologiques de la bentonite dessablée et traitée à la soude de Mostaganem*

Le traitement à la soude n'a pas réussi à rehausser les propriétés rhéologiques de la bentonite de façon à répondre aux normes API. Le gain en viscosité apparente est minime, passant de 2,5 à 2,8 centipoises après un ajout optimal de 0,5 % de soude. Au delà de ce dosage, il y a légère diminution des propriétés rhéologiques.

6. Dosage à l'aide d'un polymère

Plusieurs polymères sont disponibles sur le marché pour relever les propriétés rhéologiques d'une bentonite dont les propriétés naturelles sont insuffisantes pour répondre aux normes API. Pour les essais de dopage, le polymère Jorco M-20 a été utilisé. Ce produit spécialisé appelé bentonite extender est régulièrement utilisé sur le marché américain de forage de pétrole, soit au niveau du producteur de bentonite, soit au chantier de forage.

Des quantités différentes de polymère ont été mélangées à l'échantillon de bentonite préalablement broyé et séchée. Le produit polymérique utilisé était sous forme d'une poudre très fine. Le tableau 3 montre les résultats des propriétés rhéologiques de la bentonite traitée avec le polymère Jorco M-20.

Quantité d'adjuvants		Viscosité apparente (cp)	Viscosité plastique (cp)	Point d'écoulement Ibs/100 Pi ²	Ratio P.é/V.p	Perte de filtrat (cc)
Soude %	Jorco M-20 (kg/t)					
0.0	0.0	2.5	2.2	0.4	0.2	29.0
0.0	1.25	11.2	4.4	13.6	3.1	32.4
0.5	0.0	2.8	2.6	0.4	0.2	21.0
0.5	1.25	16.2	6.0	20.4	3.4	20.0
0.5 ⁽¹⁾	1.25	15.5	6.0	19.0	3.2	17.2

Tableau V.4 : *propriétés rhéologiques de la bentonite dessablée activée à la soude dopée avec le Jorco M-20, de Mostaganem*

⁽¹⁾ : après deux heures de vieillissement

Conclusion

Le dopage avec le polymère Jorco M-20, avec activation à 0.5% à la soude, a réussi à augmenter la viscosité apparente de la bentonite jusqu'à 15 centipoises. Cependant La perte de filtrat n'a pratiquement pas changé même avec l'ajout du polymère.

7. REDUCTION DE LA PERTE EN FILTRAT PAR AJOUT DE POLYMERE CMC

. Un moyen positif de diminuer la perte de filtrat à 15cc maximale serait de recourir à l'addition d'un produit spécialisé à cet effet, comme le CMC par exemple. Cependant, cette technique n'a pas été évaluée et par conséquent n'est pas considérée dans notre présente étude

Conclusion générale

Les résultats des études chimiques et minéralogiques indiquent la présence de sels solubles tels que le gypse, la calcite et la dolomite dans l'échantillon de Mostaganem. Le dessablage n'a pas réussi à éliminer d'une façon significative les sels solubles.

Une façon d'éliminer ces sels solubles serait de recourir au lavage à contre courant à plusieurs stages. Cependant, l'application de cette technique est très coûteuse aux points de vue de frais d'installation et de frais d'exploitation et elle représente également un changement radical par rapport au procédé sec usuellement utilisé dans l'industrie de la bentonite.

Le dessablage de l'échantillon reçu n'améliore pas ses propriétés rhéologiques. Étant donné que la qualité de l'échantillon de bentonite n'est pas représentative, l'étude de conception prévoit comme sécurité l'installation de deux portes d'extraction de sable au broyeur pendulaire. Cependant, le système de manutention des sables n'est pas considéré.

La viscosité apparente d'une suspension de 6 % de l'échantillon de bentonite brute est de 3,6 centipoises seulement. Cette faible valeur ne rencontre pas la norme interne de 10 centipoises imposée par la compagnie pour la sélection de la bentonite destinée aux boues de forage. Cette constatation suggère que l'échantillon reçu représenterait la basse gamme de qualité du dépôt de M'Zila.

