

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Ahmed Draia Adrar Faculté
Des Sciences et de Technologie
Département Des Sciences et Technologie



Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master En Génie Civil
Option : Géo-matériaux et Structures

Présenté Par :

Mellouki Zohra

Souddi Fatima

THEME

Amélioration et stabilisation des propriétés physico-chimiques et mécaniques des argiles de la région d'Adrar dans des applications dans les centres de stockage des déchets (CSD)

Soutenu Le 25/05/2017 Devant Le Jury Composé De :

Dr AKACEM Mustapha	Président
Mr MOULAY OMAR Hassan	Examineur
Mme BELAIDI Khedidja	Encadreur
Pr MEKERTA Belkacem	Co-Encadreur

Année Universitaire 2016-2017

Remerciements

D'abord nous remercions Dieu de bien fait

Au terme de cette étude en achevant notre mémoire.

Nous adressons nos profondes gratitude à nos encadreurs

«Pr MEKERTA Belkacem & Madame BELAIDI Khadidja »

Qui nous aidés pour faire ce modeste travaile .

Et aussi nos remerciements s'adressent en particulier à

*Mrs :Abbou Mohammed & Bouafia Bafdil pour leurs aide
dans notre mémoire.*

Nous remercions pareillement

Mrs :Moulay Omar Hassan & Houtiya Abdrahim

*Nous n'oublions pas tous les enseignants de département de
génie civil*

A tous ceux qui nous a aidé et encouragé de près ou de loin

A tous nos amis d'étude de promon 2016-2017

Zohra et fatima



Dédicace

A ma mère

A mon père

A ma belle Famille

A tous mes amis (es)

Zohra & Fatima

Sommaire

Sommaire

<i>I. Introduction Générale</i>	1
---------------------------------------	---

Chapitre I:

Notions sur les Centres de Stockage des Déchets

I.1. Introduction.....	2
I.2. Classification des déchets :.....	2
I.3. Définition et classification des centres de stockage de déchets.....	3
I.4. Les centres de stockage de déchets : réglementation et mise en œuvre.....	4
I.4.1. La réglementation Algérienne.....	4
I.4.2. Barrière de fond.....	5
I.4.3. Le lixiviat.....	6
I.4.4. Les géomembranes.....	7
I.4.5. Le biogaz.....	8
I.5. Conclusion.....	9

Chapitre II :

Les gisements d'argile d'Adrar

II.1. Introduction.....	10
II.2. Les sols argileux	10
II.2.1. Définitions et classifications	10
II.2.2. Principales familles des minéraux argileux :	11
II.2.2.1. Famille de la kaolinite:.....	11
II.2.2.2. Famille de la montmorillonite :.....	12
II.2.2.3. Famille de l'illite :.....	13

II.3. Propriétés des argiles :	15
II.4. Utilisation des Argiles dans la région d'Adrar.....	15
II.5. : Localisation des matériaux argileux d'étude par rapport à la wilaya d'Adrar.....	16
II.5.1. Localisation des gisements d'argile d'Adrar	16
II.5.2. Localisation des gisements d'argile de Timimoune.....	16
II.5.3. Localisation du gisement d'argile de Bouda.....	17
II.6. CONCLUSION :	18

Chapitre III :

Etude des caractéristiques physico-chimiques des trois Argiles

III.1.Introduction :	19
III.2.Les essais d'identification :	19
III.2.1.Le poids volumique des grains solides, Norme (NF P94-054) :.....	19
III.2.1.1. Expression des résultats :.....	20
III.2.2.Limites d'Atterberg ou limites de consistance (NF P 94.51):.....	21
III.2.2.1. Appareil de Casagrande :.....	22
III.2.2.2. Limite de liquidité	23
II.2.2.3.La limite de plasticité WP (NF P 94-051) :.....	25
III.2.3.La limite de retrait W_R (NF P 94-051) :.....	27
III.2.4. Analyse granulométrique (Norme NF P94-056) :.....	29
III.2.4.1.Présentation des résultats :	28
III.2.5.Activités des argiles :	30
III.2.6.Essai au bleu de méthylène à la tache (NF P 94-068) :	31
III.2.7.Etude du phénomène de gonflement de nos argiles :	34
III.3. Conclusion :	37

Chapitre IV :

Etude des caractéristiques mécaniques des trois argiles

IV.1 Introduction :.....	38
IV.2 Les essais mécaniques :.....	38
IV.2.1 Caractérisation de compactage, Norme (NF P 94-093)	38
IV.2.2 Mode opératoire de l'essai :.....	39
IV.2.3 Les paramètres de l'essai proctor :.....	43
IV.2.4 Amélioration, stabilisation et renforcement des sols :.....	43
IV.3. Essai de gonflement à l'odomètre NF P 94-91 :.....	43
IV.3.1 Définition:.....	43
IV.3.2 Préparation.....	43
IV.3.3 But de l'essai :.....	44
IV.3.4 Essai de compressibilité oedométrique. [10].....	44
IV.3.4.1 Le coefficient de gonflement C_g (tableau IV.5) :.....	45
IV.3.4.2 L'indice de compression C_c (tableau IV.5) :.....	45
IV.4 Conclusion :.....	49

Chapitre V :

Recommandation sur l'utilisation des argiles

V.1 Introduction.....	50
V.2 Définitions de la chaux	50
V.3 Différents types de la chaux	50
V.4 But de la stabilisation	51

V.5 Action de la chaux sur les argiles	51
V.6 Les essais étudiés	53
V.6.1 Essai de compactage (Essai Proctor Modifié) ; (NF P 94-093)	53
V.6.1.1 Techniques des mélanges	53
V.6.1.2 Mode opératoire d'essai Proctor modifié des trois Argiles +chaux	53
V.6.2 Essai au bleu de méthylène à la tache (NF P 94-068)	55
V.6.2.1 Calculs et résultats	55
V.6.3 Limites d'Atterberg	57
V.7 Conclusion	61
<i>Conclusion Générale</i>	62

Notations

Notations

Abréviations et symboles utilisés

AL⁺³ : Ion d'aluminium

AL₂O₃ : Oxyde d'aluminium

H₂O : Eau

H_r : Hauteur (m)

W_L : limite de liquidité

W_P : limite de plasticité

W_R : limite de retrait

I_p : Indice de plasticité

Mg⁺² : Ion de magnésium

Si⁺⁴ : Oxyde de silicium

S_{st} : Surface spécifique totale (m²/g)

T : Temps (s)

T-O : Tétraédrique-octaédrique

T-O-T : Tétraédrique-octaédrique- Tétraédrique

T-O-T-O : Tétraédrique-octaédrique- Tétraédrique- octaédrique

Fe⁺² : Ion de fer

OH : Hydroxides

Δh : Variation de l'enthalpie (cal/mol) ;

γ_s : Poids spécifique des particules solides

W_s : poids du sol sec

V_s : Volume des particules solides

W₁(g) : poids du pycnomètre vide

W₂(g) : poids du pycnomètre + l'eau distillée

Notations

W₃(g) : poids du pycnomètre + l'argile

W₄(g) : poids du pycnomètre + l'argile + l'eau distillée

σ_w : poids volumique de l'eau à 20°C

W : teneur en eau

VB : Valeur au bleu

W_{opt} : la teneur en eau optimale

γ_{dopt} : le poids sec optimale

γ_d : le poids sec

AA : Argile Adrar

AB : Argile Bouda

AT : Argile Timimoun

σ : contrent

E : Indice de vide

K⁺ : Ion de potassium

C_v : coefficient de consolidation

E' : module oedométrique

C_g : Le coefficient de gonflement

C_c : L'indice de compressibilité

K : coefficient de perméabilité

CSD : centre setockagdechet

Liste des figures

Liste des Figures :

CHAPITRE : I

Figure I-1. Principe du confinement des déchets .[1]	3
Figure I-2. Coupe schématique de la double barrière de sécurité préconisée pour le stockage des déchets industriels spéciaux .[1]	4
Figure I-3. Coupe schématique de la double barrière de sécurité préconisée pour le stockage des déchets ménagers et assimilés.[1]	5
Figure I-4 : Photographie des bassins de lixiviat	6
Figure I-5 : Photographie montrant la forme des géomembranes	7
Figure I-6 : Photo de l'installation du biogaz.....	8

CHAPITRE II:

Figure II.1 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite [3].....	12
Figure II-2 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite [3].....	13
Figure II-3 : Vue isométrique de la structure atomique de l'illite .[3]	13
Figure II.4 : Photographie d'utilisation de l'argile dans la région d'Adrar.....	15
Figure II.5: Localisation du site d'Adrar (Adrar nord).....	16
Figure II.6: Localisation de l'argile du site Timimoun.....	17
Figure II.7: Localisation du site d'argile de Bouda	17

Chapitre III

Figure III.1 : Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Adrar.....	24
Figure III.2: Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Timimoun.....	24
Figure III.3 : Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Bouda.....	24
Figure III.4 : Différents états de consistance d'un sol fin en fonction de la teneur en eau. [5].....	26
Figure III.5: Abaque de plasticité de Casagrande selon la classification L.C.P.C des sols fins (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées).....	27
Figure III.6 : Courbe granulométrique des trois argiles.....	30
Figure III.7 : Schéma synoptique du processus opératoire de l'essai du bleu à la tâche.....	33

Chapitre IV

Figure IV.1 : appareillage de l'essai proctor.....	39
Figure IV.2 : courbe proctor modifié Adrar.....	41
Figure IV.3 : courbe proctor modifié Timimoun.....	41
Figure IV.4: courbe proctor modifié Bouda.....	42
Figure IV.5 : courbe proctor modifié des trois argiles.....	42
Figure IV.6 : courbe œdométrique argile Adrar.....	46
Figure IV.7 : courbe œdométrique argile Timimoun.....	46
Figure IV.8 : courbe module œdométrique argile Adrar.....	46
Figure IV.9 : courbe module œdométrique argile Timimoun.....	47
Figure IV. 10: courbe de consolidation argile Timimoun.....	48

Chapitre V

Figure (V.1) : Organigramme de l'étude du traitement des argiles avec la chaux.....	52
Figure(V.2) :courbes de Proctor modifié argile+2% chaux pour les trois argiles.....	54
Figure(V.3) :courbes de Proctor modifié argile+4% chaux pour les trois argiles.....	54
Figure (V.4) :courbes de Proctor modifié argile+6% chaux pour les trois argiles.....	54
Figure (V.5) : L'influence du pourcentage de chaux sur le poids volumique sec optimale....	54
Figure (V.6) : Influence de % de chaux sur la limite de liquidité	58
Figure (V.7) : Influence de % de chaux sur la limite de plasticité	59
Figure (V.8) : Influence de % de chaux sur l'indice de plasticité	59
Figure (V.9) : Abaque de plasticité de Casagrande selon la classification L.C.P.C des sols fins	60

Liste des photos

Liste des photos

Chapitre III

Photos III.1 : Le mode opératoire pour calculer le poids spécifique des grains solides.....	20
Photo III.3: Appareil de casagrande.....	22
Photo III.3: Le mode opératoire de l'essai de limite de liquidité.....	23
PhotoIII.4 : Mode opératoire de la limite de plasticité.....	25
Photo III.5: Vues de l'état semi-solide à solide.....	28
Photo III.6: Photos présentant le mode opératoire de l'essai de sédimentométrie.....	29
PhotoIII.7: Photos présentant le mode opératoire de l'essai de bleu de méthylène.....	32

chapitre IV

Photo IV.1 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai proctor.....	40
Photo IV.2 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai odomètre.....	45

Chapitre V

photo V.1: photo de chaux utilisé.....	50
Photo V.2: Photos présentant le mode opératoire de l'essai de proctor des mélanges.....	53
Photo V.3 : Photos présentant les résultats de l'essai de bleu de méthylène pour dosage 2%,4% et6% de chaux avec AA et AT et AB.....	56

Liste des tableau

Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristiques physico-chimiques des minéraux argileux courants..... 14

Chapitre III

Tableau III.1: Résultat des valeurs des poids volumiques sec 20

Tableau III.2: Poids volumiques secs de quelques minéraux. 21

Tableau III.3: Résultats de la limite de liquidité W_L des trois Argiles..... 23

Tableau III.4: Résultats de l'essai de la limite de plasticité W_p 25

Tableau III.5: Degré de plasticité des sols. 26

Tableau III.6:Tableau récapitulatif des résultats des limites d'atterberg pour les trois argile..... 28

Tableau III.7: Activité des différents minéraux 31

Tableau III.8 : Résultats de l'essai de bleu de méthylène 33

Tableau III.9 : Classification des sols suivant la valeur au bleu de méthylène 34

Tableau III.10:Estimation du potentiel de gonflement, SNETHEN et al.1977 in [5]..... 34

Tableau III.11 : Estimation du potentiel de gonflement.O'NELL et POORMOAYED 1980 in[5]..... 35

Tableau III.12 :Estimation du potentiel de gonflement selon HOLTZ et al 1973 in [5]..... 35

Tableau III.13: potentiel de gonflement.[5]..... 35

Tableau III.14: Synthèse des paramètres d' argile Adrar 36

Tableau III.15: Synthèse des paramètres d' argile Bouda..... 36

Tableau III.16: Synthèse des paramètres d'argile Timimoun 36

Liste de tableau

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Les résultats de l'essai proctor modifié Adrar.....	40
Tableau IV.2 : Les résultats de l'essai proctor modifié Timimoun.....	41
Tableau IV.3 : Les résultats de l'essai proctor rmodifié Bouda.....	42
Tableau IV.4 : Les paramètres de l'optimum Proctor.....	44
Tableau IV.5 : Les résultats de l'essai œdométrique des deux argiles.....	47
Tableau IV.6 : compressibilité des sols.	48
Tableau IV.7 : classement des valeurs de C_v en fonction de la nature des sols.	48

Chapitre V

Tableau V.1 :Résultats de l'essai proctor modifié.....	53
Tableau V.2 : Tableau récapitulatif des résultats de l'essai de bleu de méthylène.....	56
Tableau V.3 : Résultats de l'essai de bleu méthylène	57
Tableau V.4 : Résultats de limited'Atterberg d'argile Adrar+chaux.....	57
Tableau V.5 : Résultats de la limite d'argile Timimoun+chaux	57
Tableau V.6 : Résultats de llimite d'Atterberg d' argile Bouda+chaux	58

Résumé

Les travaux de recherche ont pour but d'étudier expérimentalement les argiles compactées saturées utilisées dans la construction de la barrière passive du fond du centre de stockage des déchets (CSD). Il s'agit dans ce cas de trois argiles provenant de trois régions différentes à la wilaya d'Adrar (Adrar, Timimoune et Bouda) qui sont près des CSD.

