الجـــمـــهوريـــــة الـجـــــزائريـــــة الـديمقـــراطيـــة الـشعبيـــــة
People's Democratic republic of Algeria
وزارة الـتـعـلـيـــــم الـعـالـي و الـبـحـث الـعـلـــــمـي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جـــــامـعـــــة عبد الحميـــد بن باديـــس – مستـغانـــــم
Abdelhamid Ibn Badis University – Mostaganem
كـلـيـــــة الـعـلـــــوم و الـتـكنولـــوجـــــيـا
Faculty of Sciences and Technology
قسم هندسة الطرائق
Department of Process Engineering

Department of Process Engineering قسم هندسة الطرائق

The Date التاريخ :

Ref :……/U.M/F.S.T/2025 رقم :..... / ج .م/ ك.ع.ت//2025

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie des procédés

Option: Génie des procédés des matériaux

Thème

Caractérisation physico-mécanique d'un gisement de bentonite exemple gisement de MZILA ACHASTA

Présenté par

1-LARABI Chahrazed

2-GUENNOUN Louiza

Soutenu le 29/06/2025 devant le jury composé de :

Présidente :	FARES Zineb	MAA	Université de Mostaganem
Examinatrice :	FEDDAL Imène	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	BENATMANE Saadiya	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2024/2025

الملخص

الهدف من هذا العمل التعرف على عالم الصناعة عامة ودراسة مادة البنتونيت وطرق تحويلها الى منتوج نهائي قابل للاستعمال في عدة مجالات.
و للتعرف على هذا العمل قمنا بتربص في شركة بنتال فرع اينوف المتواجد ميناء مستغانم.

Résumé :

L'objectif de ce travail est de se familiariser avec le monde de l'industrie en général et d'étudier le matériau bentonite et les méthodes de sa conversion en un produit final pouvant être utilisé dans plusieurs domaines.
Pour prendre connaissance de ce métier, nous avons effectué un stage à la Société BENTAL, filiale ENOF, située au port de Mostaganem.

Abstract:

The aim of this work is to get acquainted with the world of industry in general and to study the bentonite material and the methods of converting it into a final product that can be used in several fields.
To get acquainted with this work, we did an internship at the BENTAL Company, ENOF branch, located in the port of Mostaganem.

Remerciment

Nous Tenons À Exprimer Nos Sincères Remerciements À Tous Ceux Qui Ont Contribué À ce projet de fin d'études. Nous Tenons À Remercier Notre encadrante **M^me^ Benatmane Saadiya** Pour Son Soutien Et Ses Conseils Dans Cette Recherche.

M^me^ Zineb Fares enseignante à l'université de Mostaganem, qui m'a fait l'honneur de s'intéresser à ce travail et de présider le jury d'examen.

Que **M^me^ Imene Feddal** enseignante à l'université de Mostaganem, trouve ici toute ma reconnaissance pour avoir accepter de porter un regard critique sur cet humble travail de recherche.

Ainsi Que Nos Professeurs Pour Nous Avoir Accompagnés Dans Notre Parcours Académique,
Ainsi Que Nos Familles Et Amis Pour Leur Aide Et Leur Soutien Moral. Nous Sommes Reconnaissants De L'opportunité Qui Nous A Été Donnée De Travailler Sur Cette Thèse Et De L'expérience Que Nous Avons Acquise.

DEDICACE

Je Dédié ce modeste travail à :

♣ Ma Chère Mère Qui M'a Entouré De Tout son Amour Et De Toute son Attention

♣ À Mon Cher Père Pour Son Soutien,

♣ Et À Mes Chères Sœurs (Nabila, Noura, Et Surtout Hanane, Qui M'a Soutenu Tout Au Long De Mon Parcours Académique)

♣ À Tous Mes Proches Et Amis

Larabi Chahrzed.

DEDICACE

❖ En premier lieu, je tiens tout d'abord à remercier **DIEU** le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'achever ce modeste travail.

Je Dédie Ce Modeste Travail :

❖ À Ma Chère Petite Famille, Source Inépuisable D'amour, De Soutien Et De Prières. Merci Pour Votre Présence Constante, Votre Patience Et Vos Encouragements Inestimables.

❖ À mon encadrant, Pour Sa Bienveillance, Ses Conseils Précieux Et Son Accompagnement Tout Au Long De Ce Parcours. Vous Avez Marqué Mon Chemin.

Guennoun Louiza.

Sommaire

Introduction générale ……1

Chapitre I : Présentation et organisation de l'entreprise ENOF
I.1 Introduction ……...3
1.2 Présentation de l'entreprise ENOF Mostaganem ……3
1.2.1 Présentation de l'unité ……..3
1.2.2 Informations générales sur le gisement ……..3
1.2.3 Informations sur l'usine ……..4
I.3 Organisation du travail ……..5
I.3.1 La carrière ……...5
I.3.2 Usine ……...5
I.3.3 Moyens de protection et de surveillance ……...6
I.3.3.a Clôture ……..6
I.3.3.b Surveillance……...6
I.3.3.c Moyens d'alerte ……6
I.4 Conclusion ……..8

Chapitre II : Généralités Sur Les Bentonite
II.1 Introduction ……...9
II.2 Définition d'argile ……9
II.3 Définition la bentonite ……...…..11
II.3.1 Classification de la bentonite ……11
II.3.1.a Les bentonites sodiques ……11
II.3.1.b Les bentonites calciques ……12
II.3.2 Composition chimique de bentonite ……..13
II.3.3 Les principales utilisations de la bentonite ……13
II.3.3.a Les bentonite de forage ……...13
II.3.3.b La bentonite de fonderie ……14
II.3.3.c Génie civil ……...14
II.3.3.d Terres décolorantes ……14
II.3.3.d Autres utilisations ……...14
II.4 Conclusion ……15

Chapitre III: Le gisement et l'exploitation
III.1 Introduction ……16
III.2 Caractérisation générale du gisement ……..16
III.2.1 Localisation géographique ……16
III.2.2 Géologie régionale ……17
III.2.3 Cadre géologique du bassin du bas Chélif ……17
III.2.4 Stratigraphie du bassin du bas Chélif ……18
III.3 La tectonique régionale ……20
III.3.1 La tectonique post nappes ……20
III.3.2 Géologie du gisement de M'Zila ……..20
III.4 Caractéristiques morphologiques du gisement ……22
III.5 Conditions géotechniques et hydrogéologiques ……..22
III.5.1 Les conditions géotechniques ……..22
III.5.2 Les conditions hydrogéologiques ……22
III.5.3 Impact des paramètres géologiques ……..22

III.6 Le Climat ……23
III.6.1 Le climat de Mostaganem ……...23
III.6.2 Le climat de Hachasta ……..24
III.7 Plan d'exploitation ……..24
III.8 Choix de la méthode d'exploitation ……25
III.8.1 Mode d'exploitation ……25
III.9 Dispositions pour l'évacuation des eaux ……28
III.9.1 Soutènement, contrôle et stabilité ……...28
III.10 Conclusion ……29

Chapitre IV: Déroulement du traitement de la Bentonite

IV.1 Introduction ……30
IV.2 Déroulement de traitement de la bentonite ……30
IV.2 .1 Stockage Et Activation ……...30
IV.2 .2 Concassage ……32
IV.2 .3 Séchage.……...32
IV.2.4 Broyage ……33
IV.2.5 Ensachage ……34
IV.3 Conclusion ……..36

Chapitre V : Les étapes de travail au laboratoire

V.1 Introduction ……..37
V.2 Définition de la viscosité ……..37
V.3 Définition filtrat ……37
V.4 L'indice de gonflement ……37
V.5 Définition d'humidité ……....38
V.6 Taux de sables ……..38
V.6.1 Terminologie ……38
V.6.1 L'étude expérimentale ……..38
V.6.1.a But ……..38
V.6.1.b Principe ……...38
V.6.1.c Matériels utilisés ……39
V.6.2 Produits utilisés ……42
V.7 Les étapes de l'analyse en laboratoire ……..44
V.7.1 Mesure de l'humidité ……44
V.7.1.a Mode opératoire ……44
V.7.2 Préparation du tout venant ……45
V.7.3 Contrôle du produit fini ……47
V.7.4 Mesure de la viscosité ……...47
V.7.5 Mode opératoire ……47
V.7.6 Calcul ……47
V.7.7 Perte au Filtrat ……48
V.7.7 .1 Mode opératoire ……48
V.7.7.2 Calcul ……..48
V.7.7.3 Mesure de l'indice de gonflement ……..48
V.7.7.4 Mode opératoire ……..48
V.7.7.5 Calcul ……..48
V.7.7.6 Mesure du taux de sable (résidu 75µ) ……49
V.7.7.7 Mode opératoire ……..49
V.7.7.8 Calcul ……..49

V.7.7.9 Contrôle du produit fini ……50
V.8 Conclusion ……...51
Conclusion générale ……..53
REFERENCES …….54

Liste des figures

Figure I.1: Vue générale de l'Algérie du Nord …….……6
Figure I.2: Vue générale du gisement de M'zila ……..7
Figure I.3: Vue générale du gisement de M'zila ……..7
Figure I.4: Vue générale d'Unité de Production …….……..8
Figure II.1 Schéma de la structure générale d'une argile ……...10
Figure II. 2 Couche tétraédrique et octaédrique ……10
Figure III.1: Bassins néogènes et quaternaires de l'Algérie du Nord (Aït Benamar. D, 2002)……17
Figure III. 2 Situation géographique du bassin du bas Chélif. ……...18
Figure III.3 carte géologique de la bordure occidentale du dahra, echelle : 1/200.000 (A.Perdon, 1957) ……..19
Figure III.4. Colonne stratigraphique du bassin de chelif dans la région de mostaganem ….21
Figure III.5. Shéma de la méthode d'exploitation sur gisement mono couche (coupe) …….27
Figure III.6. Schéma de la méthode d'exploitation sur gisement mono couche (Plan) ……..28
Figure IV.1. stockage ……..31
Figure IV.2. Activation ……...31
Figure IV.3. Concassage ……32
Figure IV.4. Séchage ……...33
Figure IV.5. Broyage ……..34
Figure IV.6. Ensachage ……...34
Figure IV.7. Flow sheet de traitement de la bentonite de Mostaganem …….35
Figure V.1. Appareil de filtrage lié un générateur de pression réglé à 1 bar ……..39
Figure V.2.agitateur ……40
Figure V.3.l'étuve ……...40
Figure V.4.Viscosimètre ……40
Figure V.5.broyeur ……41
Figure V.6.Concasseur ……..42
Figure V.7. Argile de recherche TV de forage (FB2) …… .43
Figure V.8. Produits ……44
Figure V.9. Malaxage ……..45
Figue V.10. Boudinage ……46
Figure V.11. Tamisage ……....46
Figure V.12. Gonflement ……49

Liste des tableaux

Tableau III.1 Table climatique Mostaganem ……23
Tableau III.2 Table climatique Hachasta ……..24
Tableau V.1 Plan de contrôle ……...51

Introduction Générale

Introduction Générale

L'argile, objet de ce travail, est connue sous le nom de "bentonite".

La bentonite est une argile argilo magnésienne, principalement composée de smectite, qui présente des propriétés spécifiques en raison de sa structure nanoscopique et de sa composition chimique. Elle est largement utilisée dans divers secteurs industriels tels que le forage pétrolier, la métallurgie, la riziculture, la filtration, et la pharmaceutique. La qualité et l'aptitude d'un gisement de bentonite dépondent fortement de ses caractéristiques physico-chimiques.

Les grands gisements d'argiles sont situés principalement dans la partie Nord-Ouest de l'Algérie dans les régions de Mostaganem et Maghnia, avec d'importantes réserves exploitables en bentonite.