Pour l'échantillon reçu, il est nécessaire d'ajouter 0,5 % de soude et 1,25 % de polymère Jorco M-20 pour atteindre une viscosité apparente d'au moins 15 centipoises. Ces dosages ont été utilisés comme critères de conception même s'ils proviennent d'un échantillon de basse qualité et non représentatif de la qualité moyenne du dépôt.

Afin de diminuer la perte de filtrat à 15cc maximale, l'addition d'un produit spécialisé à cet effet, est recommandée. Nous n'avons pas pu expérimenter le CMC, utilisé par le bureau d'étude canadien SIDAM, partenaire de BENTAL, puisque ce polymère n'était pas disponible lors de mon stage à Mostaganem.

Il est aussi important de se rapprocher des spécialistes en polymères, afin de pouvoir essayer certains polymères dont les formules chimiques sont connues et maîtrisées, ce qui nous évitera sûrement la dépendance avec les fabricants des produits Jarco M20 et CMC.

Annexe .1

Essai de laboratoire

Ce mode opératoire a pour objet de décrire les méthodes d'analyses effectuées au niveau du laboratoire afin d'assurer que les produits fabriqués ou achetés satisfont aux exigences spécifiées.

Il s'applique à l'unité de production de Mostaganem.

1. Terminologie:

- API : American Petroleum Institute
- T.V : Tout venant. Minerai provenant de la carrière à l'état brut.
- P.F : Produit fini
- FB1 : bentonite de forage hydraulique.
- FB2 : bentonite de forage pétrolier .
- FD : bentonite de fonderie.
- B.C.I : Bentonite de charge industrielle.
- Res.75 μ : résidu 75 μ pour la mesure du taux de sable.
- IG : indice de gonflement.

2. Documents de référence:

Norme API

3. Description:

a) Préparation du tout venant :

i. Tout venant de forage:

La préparation s'effectue au laboratoire sur une quantité de 50 grammes selon les opérations suivantes :

- Mesure du taux d'humidité initiale, puis humidification du T.V
- Quantité d'eau à ajouter : $0,8 X (28 - \text{taux humidité initiale})$
- Activation à la carbonate : la quantité de carbonate à ajouter est égale à : $2.5/100 X (50 + \text{taux d'humidité initiale})$
- Malaxage et pétrification à l'eau
- Boudinage de la pâte obtenue
- Séchage à l'étuve à 110°C
- Broyage au pilon
- Tamisage sur un tamis 100 meshes (149 μ)

Le tamisât obtenu constitue un produit fini prêt aux différentes analyses.

ii. Tout venant de fonderie et de B.C.I :

La préparation s'effectue sur une quantité de 500 grammes pour la fonderie et 100 grammes pour la B.C.I. Les étapes suivantes sont à observer :

➤ **TV Fonderie :**

- Séchage à l'étuve à 110 °C de l'échantillon brut pendant une ou deux heures jusqu'à l'obtention d'une humidité de 10%.
- Concassage de l'échantillon
- Broyage dans un broyeur à disques
- Tamisage sur un tamis 100 meshes (149 μ)

Le tamisât ainsi obtenu constitue un produit fini prêt aux différentes analyses.

- **TV BCI** : Mesure de l'humidité en l'état.

b) Contrôle du produit fini :

Le produit fini est contrôlé au fur et à mesure de sa fabrication. Avant son orientation, l'ingénieur chimiste « Chargé de Qualité » effectue une vérification des analyses et tient compte des exigences requises pour chaque type de produit pour éventuellement réorienter la destination du produit. Ainsi des opérations d'orientation peuvent être décidées : FB2 en FB1 ; FB1 en FB2 ; FB1 en FD; FD en BCI.

Si aucune orientation n'est possible, une fiche d'événement est ouverte et le produit est isolé (Zone de non conformité) pour un traitement ultérieur (Recyclage ou Rebut).

i. Bentonite de forage :

- *mesure de la viscosité* :

L300 = Lecture de la viscosité à 300 rpm (rotation par minute)

L600 = Lecture de la viscosité à 600 rpm (rotation par minute)

❖ Mode opératoire :

Préparer une suspension de 22,5 g +/- 0,1 g de bentonite dans 350 cm³ +/- 0,5 d'eau distillée. Après agitation durant 5mn +/- 0,5 dans un malaxeur (Hamilton Beach), enlever le bol de l'agitateur et gratter les grains de bentonite collés à la paroi. Remettre en agitation et répéter la même opération chaque 5 à 10 mn. Le temps d'agitation total est de 20mn +/- 1.