Le présent travail fixe son objectif principal dans la connaissance des différentes améliorations des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques des argiles par ajout de la chaux à différents pourcentages 2, 4 et 6 %.

De ces matériaux particuliers, les études géotechniques pour stabiliser et modifier les caractéristiques des argiles permettront de trouver le coefficient de perméabilité K qui est un paramètre fondamental au niveau du choix des CSD dans l'enfouissement des différents déchets (ménagères, inertes ou dangereux).

Les résultats obtenus sur les argiles prélevées ont permis de constater que la stabilisation par l'ajout de chaux est suffisante.

Mots clés : centre de stockage des déchets, barrière passive, argile, stabilisation, chaux, perméabilité.

Abstract

The aim of this research is to experimentally study the saturated compacted clays used in the construction of the passive barrier at the bottom of the waste repository (CSD). In this case, we used three clays that come from three different regions in the wilaya of Adrar (Adrar, Timimoune and Bouda) which are close to CSD. The present work sets its main objective in the knowledge of the various improvements in the physical, chemical and mechanical characteristics of clays by adding lime with different percentages 2, 4 and 6%.

From these particular materials, geotechnical studies to stabilize and modify the characteristics of the clays help to find the permeability coefficient K which is a fundamental parameter in the choice of CSD when burying various wastes (inert or hazardous).

The obtained results on the taken clays showed that the stabilization when lime is added.

Key words: waste repository, passive barrier, clay, stabilization, lime, permeability.

ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تجريبية التربة الطينية المضغوط والمشبعة المستخدمة في بناء الطبقة السفلية الموجودة في جوف مركز تخزين النفايات التي هي بالقرب من هذا المركز. وفي هذه الحالة درسنا ثلاثة أنواع من الطين من ثلاث مناطق مختلفة في ولاية أدرار (أدرار و تيميمون و بودة). قمنا بهذا العمل من أجل معرفة التحسينات المختلفة في الخواص الميكانيكية، الفيزيائية والكيميائية وذلك بإضافة الجير بنسب مختلفة 2 و 4 و 6%. من هذه المواد والدراسات الجيوتقنية لتحقيق الثبات وتعديل خصائص الطين تسمح لنا بمعرفة معامل النفاذية K والتي من خلالها يمكننا اختيار مركز ردم النفايات المختلفة (المنزلية، خاملة أو خطيرة). وقد أظهرت النتائج المحصل عليها على أن الطين تثبت بإضافة الجير بقيم كافية.

الكلمات المفتاح: مركز تخزين النفايات، حاجز السليبي، الطين، تحقيق الثبات، والجير، والنفاذية

Introduction générale

Introduction générale

La croissance de la population dans les zones urbaines et rurales, dans les régions sud d'Algérie, entraîne une production de plus en plus importante des déchets ménagers et industriels. Une des conséquences de ces déchets est leur impact sur la qualité des sols et, par conséquent, sur la qualité des eaux souterraines ; en cas de contamination par les jus de lixiviats des décharges qui peuvent s'y infiltrer.

Dans le domaine de la gestion des déchets, beaucoup de pays ont développé différents types d'approches pour offrir un ensemble de solutions adaptables à leurs capacités d'investissement et à leur gestion.

Le mémoire est présenté en cinq chapitres, dont le premier et le deuxième sont consacrés à une recherche bibliographique sur les notions des centres de stockage des déchets (CSD) et sur les gisements d'argile au niveau de la région d'Adrar.

* Le troisième chapitre traite l'identification des matériaux utilisés pour obtenir les caractéristiques physiques et chimiques des argiles, et pour classer ces matériaux.

* Le quatrième chapitre traite l'identification des matériaux utilisés pour obtenir les caractéristiques mécaniques.

* Le cinquième chapitre tient compte des recommandations sur l'utilisation des argiles dans les CSD par leurs améliorations avec l'ajout de chaux.

En dernier, on présente une conclusion générale sur les principales questions de cette étude et les perspectives.

CHAPITRE : I

Notions sur les Centres de Stockage des Déchets

I.1. Introduction

Le progrès économique et social et les multiples avantages que nous connaissons, a amené son de problèmes où un exemple est celui de l'augmentation continue de la quantité de déchets ménagers et ainsi que les déchets industriels toxiques. L'amélioration de nos conditions de vie s'accompagne d'un sérieux danger qui est la santé publique, les écosystèmes, le cadre de vie et l'économie.

En Algérie, la situation s'est aggravée à la fois par la concentration de la population sur les zones côtières, où se trouvent les centres urbains et les zones industrielles, et par les insuffisances des infrastructures existantes qui n'ont pas pris en considération la gestion environnementale des déchets. D'autres facteurs parmi d'autres est celui de la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines qui a pour cause les décharges sauvages des déchets urbains, entraînant des atteintes graves à la santé publique.

I.2. Classification des déchets:

Sur le plan réglementaire, les déchets sont classés en fonction de leurs origines et de leurs toxicités. Le type et la structure de stockage dépendent de la nature et des caractéristiques des déchets. Les textes réglementaires actuels différencient trois grands types de déchets :

- **Déchets inertes** : ce sont des déchets qui ne subissent en cas de stockage aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ces déchets ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. Leur potentiel polluant, leur teneur élémentaire en polluants ainsi que leur écotoxicité sont insignifiants. [7]
- **Déchets ménagers et assimilés** : comprennent notamment les déchets industriels banals qui sont les déchets provenant de l'industrie, du commerce, de l'artisanat, des services, des administrations et des activités de toutes natures, dès lors qu'ils ne sont ni inertes ni dangereux.
- **Déchets dangereux** : sont constitués des déchets dangereux des ménages, des déchets de soins et assimilés à risque et des déchets industriels spéciaux (déchets organiques ou minéraux comme les hydrocarbures, les goudrons, solvants, acides de décapage, cendres volantes, etc.). Ces déchets spéciaux doivent faire l'objet d'élimination. Ils peuvent être placés dans des centres de stockage spécifiques, dont les conditions d'implantation doivent garantir une haute protection de l'environnement.

I.3. Définition et classification des centres de stockage de déchets

Le stockage des déchets a pour but de concentrer dans un volume réduit un ensemble varié de matériaux. Dès la phase de dépôt, les déchets sont soumis à des de dégradation liés à des réactions bio-physico-chimique processus complexes. Une partie des produits de la dégradation se retrouve en phase gazeuse, le biogaz, l'autre est transportée par les eaux de pluie qui s'infiltrent dans les déchets, le lixiviat.

Plusieurs classes de centres de stockage de déchets sont définies en fonction des déchets stockés :

- **Classe 1** pour les déchets industriels spéciaux ou dangereux, destinés aux déchets non biodégradables.
- **Classe 2** pour les déchets non dangereux ménagers et assimilés comme les déchets industriels banals.
- **Classe 3** pour les déchets inertes.

La Figure I.1 montre le principe du confinement des déchets.

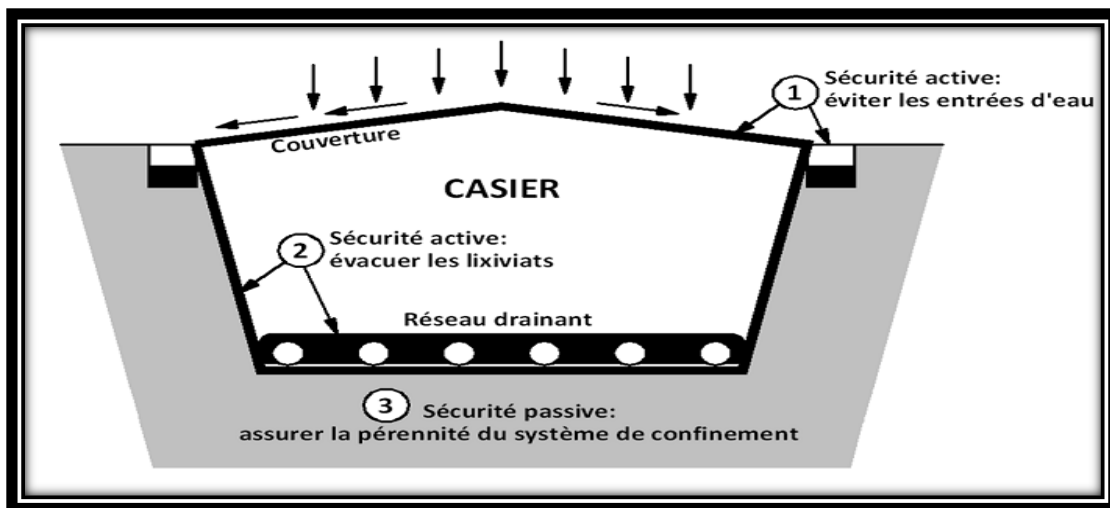


Figure I-1.Principe du confinement des déchets.[1]

La fonction principale d'étanchéité des centres de stockage des déchets est caractérisée par la perméabilité du matériau constituant la barrière de sécurité passive.

I.4. Les centres de stockage de déchets : réglementation et mise en œuvre

I.4.1. La réglementation Algérienne

L'avant projet d'arrêté ministériel algérien, fixant les règles d'aménagement et d'exploitation applicables aux centres d'enfouissement techniques, de mise en décharge et de stockage des déchets, relatif au stockage de certains déchets industriels spéciaux, indique que la barrière de sécurité passive doit être constituée par une formation géologique naturelle en place ou rapportée, ayant une épaisseur minimale de 5 m et dont le coefficient de perméabilité est inférieur ou au plus égal à 1.10^{-9} m/ssur le fond et les flancs de chaque alvéole.

Une coupe type conforme à la réglementation des barrières de sécurité d'un stockage de déchets industriels spéciaux est présentée sur la Figure I-2[1]

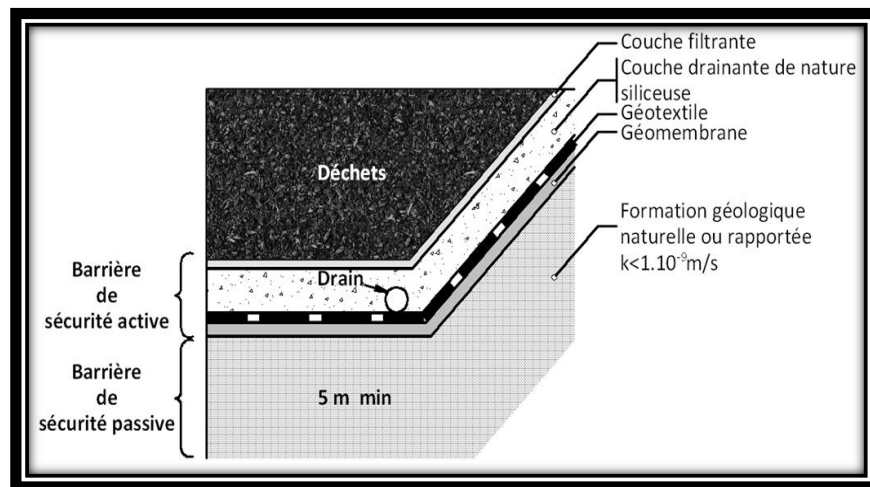


Figure I-2. Coupe schématique de la double barrière de sécurité préconisée pour le stockage des déchets industriels spéciaux.[1]

Dans le cas des déchets ménagers et assimilés, le Guide pour la conception du Centre d'Enfouissement Technique des déchets ménagers, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) 2005, indique que la barrière de sécurité passive doit présenter un coefficient de perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/ssur au moins 1 m. La Figure I-3 donne une coupe schématique des barrières de sécurité dans le cas d'un stockage des déchets ménagers et assimilés.