Dans se travail on a étudié la bentonite du gisement de M'ZILA "ACHASTA", qui' est en activité depuis 1947, la durée assez longue de son exploitation a nécessitée, des revues périodiques de l'état des réserves et des mises à niveau, pour pouvoir élaborer des plans de développement conforme au potentiel existant. (Réserves géologiques et exploitables).

Ce rapport présente une étude de caractérisation physico-chimique du gisement de bentonite d'ACHASTA, en mettant en évidence les méthodes d'analyse employées, ainsi que les résultats obtenus. La compréhension de ces propriétés permettra d'évaluer la qualité de la bentonite, son potentiel d'utilisation, et ses contraintes éventuelles.

Un stage technique a été réalisé au sein de l'Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux Mostaganem ENOF, et notre travail s'articule autour de cinq chapitres.

Le premier chapitre est consacré à la Présentation et organisation de l'entreprise ENOF. Le deuxième chapitre explore les Généralités Sur Les Bentonite, nous a permis d'acquérir une vue d'ensemble claire sur cette argile aux propriétés exceptionnelles. Issues principalement de l'altération des cendres volcaniques, les bentonites se distinguent par leur composition riche en montmorillonite, qui leur confère une forte capacité d'absorption, de gonflement et d'échange cationique. Leur polyvalence explique leur utilisation dans de nombreux domaines industriels tels que la fonderie, le forage, l'agriculture, l'environnement et même la cosmétique.

Le troisième chapitre est dédié à L'étude du gisement et de son exploitation met en lumière les caractéristiques géologiques, minéralogiques et économiques de la ressource exploitée. À travers l'analyse de la formation, de la localisation et de la structure du gisement, il est

possible de comprendre les conditions favorables à l'accumulation de bentonite. L'exploitation, quant à elle, fait appel à des méthodes spécifiques qui tiennent compte de la nature du matériau, des contraintes environnementales et des objectifs industriels. Ce chapitre permet ainsi de saisir l'importance d'une gestion rationnelle du gisement, alliant efficacité d'extraction, préservation de la ressource et respect des normes environnementales.

Le chapitre IV est consacré au traitement de la bentonite qui constitue une étape essentielle pour valoriser ses propriétés physico-chimiques en fonction des exigences des différentes applications industrielles. Ce chapitre a permis de détailler les principales phases du processus, depuis l'extraction jusqu'au conditionnement, en passant par le concassage, le séchage, le broyage, et parfois l'activation. Chaque opération vise à améliorer les caractéristiques de la bentonite, notamment sa granulométrie, sa pureté et sa capacité de gonflement. La compréhension de ce déroulement met en évidence l'importance du contrôle qualité à chaque étape pour garantir un produit final performant et conforme aux normes techniques du marché.

Le chapitre V est consacré au travail en laboratoire qui constitue une base essentielle pour assurer la conformité du produit aux normes techniques et aux exigences des clients.

Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les principaux résultats de cette étude.

Chapitre I : Présentation et Organisation de L'entreprise ENOF

I.1 Introduction

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

1.2 Présentation de l'entreprise ENOF Mostaganem

1.2.1 Présentation de l'unité

L'unité de Mostaganem est formée de 02 sites distincts, avec une usine de traitement située en zone urbaine, à l'intérieur du port, et un gisement d'argiles bentonitiques brutes (portant le nom de M'zila) distant d'environ 40 Km de cette dernière situé au Nord –Est de Mostaganem à environ 10 Km à l'est du chemin goudronné reliant la commune de Sour à la Daïra de sidi Ali à l'est du village Achasta Amour, il y a à peu près 10 Km de piste pour atteindre les chantiers en exploitation. (Voir Fig I.1 à Fig.I.3).

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

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

1.2.2 Informations générales sur le gisement

Permis d'exploitation Minière N° 16 PXM du 17 Janvier 2015.

Validité du permis minier : 10 ans.

Superficie du périmètre minier : 369 Ha.

Localisation :

Lieu dit : M'zila Daïra de : Sidi Ali

- Lieu dit : M'zila

- Daïra de : Sidi Ali
- Wilaya de : Mostaganem
- Substance utile : Bentonite.

1.2.3 Informations sur l'usine

- Date d'entrée en production : 1947 Ex SECA – ALGERIE.
- Date de création de l'ENOF : 16 Juillet 1983.
- Activité : production et commercialisation de la Bentonite.
- Statut juridique : Société par actions.
- Tutelle : Ministère de l'industrie et des mines.
- Siège social : 31 Rue Mohamed Hattab – Belfort – ALGER.
- Adresse de l'unité : Terre plein du port – Mostaganem.
- Superficie : 6200m2 environ (terrain Propriété de l'entreprise portuaire de Mostaganem).
- Patrimoine immobiliers : 01 atelier de maintenance et 01 magasin pour les approvisionnements (tous deux à l'extérieur du port).

Produits : 4 types de bentonite :

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

Délimitation de l'unité :

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

Infrastructure du site :

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

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

- Cadres: 29
- Maitrises: 7
- Exécutions: 67. (voir Fig. 04).

I.3 Organisation du travail

I.3.1 La carrière

01 poste de travail de 08 à 16 h, durant les jours ouvrables, onze mois par an. Le congé annuel est prévu pour le mois de décembre (la carrière devient impraticable et l'activité est réduite de plus de moitié).

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

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

I.3.2 Usine

Système de travail en continu 3x8h y compris les week-ends, et jours fériés, avec des vacations à 5h, 13h et 21h. Pendant ces vacations que ce fait la passation des consignes entre les chefs d'équipes production.

I.3.3 Moyens de protection et de surveillance

I.3.3.a Clôture

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

I.3.3.b Surveillance

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

I.3.3.c Moyens d'alerte

Sirènes et téléphones reliés à la protection civile ainsi qu'un standard téléphonique [1].

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

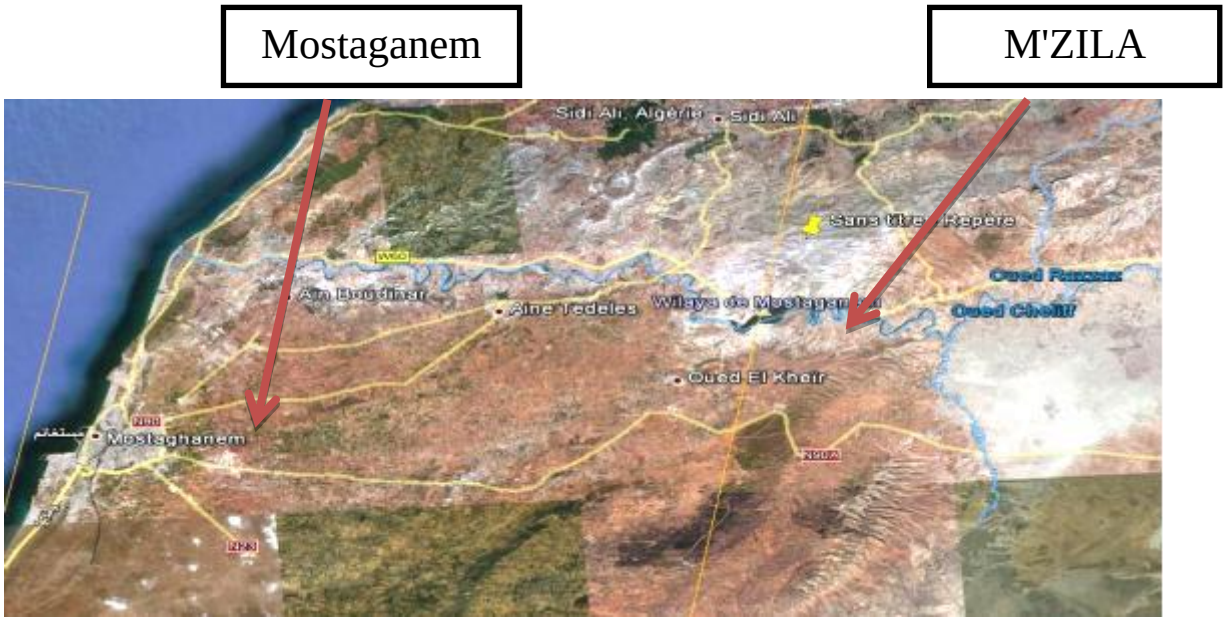


Figure I.2: Vue générale du gisement de M'zila

Figure I.3: Vue générale du gisement de M'zila

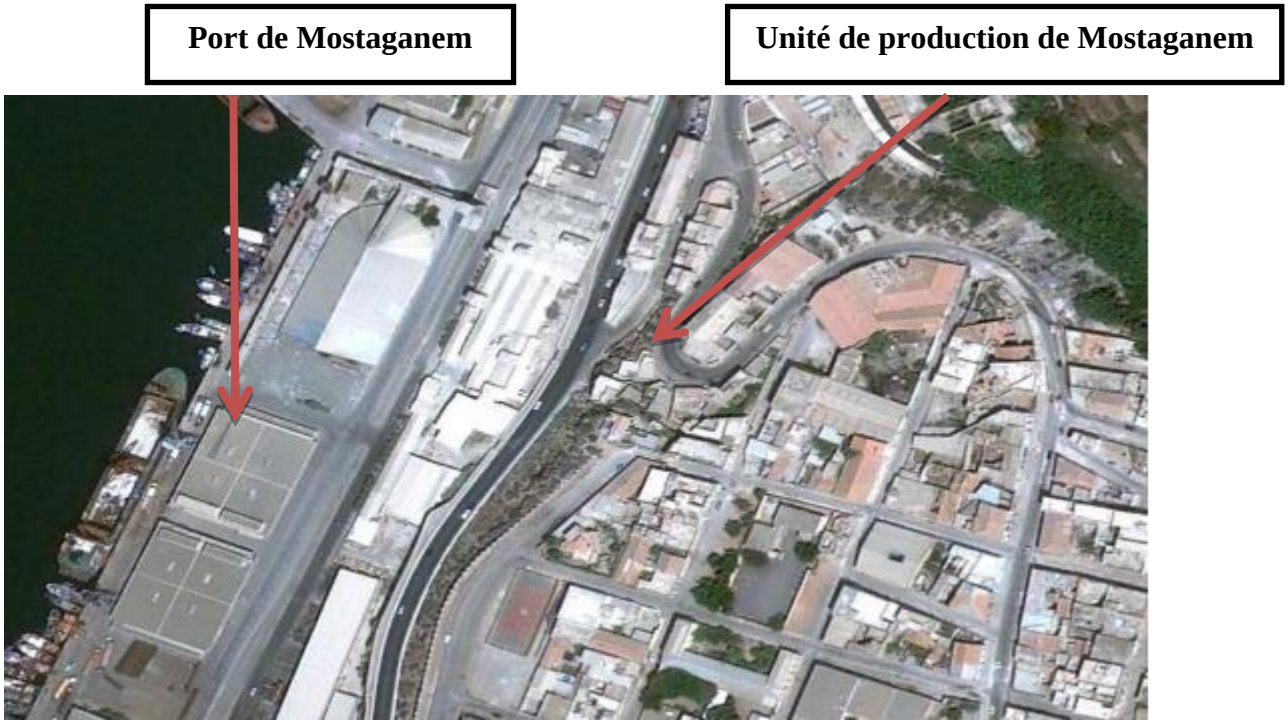


Figure I.4: Vue générale d'Unité de Production

I.4 Conclusion

En résumé, le chapitre consacré à la présentation et à l'organisation de l'entreprise ENOF Mostaganem nous a permis de mieux comprendre la structure, les missions et les moyens de fonctionnement de cette entité spécialisée dans l'exploitation et la valorisation des ressources minières. À travers son organigramme clair, sa répartition fonctionnelle et ses objectifs stratégiques, ENOF Mostaganem illustre une organisation bien structurée qui vise à répondre efficacement aux exigences du marché et à contribuer au développement économique local et national. Cette analyse organisationnelle met en évidence les fondements qui soutiennent la performance de l'entreprise et son adaptation aux enjeux industriels contemporains.