Laisser la suspension de bentonite reposer dans un bloc couvert.

Après vieillissement de 16 heures, verser la suspension dans le bol de l'agitateur et agiter de nouveau pendant 5 mn +/- 0,5.

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.

❖ Calcul :

$$\begin{aligned} \text{Viscosité plastique (VP)} &= L600 - L300 \\ \text{Yield point} &= L300 - VP \\ \text{Ratio} &= \text{Yield point} / VP \end{aligned}$$

- *Perte au filtrat* :

❖ Mode opératoire :

Reprendre la suspension précédente et agiter pendant une minute. Verser la suspension dans la cellule de filtre presse. Avant la filtration, vérifier l'étanchéité des pièces et s'assurer qu'elles sont bien sèches.

Régler le premier timer à 7,5 mn et le second à 30 mn et ouvrir la vanne de pression à 100 PSI (07 bars) et placer une éprouvette sous l'orifice de la cellule. Toutes ces opérations doivent être effectuées simultanément dans moins de 15 secondes.

Après 7,5 mn le premier timer sonne; Enlever l'éprouvette et placer une autre.

Quand le second timer sonne, enlever la deuxième éprouvette.

❖ **Calcul :**

Filtrat = 2 . Volume recueilli dans la deuxième éprouvette

➤ **Mesure du taux de sable :** (résidu 75 μ)

❖ **Mode opératoire :**

○ **Voie humide :**

- Prendre 10 g +/- 0,01 g de bentonite
- Mettre en suspension dans 350 cm³ d'eau.
- Additionner de 0,2g d'héxaméthaphosphate de sodium.
- Agiter pendant 30mn +/- 1
- Transférer la suspension dans un tamis 200 mesh
- Laver l'échantillon sur ce tamis avec de l'eau contrôlée à 10 PSI +/- 1, avec la buse de régulation et ce, pendant 02 mn. 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.

○ **Voie sèche :**

- Prélever 15g de produit fini ;
- Sécher pendant 02 heures ;
- Peser 10g de l'échantillon séché ;
- Tamiser la quantité pesée sur un tamis 200 meshes (75 microns).

❖ **Calcul :**

Résidu 75 μ _en % = 100. poids du résidu / poids de l'échantillon.

ii. **Bentonite de fonderie :**

➤ **Paramètres physico-mécaniques :**

Ces mesures sont spécifiques à la bentonite de fonderie.

Les résistances à la compression et au cisaillement, indiquent si le sable, une fois serré, est en état de résister aux diverses sollicitations mécaniques, auxquelles moules et noyaux sont exposés, au transport, au remoulage et à la coulée.

CPV = Compression à vert. Exprimée en gramme par centimètre carré (g/cm²)

CXV = Cisaillement à vert. Exprimé en gramme par centimètre carré (g/cm²)

Les propriétés d'une argile de fonderie, sont déterminées sur des éprouvettes confectionnées avec un mélange de sable à haute teneur en silice, d'argile en contrôle et d'eau.

❖ Préparation du mélange :

Dans un malaxeur (GF) de chez G. FISCHER (Suisse), on introduit :

- 3 Kg de sable, soit une quantité suffisante pour assurer une bonne homogénéisation et permettre de préparer le nombre d'éprouvettes nécessaires aux divers contrôles.
- 240g de bentonite soit 8% du poids du sable sec.
- On mélange et on malaxe deux minutes à sec.
- On ajoute uniformément au mélange 90 cm³ d'eau distillée soit 3% du poids du sable sec.
- Le mélange ainsi humidifié est malaxé pendant 6 mn sans interruption.
- On vide alors le malaxeur en ouvrant la trappe de vidange et en laissant toujours tourner les meules.

❖ Confection des éprouvettes :

Le mélange (sable + argile + eau) est recueilli dans un récipient convenable (capsule par exemple). On confectionne aussitôt des éprouvettes cylindriques à l'aide d'un **Damoir**, sur lesquelles sont effectués les différents contrôles.