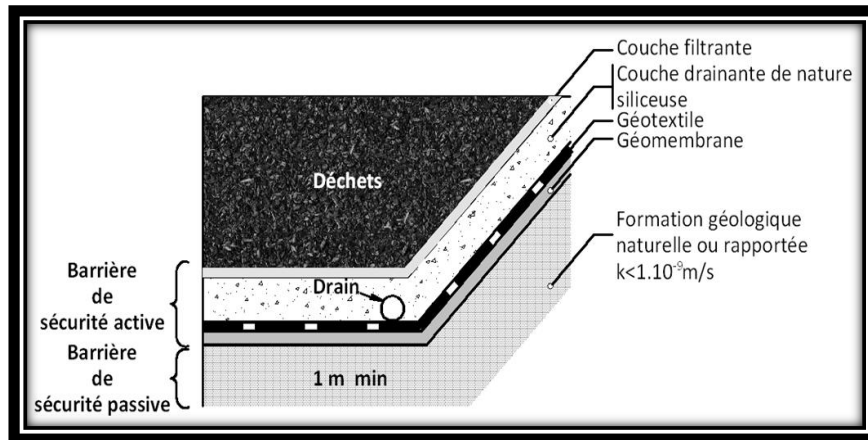


Figure I-3. Coupe schématique de la double barrière de sécurité préconisée pour le stockage des déchets ménagers et assimilés.[1]

La couverture d'un site de stockage de déchets est sans doute la structure qui a le plus de conséquences sur le devenir à moyen et long terme du site, sur son impact et sur l'environnement. Les fonctions que doivent remplir les éléments constitutifs d'une couverture sont multiples : drainage des effluents liquides et gazeux, filtration, protection contre l'intrusion, support du couvert végétal, etc.

I.4.2. Barrière de fond

Le confinement des déchets est réalisé au niveau du fond et des flancs d'une part et au niveau du toit des casiers de stockage d'autre part. En ce qui concerne le confinement en fond et sur les flancs des casiers de stockage, deux niveaux de sécurité sont mis en place :

- **La sécurité active** : elle assure l'indépendance hydraulique du casier, le drainage et la collecte des lixiviats et évite la sollicitation de la barrière passive. Elle est constituée d'un complexe associant des géosynthétiques (géomembrane, géotextile) et des matériaux naturels (couche drainante).
- **La sécurité passive** : elle doit permettre d'assurer à long terme la prévention de la pollution des sols, des eaux souterraines et de surface par les déchets et les lixiviats.

En fond de casier, elle est composée du milieu géologique naturellement en place ou reconstituée artificiellement par un matériau rapporté et/ ou traité.

I.4.3. Le lixiviat

Le lixiviat est défini comme étant l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement des substances minérales et organiques.

La formation du lixiviat est donc la conséquence de l'infiltration dans la masse de déchets d'eaux de pluie, d'eaux de ruissellement, d'eaux souterraines (dans le cas où les déchets sont enfouis sous la nappe phréatique), mais elle est aussi due, en plus faible partie, à la présence d'humidité dans les déchets au moment de leurs enfouissements (El-Fadel et al, 1997)[1].

Cet effluent complexe est caractéristique de la décharge dont il est issu. Les principaux paramètres influençant la composition du lixiviat sont la composition des déchets enfouis, leur degré de décomposition, leur taux d'humidité, leur température, le taux d'infiltration de l'eau dans les déchets, les conditions climatiques et l'âge de la décharge (Leclerc et al, 1982)[1]. On distingue quatre groupes de polluants qui caractérisent le lixiviat (Christensen et al, 1994 ; Matejka, 1995)[1], on montre sur la figure I.4 un exemple de bassins de lixiviats.

- La matière organique dissoute.
- Les composés organiques anthropiques (hydrocarbures aromatiques, phénols, composés aliphatiques chlorés...) ; concentration inférieure à 1 mg/L.
- Les composés minéraux majeurs : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} ... etc.
- Les métaux lourds (Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb...) ; à l'état de traces.[1]



Figure I-4 . Photographie des bassins de lixiviat

- Dans le cas la région d'Adrar, le lixiviat est presque introuvable, car on est en présence d'une zone saharienne qui se caractérise par un climat chaud et sec, avec une pluviométrie presque inexistante. Pour cela, nous remarquons que la présence de lixiviat

dans les bassins de stockage des déchets est presque négligeable dans les régions désertiques.

I.4.4. Les géomembranes

Les géomembranes qui appartiennent à la famille des géosynthétiques, sont définies par l'AFNOR (Association Française de Normalisation) comme « des produits adaptés au génie civil, minces, souples, continus, étanches aux liquides, même sous les sollicitations en service » (Rollin et al, 2002a), voir Figure I.5.

Les géosynthétiques sont définis quand à eux par l'International Geosynthetics Society comme « plans, à base de polymères naturels ou synthétiques, utilisés au contact de sol/roche ou tout autre matériau géotechnique dans des applications de génie civil ».

Les géomembranes sont manufacturées sous forme de nappes d'au moins 1 mm d'épaisseur et de largeur variable. Généralement produites et conditionnées sous forme de rouleaux, elles sont acheminées sur le chantier où elles doivent être assemblées pour assurer la continuité de l'étanchéité. Les produits d'épaisseur inférieures au millimètre n'entrent pas dans la catégorie des géomembranes et sont appelés géofilms.



Figure I-5 .Photographie montrant la forme des géomembranes

Les propriétés d'étanchéité des géomembranes peuvent être employées dans de très nombreux ouvrages et leurs fonctions est particulièrement importante au sein des ouvrages hydrauliques.

I.4.5. Le biogaz

La maîtrise des flux de biogaz passe par la mise en place d'un réseau de collecte et des installations de combustion avec ou non récupération de l'énergie. Elle permet de protéger l'environnement avec une réduction des émissions de substances olfactives et/ou toxiques et a limitation de l'effet de serre lié à la présence du méthane et du dioxyde de carbone.

Elle a également pour but d'assurer la sécurité du site car le méthane, moins dense que l'air, circule sous terre en suivant les fissures et remonte à la surface ou bien s'accumule dans des cavités et sa présence crée alors des risques d'incendie et d'explosions.

D'autres produits minoritaires sont également présents tels que le sulfure d'hydrogène, les mercaptans et des composés organiques volatils (Chiriac, 2004). La production de biogaz liée à la phase de stabilisation des déchets, en système anaérobie, dépend de plusieurs paramètres dont la nature du déchet, la teneur en humidité, la température, le pH, la disponibilité des nutriments et la présence d'inhibiteurs (El-Fadel, 2000). Le biogaz représente une source d'énergie et de chaleur, mais il a un impact non négligeable sur l'environnement (voir Figure I.6).



Figure I-6 .Photo de l'installation du biogaz

I.5. Conclusion

La question de la gestion des déchets reste très délicate dans nos jours, en ce qui concerne les déchets ménagers et toxiques.

En Algérie, la mise en décharge ou en C.E.T (Centre d'Enfouissement Technique) semble être la plus juste vue la haute biodégradabilité des déchets.

Toute solution n'est pas définitive, le C.E.T est un écosystème qui est en constante évolution tout au long de la dégradation des déchets solides et produisant en parallèle d'autres éléments dits « dérivés » sous forme gazeuse, ou liquide (lixiviats de décharges). Ces dérivés ont des impacts très nuisibles pour l'homme ainsi que pour l'écosystème environnement.

CHAPITRE II :

Les gisements d'argile d'Adrar

II.1. Introduction

Les sols argileux sont d'origine géologique très récente puisqu'ils ont été formés depuis les dernières phases du pléistocène, soit depuis 20.000 ans. On en trouve sur tous les continents et dans la plupart des régions du monde.

Les particules constituant les sols argileux ont été produites par abrasion d'une roche mère, pour les minéraux argileux, des effets supplémentaires d'altération géochimique variables selon la nature de la roche mère, les conditions climatiques, de transport et de dépôt.

Ces particules se sont par la suite déposées dans des mers, des lacs, des deltas et leurs caractéristiques physiques et mécaniques actuelles dépendent de nombreux facteurs dont le milieu de déposition, la vitesse de sédimentation, les éventuels phénomènes d'altération, de cimentation et d'érosion ainsi que l'interaction de tous ces processus géologiques. Il faut donc s'attendre à trouver des sols argileux de nature et de propriétés extrêmement variables selon la localisation géographique et l'histoire géologique.

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu géologique sur l'origine et le mode de formation des sols argileux ainsi qu'une description de certaines propriétés physico-chimiques de différents minéraux argileux. L'objectif de ce chapitre n'est pas de faire une revue complète ou même synthétique de la minéralogie des argiles, mais simplement de présenter un recensement des propriétés et mécanismes physico-chimiques des sols argileux à l'échelle de la microstructure.

II.2. Les sols argileux :**II.2.1. Définitions et classifications :**

Qu'est-ce qu'une argile ? On pourra trouver dans les dictionnaires la définition suivante : « roche sédimentaire terreuse, imperméable, grasse au toucher, qui happe à la langue, formée surtout de silicates d'aluminium et qui, imbibée d'eau, devient malléable ».

Dans la pratique, ce terme est utilisé pour désigner un ensemble d'espèces minérales, une famille de roches, une catégorie de sols ou encore une classe granulométrique. Sous le

vocabulaire « argile » se cache donc une grande diversité de matériaux avec des compositions chimiques et minéralogiques, des textures et des propriétés variées.

Les minéraux argileux proviennent de l'altération et de la dégradation des roches : altération physique sous l'effet des variations de température, et surtout altération chimique au contact de l'eau qui permet la dégradation en particules de moins de 2 µm et entre 2 à 5 µm.

Les conditions dans lesquelles cette dégradation a lieu (température, PH de l'eau, etc.) sont responsables de la diversité des argiles.[2]

II.2.2. Principales familles des minéraux argileux :

Les trois familles de minéraux argileux les plus connues sont celles de : la kaolinite, l'illite et la montmorillonite.

II.2.2.1. Famille de la kaolinite :

Le feuillet élémentaire de cette famille résulte de l'assemblage d'un feuillet tétraédrique SiO_4 avec un feuillet octaédrique $\text{AlO}_2(\text{OH})_4$ (Figure II.1).

Les couches de base successives sont maintenues ensemble par les liens d'hydrogène entre les hydroxyles du feuillet en octaèdre et les atomes d'oxygène du feuillet en tétraèdre.

Ces liaisons empêchent l'hydratation entre les feuillets élémentaires permettant un empilement relativement important de couches et la formation d'un cristal d'assez grande dimension. L'espace inter-foliaire de cette famille est de 7.2 Å.

La kaolinite est une argile stable, non-gonflante et sa structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau et ne peut être détruite que par chauffage à 450 °C.

Les particules de kaolinite ont une forme plate hexagonale d'épaisseur de l'ordre de 0.1µm et de diamètre moyen entre 0.3 µm et 4 µm.[2]

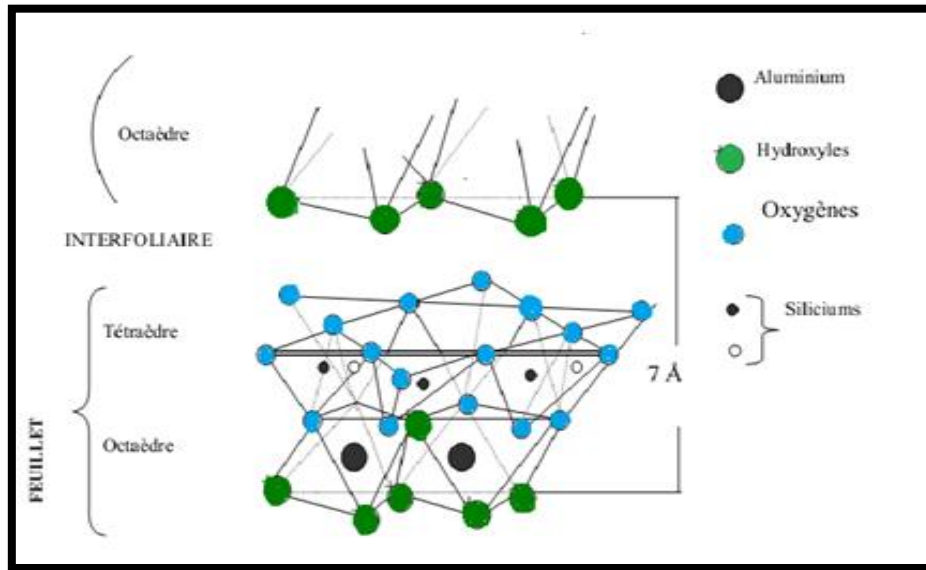


Figure II.1 : Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite [3]

II.2.2.2. Famille de la montmorillonite :

Le feuillet de cette famille est constitué par l'association de deux couches tétraédriques SiO_4 , disposées de façon à laisser entre elles une couche octaédrique de type $\text{TO}_4(\text{OH})_2$. T pouvant être Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , K^+ , ... (Figure II.2).