Chapitre II : Généralités Sur Les Bentonite

II.1 Introduction

Les minéraux argileux comprennent tous les phylosilicates ainsi que des espèces d'une structure assez semblable aux phylosilicates mais de caractéristiques physicochimiques différentes par le terme argile on désigne un mélange naturel de minéraux argileux avec d'autre minéraux non argileux (quartz, calcaire) ,les différents types des minéraux argileux résultent des différents combinaisons des éléments structuraux (tétraèdre octaèdre) ,on distingue trois types : les kaolins , les micas et les montmorillonites , on s'intéresse a cette dernière la montmorillonite car elle renferme la bentonite minérale de base AL2O3.3SiO2 (Ca, Mg, Na, K) O.H2O + nH2O, ils sont de structure fines et de haute plasticité. elle est gonflante, ce qui permet de donner un gel avec de l'eau. Cette argile a un pouvoir d'échange d'ions très élevé. La plus connue c'est la bentonite qui se trouve en abondance en Algérie. A Maghnia, les montmorillonites ont des propriétés absorbantes remarquables qui les font rechercher par l'industrie (dégraissants, saponifiant, etc.) ; ils ont en outre la propriété de pouvoir échanger des cations (principalement Na+ et Ca++, mais aussi K+, H+, Mg2+) interfolliaires (distances réticulaires) ou seulement adsorbés en surface, compensant la charge négative résiduelle des feuillets.

II.2 Définition d'argile

L'argile est un matériau naturel composé principalement de finesse particules de silicates d'aluminium hydratés, souvent classées comme roches sédimentaires. Elle est caractérisée par sa plasticité lorsqu'elle est humide et sa dureté lorsqu'elle est sèche ou cuite. L'argile est utilisée depuis l'antiquité pour la construction, la poterie et d'autres applications industrielles.

Les particules d'argiles sont généralement très petites (< 2µm) elles sont composées de silicates hydratés d'aluminium et partiellement de magnésium se présentant sous différentes formes qui peuvent être regroupées en :

- Kaolinite
- Illites
- Montmorillonite (Smectite) Ce sont des silicates lamellaires ou phyllo silicates qui résultent de

L'empilement de deux formes minéralogiques de base, les feuillets tétraédriques et les feuillets octaédriques [2].

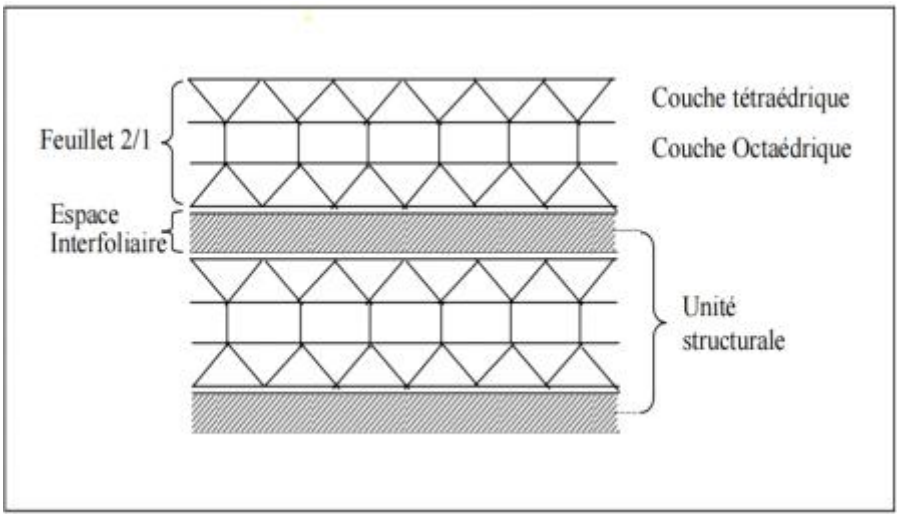


Figure II.1 Schéma de la structure générale d'une argile

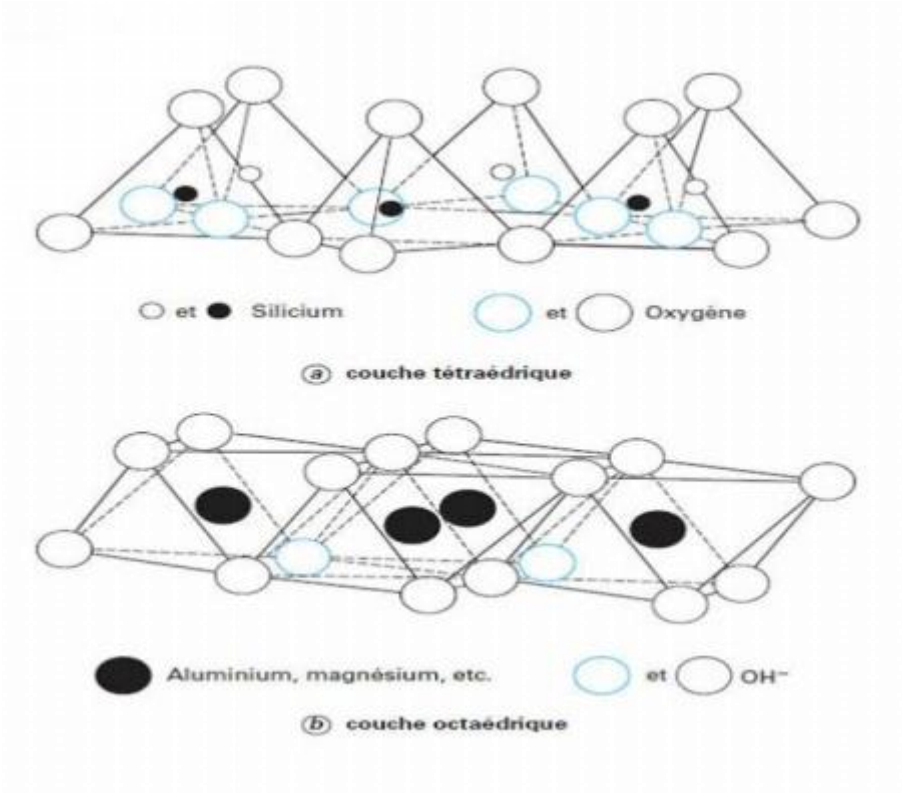


Figure II. 2 Couche tétraédrique et octaédrique

II.3 Définition la bentonite

La bentonite est une argile colloïdale principalement composée de montmorillonite, un minéral argileux du groupe des smectites, caractérisé par une forte capacité de gonflement au contact de l'eau. Elle se forme généralement par altération de cendres volcaniques dans des environnements marins ou par circulation hydrothermale, ce qui explique son origine volcanique et hydrothermale.

Cette argile est malléable, très absorbante et peut augmenter de volume jusqu'à huit fois lorsqu'elle est hydratée, ce qui la rend utile dans diverses applications industrielles telles que les boues de forage, les liants, l'étanchéité et la lubrification. La bentonite contient aussi d'autres minéraux en faible quantité, comme le quartz, le mica, le feldspath, la pyrite ou la calcite

On distingue principalement deux types de bentonite selon leur teneur en cations intercalaires : la bentonite sodique, à fort pouvoir gonflant, et la bentonite calcique, à gonflement plus faible. Ces propriétés de gonflement, d'absorption d'eau, de viscosité et de thixotropie (diminution de la viscosité sous contrainte mécanique) sont liées à la structure en couches de la montmorillonite, qui retient l'eau entre ses feuillets. (3)

II.3.1 Classification de la bentonite

Les bentonites peuvent être classées en 2 groupes selon qu'elles soient sodiques ou calciques :

II.3.1.a Les bentonites sodiques

(Na bentonite) sont énormément gonflables. L'indice de gonflement est proportionnel à la teneur en sodium. Elles conviennent alors le plus pour les boues de forage, elles peuvent même former des gels permanents. D'après leur composition chimique, la bentonite de Mostaganem se rattache à la bentonite sodique. Sa teneur enNa2O > 2%, lui confère un indice de gonflement élevé et donc de bonnes propriétés pour la préparation des boues de forage.

Les analyses effectuées sur des échantillons prélevés sur le minerai, ont révélés les teneurs suivantes :

-SiO_2= 65.50% TiO_3 =0.27% MgO= 2.27% K_2O=0.97%

Al_2O_3 = 13.85% FeO_3= 2,91% MnO =0,027% P_2O_5= 0,06%

CaO = 1,860% FeO_2= 0, 7% Na_2O= 2.22% SO3-0, 02%

Paf = 9, 33%

Chimiquement, les argiles se caractérisent par une acidité moyenne et par une teneur, relativement basse, en silice et en alcalis (3,19%) il est d'autant plus intéressant de remarquer que la teneur en oxydes alcalino-terreux quant à elle est aussi très basse. Ces données témoignent d'une façon indirecte, que minéralogiquement les argiles sont composées non seulement par des montmorillonites mais aussi par d'autres minéraux argileux :

(Hydraumicas, beidellites, probablement glauconies…etc.), mais on sait que dans la composition chimique des argiles Montmorillon tiques la teneur en oxydes alcalins est de l'ordre de 6 – 7 %, avec celle en N_2O pas inférieur à 4 % et étant toujours supérieure par rapport à la teneur en K_2O.

Selon les résultats de la détermination des cations échangeables,

il s'avère que les argiles du gisement sont alcalinisées ; le coefficient d'alcalinité varie largement de 2.99 à 10.01, mais toujours plus d'un.

Les boues de forage obtenues à la base de ces argiles ont une grande thixotropie, ce qui présente un facteur très important lors de la détermination de leur qualité.

Visuellement, les argiles sont finement dispersées, à cassures conchoïdales, fines, visqueuses, non compactes, grasses au toucher, peu carbonatées, gonflantes, trompées dans l'eau elles donnent des gels à viscosités différentes.

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.)

II.3.1.b Les bentonites calciques

(Ca-bentonite) ont un indice de gonflement très faible qui les rend impropres à une utilisation comme bous de forage, par contre, elles présentent une capacité d'adsorption élevée qui

permet de les valoriser pour la production de terres décolorantes. Elles peuvent partiellement remplacer Al et gonflent peu. Elles forment par contre avec l'eau une suspension thixotropique (c'est à dire qu'ils épaississent au repos prolongé et reprennent leur viscosité normale par simple agitation) [1].

II.3.2 Composition chimique de bentonite

La bentonite est une argile principalement composée de montmorillonite, un minéral du groupe des smectites. Sa formule chimique générale peut s'exprimer comme suit :

$$\mathbf{(Na, Ca)_{0.33}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O}$$

Cette formule indique que la bentonite est un silicate d'aluminium hydraté avec des cations échangeables tels que sodium (Na) et calcium (Ca), ainsi que des substitutions partielles d'aluminium (Al) par du magnésium (Mg) dans la structure.

La montmorillonite, constituant principal de la bentonite, est structurée en feuillets 2:1 (deux couches tétraédriques de silice encadrant une couche octaédrique d'alumine), avec une charge négative compensée par des cations échangeables (Ca, Mg, Na, K, H+, NH^{4+}) situés entre les feuillets.