❖ Mesure de la CPV et du CXV :

-CPV :

On utilise un appareil d'essai de résistance de marque GF. L'éprouvette est placée horizontalement entre les mors de l'appareil. Les mors de surface plane sont placés l'un sur le piston, l'autre en face du piston.

Le cadran du manomètre est équipé de deux aiguilles noire et rouge; Cette dernière sert de témoin.

Les deux aiguilles à zéro, on tourne le volant dans le sens des aiguilles d'une montre; le piston avance et écrase l'éprouvette.

Au moment de la rupture, on note la valeur indiquée sur l'aiguille témoin.

-CXV :

Le cisaillement à vert est mesuré de la même façon à l'aide de mors appropriés

➤ **Mesure de l'indice de gonflement :**

❖ **Mode opératoire :**

2g de bentonite à teneur d'humidité connue, sont pesés sur la balance de précision (0,01g), puis versés en petites fractions avec la spatule, dans l'eau distillée contenue dans le tube en verre gradué (de 100 ml).

Il est important d'attendre qu'une fraction soit complètement déposée au fond du tube avant d'en ajouter une autre (attendre environs 45mn avant d'ajouter une fraction nouvelle).

La bentonite absorbe l'eau et gonfle lentement. Après avoir ajouté tout l'échantillon (temps total d'addition inférieur à 1 h), on le laisse se stabiliser pendant 2 heures puis on lit sur le tube gradué le volume du sédiment déposé.

❖ **Expression du résultat :**

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

V' = volume de gonflement calculé en rapport avec la matière solide

V = volume de dépôt

M = teneur en humidité

iii. **Bentonite de charge industrielle :**

➤ **Mesure de l'humidité:**

❖ **Mode opératoire :**

- Peser 10g de bentonite
- Sécher à l'étuve à 110°C pendant 02 heures.
- Refroidir dans un dessiccateur.

❖ **Calcul :**

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

➤ **Mesure de la finesse :**
(Passant au tamis 100 mesch)

Prélever 150g de produit fini

Sécher à l'étuve à 110°C pendant 02 heures.

Peser 100g de l'échantillon séché

Tamiser la quantité pesée sur un tamis 100 mesh (149 μ)

La quantité de tamisât recueillie par rapport aux 100g, représente le % de passant.

c) Contrôle à la réception des produits

i. Carbonate de soude et magnésie :

➤ *Mesure de l'humidité :*

❖ **Mode opératoire :**

- Peser 10g de produit .
- Sécher à l'étuve à 110°C pendant 02 heures.
- Refroidir dans un dessiccateur

❖ **Calcul :**

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

➤ *Mesure du pH :*

- Pousser le bouton ON/OFF du PH mètre
- Pousser le bouton PH/MV
- Rincer la sonde avec de l'eau distillée
- Immerger la sonde dans la solution à mesurer
- Noter la valeur du PH après stabilisation de quelques secondes.

ii. Eau distillée :

Test au Nitrate d'Argent : Mettre 0,5 g de Nitrate d'Argent dans 100 cm³ d'eau distillée à tester. Si un trouble se manifeste, l'eau est de mauvaise qualité. Si l'eau demeure limpide elle est de bonne qualité.

iii. Contrôle interne et externe

Des contrôles internes et externes sont effectués pour mettre en évidence et traiter toute défaillance (humaine et/ou matérielle) pouvant affecter la fiabilité des analyses.

Les tolérances admises pour les paramètres d'analyses sont consignées sur le tableau suivant :

Paramètre	Visc.L600 (cP) LectureL300			V.Filtrat (cm ³)			Rés.> 75μ (%)		R100 (%)	H2O (%)	CPV g/cm2	CXV g/cm2	IG (%)
	≤ 40	40- 50	≥50	≤ 20	20- 30	≥ 30	Hum	Sec					
Tolérances	± 3	± 5	± 7	± 2	± 3	± 5	± 0,5	± 2	± 5	± 3	± 40	± 10	± 3

➤ **Contrôle interne** : Une première vérification des analyses est effectuée sur chaque poste de travail par le Chargé de Qualité. La fréquence des analyses dépend de la stabilité des résultats d'analyses constatés : une palette par poste est contrôlée lorsque les résultats sont stables (la différence entre la lecture 600 maximum et la lecture 600 minimum est inférieure ou égale à 3 cP) . En cas de fluctuations (la différence entre la lecture 600 maximum et la lecture 600 minimum est supérieure à 3 cP), au moins deux palettes sont contrôlées 24 h après la production pour permettre l'orientation du produit et sa prise en charge par le Commercial.