Les couches de cette famille peuvent adsorber de l'eau dans des proportions considérables en donnant lieu à des gonflements caractéristiques, car les liaisons d'un feuillet à l'autre sont faibles et l'eau pénètre facilement entre les feuillets. Ainsi, les sols dont la teneur en montmorillonite est élevée sont susceptibles de gonflement et de retrait important en fonction de la variation de leur teneur en eau.

Les plaquettes de la montmorillonite ont une forme quelconque avec des tailles très petites, un diamètre moyen entre $0.1 \mu\text{m}$ et $1 \mu\text{m}$ et une épaisseur moyenne entre $0.01 \mu\text{m}$ et $0.1 \mu\text{m}$. La montmorillonite est l'une des argiles les plus connues de la famille des smectites définies comme « les argiles gonflantes ».[2]

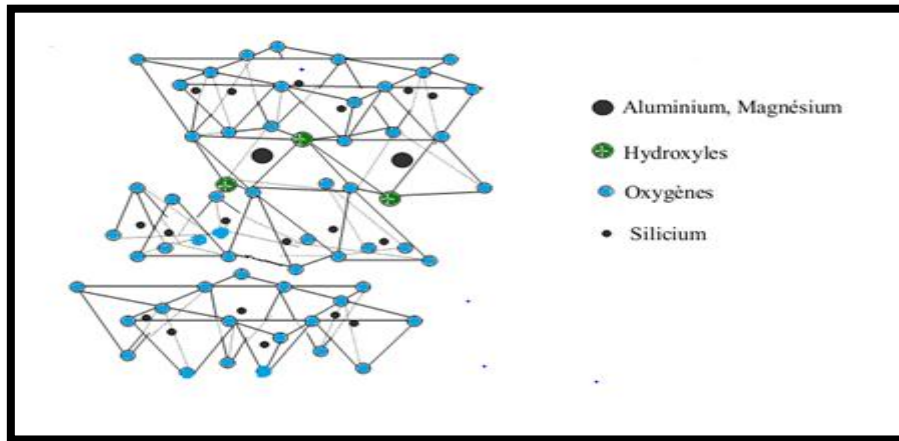


Figure II-2 : Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite [3]

II.2.2.3. Famille de l'illite :

Les argiles de la famille de l'illite sont parmi les minéraux les plus répandus à la surface de la terre. La structure de l'illite est analogue à celle de la montmorillonite, mais la présence d'ions potassium K^+ dans la structure (Figure II.3) rééquilibre et renforce la liaison entre feuillets, rendant ainsi l'argile moins sensible aux phénomènes de retrait-gonflement.

Les particules d'illites sont plates, de forme moins régulière que celle des particules de kaolinites ; elles ont un diamètre moyen variant entre 0.1 μm et 3 μm avec une épaisseur de l'ordre de 0.01 μm . [2]

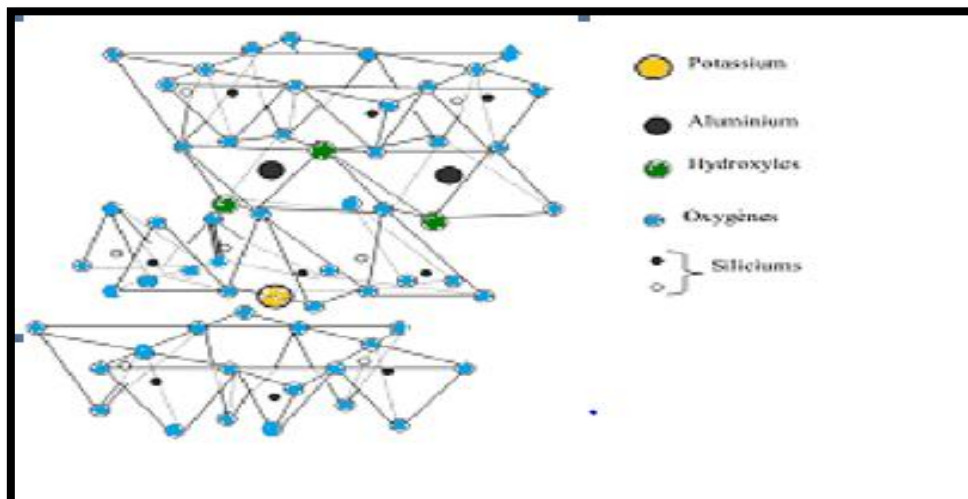

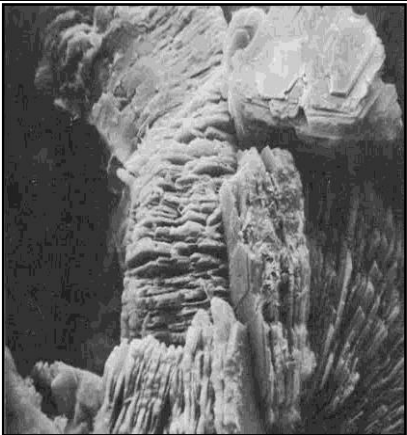
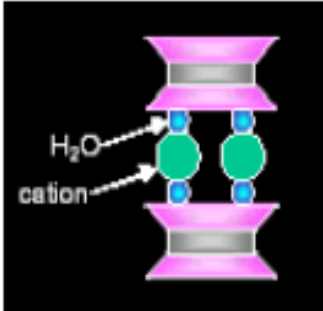
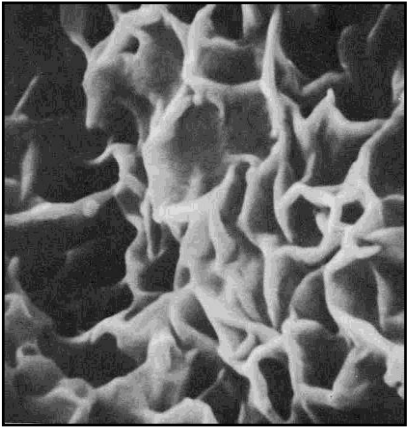
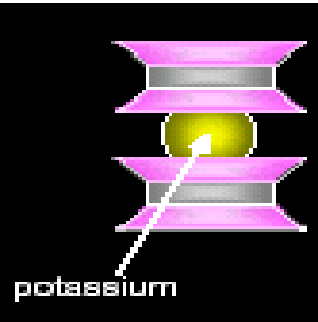
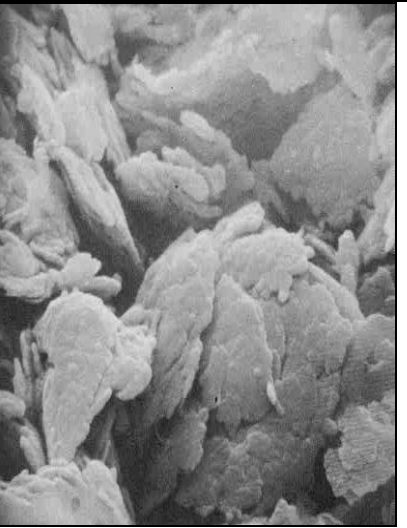


Figure II-3 : Vue isométrique de la structure atomique de l'illite .[3]

À partir du tableau II.1, nous avons essayé de faire une synthèse bibliographique sur les différentes caractéristiques physico-chimiques et propriétés générales de quelques minéraux argileux (courants et moins courants).

Tableau II.1 : Caractéristiques physico-chimiques des minéraux argileux courants.

Amélioration et stabilisation des propriétés physico- chimiques et mécaniques des argiles de la région d'Adrar dans des applications dans les centres de stockage des déchets

Minéraux Argileux	Type de minéral	Structure du minéral	Taille de la particule	: Photographie au microscope à balayage électronique [4]
Kaolinite	1 : 1	 <p>Alumina sheet Silica sheet</p> $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Grande ($> 1\mu\text{m}$)	
Montmorillonite	2 : 1	 <p>H_2O cation</p> $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Petite ($< 1\mu\text{m}$)	
Illite	2 : 1	 <p>potassium</p> $(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2\text{H}_2\text{O}]$	Moyenne ($< 1\mu\text{m}$)	

II.3. Propriétés des argiles :

Les minéraux argileux se caractérisent par quatre propriétés principales :

1. formes et surfaces spécifiques.
2. capacités d'adsorption d'eau et de gonflement.
3. multiples possibilités d'échanges cationiques.
4. activité des argiles.[3]

II.4. Utilisation des Argiles dans la région d'Adrar :

La région d'Adrar est considérée comme la plus importante où la boue du sol argileux est abondante et réponde. Cette particularité a fait de ses habitants un substitut à d'autres matériaux utilisés dans divers domaines de la vie ; utilisation pour faire des pots et ainsi que l'utilisation du sol argileux comme moyen de construction des maisons. L'argile est aussi utilisée dans le domaine de l'agriculture dans la construction des bassins d'eau (voir Figure II.4).[3]





Figure II.4 : Photographie d'utilisation de l'argile dans la région d'Adrar

II.5. Localisation des matériaux argileux d'étude par rapport à la wilaya d'Adrar :

La règle pour la recherche d'un gisement argileux est que le matériau doit répondre aux exigences techniques de résistance et de stabilité, et aux exigences économiques de gisements en grande quantité.

II.5.1. Localisation des gisements d'argile d'Adrar :

Le gisement d'argile d'Adrar est une carrière qui se trouve à quelques kilomètres au nord de la ville d'Adrar (Est de la RN6). Le matériau a une couleur rouge et sert à alimenter la briqueterie d'Adrar (Figure II.5)



Figure II.5 . Localisation du site d'Adrar (Adrar nord)

II.5.2. Localisation du gisement d'argile de Timimoune :

C'est un gisement qui se trouve à quelques Kilomètres au nord de la ville d'Adrar. Le matériau a aussi une couleur rouge (Figure II.6).



Figure II.6. Localisation de l'argile du site Timimoune

II.5.3. Localisation du gisement d'argile de Bouda :

Le site de l'argile de Bouda est situé à 27 kilomètres ouest de la ville d'Adrar. Le matériau est de couleur rouge disponible en abondance (Figure II.7).



Figure II.7. Localisation du site d'argile de Bouda

II.6. CONCLUSION :

L'emploi des argiles sous des aspects plus pratiques en tant que matériaux de construction de base tend à diminuer dans les sociétés industrialisées, elles représentent encore de notre temps une matière première aux usages multiples ; certains tous récents dans l'industrie chimique par exemple.

De plus, on s'y intéresse actuellement pour leurs capacités à piéger les métaux lourds et pour leur imperméabilité, et par conséquent pour leurs emplois dans le stockage des déchets hautement toxiques ou radioactifs, ou, plus simplement, pour éviter le lessivage des fluides, issus de l'évolution d'une décharge d'ordures, susceptibles d'aboutir à la pollution des nappes phréatiques ou des alimentations urbaines.

Les trois argiles citées ci-dessus seront étudiés en vue de leurs utilisations dans les centres de stockage des déchets

Chapitre III :

Etude des caractéristiques physico-
chimiques des trois Argiles

III.1.Introduction :

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'identification des propriétés physiques et chimiques des trois argiles à étudier (Argile Adrar, Timimoun et Bouda).

Notre objectif est de déterminer un ensemble de propriétés physiques et chimiques de l'argile qui permettent de caractériser. Les essais d'identification nous permettent de donner la classification des sols. Ces sols sont des gisements d'argile déjà cités ci-dessus.

III.2.Les essais d'identification :

On présentera les caractéristiques physico-chimiques des trois argiles brutes dans le but d'une recherche d'une valorisation dans le domaine des centres de stockage des déchets.

Les essais effectués sur nos échantillons sont les suivants :

- ✓ poids volumique des grains solides ;
- ✓ analyse granulométrique par sédimentométrie ;
- ✓ les limites d'Atterberg ;
- ✓ essai au bleu de méthylène ;

III.2.1.Le poids volumique des grains solides, Norme (NF P94-054) :

Le poids volumique des particules solides γ_s est déterminé à l'aide d'un pycnomètre à eau conformément à la norme NF P 94-054. Elle est définie par le quotient du poids W_s de ces particules solides par leur volume V_s .

$$\text{avec : } \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \text{ III.1}$$

γ_s : Poids spécifique des particules solides ;

W_s : poids du sol sec ;

V_s : volume des particules solides.



Photos III.1 : Le mode opératoire pour calculer le poids spécifique des grains solides.

III.2.1.1. Expression des résultats :

D'après les résultats obtenus de l'essai, la valeur du poids spécifique des grains solides (γ_s) est donnée par la formule III.1 :

$$\gamma_s = \frac{(W3 - W1) * \gamma_w(20^\circ)}{W2 - W1 - W4 + W3} \text{ équation : III.2}$$

Avec : $W1(g)$: poids du pycnomètre vide ;

$W2(g)$: poids du pycnomètre + l'eau distillé ;

$W3(g)$: poids de pycnomètre + l'argile ;

$W4(g)$: poids de pycnomètre + l'argile + l'eau distillé ;

γ_w : poids volumique de l'eau à 20°C.