En termes d'oxydes, la composition chimique typique d'une bentonite brute peut inclure (exemples de pourcentages) :

- SiO_2 : environ 69%
- Al_2O_3 : environ 15%
- Fe_2O_3 : environ 4%
- MgO : environ 2%
- CaO, Na_2O, K_2O en plus faibles quantités

II.3.3 Les principales utilisations de la bentonite

II.3.3.a Les bentonite de forage

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

fluide. L'eau seule n'ayant pas la viscosité souhaitable, on y ajoute la bentonite. La boue de forage joue un rôle essentiel en refroidissant et lubrifiant l'outil de forage, en maintenant les parois et en véhiculant les résidus de roche vers la surface. La boue maintient aussi une pression hydrostatique sur les couches traversées, permet aussi de créer, sur les parois du trou, un revêtement étanche et lubrifie les tiges et l'outil de forage. 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 mondiale. La quantité de bentonite par 1 000 pieds forés a varié de 4,05 à 4,72 tonnes. De façon sécuritaire, on peut donc estimer une utilisation de 4 tonnes de bentonite par mille pieds forés pour jauger du potentiel d'un marché.

II.3.3.b La bentonite de fonderie

La bentonite de fonderie sert à la préparation des moules en fonderie. Cette application est liée à l'arrivée des sables qualifiés de synthétiques sur le marché. Ce sont essentiellement des sables de silice auxquels on mélange une argile sodique dans une proportion de 4 à 6 %. Cette proportion peut varier considérablement et peut atteindre 10 à 15 % pour les moulages à pression. L'argile utilisée peut être une bentonite naturelle du type Wyoming ou une bentonite de traitement (bentonite non-gonflante de carbonate de sodium). La tendance des sables dits synthétiques à remplacer les sables naturels s'explique par leur uniformité et la fiabilité des résultats d'application. C'est un liant économique. La tendance vers les moulages à haute pression ne peut qu'amplifier la demande de la bentonite.

II.3.3.c Génie civil

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

II.3.3.d Terres décolorantes

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

II.3.3.d Autres utilisations

La bentonite est un nano-composite recherché comme charge minérale dans les insecticides et pesticides, les aliments de bétails, les engrais, les produits cosmétiques, les polymères, en pharmacie (comme pansement gastrique), organophyl et des applications de pointe etc [1].

II.4 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'acquérir une vue d'ensemble clair sur cette argile aux propriétés exceptionnelles. Issues principalement de l'altération des cendres volcaniques, les bentonites se distinguent par leur composition riche en montmorillonite, qui leur confère une forte capacité d'absorption, de gonflement et d'échange cationique. Leur polyvalence explique leur utilisation dans de nombreux domaines industriels tels que la fonderie, le forage, l'agriculture, l'environnement et même la cosmétique. En comprenant leur origine, leur structure minéralogique et leurs principales caractéristiques, nous disposons désormais d'une base solide pour aborder plus en détail leurs méthodes de traitement, leur valorisation industrielle et les enjeux liés à leur exploitation.

Chapitre I : Le gisement et l’exploitation

III.1 Introduction

Le gisement est constitué d'une succession de quatorze couches d'argiles bentonitiques, dont deux principales couches étudiées (VII et XIV) présentent des réserves estimées respectivement à environ 405 700 tonnes et 81 596 tonnes. Ces couches contiennent des minéraux argileux dominés par la montmorillonite, l'illite et la kaolinite, ainsi que des minéraux non argileux comme la calcite et le quartz.

Les recherches et l'exploitation de ce gisement s'inscrivent dans une démarche de valorisation des ressources naturelles algériennes, tout en respectant les normes environnementales et de durabilité. La région de Mostaganem, par ses caractéristiques géologiques favorables, continue d'attirer l'attention des industrielles et des chercheurs pour le développement de cette ressources stratégique.

N.B

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.

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.

III.2 Caractérisation générale du gisement

III.2.1 Localisation géographique

Le gisement se trouve à 45 KM au Nord –Est de Mostaganem à environ 10 Km à l'est du chemin goudronné reliant la commune de Sour à la Daïra de sidi Ali à l'est du village Achasta Amour, il y a à peu près 10 Km de piste pour atteindre les chantiers en exploitation.

Le périmètre de la zone d'exploitation du gisement de M'Zila est d'une superficie totale de **369 Hectare.**

III.2.2 Géologie régionale

Dès le Miocène inférieur dans le Tell (Chélif, Mitidja), sont initiés des bassins sédimentaires en extension plus ou moins contemporains à la tectonique tangentielle.

Les plus importants bassins en Algérie sont d'Ouest en Est, le bassin du Chélif (bas et moyen Chélif), le bassin de la Mitidja, le bassin de Tizi-Ouzou, le bassin de la Soummam, le bassin de Constantine et le bassin du Hodna (Fig. III.1).

Le bassin néogène du bas Chélif représente la plus grande partie des bassins néogènes de l'Algérie occidentale. C'est une dépression intra montagneuse orientée Est- Ouest et constituée par des terrains récents d'âge Miocène inférieur à Quaternaire.

Le bassin du bas Chélif est soumis pendant tout le néogène à une importante tectonique principalement d'intensive pour certains auteurs (Perrodon, 1957; Meghraoui, 1988) et polyphasée en transtension au moment de l'ouverture qui a permis le dépôt des marnes bleues inférieur et supérieur et en transpression pour Thomas (1985).

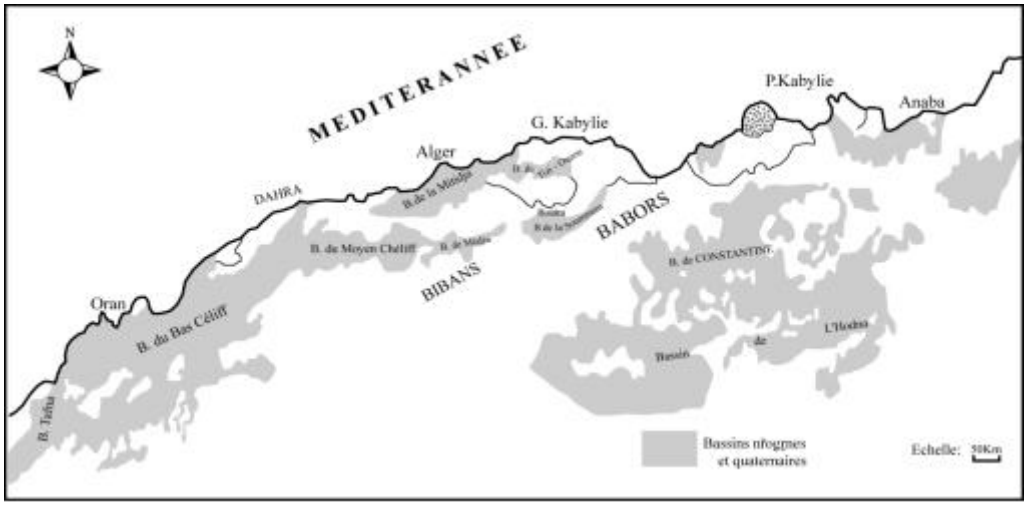


Figure III.1: Bassins néogènes et quaternaires de l'Algérie du Nord (Aït Benamar. D, 2002).

III.2.3 Cadre géologique du bassin du bas Chélif

Le bassin néogène du Bas Chélif fait partie d'un ensemble des bassins néogènes et quaternaires de la chaîne tello- rifaine de direction Est- Ouest.

Il est situé entre l'atlas tellien. C'est un bassin intra montagneux, post nappes de forme losangique qui s'allonge sur plus de 300 Km de long et 100 Km de large, à sédimentation allant du Miocène au Quaternaire (Perrodon, 1957).Fig. III.2

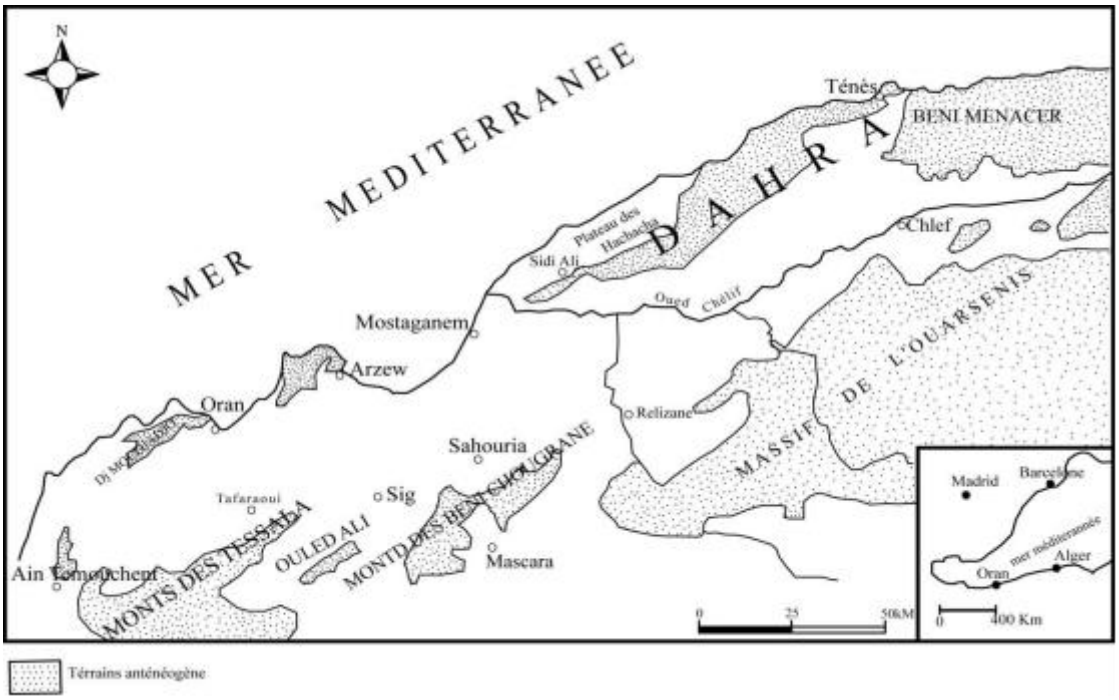


Figure III. 2 Situation géographique du bassin du bas Chélif.

III.2.4 Stratigraphie du bassin du bas Chélif

Postérieurement aux Miocène ante ou synchro nappes, le bassin du Bas Chélif était le siège d'une puissante sédimentation allant du Miocène post nappes au Quaternaire qui repose en discordance sur les formations les plus anciennes (Fig III. 3).

La sédimentation est très importante au cours du Miocène dont l'épaisseur dépasse les 2000 m (S.N. Repal, 1952).