Un contrôle interne est effectué mensuellement par le chef de service laboratoire, sur un minimum de trois échantillons de TV et six échantillons de PF, 24h après la première analyse (A1).

Les résultats du contrôle interne (A2) sont consignés dans un registre sous une nouvelle identification. Si les résultats du contrôle interne (A2), présente un écart non tolérable par rapport à la première analyse (A1), un autre contrôle (A3) est effectué par une tierce personne désignée par le Chef de service Laboratoire.

L'interprétation des résultats se fait de la manière suivante :

- Si $A1 = A2$ Interpréter conformité du produit selon A1
- Si $\begin{cases} A1 \neq A2 \\ A1 \approx A3 \end{cases}$ Interpréter conformité du produit selon A1
- Si $\begin{cases} A1 \neq A2 \\ A2 \approx A3 \end{cases}$ Interpréter la conformité du produit selon A2
- Si $A1 \neq A2 \neq A3$ Analyses non conformes ouverture FE.

Caractéristiques physico -mécaniques des tout-venants et des bentonites produites :

Produit	Paramètres								
	Humidité (%)	Visc.L600 (cp)	V.filtrat (cm ³)	Res.> 75 μ	Ratio	R 100	CPV (min)	CPX	IG

Exigences du plan de contrôle - TV									
FB1	25 max	12 min	27 max	25 max	--	--	--	--	--
FB2	25 max	16 min	25 max	15 max	--	--	--	--	--
FD	20 max	--	--	--	--	--	350	90 min	10 min
BCI	18 max	--	--	--	--	--	--	--	--
Exigences du plan de contrôle - PF									
FB1	13 max	20 min	26 max	6 max	--	94 min	--	--	--
FB2	13 max	30 min	16 max	2,5	6 max	--	--	--	--
FD	10 max	--	--	--	--	--	400	90 min	11 min
BCI	7 max	--	--	15 max	--	95 min	--	--	--

➤ **Contrôle externe:** Le contrôle externe s'effectue dans un laboratoire externe (unité de Maghnia). Trimestriellement un minimum de 3 échantillons sont envoyés à l'unité de Maghnia. Les deux laboratoires (Mostaganem et Maghnia) s'accordent sur une journée commune pour procéder aux analyses afin d'éviter les écarts dus aux effets du vieillissement. En raison de l'influence des conditions climatiques sur la viscosité, ce paramètre est contrôlé en ramenant le viscosimètre sur le site du contrôle externe. Les résultats trouvés à Maghnia sont consignés sur un bulletin d'analyses (enregistrement) et transmis au Chef de service Laboratoire de Mostaganem. Ce dernier vérifie s'il y a des écarts non tolérables. Dans ce cas un deuxième contrôle externe est effectué. Si le ou les écarts persistent, il ouvre une fiche d'événement pour déterminer les causes et les actions à entreprendre.

Annexe .2

API SPECIFICATION 13A

Specification for Drilling-Fluid Materials

**API Specification 13A
Sixteenth Edition, February 2004**

**ISO 13500:1998 (Modified), Petroleum and
natural gas industries—Drilling fluid
materials—Specifications and tests**

EFFECTIVE DATE: JULY 2004

ANSI/API 13A/ISO 13500



**American
Petroleum
Institute**

**Helping You
Get The Job
Done Right.™**

Special Notes

API publications necessarily address problems of a general nature. With respect to particular circumstances, local, state, and federal laws and regulations should be reviewed.

API is not undertaking to meet the duties of employers, manufacturers, or suppliers to warn and properly train and equip their employees, and others exposed, concerning health and safety risks and precautions, nor undertaking their obligations under local, state, or federal laws.