Les calculs ont permis d'avoir les résultats suivants :

Tableau III.1 : Résultat de valeurs des poids volumiques sec

Argile	Adrar	Timimoun	Bouda
$\gamma_s(KN/m^3)$	26.5	26.6	27.5

Chapitre III: Etude des caractéristiques physico-chimiques des trois Argiles

Le tableau (III.2) montre les valeurs des poids volumiques secs de quelques minéraux caractéristiques d'après Withman et Lambein, in Costet et Sanglérat, 1983 in [5], D'après ce tableau on peut classer nos sols comme Montmorillonite pour l'argile de Bouda, et illite pour l'argile de Timimoun Adrar.

Tableau III.2: Poids volumiques secs de quelques minéraux. [5]

Argile	γ_s (KN/m ³)
<u>Quartz</u>	<u>26,6</u>
K-Feldpath	25,4 à 25,7
<u>Na-Ca- Feldpath</u>	<u>26,2 à 27,6</u>
Calcite	27,2
Dolomite	28,5
Muscovite	27 à 31
<u>Chlorite</u>	<u>26,1 à 29</u>
<u>Kaolinite</u>	<u>26,1 à 26,4</u>
Illite	28,4 à 27,4
Montmorillonite	27,5 à 27,8
Attapulgite	23,0

III.2.2.Limites d'Atterberg (NF P 94.51):

Compte tenu de leurs structures, les argiles ont la propriété d'absorber des quantités d'eau très importantes ou de se dessécher en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises.

Quel que soit la nature et le type d'argile, celle-ci malaxée à des quantités d'eau de plus en plus importantes, finit par se transformer en boue. L'argile est dans un comportement liquide.

Dans une situation contraire où l'argile est suffisamment desséchée, les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent intenses. L'argile est dans l'état solide.

Entre ces deux états extrêmes, l'argile est malléable : elle a un comportement plastique.

Les limites d'Atterberg ont pour but de définir les états d'humidité correspondant aux limites entre ces trois états, l'état d'humidité du sol étant exprimé par sa teneur en eau.

L'essai se fait sur une partie du matériau tamisé au tamis 0.40 mm.

Chapitre III: Etude des caractéristiques physico-chimiques des trois Argiles

La teneur en eau d'un sol est le rapport entre le poids d'eau contenu dans un certain volume de sol et le poids des grains solides contenus dans le même volume. Elle s'exprime en [%] et a pour symbole $W = \text{eau}$. Elle est déterminée conformément à la norme NFP94-051 .

La limite de liquidité W_L traduit le passage entre l'état liquide et plastique.

La limite de plasticité W_p correspond au passage entre l'état plastique et l'état solide.

Ces deux caractéristiques sont reliées par l'indice de plasticité I_p qui s'exprime en % et est donné par la formule ci-après.

$$I_p = W_L - W_p \quad \text{III.3}$$

III.2.2.1. Appareil de Casagrande :

Il est constitué d'une coupelle normalisée, montée sur un support métallique avec manivelle, le tout étant fixé sur un socle en bois bakélinisé.

L'ensemble permet de faire tomber la coupelle d'une hauteur de 10mm sur le bloc de bois dur, chaque choc entraînant la fermeture progressive de la rainure pratiquée dans l'échantillon de sol, celle-ci ayant été effectuée à l'aide de l'outil à rainure (photo III.2).



Photo(III.2): Appareil de casagrande

III.2.2.2. Limite de liquidité

Par définition, la limite de liquidité W_L est la teneur en eau (exprimée en %) d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide (le sol est humide et déformable) et un état plastique qui correspond à une fermeture de 1cm pour un nombre de chocs N égale à 25.

Si l'on étudie expérimentalement la relation qui lie le nombre de chocs N à la teneur en eau W , on constate que la courbe représentative de cette relation est une droite qui relie au moins 2 points; lorsque le nombre de chocs est compris entre 15 et 35 on prendra les valeurs de ces points on trace la droite. Pour ce même intervalle des valeurs de N , la formule approchée.

$$W_L = w (N/25)^{0,121} \quad \text{III.4}$$



Photo (III.3):Le mode opératoire de l'essai de limite de liquidité

Le tableau III. et les figures (III.1,III.2,III.3) montre un exemple de la variation de la teneur en eau en fonction du nombre de chocs de la coupelle pour notre sol. La limite de liquidité W_L est déterminée pour un nombre de chocs (coups) de 25.

Tableau III.3 :Résultats de la limite de liquidité W_L des trois Argiles

Les Sols	Argile Adrar	Argile Timimoun	Argile Bouda
limite de liquidité W_L	77.9	39	67.5

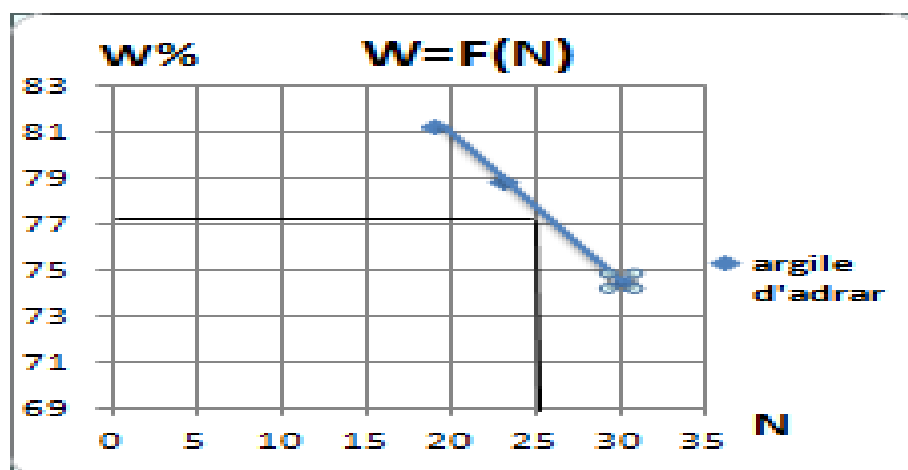


Figure III.1 : Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Adrar

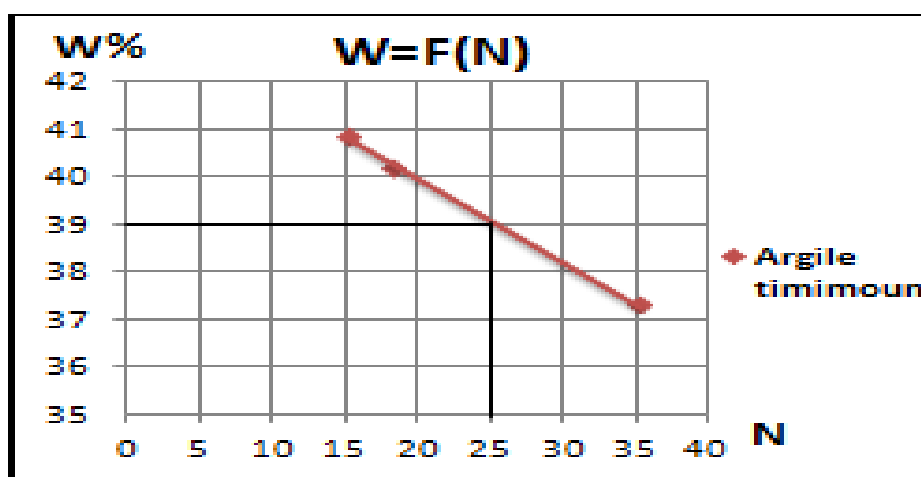


Figure III.2: Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Timimoun

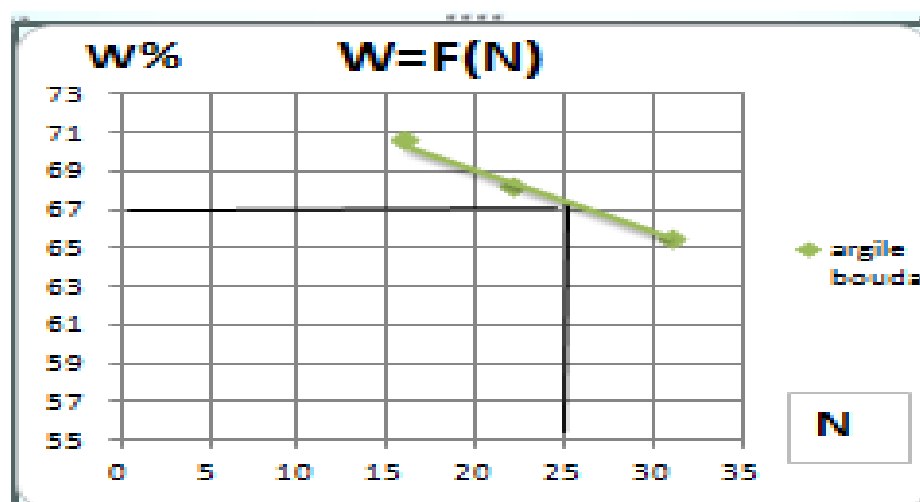


Figure III.3 : Courbe de la limite de liquidité W_L d'argile Bouda

II.2.2.3. La limite de plasticité W_P (NF P 94-051) :

La limite de plasticité (W_P) est mesurée par la méthode au rouleau représente la teneur en eau du passage de l'état plastique à l'état solide.

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau, on façonne avec la pâte un rouleau de 6 mm de diamètre pour une dizaine de mm de longueur. Puis on atteint 3mm de diamètre en le roulant (souvent avec les doigts), après 5 à 10 allers-retours maximum. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm, avec une hauteur de 30 mm environ. La photo III.4 présente le mode opératoire de la limite de plasticité.



Photo III.4 : Mode opératoire de la limite de plasticité

A partir des résultats obtenus, on a :

Tableau III.4 : Résultats de l'essai de la limite de plasticité W_p

Les Sols	Argile Adrar	Argile Timimoun	Argile Bouda
La limite plasticité W_p	37.25	14.09	32.47

On peut déterminer l'indice de plasticité comme suit :

Argile A drar : $I_p = W_L - W_P = 77.9 - 37.25 = 40.65$

Argile Timimone: $I_p = W_L - W_P = 39 - 14.09 = 14.91$

Argile Bouda : $I_p = W_L - W_P = 67.5 - 32.47 = 35.03$

Suivant la valeur l'indice de plasticité, les sols peuvent se classer comme suit :

voir tableau III.5 :

Tableau III.5 : Degré de plasticité des sols. [6]

Indice de plasticité	Degré de plasticité
$0 < I_p < 5$	Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)
$5 < I_p < 15$	Moyennement plastique
$15 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

A partir des résultats obtenus, on a :

Argile Adrar : $I_p = 40.65 > 40$, donc on classe le sol suivant son degré de plasticité comme Argile très plastique.

Argile Timimoun : $I_p = 5 < 14.91 < 15$, donc on classe le sol suivant son degré de plasticité comme Argile moyennement plastique.

Argile Bouda : $I_p = 15 < 35.03 < 40$, donc on classe le sol suivant son degré de plasticité comme Argile plastique.

La consistance d'un sol fin varie suivant sa teneur en eau plus précisément, en opérant à une teneur en eau décroissante on rencontre les quatre états suivants (voir figure III.4) :

Plasticité

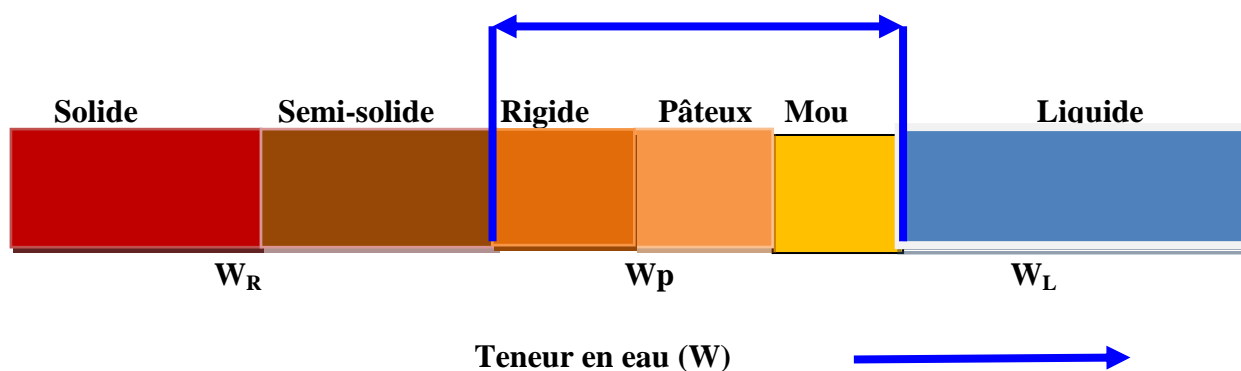


Figure III.4 : Différents états de consistance d'un sol fin en fonction de la teneur en eau.[5]

Le degré de plasticité peut être évalué aussi à l'aide du diagramme de Casagrande. Il y'a lieu de reporter les résultats des limites d'Atterberg obtenues pour notre échantillon et situer l'état de plasticité auquel il appartient (voir figure III.5). On peut remarquer que l'argile d'Adrar est une argile très plastique, de Bouda plastique à très plastique, et de Timimoun peu plastique.