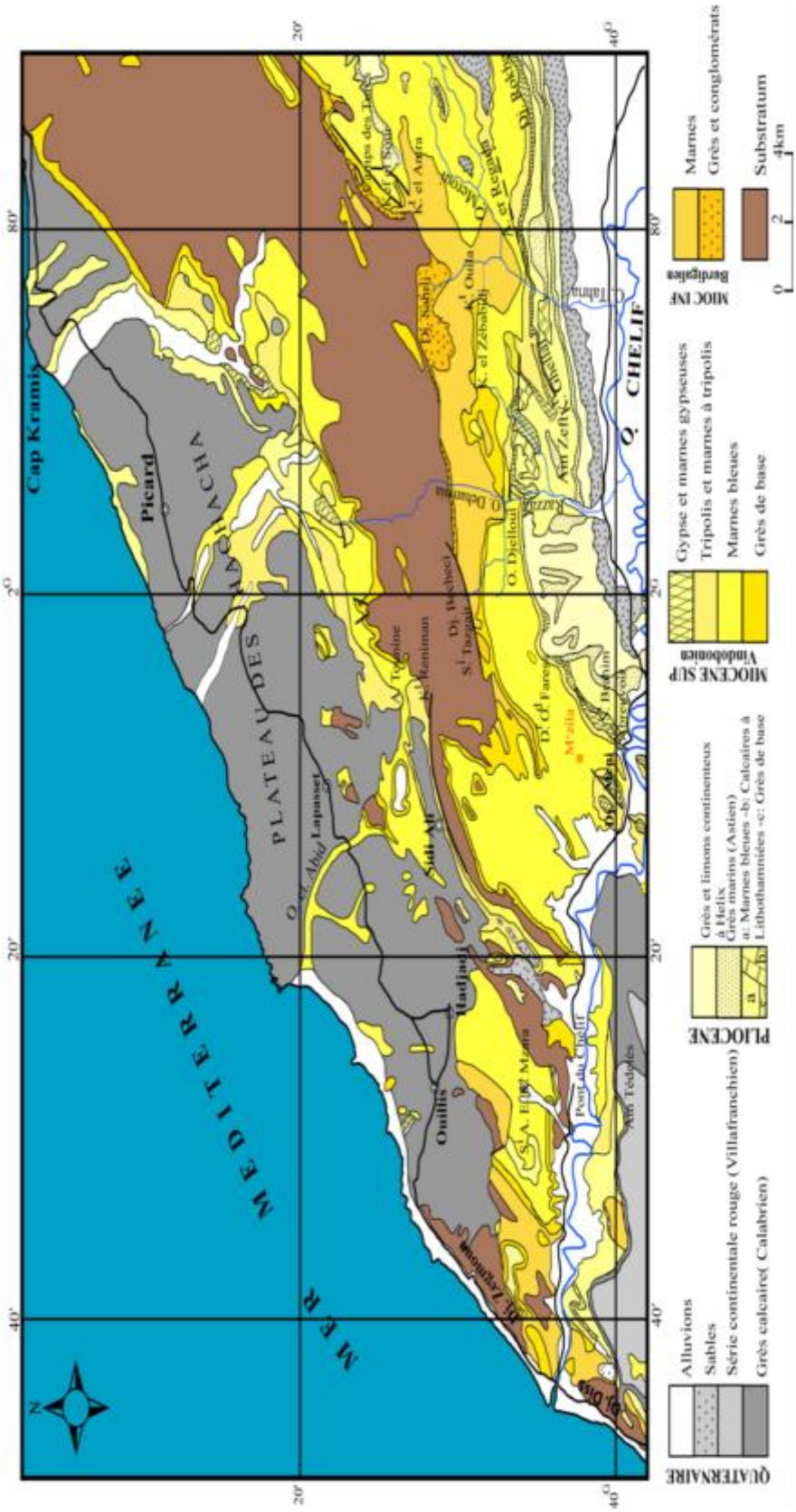


Figure III.3 carte géologique de la bordure occidentale du dahra, echelle : 1/200.000 (A.Perdon, 1957)

III.3 La tectonique régionale

III.3.1 La tectonique post nappes

La structuration du bassin intramontagneux du bas Chélif résulte de la superposition successive de plusieurs phases de déformation en transtension et en transpression (Thomas, 1985).

Dans l'Atlas tellien et particulièrement dans le bassin du bas Chélif, Thomas (1985) et Maghraoui (1982,1988) mettent en évidence des déformations compressives plio-quaternaires avec un raccourcissement N - S à NE - SW.

III.3.2 Géologie du gisement de M'Zila

La brève description de la structuro géologique régionale s'appuie sur l'ouvrage d'ALAIN PERRODON (étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie Occidentale 1957).

Qui a examiné la coupe entière des terrains néogène, pliocène et quaternaire quant aux roches antérieure de la région rassemblés sous le nom commun de « Substratum ».

Sur le plan géologique, le gisement d'Argiles Bentonitiques de M'Zila se situe dans le Miocène supérieur.

Miocène inférieur : du bassin de Chélif, comme dans la partie occidentale de la région Djebel SAHLI est représenté par des grés et des conglomérats de la série inférieure et par des marnes de la série supérieure.

Miocène supérieur : Début par des grés glauconieux et des marnes argileuses surmontés vers le haut de la coupe par un banc puissant (à 500 m) de marnes bleues et bleu gris, a faible intercalations de calcaires des grés et d'Argile Benthonitiques.

Il est à noter que malgré la vaste évolution de marne bleue, les intercalations d'argile Benthonitiques ne sont constaté que dans la région de M'ZILA (Oued Fares).

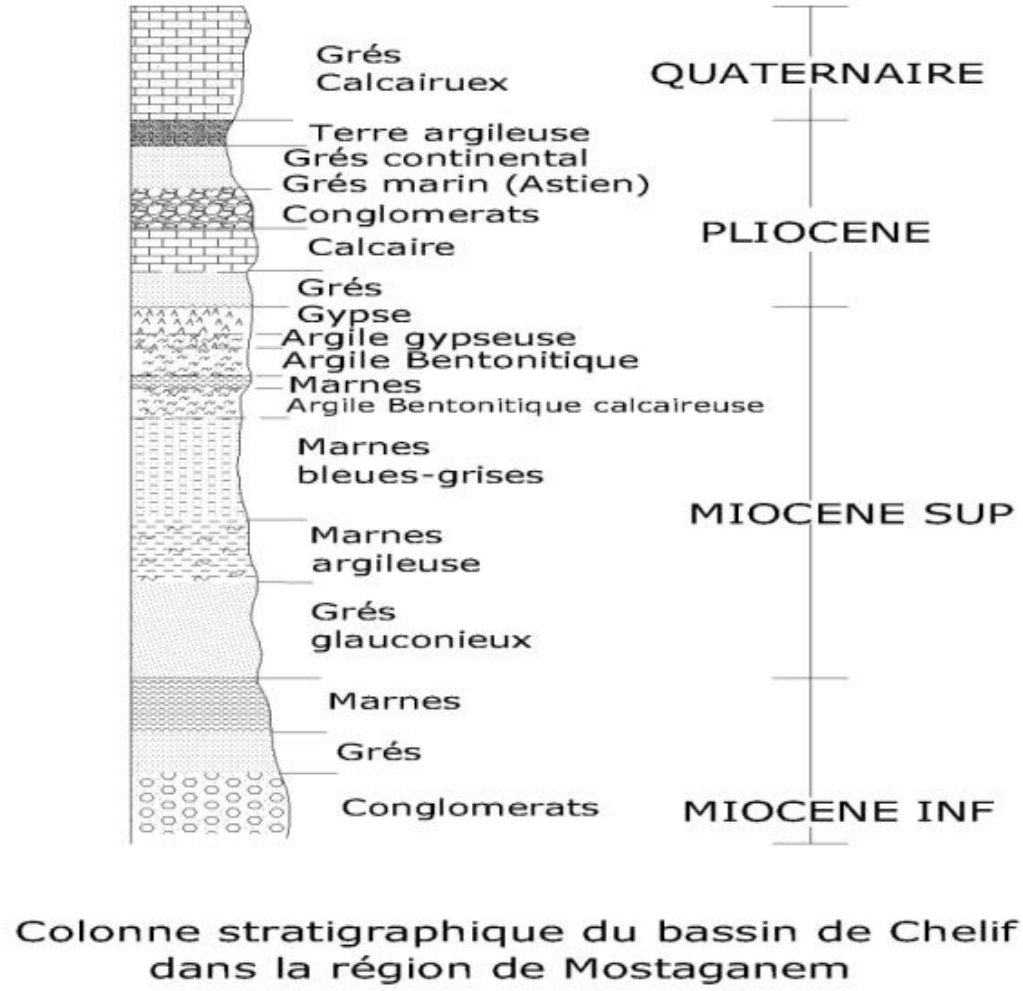
Pliocène: Offre de différentes formations marines et continentales discordantes sur le Miocène sup

La coupe Pliocène renferme des grés, calcaire et conglomérats, cet ensemble de roches est à son tour recouverte en discordance de gris marins Astiens, de grés continentaux et de terre argileuses fossilifères.

Les formations du pliocène reposent en discorde sur le miocène stratigraphiquement, la partie inférieure comprend des grès, des calcaires et des Conglomérats.

Quaternaire : Est représenté par des grés calcaires, évoluant à travers toute la zone Nord de la région de BOUSQUET et SIDI ALI jusqu'à la Méditerranée.

Par des différentes roches continentales rubéfiées, sableuses et d'argileuses, ainsi que par des sables marins côtière tout au long du littoral Méditerranéen.



Colonne stratigraphique du bassin de Chelif
dans la région de Mostaganem

Figure III.4. Colonne stratigraphique du bassin de chelif dans la région de mostaganem

III.4 Caractéristiques morphologiques du gisement

Le gisement se présente sous forme d'un synclinal de 369 Ha, dont l'axe est orienté NE-SW d'une direction de 70° et se prolonge vers l'Ouest sous les mort terrain. Les flancs nord et sud sont constitués par 14 couches bentonitiques identifiées de I à XIV parallèles entre elles ayant presque la même direction mais un pendage différent. (Parmis les 14 couches ; 09 couches seulement qui sont importantes).

Les couches du flanc Nord présentent un pendage de 10° à 45° S et celles du flanc sud un pendage de 10° à 35° N.

Les couches sont entaillées par des ravins et un drainage dendritique

La limite Est des couches, traversée par une zone faillée, coïncide au nez du synclinal.

A cet endroit, les couches changent de direction et s'incurvent pour continuer vers le Sud-Ouest et ensuite l'Ouest.

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

III.5 Conditions géotechniques et hydrogéologiques

III.5.1 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.

III.5.2 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.

III.5.3 Impact des paramètres géologiques

Parmi les paramètres géologiques qui régissent directement sur la qualité et la quantité de bentonite du gisement de M'Zila sont :

- Les failles.
- Nature de la roche mère à partir de laquelle se développent les Argiles Bentonitiques.
- Phénomène d'altération (Bentonitisation) qui régit sur les tufs pyroclastiques dont il délimite de couche de gisement.

III.6 Le Climat

III.6.1 Le climat de Mostaganem

Mostaganem a trois climats différant et est dominé par BSk : climat de steppe (semi-aride) sec et froid.

Tableau III.1 Table climatique Mostaganem

Mois	Température Moyenne (°C)	Température Moyenne (°F)	Précipitations (mm)
Janvier	11.8	53.2	50
Février	12.5	54.5	34
Mars	14	57.2	33
Avril	16	60.8	26
Mai	18.5	65.3	28
Juin	21.8	71.2	5
Juillet	24.3	75.7	1
Aout	25.1	77.2	3
Septembre	23.1	73.6	13
Octobre	19.7	67.5	34
Novembre	15.5	59.9	60
Décembre	12.6	54.7	60

Une différence de 59 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. 13.3 °C de variation sont affichés sur l'ensemble de l'année. Aout est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 25.1 °C à cette période. Au mois de Janvier, la température moyenne est de 11.8 °C. Janvier est de ce fait le mois le plus froid de l'année.

III.6.2 Le climat de Hachasta

Le climat de Hachasta est dit tempéré chaud. En hiver, les pluies sont bien plus importantes à Hachasta qu'elles ne le sont en été. Sur l'année, la température moyenne à Hachasta est de 18.0 °C. Il tombe en moyenne 361 mm de pluie par un.

Tableau III.2 Table climatique Hachasta

Mois	Température Moyenne (°C)	Température Moyenne (°F)	Précipitations (mm)
Janvier	11.5	52.7	51
Février	12.4	54.3	33
Mars	13.8	56.8	35
Avril	16	60.8	24
Mai	19	66.2	29
Juin	22.1	71.8	6
Juillet	25	77.0	1
Aout	25.7	78.3	2
Septembre	23.5	74.3	15
Octobre	19.7	67.5	36
Novembre	15.4	59.7	65
Décembre	12.2	54.0	64

Une différence de 64 mm es enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Une différence de 14.2 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année. Aout est le mois le plus chaud de l'année.

La température moyenne est de 25.7°C à cette période. Le mois le plus froid de l'année est celui de janvier avec une température moyenne de 11.5 °C [1].

III.7 Plan d'exploitation

Tout début d'une activité minière à ciel ouvert, se manifeste des travaux miniers dans différentes activités, et à chaque avancement de ces travaux, d'autres suivent les précédents et cela dépend de la nature de ces travaux.