Information concerning safety and health risks and proper precautions with respect to particular materials and conditions should be obtained from the employer, the manufacturer or supplier of that material, or the material safety data sheet.

Nothing contained in any API publication is to be construed as granting any right, by implication or otherwise, for the manufacture, sale, or use of any method, apparatus, or product covered by letters patent. Neither should anything contained in the publication be construed as insuring anyone against liability for infringement of letters patent.

Generally, API standards are reviewed and revised, reaffirmed, or withdrawn at least every five years. Sometimes a one-time extension of up to two years will be added to this review cycle. This publication will no longer be in effect five years after its publication date as an operative API standard or, where an extension has been granted, upon republication. Status of the publication can be ascertained from the API Standards department telephone (202) 682-8000. A catalog of API publications, programs and services is published annually and updated biannually by API, and available through Global Engineering Documents, 15 Inverness Way East, M/S C303B, Englewood, CO 80112-5776.

This document was produced under API standardization procedures that ensure appropriate notification and participation in the developmental process and is designated as an API standard. Questions concerning the interpretation of the content of this standard or comments and questions concerning the procedures under which this standard was developed should be directed in writing to the Director of the Standards department, American Petroleum Institute, 1220 L Street, N.W., Washington, D.C. 20005. Requests for permission to reproduce or translate all or any part of the material published herein should be addressed to the Director, Business Services.

API standards are published to facilitate the broad availability of proven, sound engineering and operating practices. These standards are not intended to obviate the need for applying sound engineering judgment regarding when and where these standards should be utilized. The formulation and publication of API standards is not intended in any way to inhibit anyone from using any other practices.

Any manufacturer marking equipment or materials in conformance with the marking requirements of an API standard is solely responsible for complying with all the applicable requirements of that standard. API does not represent, warrant, or guarantee that such products do in fact conform to the applicable API standard.

All rights reserved. No part of this work may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission from the publisher. Contact the Publisher, API Publishing Services, 1220 L Street, N.W., Washington, D.C. 20005.

Copyright © 2004 American Petroleum Institute

API Specification 13A / ISO 13500:1998

Table 11 — Sample constant (Ks) for 80,0 g sample mass

Sample density	Sample constant, Ks
5,00	1,5625
5,01	1,5617
5,02	1,5609
5,03	1,5602
5,04	1,5594
5,05	1,5586
5,06	1,5579
5,07	1,5571
5,08	1,5564
5,09	1,5556
5,10	1,5549
5,11	1,5541
5,12	1,5534
5,13	1,5527
5,14	1,5519
5,15	1,5512
5,16	1,5505
5,17	1,5498
5,18	1,5490
5,19	1,5483
5,20	1,5476
5,21	1,5469
5,22	1,5462
5,23	1,5455
5,24	1,5448
5,25	1,5441
5,26	1,5434
5,27	1,5427
5,28	1,5421
5,29	1,5414
5,30	1,5407

9 Bentonite

9.1 Description

9.1.1 Drilling grade bentonite is a naturally occurring clay containing the clay mineral smectite. It may also contain accessory minerals such as quartz, mica, feldspar and calcite.

9.1.2 Drilling grade bentonite shall be deemed to meet the requirements of this International Standard if a composite sample representing no more than one day's production conforms to the physical requirements of Table 12, represents the product produced, and is controlled by the manufacturer.

Table 12 — Bentonite physical requirements

Requirement	Standard
Suspension properties	
Viscometer dial reading at 600 r/min	minimum 30
Yield point/plastic viscosity ratio	maximum 3
Filtrate volume	maximum 15,0 cm ³
Residue of diameter greater than 75 µm	maximum mass fraction 4,0 %