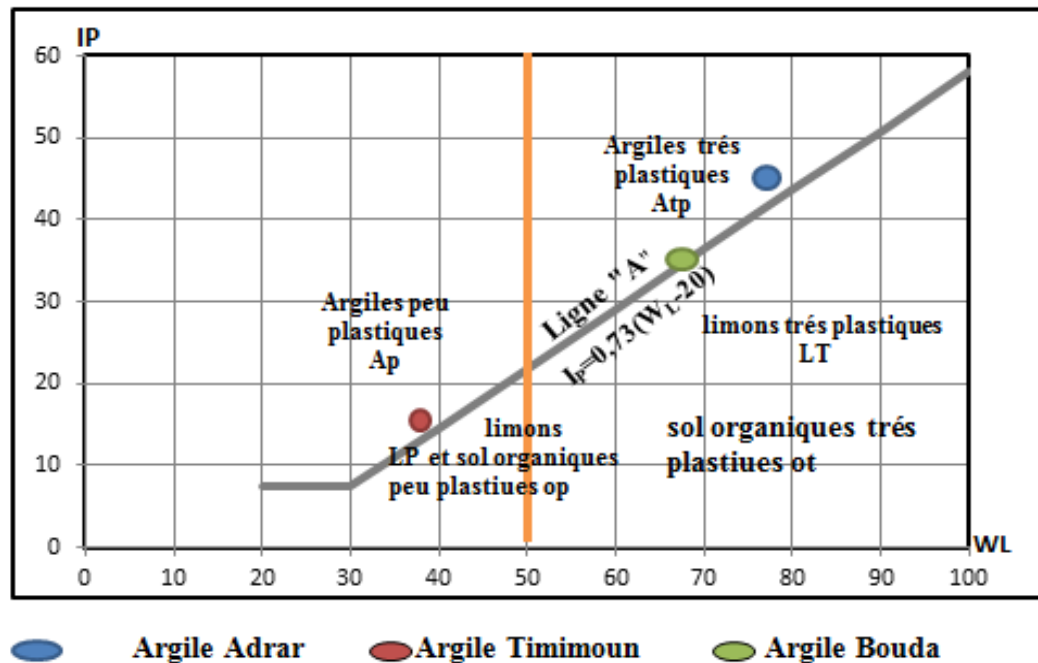


Figure III.5: Abaque de plasticité de Casagrande selon la classification L.C.P.C des sols fins (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées).

III.2.3. La limite de retrait W_R (NF P 94-051) :

La limite de retrait représente la teneur en eau du passage de l'état solide avec retrait à l'état solide sans retrait.

La limite de retrait W_R est une valeur obtenue à partir d'un échantillon dont la teneur en eau initiale est proche de celle de la limite de liquidité. La limite de retrait dépend de la teneur en eau initiale la photo III.5 présente le mode opératoire de cet essai.

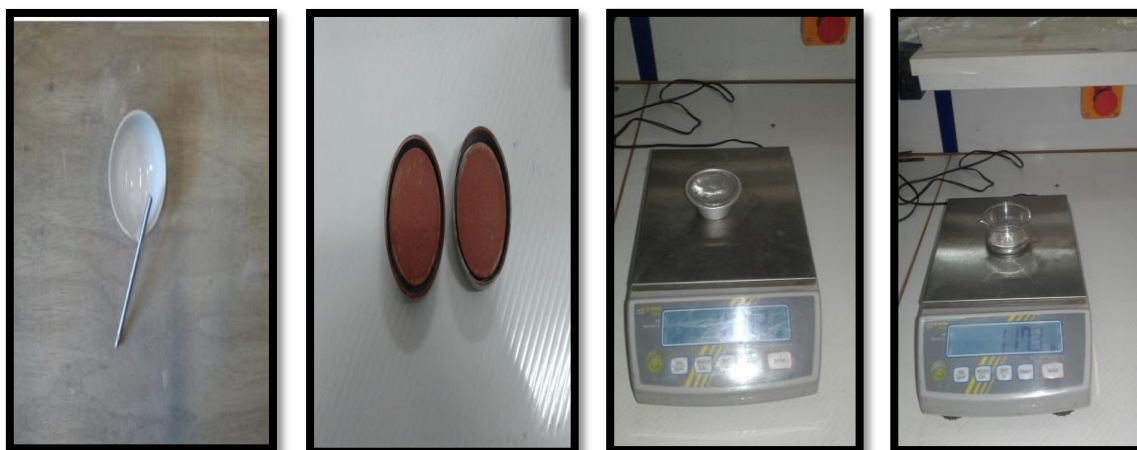


Photo III.5: Vues de l'état semi-solide à solide

On définit I_R comme étant l'indice de retrait, on a :

$$I_R = W_L - W_R \quad \text{III.5}$$

donc Argile d'Adrar : $I_R = 77.9 - 11.84 = 66.06$

Argile Bouda : $I_R = 67.5 - 13.50 = 54$

Argile Timimoun : $I_R = 39 - 11.79 = 27.21$

Le tableau suivant (III.6) regroupe les paramètres physiques de nos argiles.

Tableau III.6 : Tableau récapitulatif des résultats des limites d'atterberg pour les trois argiles

Sol	W_L (%)	W_p (%)	W_R (%)	I_p (%)	I_R (%)
Argile d'Adrar	77.9	37.25	11.84	40.65	66.06
Argile Bouda	67.5	32.47	13.50	35.03	54
Argile Timimoun	39	24.09	11.79	14.91	27.21

III.2.4. Analyse granulométrique (Norme NF P94-056) :

Le but de l'essai est de déterminer en poids la distribution dimensionnelle des éléments des sols étudiés. Elle s'obtient par deux opérations successives et complémentaires :

- ❖ le tamisage sous l'eau (par voie humide) selon la norme NF P94-056, pour les particules de dimensions $\geq 80\mu\text{m}$ (0.08mm) ;
- ❖ la sédimentométrie selon la norme NF P94-057, pour les particules de dimensions $< 80\mu\text{m}$ qui va compléter la première.

L'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage d'un sol et qui peut être nécessaire à sa description et sa classification. La photo III.6 montre les accessoires du mode opératoire de l'essai de sédimentométrie pour les trois argiles.



Photo III.6 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai de sédimentométrie

De la photo III.6, on peut remarquer que l'argile d'Adrar a une vitesse de décantation très lente que l'argile de Timimoun, par contre l'argile de Bouda a décanté très vite, donc on peut conclure que l'argile d'Adrar appartient à une quantité intéressante des particules fines que les deux autres argiles.

III.2.4.1. Présentation des résultats :

Les résultats obtenus sont représentés graphiquement sur des courbes dites « courbe granulométrique ».

A partir de ces courbes nous pourrons par la suite classer le sol. Les résultats de nos essais sont représentés sur la courbe suivante :

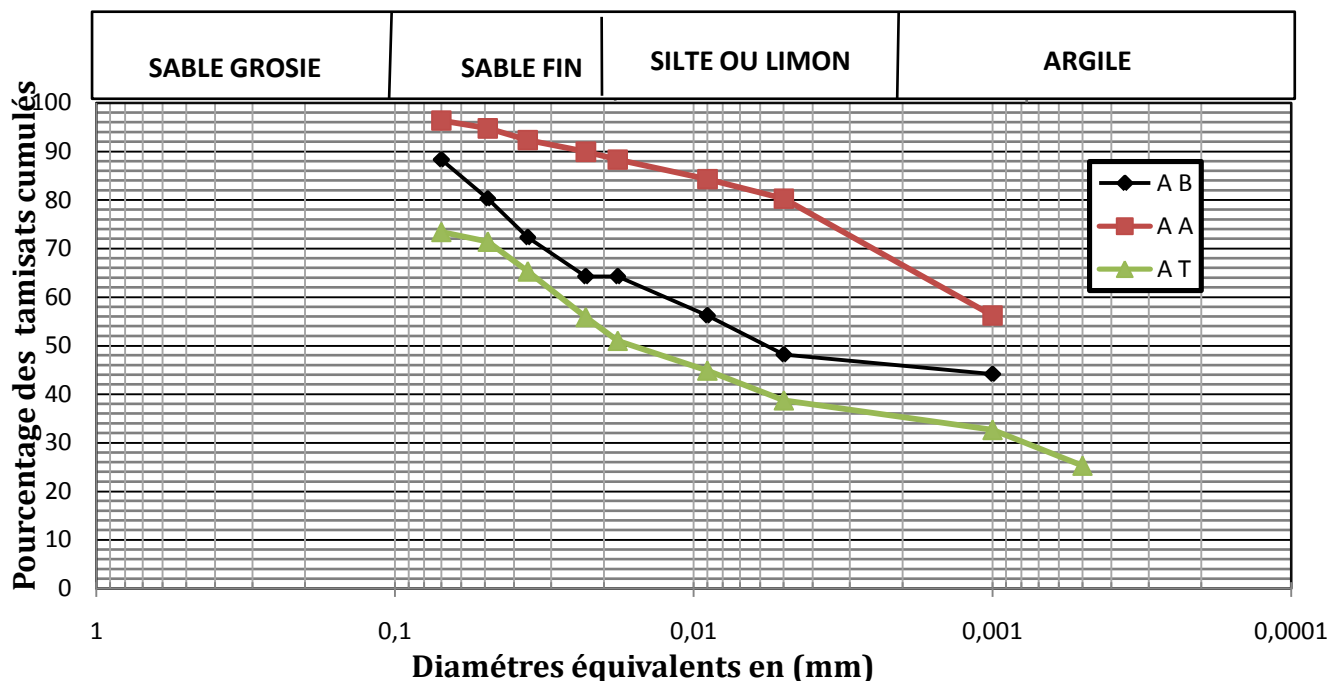


Figure III.6 : Courbe granulométrique des trois argiles

III.2.5. Activités des argiles :

Les limites d'Atterberg sont fonctions des dimensions des grains et de la composition minéralogique du sol. Pour une argile contenant des particules solides assez grosses, Skempton (1957) a montré que l'indice de plasticité dépend de la quantité de grains solides de dimensions inférieures ou égales à $2 \mu m$. [4]

$$Ac = Ip (\%) / \text{pourcentage des éléments } < 2 \mu m$$

Argile Adrar : $Ac = 40.65/67 = 0.61$

Argile Timimoune : $Ac = 14.91/36 = 0.41$

Argile Bouda : $Ac = 35.03/39 = 0.90$

D'après ces valeurs on peut conclure que l'argile de Bouda a une activité plus supérieure que les autres argiles, Le tableau (III.7) donne la classification des minéraux suivant l'activité, D'après ce tableau on peut classer notre sols comme Kaolinite pour l'argile de Timimoun, et illite pour l'argile de Bouda et d'Adrar.

Tableau III.7: Activité des différents minéraux [8].

Minéral	Activité
Montmorillonite Na	4 – 7
Montmorillonite Ca	1,5
Illite	0,5 – 1,3
Kaolinite	0,3 – 0,5
Calcite	0,2
Quartz	0

III.2.6. Essai au bleu de méthylène à la tache (NF P 94-068) :

Le principe de l'essai consiste à maintenir en permanence sous agitation un mélange « échantillon + l'eau », puis à introduire des quantités croissantes de bleu de méthylène par doses successives jusqu'à ce que les particules argileuses soient saturées. Il apparaît alors un excès qui marque la fin de l'essai et qui est détecté par le test de la tache. Ce dernier consiste à former avec une goutte de la suspension sur du papier filtre normalisé, une tache qui est un dépôt de sol coloré en bleu, entouré d'une zone humide incolore. L'excès de bleu se traduit par l'apparition dans cette zone d'une auréole d'un bleu clair, le teste est dit positif.

Si au bout de 5 minutes elle apparaît cette auréole, la fin de l'essai est obtenue par la mesure du volume de bleu de méthylène.

L'essai au bleu permet une évaluation globale de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse :

$$\text{La valeur de bleu est : } VB = \frac{\text{Volume en cm}^3 \text{ de solution}}{\text{Poids sec de la prise}} \quad \text{III.6}$$

- Trom Ngoc lan (1981) in Hafsia indique « qu'un sol absorbera d'autant plus de bleu de méthylène que :
 - la quantité d'argile qu'il contient est importante ;
 - cette argile est active, c'est -à-dire qu'elle développe une surface spécifique interne et externe élevée (Sst).
- Gaillabaud et cinot (1982) in Hafsia donne une relation entre la surface spécifique totale (Sst) et la valeur de bleu de la phase argileuse $V_B(0/2\mu m)$.

$$Sst = 21 \cdot V_B(0/2\mu m) \quad \text{III.7}$$

Les photos (III.7) montrent les différents accessoires du mode opératoire de l'essai au bleu de méthylène. Par contre, la figure (III.7) montre le schéma synoptique du processus opératoire de l'essai au bleu.