A cet effet, un plan d'exploitation doit être préétabli initialement et de respecter son application dans le but d'optimiser la réalisation de ces travaux dans le temps d'une part et la maîtrise des coûts s'alloués à ces derniers d'une autre part, avec un objectif final aboutissant à une production optimale et rentable dans le cadre du respect des normes d'exploitation et d'environnement.

Tout projet d'exploitation à ciel ouvert doit comprendre essentiellement les paramètres suivants :

-Les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du gisement ;

-La méthode d'exploitation utilisée ;

-Les caractéristiques géométriques des ouvrages miniers : gradins, bermes, talus d'exploitation, pistes de roulage, décharges et déblais ;

-L'organisation des opérations d'extraction (abattage, chargement, transport) ;

-Les effectifs et la qualification du personnel ;

-La nature et les caractéristiques des équipements principaux ;

-Les mesures de sécurité et d'hygiène envisagées ;

-Les études relatives à la stabilité des sols ;

- Les dispositions pour l'évacuation des eaux ;

-La remis en état des lieux

III.8 Choix de la méthode d'exploitation

III.8.1 Mode d'exploitation

L'exploitation est conduite à ciel ouvert, sous forme de **larges tranchées**. Le minerai est exploité au moyen de carrières étroites et allongées. La largeur limitée de ces carrières est imposée par l'épaisseur relativement faible des couches de bentonites, et par le taux de découverture qui devient rapidement prohibitif lorsque la largeur d'exploitation augmente.

Pour rentabiliser l'exploitation, ce taux de découverture ne doit pas excéder 03 mètres cubes de stérile par 01 mètre cube de minerai (ratio = 3/1).

En pratique, cette contrainte, combinée à la capacité de l'équipement d'excavation utilisé, limite les exploitations à une profondeur verticale de 4 à 5 mètres. Le contrôle topographique est également très important, il est relativement facile d'exploiter les couches qui affleurent sur les crêtes topographiques, par contre, il est beaucoup plus difficile d'exploiter les couches situées dans le fond des vallées, ou la grande épaisseur des morts terrains peut rendre l'exploitation non rentable.

L'exploitation de la bentonite ne nécessite aucun sautage, et s'effectue au moyen d'un Bulldozer ou d'une pelle chargeuse.

b. Mode d'ouverture :

Les parcelles destinées à l'exploitation sont rendues accessibles par l'aménagement de pistes d'accès de 4 à 5 mètres de largeur.

c. Pression des terrains :

Les terrains au niveau du gisement de M'Zila sont assez stable.

d. 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 et surtout après la période hivernale.

Caractéristiques géométriques des ouvrages miniers (Fig.III. 5 et III.6) :

- Gradin
- Bermes
- Talus d'exploitation.

- Pistes de roulage : Les pistes d'accès aux parcelles en exploitation dont la longueur atteint les 20 Km et une largeur de 4 à 5 mètres, nécessitent un entretien périodique de deux fois par an, et surtout après la période hivernale. Il n'existe pas cependant de dénivelés important au niveau du gisement dans son ensemble.
- Décharge et déblais : Le produit de déblaiement ou de décapage des couches, est évacué à l'aide de camions vers les talwegs ou vers les morts terrains, dans d'autres

cas, il est déplacé à l'aide du Bulldozer, vers les pentes à proximité des couches ou à leur extrémité pour combler par la suite les fosses résultant de l'extraction du minerai (Remise en état des lieux).

e. Installations électriques d'eau et d'air comprime : Néant.

L'exploitation ne nécessite pas d'électricité ou d'eau ni d'air comprimé.

f . Organisation des opérations de découverture :

La phase de découverture dans le gisement de M'zila s'effectuée par un bulldozer.

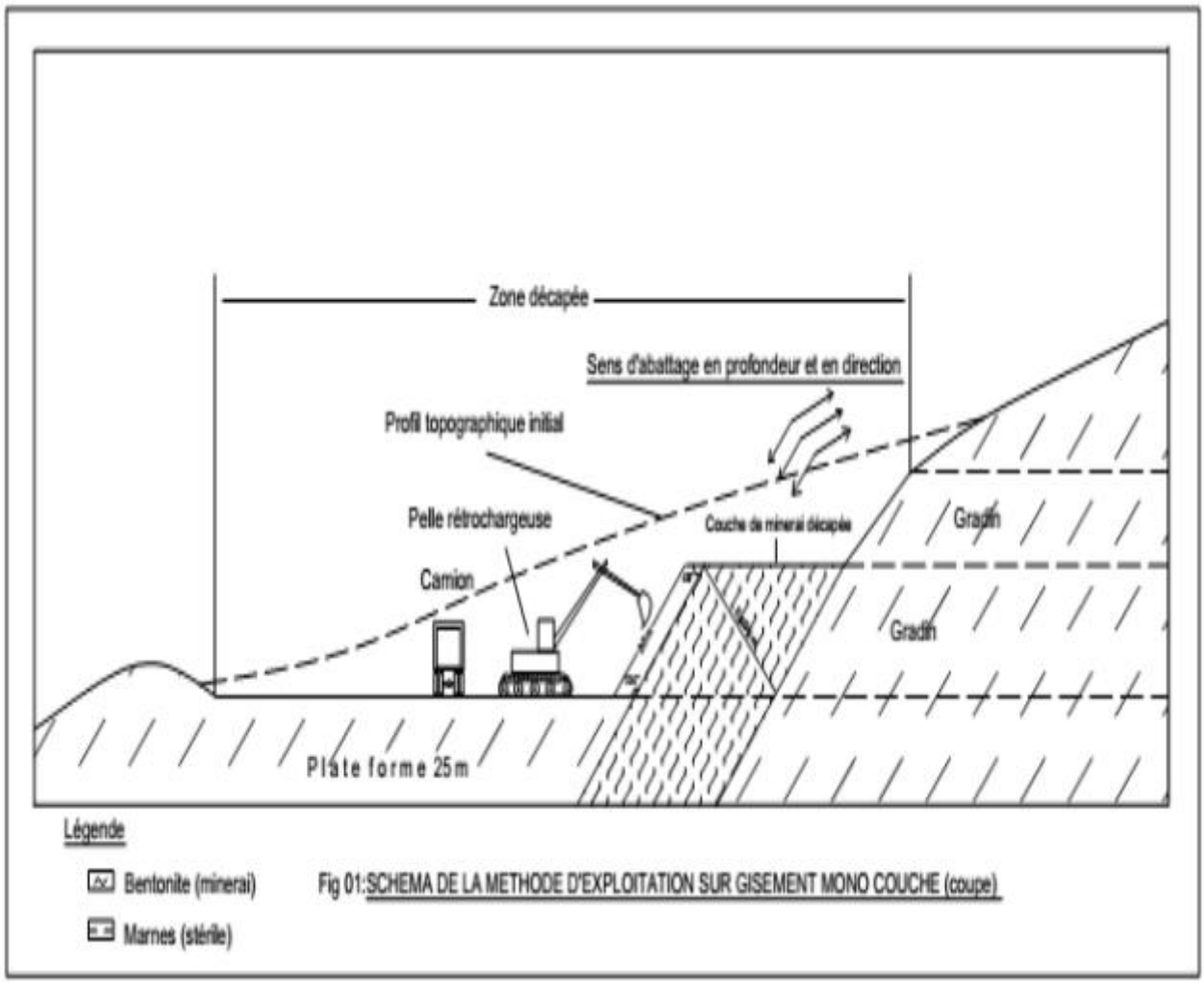


Figure III.5. Shéma de la méthode d'exploitation sur gisement mono couche (coupe)

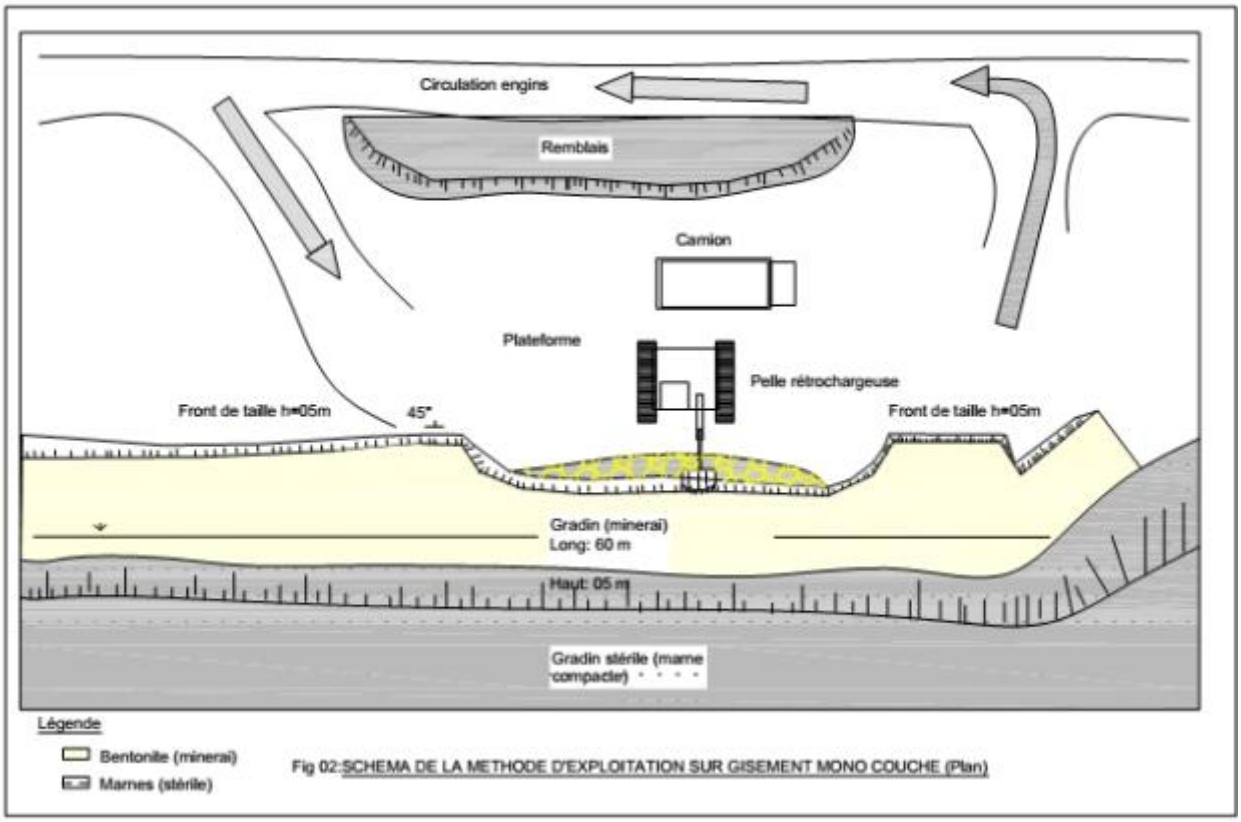


Figure III.6. Schéma de la méthode d'exploitation sur gisement mono couche (Plan)

III.9 Dispositions pour l'évacuation des eaux

A l'approche de la période hivernale, les fosses sont comblées provisoirement, lorsqu'elles sont moins importantes par du stérile, afin d'éviter leur comblement par les eaux de pluie.

Cependant, pour éviter la stagnation des eaux, des tranchées sont réalisées de part et d'autre de la carrière, selon la topographie du terrain afin de drainer les eaux résiduelles et d'éviter l'inondation des carrières en exploitation.

III.9.1 Soutènement, contrôle et stabilité

Les carrières du gisement de M'Zila, sont caractérisées par le nombre réduit de gradins, ils dépassent rarement un gradin, de 5 mètres de hauteur, vu la morphologie du gisement.