9.2 Suspension properties — Apparatus

- 9.2.1 **Thermometer**, including the range 0 °C ± 0,5 °C to 105 °C ± 0,5 °C.
- 9.2.2 **Balance**, with an accuracy of 0,01 g.
- 9.2.3 **Mixer** (e.g. Multimixer® Model 9B with 9B29X impellers or equivalent), having spindle fitted with a single sine-wave impeller approximately 25 mm in diameter mounted flash side up.
- 9.2.4 **Container**, of approximate dimensions 180 mm deep, 97 mm i.d. top, 70 mm i.d. bottom (e.g. Hamilton® Beach mixer cup No. M110-D, or equivalent).
- 9.2.5 **Spatula**.
- 9.2.6 **Motor-driven direct-indicating viscometer**, as referenced in API RP 13B-1, subclause 4.3.
- 9.2.7 **Filter press**, as referenced in API RP 13B-1, subclause 5.2.1.
- 9.2.8 **Graduated cylinders (TC)**, of capacities 500 cm³ ± 5 cm³ and 10 cm³ ± 0,1 cm³.
- 9.2.9 **Deionized or distilled water**.
- 9.2.10 **Container, with lid**, of capacity about 500 cm³.
- 9.2.11 **Timers**, two, mechanical or electrical, with an accuracy of 0,1 min over the test interval.

9.3 Suspension properties — Procedure for rheology

- 9.3.1 Prepare a suspension of the bentonite. Add 22,5 g ± 0,01 g of clay (as-received) to 350 cm³ ± 5 cm³ of deionized water while stirring on the mixer.
- 9.3.2 After stirring 5 min ± 0,5 min, remove the container from mixer and scrape its sides with the spatula to dislodge any bentonite adhering to container walls. Be sure all bentonite clinging to the spatula is incorporated into the suspension.

API Specification 13A / ISO 13500:1998

9.3.3 Replace the container on the mixer and continue to stir. The container may need to be removed from the mixer and the sides scraped to dislodge any clay clinging to container walls after another 5 min and after 10 min. Total stirring time shall equal 20 min \pm 1 min.

→ 9.3.4 Age the bentonite suspension up to 16 h in a sealed or covered container at room temperature. Record storage temperature and storage duration.

9.3.5 After ageing bentonite suspension, shake well and then pour the suspension into the mixer container. Stir the suspension on the mixer for 5 min \pm 0,5 min.

9.3.6 Pour the suspension into the viscometer cup provided with the direct indicating viscometer. The dial readings at 600 r/min and 300 r/min rotor speed settings of the viscometer shall be recorded when a constant value for each r/min is reached. Readings shall be taken at a suspension test temperature of 25 °C \pm 1 °C.

9.4 Suspension properties — Procedure for rheology calculations

$$\text{Plastic viscosity} = [600 \text{ r/min reading}] - [300 \text{ r/min reading}] \quad (15)$$

$$\text{Yield point} = [300 \text{ r/min reading}] - [\text{plastic viscosity}] \quad (16)$$

$$\text{Yield point/plastic viscosity ratio} = [\text{yield point (equation 16)}] / [\text{plastic viscosity (equation 15)}] \quad (17)$$

Record calculated values for plastic viscosity, yield point, and yield point/plastic viscosity ratio.

9.5 Suspension properties — Procedure for filtrate volume

9.5.1 Recombine all of the suspension as prepared and tested in 9.3 and stir in container for 1 min \pm 0,5 min on the mixer. Adjust suspension temperature to 25 °C \pm 1 °C.

9.5.2 Pour the suspension into the filter press cell. Before adding the suspension, be sure each part of the filter cell is dry and that all gaskets are not distorted or worn. Pour the mud to within about 13 mm of the top of the cell. Complete assembly of the filter press cell. Place filter cell in frame and close relief valve. Place a container under the drain tube.

9.5.3 Set one timer for 7,5 min \pm 0,1 min and the second timer for 30 min \pm 0,1 min. Start both timers and adjust pressure on cell to 690 kPa \pm 35 kPa. Both of these steps shall be completed in less than 15 s. Pressure shall be supplied by compressed air, nitrogen or helium.

9.5.4 At 7,5 min \pm 0,1 min on the first timer, remove the container and any adhering liquid on the drain tube and discard. Place the dry 10 cm³ graduated cylinder under the drain tube and continue collecting filtrate until the end of the second timer set at 30 min. Remove the graduated cylinder and record the volume of filtrate collected.

9.6 Suspension properties — Calculation of filtrate volume

Calculate the filtrate volume of the clay suspension as:

$$\text{Filtrate volume, cm}^3 = 2 \times V_c \quad (18)$$

where V_c is the filtrate volume collected between 7,5 min and 30 min.