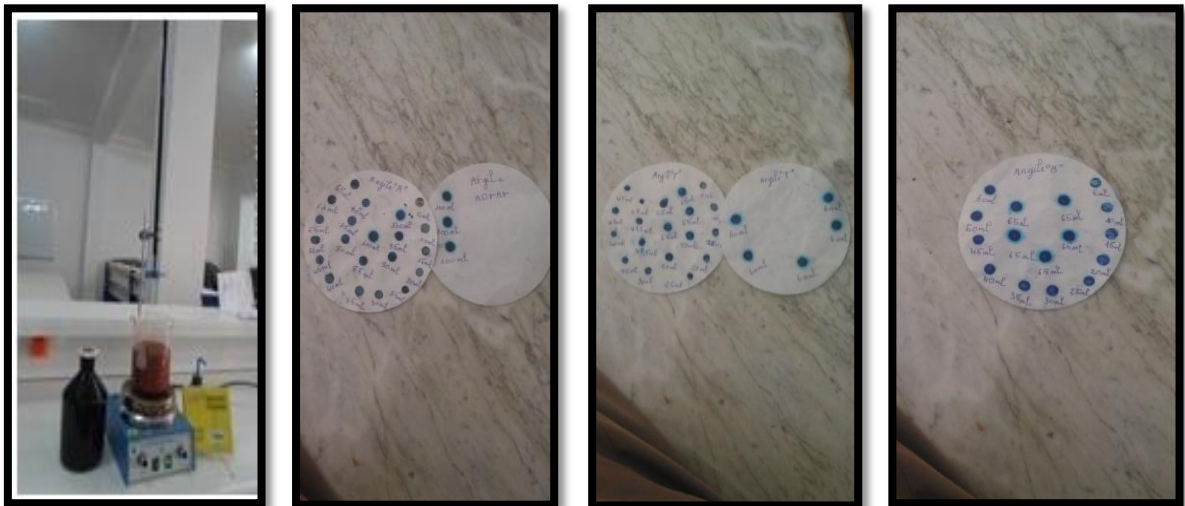


Photo III.7 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai de bleu de méthylène

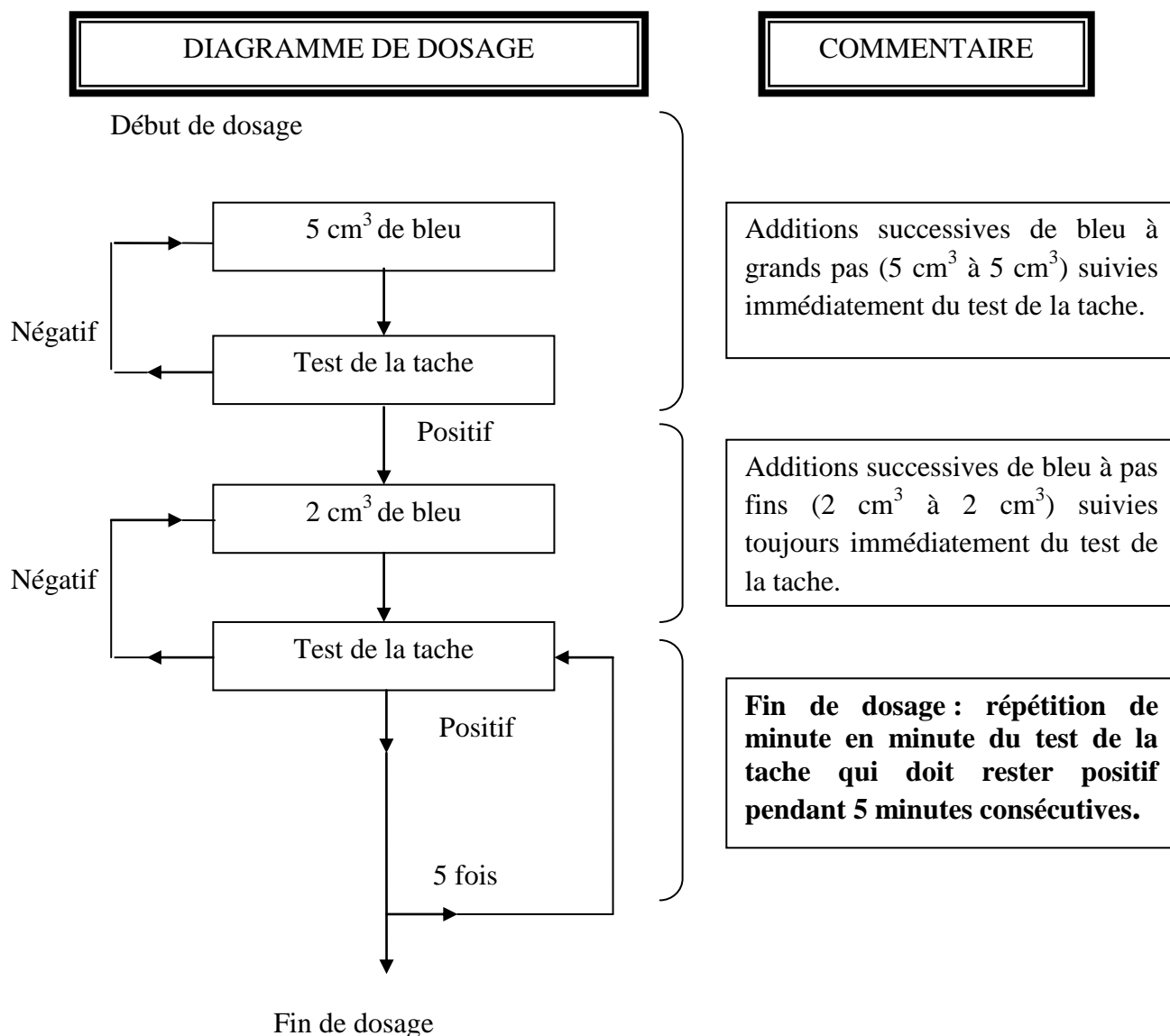


Figure III.7 : Schéma synoptique du processus opératoire de l'essai du bleu à la tâche [5]

La valeur de bleu de nos argiles est : VB

Tableau III.8 : Résultats de l'essai de bleu de méthylène

Sol	Sst (m ² /g)	VB
Adrar	210	10
Timimoun	136.5	6.5
Bouda	120	6

Chapitre III: Etude des caractéristiques physico-chimiques des trois Argiles

Les catégories des sol selon la valeur de bleu de méthylène d'après le Guide de Terrassements Routiers (GTR, 1992), sont présentées dans le tableau III.9

Tableau III.9 : Classification des sols suivant la valeur au bleu de méthylène [9]

Valeur de bleu de méthylène (VB)	Catégorie de sol
$VB < 0,1$	Sol insensible à l'eau
$0,2 \leq VB < 1,5$	Sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq VB < 2,5$	sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq VB < 6$	Sol limoneux de plasticité moyenne.
$6 \leq V_B < 8$	sol argileux.
$VBS > 8$	Sol très argileux.

D'après le tableau III.9, on confirme que nos sol sont :

Adrar: $VBS=10 > 8$ est un sol très argileux

Timimoun: $6 \leq VBS=6.5 < 8$ est un sol argileux

Bouda: $6 \leq VBS=6 < 8$ est un sol argileux

III.2.7. Etude du phénomène de gonflement de nos argiles :

On sait que les argiles ont un pouvoir de gonflement qui se répercute sur la stabilité des constructions. Dans ce qui suit, et d'après plusieurs travaux antérieurs on peut estimer le potentiel de gonflement d'après les caractéristiques physiques trouvées. Le potentiel de gonflement de nos sols peut être estimé par références aux tableaux des classifications suivants selon les travaux antérieurs.

Tableau III.10: Estimation du potentiel de gonflement SNETHEN et al. 1977 in [5]

W_L	I_p	Potentiel de gonflement	Classification
< 50	< 25	< 0.5	Faible
50-60	25-35	0.5-1.5	Moyen
> 60	> 35	> 1.5	Elevé

Tableau III.11 :Estimation du potentiel de gonflement O'NELL et POORMOAYED 1980 in.[5]

W_L	I_p	Classification
20-49	15-24	Faible à moyen
50-70	24-46	Elevé
>70	>46	Très Elevé

Tableau III.12 :Estimation du potentiel de gonflement. elon HOLTZ et al 1973 in[5]

I_p (%)	W_R (%)	W_L (%)	Classification
<18	<15	20-35	Faible
15-28	10-15	35-50	Moyen
25-41	7-12	50-70	Elevé
>45	>11	>70	Très élevé

Tableau III.13: potentiel de gonflement.[5]

I_R (%)	potentiel de gonflement
0 à 20	Faible
20 à 30	Moyen
30 à 60	Fort
> 60	Très Fort

On résume dans les Tableaux(III.14,III.15,III.16) les valeurs trouvées des paramètres physiques afin d'estimer le caractère de gonflement de nos argiles .

Tableau III.14 :Synthèse des paramètres d'argile Adrar

paramètres	Classification du gonflement	Nature
Limite de liquidité W_L	Tableau III. 10	Elevé
L'indice de plasticité I_P	Tableau III .11	Très Elevé
Limite de retrait W_R	TableauIII.12	moyen Elevé
L'indice de retrait I_R	Tableau III. 13	Très fort

Tableau III.15 : Synthèse des paramètres d'argile Bouda

paramètres	Classification du gonflement	Nature
Limite de liquidité W_L	Tableau III. 10	Elevé
L'indice de plasticité I_P	Tableau III .11	Elevé
Limite de retrait W_R	TableauIII.12	Elevé
L'indice de retrait I_R	Tableau III. 13	Fort

Tableau III.16 : Synthèse des paramètres d'argile Timimoun

paramètres	Classification du gonflement	Nature
Limite de liquidité W_L	Tableau III. 10	Faible
L'indice de plasticité I_P	Tableau III .11	Faible à moyen
Limite de retrait W_R	TableauIII.12	Moyen
L'indice de retrait I_R	Tableau III. 13	Moyen

Nous pouvons dire d'après les tableauxIII.14,III.15,III.16 ; que l'argile d'Adrar a un potentiel de gonflement élevé à très fort, et l'argile de Bouda est élevé à fort, par contre l'argile de Timimoun a un potentiel de gonflement faible à moyen.

En résumé, l'argile d'Adrar a un pouvoir de gonflement important qu'il faut étudier.

Il est nécessaire d'étudier les paramètres de gonflement de cette argile ; à savoir :

- le gonflement libre ;

- le potentiel de gonflement ;

Rechercher par la suite les méthodes de stabilisation et de renforcement de cette argile dans les applications des centres de stockages des déchets.

Ces axes de recherche seront étudiés au niveau des chapitres IV et V.

III.3. Conclusion :

Ce chapitre est une recherche initiative qui nous aide à donner la caractérisation des gisements de la région d'Adrar en vue de leurs utilisations dans les barrières passives des centres de stockage des déchets. Nous avons caractérisé trois argiles se trouvant à Adrar proche des centres de stockage des déchets déjà réalisés, une argile (Adrar Nord) et une autre argile de (Timimoun) et la troisième au niveau de la région de Bouda (Ouayna). Ces argiles présentent des particularités différentes sur leurs natures et sur leurs caractéristiques physico-chimiques.

Donc, on peut conclure qu'on est en présence d'un matériau très plastique et très gonflant pour l'argile d'Adrar de la famille d'illite, par contre l'argile de Timimoun et de Bouda sont classés comme des argiles plastiques avec une nature de Kaolinite et l'argile de Bouda a un gonflement élevé à fort, par contre l'argile de Timimoun a un potentiel de gonflement faible à moyen.

Le chapitre suivant nous permet de caractériser mécaniquement ces argiles.

Chapitre IV:
Etude des caractéristiques mécaniques des
trois argiles

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre on entame les essais mécaniques qui se résument à l'essai proctor et les essais oedométriques pour les trois argiles permettant de calculer les optimums Proctor ainsi que le coefficient de gonflement C_g et l'indice de compression C_c .

IV.2. Les essais mécaniques :

II.2.1. Caractérisation de compactage, Norme (NF P 94-093) :

Le compactage des sols est une méthode de stabilisation mécanique des matériaux en place ou ramenés (remblai, route, CSD etc...). Il a pour but de limiter les tassements, diminuer la perméabilité et d'améliorer les caractéristiques mécaniques du sol.

Les paramètres de compactage sont très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage. L'essai Proctor (γ_{dmax} , W_{opt}) permet de déterminer les caractéristiques de compactage d'un matériau et montre l'importance de la teneur en eau vis à vis du poids volumique sec obtenu pour une énergie de compactage donnée.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de la teneur en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du matériau. Par la suite, on trace la courbe des variations du poids volumique sec en fonction de la teneur en eau.

L'essai est effectué généralement selon deux modes de compactage d'intensités différentes :

- Essai proctor modifié à énergie plus intense et l'essai proctor normal.

La figure IV.1 montre l'appareillage de l'essai proctor normal et modifié.