Le mode de dépôt est stratiforme, selon des couches de 01 à 04 mètres d'épaisseur rarement 06 mètres, avec un pendage de 35 à 45° Sud. Elles constituent un synclinal, dont le flanc Nord est exploité. La pente de ce synclinal est de 30°.

La largeur limitée de ces carrières est imposée par l'épaisseur relativement faible des couches de Bentonite et par le taux de découverture qui devient rapidement prohibitif lorsque la largeur d'exploitation augmente. En pratique, cette contrainte, combinée à la capacité des équipements d'excavation utilisés et le taux élevé de la découverture, limite les exploitations à une profondeur verticale de 4 à 5 mètres.

Pour cela, les soutènements additionnels, ne sont pas nécessaire dans ce cas-là, malgré la faible envergure des fronts de taille, le control est effectué pour éviter tout danger potentiel [1].

III.10 Conclusion

L'étude du gisement et de son exploitation met en lumière les caractéristiques géologiques, minéralogiques et économiques de la ressource exploitée. À travers l'analyse de la formation, de la localisation et de la structure du gisement, il est possible de comprendre les conditions favorables à l'accumulation de bentonite. L'exploitation, quant à elle, fait appel à des méthodes spécifiques qui tiennent compte de la nature du matériau, des contraintes environnementales et des objectifs industriels. Ce chapitre permet ainsi de saisir l'importance d'une gestion rationnelle du gisement, alliant efficacité d'extraction, préservation de la ressource et respect des normes environnementales.

Chapitre IV : Déroulement Du Traitement De La Bentonite

IV.1 Introduction

Le traitement de la bentonite consiste en un ensemble d'étapes visant à purifier, amélioré et condition cette matière première pour répondre aux normes techniques et industrielles en vigueur. Ces opérations permettent d'obtenir une bentonite de qualité supérieure, caractérisée par une granulométrie fine, une pureté accrue, et des propriétés physico-chimique optimisées.

Ce processus de traitement comporte plusieurs phases clés, telles que l'extraction, le criblage, le lavage, séchage, la mouture fine et le conditionnement final. Chacune de ces étapes à pour objectif de réduire la teneur en impuretés, d'améliorer la stabilité et la performance du produit fini, tout en garantissant la conformité aux exigences des différents marchés.

Déroulement de traitement de la bentonite de "M'ZILA" est un enjeu stratégique pou valoriser cette ressource naturelle, assurer sa pérennité, et renforcer la compétitivité des produits algériens sur les marchés internationaux. La maîtrise de chaque étape du traitement permet d'obtenir une bentonite répondant aux standards technique, tout en contribuant au développement économique local et national.

IV.2 Déroulement de traitement de la bentonite

Le traitement de la bentonite au centre ENOF se fait selon les étapes suivantes :

IV.2 .1 Stockage Et Activation:

La bentonite brute est d'abord extraite en carrière, puis transportée à l'usine ou elle est déversée en tas sur la rampe d'alimentation de l'usine, un système mécanique (scraper tiré par un treuil) permet d'alimenter un skip, qui transporte la bentonite vers la trémie d'alimentation de l'usine.

Le stockage se fait en couches alternées dans le skip, avec la bentonite brute et les adjuvants (carbonate de sodium et magnésie) ajoutés manuellement par pelle dans le godet du skip.

Figure IV.1. stockage

L'activation chimique consiste à traiter la bentonite calcique avec de carbonate de sodium (Na_2Co_3) et la magnésie (MgO) pour convertir la bentonite calcique en bentonite sodique, ce qui améliore sa capacité de gonflement et ses propriétés physico-chimique.

Le dosage des adjuvants se fait manuellement dans le skip avant le passage au concasseur.

Figure IV.2. Activation

IV.2 .2 Concassage

Le concassage permet de réduire la taille des morceaux de bentonite pour faciliter les étapes suivantes du traitement, les pertes de produits lors du concassage sont récupérées par une goulotte et rechargées dans le godet du skip, minimisant ainsi les pertes matérielles [10].

L'ensemble du système de concassage est monté sur une ossature métallique indépendante au-dessus de la chambre de réception.

Figure IV.3. Concassage

IV.2 .3 Séchage

La bentonite est généralement séchée à une température d'environ110℃, pendant une durée d'environ 2 heures en étuve, pour éliminer l'humidité avant les étapes suivantes du traitement.

Le procédé industriel à l'unité de Mostaganem comprend une étape de séchage au four sécheur, avec une capacité théorique installée de 4 tonnes par heure mai une utilisation actuelle à environ 3 tonnes par heur. Ce séchage intervient après l'activation de la bentonite au carbonate de soude (Na_2CO_3) et à la magnésie (MgO).

Le séchage permet de réduire l'humidité de la bentonite, ce qui est essentiel pour assurer la qualité du produit fini et sa conservation, évitant de dégradation rapide signalé par certains utilisateurs.

Figure IV.4. Séchage

IV.2.4 Broyage

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

A l'aide d'un alimentateur jouant le rôle de régulateur de l'alimentation, le produit séché est déversé dans un broyeur pendulaire.

Le broyeur est relié à sa base à un ventilateur principal qui crée une dépression laquelle pulvérise le produit fini.

Le produit fini est aspiré vers un silo qui dessert l'ensacheuse, les fines particules et les poussières crées à ce niveau (silo) sont récupérées par un filtre de dépoussiérage.

Figure IV.5. Broyage

IV.2.5 Ensachage

La bentonite pulvérisée alimente ensuite une ensacheuse équipée de deux valves opposées pour le remplissage des sacs de 40 kg et une valve pour le remplissage des big bag de 1250 kg.

Figure IV.6. Ensachage

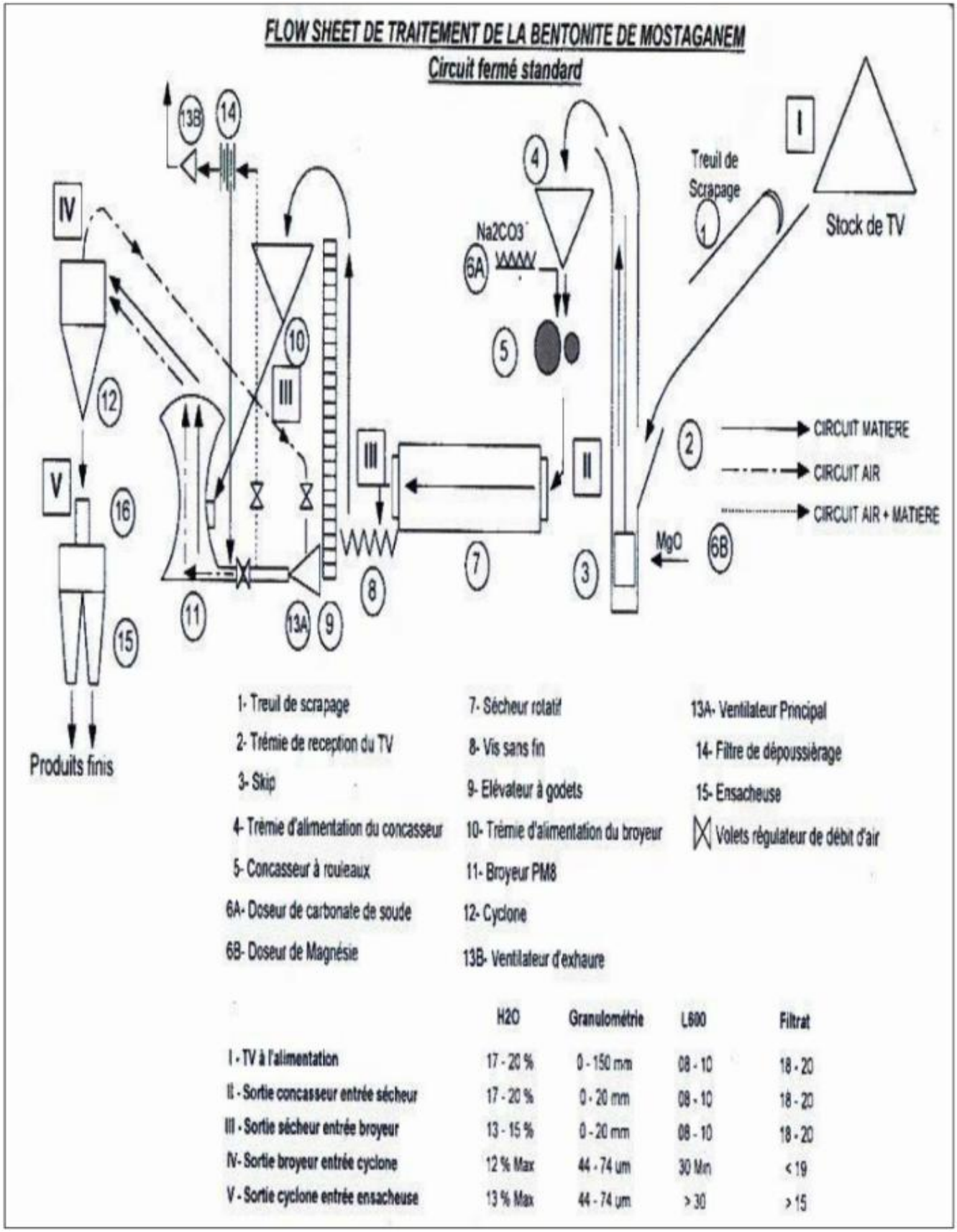


Figure IV.7. Flow sheet de traitement de la bentonite de Mostaganem [4-5]

IV.3 Conclusion

Le traitement de la bentonite constitue une étape essentielle pour valoriser ses propriétés physico-chimiques en fonction des exigences des différentes applications industrielles. Ce chapitre a permis de détailler les principales phases du processus, depuis l'extraction jusqu'au conditionnement, en passant par le concassage, le séchage, le broyage, et parfois l'activation. Chaque opération vise à améliorer les caractéristiques de la bentonite, notamment sa granulométrie, sa pureté et sa capacité de gonflement. La compréhension de ce déroulement met en évidence l'importance du contrôle qualité à chaque étape pour garantir un produit final performant et conforme aux normes techniques du marché.

Chapitre V : Les Étapes De Travail au Laboratoire

V.1 Introduction

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

V.2 Définition de la viscosité

La viscosité est une propriété physique d'un fluide qui caractérise sa résistance interne à l'écoulement ou à la déformation. Elle traduit la résistance au mouvement d'un fluide, liée aux frottements entre ses couches moléculaires, ce qui diminue sa liberté d'écoulement et dissipe son énergie.

Plus précisément, la viscosité définit la capacité d'un fluide à s'écouler plus ou moins rapidement, autrement dit son comportement d'écoulement, qu'il soit avec ou sans turbulence. Elle peut être vue comme une « épaisseur » ou une « résistance au glissement » entre les couches du fluide

V.3 Définition filtrat

Le filtrat est le liquide débarrassé de ses matières solides ou en suspension après passage à travers un filtre. Il est caractérisé par une absence ou une très faible présence de particules solides.

V.4 L'indice de gonflement

L'indice de gonflement traduit l'importance de la déformation de gonflement induit par un déchargement par rapport à un état de contraintes donné.

La déformation de gonflement est obtenue au bout d'un temps infini, déduction faite des déformations

instantanées dues aux variations de charge. Le phénomène du gonflement des argiles c'est un phénomène qui a été étudié mais qu'ils n'ont pas encore trouvé des résultats satisfaisants et qui ne convergent pas non Plus vers un résultat unique [5].

V.5 Définition d'humidité

L'humidité désigne la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance (comme le linge, le bois, ou un produit chimique). En météorologie, elle correspond à la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Elle est un indicateur clé pour comprendre les conditions atmosphériques et leurs effets sur l'environnement et les matériaux.