Record calculated filtrate volume.

9.7 Residue of diameter greater than 75 μm — Reagent and apparatus

9.7.1 Sodium hexametaphosphate (CAS No. 10124-56-8).

9.7.2 Oven, regulated to 105 °C \pm 3 °C.

API Specification 13A / ISO 13500:1998

9.7.3 **Balance**, with an accuracy of 0,01 g.

9.7.4 **Mixer** (e.g. Mullimixer Model 9B with 9B29X impellers or equivalent), having each spindle fitted with a single sine-wave impeller, approximately 25 mm in diameter, mounted flash side up.

9.7.5 **Container** of approximate dimensions 180 mm deep, 97 mm i.d. top, 70 mm i.d. bottom (e.g. Hamilton Beach mixer cup No. M110-D, or equivalent).

9.7.6 **Spatula**.

9.7.7 **75- μ m sieve**, conforming to the requirements of ASTM E11, of approximate dimensions 76 mm diameter, and 69 mm from top of frame to wire cloth.

NOTE Supplier's verification that sieve conforms to ASTM E11 is satisfactory evidence of compliance.

9.7.8 **Spray nozzle**, 1/4 TT body (Spraying Systems Co., No. TG 6.5 tip with 1/4 TT body or equivalent) attached to water line with 90° elbow.

9.7.9 **Water-pressure regulator**, capable of regulation to 69 kPa \pm 7 kPa.

9.7.10 **Evaporating dish**.

9.7.11 **Wash bottle**.

9.8 Residue of diameter greater than 75 μ m — Procedure

9.8.1 Weigh 10 g \pm 0,01 g of bentonite.

9.8.2 Add the weighed bentonite sample to approximately 350 cm³ of water containing about 0,2 g of sodium hexametaphosphate while stirring on the mixer.

9.8.3 Stir suspension on the mixer for 30 min \pm 1 min.

9.8.4 Transfer the sample to the sieve. Use the wash bottle to remove all material from the container to the sieve. Wash the material on the sieve with water controlled to 69 kPa \pm 7 kPa from the spray nozzle for 2 min \pm 15 s. While washing, hold the tip of the spray nozzle approximately in the plane of the top of sieve and move the spray of water repeatedly over the sample.

9.8.5 Wash the residue from the sieve into a tared evaporating dish and decant excess clear water.

9.8.6 Dry the residue in the oven to a constant mass. Record residue mass and total drying time.

9.9 Residue of diameter greater than 75 μ m — Calculation

$$\text{Residue, mass fraction (\% greater than 75 } \mu\text{m diameter)} = 100 \left(\frac{\text{mass of residue, g}}{\text{mass of sample, g}} \right) + C \quad (9)$$

where C is the correction factor calculated from 5.5.

Record calculated value.

10 Nontreated bentonite

10.1 Description

10.1.1 Drilling grade nontreated bentonite clay is dried and ground, but not chemically treated, composed principally of the mineral smectite. It may also contain accessory minerals such as quartz, mica, feldspar and calcite.

Bibliographie

[1]: Caillière et coll "Minéralogie des argiles .1 classification et nomenclature"

Ed.Masson, 1982

[2]: Caillière et coll "Minéralogie des argiles .2 structures et propriétés physico chimiques"

Ed.Masson, 1982

[3]: M. Deribere et A. Esme, "La bentonite/ Les argiles colloïdales et leurs emplois" Ed. Dunod, (1941).

[4]: "Etude de l'activation de la bentonite algérienne par des méthodes classiques et sous irradiations micro-ondes. Application à l'adsorption de l'Uranium". these magistère de l'école nationale polytechnique département Génie Chimique 2006

[5]: HAYDN H.MURRAY, "APPLIED CLAY MINERALOGY " Occurrences,Processing and Application of Kaolins,Bentonites,Playgorskite,and common clay.

[6]: "Etude de développement des argiles bentonitiques de la région de Mostaganem" le groupe minier SIDAM , 1994

[7]: "Plan d'exploitation" BENTAL, 2007

Documents techniques de BENTAL

Des fiches techniques de BENTAL

Des sites internet

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