V.6 Taux de sables

Le terme "taux de sables" fait généralement référence à la proportion ou au pourcentage de sable dans un mélange ou à certaines caractéristiques granulométriques du sable. Plus précisément, dans le domaine des matériaux granulaires et du béton, on parle souvent du taux de fines ou du module de finesse pour caractériser la granulométrie du sable.

V.6.1 Terminologie

- API : American Petroleum Institue
- 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.
- BFD : bentonite de fonderie.
- B.C.I : Bentonite de charge industrielle.
- Res.75 m : résidu 75 m pour la mesure du taux de sable.
- IG : indice de gonflement.

V.6.1 L’étude expérimentale

V.6.1.a But

Préparation de produit fini à partir de tout venant de recherche et faire les analyses physiques pour déterminer l’orientation du produit fini

V.6.1.b Principe

A partir des résultats d’analyse ; mesure de viscosité, indice de gonflement, perte au filtrat, on peut savoir l’orientation par type de produit selon les normes notées sur le tableau,

V.6.1.c Matériels utilisés

- Concasseur
- Etuve
- Viscosimètre
- éprouvette graduée (50 et 100 et 500 ml)
- tamis 100 mèches (149µ) (75µ)
- broyeur
- agitateur
- Appareil de filtrage lié un générateur de pression réglé à 1 bar
- balance
- pilon
- mortier traditionnel

Figure V.1. Appareil de filtrage lié un générateur de pression réglé à 1 bar

Figure V.2.agitateur

Figure V.3.l'étuve

Figure V.4.Viscosimètre

Figure V.5.broyeur

Figure V.6.Concasseur

V.6.2 Produits utilisés

- Argile de recherche TV de forage (FB2)
- Na_2CO_3
- Héxaméthaphosphate de sodium
- l'eau distillée
- l'eau de robinet

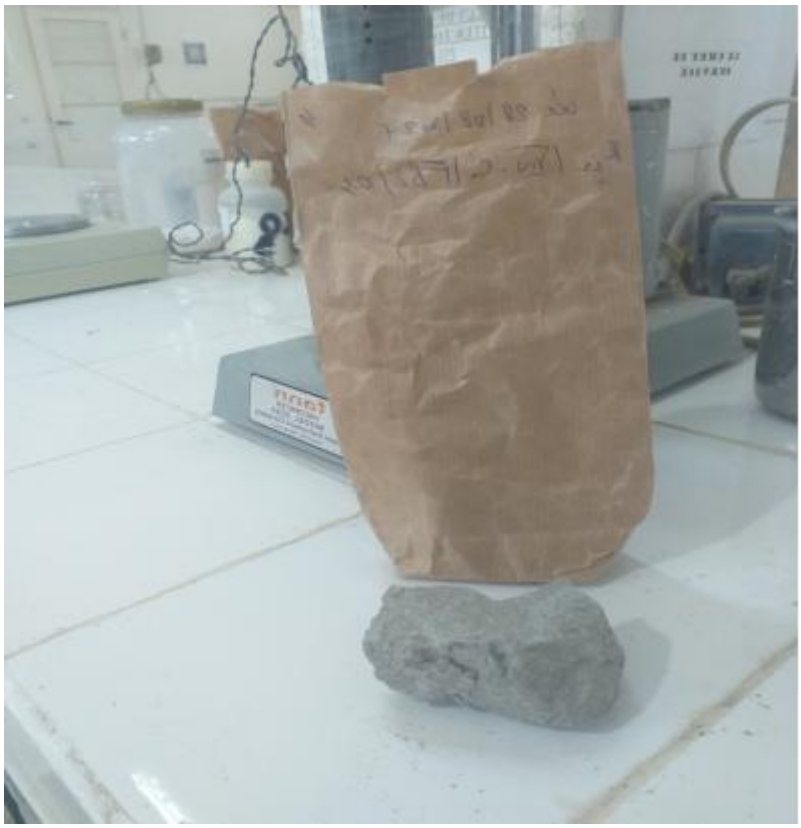


Figure V.7. Argile de recherche TV de forage (FB2)

Figure V.8. Produits

V.7 Les étapes de l'analyse en laboratoire

V.7.1 Mesure de l'humidité

V.7.1.a Mode opératoire

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

V.7.1.b Calcul

Humidité (% en poids) $=\frac{100}{\text{Poids échantillon de départ}}*(poids\ \ de\ l'échantillonde\ départ\ avant\ sechage - poids\ de\ l'echantillonapés\ séchage)$

V.7.2 Préparation du tout venant

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
- Activation à la carbonate : la quantité de carbonate à ajouter est égale à : 2.5/100 X (50 + taux d'humidité initiale)
- Quantité d'eau à ajouter : 0,8 X (28 – taux 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 mèches (149µ)

Le tamisât obtenu constitue un produit fini prêt aux différentes analyses

Figure V.9. Malaxage

Figue V.10. Boudinage

Figure V.11. Tamisage

V.7.3 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).

V.7.4 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)**

V.7.5 Mode opératoire

Préparer une suspension de 22,5 g +/- 0,1 g de bentonite dans 350 cm^3 +/- 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.

V.7.6 Calcul

- ✓ Viscosité plastique (VP) = L600 - L300
- ✓ Yield point = L300 – VP
- ✓ Ratio = Yield point / VP

V.7.7 Perte au Filtrat

V.7.7 .1 Mode opératoire

Verser la suspension précédente dans la cellule de filtre presse Avant la filtration, vérifier l'étanchéité des pièces et s'assurer qu'elles sont bien sèches. Ouvrir la vanne de pression à 100 PSI (07 bars) et placer une éprouvette sous l'orifice de la cellule.

Le temps filtration 30 mn. On lit le volume filtrat

V.7.7.2 Calcul :

Filtrat = Volume recueilli dans la deuxième éprouvette

V.7.7.3 Mesure de l'indice de gonflement

V.7.7.4 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) [9].

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.

V.7.7.5 Calcul

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

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

V = volume de dépôt

M = teneur en humidité

Figure V.12. Gonflement

V.7.7.6 Mesure du taux de sable (résidu 75µ)

V.7.7.7 Mode opératoire

- Prendre 10 g +/- 0,01 g de bentonite
- Mettre en suspension dans 350 cm^3 d'eau.
- Additionner de 0,2g d'héxaméthaphosphate de sodium.
- Agiter pendant 30mn +/- 1
- Transférer la suspension dans un tamis 75 µ
- Laver l'échantillon sur ce tamis avec de l'eau
- Transférer le résidu du tamis au plateau d'évaporation.
- Sécher à l'étuve jusqu'à poids constant.

V.7.7.8 Calcul

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

V.7.7.9 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) [6-8].

Tableau V.1 Plan de contrôle **[7]**

Produit		Paramètre requis										
		H2O	Visc L600	V.FIL	Rés.> 75 µ	Ratio	R100	CPV	CXV	IG	PH	Test nitrate
Tout venant	FB1	25 Max	20 Min	27 Max	25 Max	/	/	/	/	/	/	/
	FB2	25 Max	16 Min	25Max	15 Max	/	/	/	/	/	/	/
	FD	20 Max	/	/	/	/	/	350 Min	90 Min	10 Min	/	/
	BCI	18 Max	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Produit fini	FB1	13 Max	20 Min	26 Max	/	94 Min	/	/	/	/	/	/
	FB2	13 Max	30 Min	16 Max	06 Max	/	/	/	/	/	/	/
	FD	10 Max	/	/	/	/	400 Min	90 Min	11Min	/	/	/
	BCI	07 Max	/	15 Max	/	95 Min	/	/	/	/	/	/
Réactif	Na2CO3	01 Max	/	/	/	/	/	/	/	/	10 Min	/
	MgO	01 Max	/	/	/	/	/	/	/	/	10 Min	/
	Eau distillée	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	Claire

V.8 Conclusion

L'étude en laboratoire de la bentonite suit une série d'étapes méthodiques permettant de caractériser ses propriétés physiques, chimiques et minéralogiques. Ce chapitre a mis en évidence l'importance de chaque analyse — telle que la détermination de l'humidité, du pH, de la capacité d'absorption, de l'indice de gonflement ou encore la diffraction des rayons X — pour évaluer la qualité du matériau et son aptitude à différents usages industriels. Ces tests permettent non seulement de confirmer la nature de la bentonite, mais aussi d'orienter son

traitement et sa valorisation. Ainsi, le travail en laboratoire constitue une base essentielle pour assurer la conformité du produit aux normes techniques et aux exigences des clients.

Conclusion générale

Conclusion Générale

L'étude physico-chimique menée sur les échantillons de bentonite du gisement de M'zila (wilaya de Mostaganem) a permis de mettre en évidence des caractéristiques minéralogiques et chimiques prometteuses. Les analyses minéralogiques ont révélé une dominance de la montmorillonite, principal minéral de la bentonite, accompagnée de minéraux accessoires tels que le quartz, la calcite et la kaolinite.

Les résultats des analyses chimiques ont montré une teneur élevée en silice (SiO_2) et en alumine (Al_2O_3), confirmant la nature alumino-silicatée du matériau. Le rapport Mg^{2+}/Ca^{2+} ainsi que les capacités d'échange cationique (CEC) indiquent une bentonite de type sodique à potentiel de valorisation industriel. Les propriétés physico-chimiques telles que l'indice de gonflement, la capacité d'absorption d'eau et la plasticité confirment la bonne qualité du matériau pour diverses applications (forage pétrolier, décoloration d'huiles, liants dans l'industrie métallurgique, etc.).

Ainsi, le gisement de M'zila présente des caractéristiques techniques intéressantes qui méritent une valorisation à grande échelle. Des études complémentaires, notamment sur le traitement d'activation (thermique ou chimique), peuvent renforcer son potentiel industriel et économique à l'échelle nationale.

Références

[1] Plan de développement et d'exploitation du gisement d'Argiles Bentonitiques de M'ZILA (W. Mostaganem). Mostaganem : s.n., 2018.
[2]. KHEMAKHEM, Sabeur. Elabboration de membranes de mecrofiltration et d'ultrafiltration en ceramique a base d'argile tunisienne. 2005.
[3] RAHAL , Nawel. Valorisation de la bentonite de mostaganem dans les techniques d'imperméabilisation :étude du comportement hydraulique et caractérisation physique. Medea : s.n., 2019.
[4] DERRIDJ , Mohamed Amine. Amelioration de la qualite de la bentonite de mostagnem par traitement thermique. ALGER : s.n., 2008.
[5]. SAFI, SALIHA. Etude du Comportement de la bentonite et caracterisation physico-chimique par FTIR au niveau lz sosiété BANTAL- unité de mostaganem. Mostaganem : s.n., 2014.
[6] BOUGDAH N. , 2007. ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, Université 20 Août 55, Skikda .P 38.
[7] BOUGDAH N. , 2007. ETUDE DE L'ADSORPTION DE MICROPOLLUANTS ORGANIQUES SUR LA BENTONITE mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme magister, Université 20 Août 55, Skikda .P 40.
[8] Mansri A., 2011. VANADIUM SUPPORTE SUR MONTMORILLONITE INTER CALEE AU TITANE V/TI -PILC: PREPARATION, CARACTERISATION ET REACTIVITE EN EPOXYDATION DU CYCLOHEXENE mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master, Université abou bakr belkaid - tlemcen . P 16- P 17.
[9] Frédéric B., 2001.PRISE EN COMPTE DU GONFLEMENT DES TERRAINS POUR LE DIMENSIONNEMENT DES REVÊTEMENTS DES TUNNELS mémoire de fin d'étude pour obtenir le grade de docteur de l'école nationale des ponts et chausses . p14.
[10] Hade A., 2002. Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs www.mddep.gouv.qc.ca/eau/flrivlac/lacs.htm .Landry et al., 1992. Notions de géologie,