Figure IV.1 : appareillage de l'essai proctor.

IV.2.2 Mode opératoire de l'essai :

- Le choix du moule est défini par la taille des grains.
- Le choix de l'énergie de compactage est défini par l'utilisation envisagée du sol.
- On effectue l'essai Proctor suivant la norme (nombre de couches, nombre de coups de la dame par couche et la disposition de ces coups). On retire la reusse et on l'arase.
 - ✓ En premier on prend une quantité de sol de 15kg et on divise en 05 parties sensiblement égales.
 - ✓ On humidifie le sol à la teneur en eau connu (14,16,18,20 %... etc) et on homogénéise bien le sol.
 - ✓ On fait monter la base du moule sur son socle et on pèse l'ensemble, puis on monte la reusse sur le moule.
 - ✓ On prend 2.5Kg de l'argile et on divise en cinq parties.

- ✓ Chaque partie dans le moule est compactée à 25 coups (24 à l'extrémité et le 25^{ème} coup au milieu).
- ✓ On pèse le moule, le socle et le contenu ; puis on déduit la masse du sol contenu dans le moule.
- ✓ On démonte le socle et on prélève une petite quantité de sol supérieure (haut) de part et du bas du moule. Par la suite on effectue les mesures de la teneur en eau.
- ✓ On représente graphiquement la variation de γ_d en fonction de la teneur en eau W .

La photo IV.1 montre le mode opératoire de l'essai.



Photo IV.1 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai proctor

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau suivant IV(1,2,3) et les figures IV(1,2,3,4).

Tableau IV.1 : Les résultats de l'essai proctor modifié Adrar

Pourcentage d'eau (%)	W (%)	γ_d (KN/m ³)
14	16.67	17,12
16	19.95	17,66
18	20.68	17,70
20	22.16	17,54
22	24.17	16,78
24	28.44	15,87

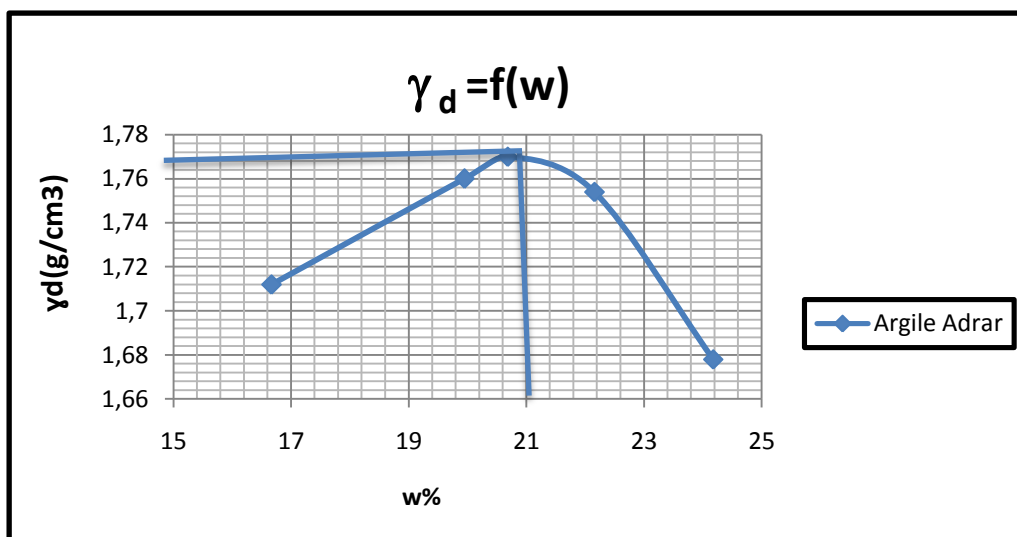


Figure IV.2 : courbe proctor modifié Adrar

Tableau IV.2 : Les résultats de l'essai proctor modifié Timimoun

Pourcentage d'eau (%)	W (%)	γ_d (KN/m ³)
10	9.34	19.38
12	10.53	19.98
14	12.75	19.93
16	15.73	19.29
13	11.86	20.04

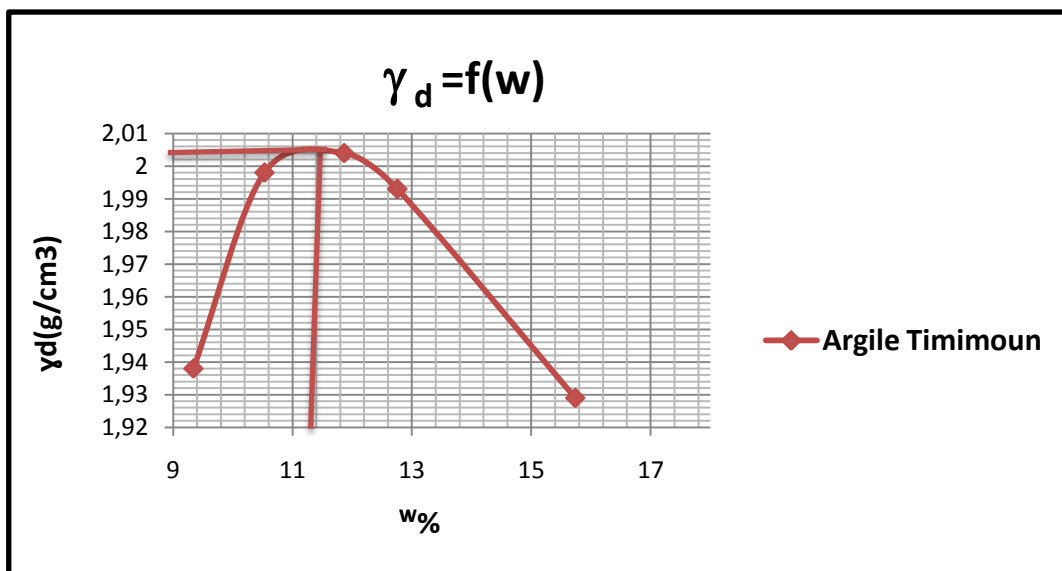


Figure IV.3 : courbe proctor modifié Timimoun

Tableau IV.3 : Les résultats de l'essai proctor modifié Bouda

Pourcentage d'eau (%)	W (%)	γ_d (KN/m ³)
10	9.53	18.97
12	10.42	19.42
14	12.32	19.66
16	14.32	19.49
18	16.68	18.78

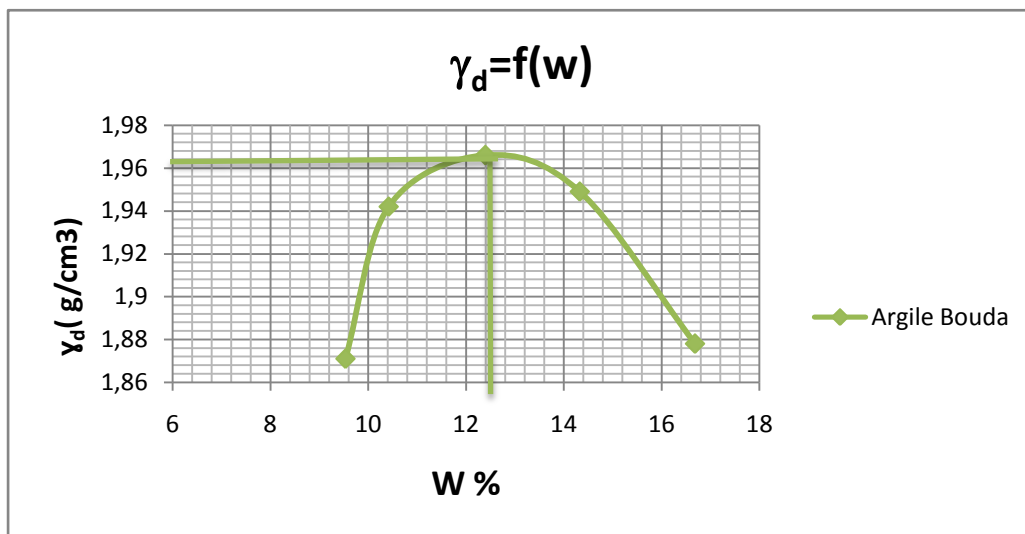


Figure IV.4: courbe proctor modifié Bouda

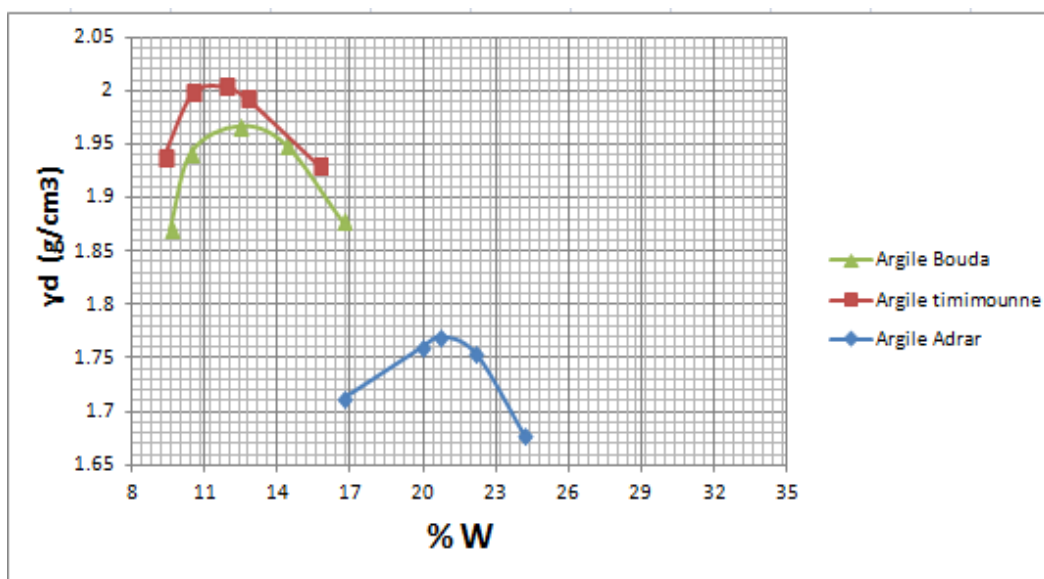


Figure IV.5 : courbe proctor modifié des trois argiles

IV.2.3 Les paramètres de l'essai proctor :

A partir de la courbe on peut avoir les paramètres fondamentaux de cette essai (les optimums de proctor), qui sont la teneur en eau optimale et le poids volumique sec maximum. Les résultats sont regroupés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4: Les paramètres de l'optimum Proctor

Argile	Argile Adrar	Argile Bouda	Argile Timimoun
$\gamma_{\text{dopt}} (\text{ g/cm}^3)$	1.770	1.966	1.998
$W_{\text{opt}} (\%)$	20.68	12.40	10.53

IV.2.4 Amélioration, stabilisation et renforcement des sols :

Les sols fins (sols argileux) ceux sont des sols qui absorbent l'eau et qui leurs volumes varient, l'absorption de l'eau influence les structures de construction et les caractéristiques des argiles ; elle résulte du phénomène de gonflement, de retrait ...etc, pour cela on fait améliorer, stabiliser et renforcer ces sols.

IV.3. Essai de gonflement à l'odomètre :

La manipulation a pour but de déterminer les caractéristiques de compressibilité d'un sol qui permettent d'estimer le tassement et le gonflement d'un massif de sol.

IV.3.1. Définition:

C'est un essai de déformation à charge constante d'une éprouvette cylindrique avec déformation latérale nulle, drainage sur les deux faces (inférieure et supérieure).[4]

IV.3.2. Préparation

❖ extraction de l'échantillon de son étui :

- Repérer le haut et le bas de la carotte (avant extraction).
- Exclure le bas et le haut systématiquement.
- Découper un cylindre ayant 2 fois à 4 fois la hauteur de l'éprouvette et on commence à le tailler.

❖ forme de l'éprouvette.

- Il s'agit d'obtenir une éprouvette non perturbée par le découpage.

- Cylindrique aux dimensions du moule.

- Les deux faces bien planes et parallèles.

❖ dimensions de l'éprouvette $D = 60\text{mm}$ argile Timimoun, $D = 50\text{mm}$ argile Adrar (selon le diamètre du moule).

- Mise en place de l'éprouvette.

- Saturation de l'éprouvette.

- Calculs et résultats (graphique, détermination des paramètres).

IV .3.3.But de l'essai :

La manipulation a pour but de déterminer les caractéristiques de compressibilité d'un sol, Sous l'effet des charges appliquées, le sol va se déformer, il va subir un tassement. Pour reproduire le phénomène au laboratoire, on placera l'échantillon dans une enceinte cylindrique empêchant toutes déformations latérales lors d'un chargement vertical par paliers.

IV.3.4.Essai de compressibilité oedométrique [10] :

L'essai de compression oedométrique est un essai fondamental et est une application directe de la théorie de la consolidation. Il permet d'évaluer l'amplitude des tassements des ouvrages ainsi que leurs évolutions.

Il s'agit de l'essai de compressibilité par paliers, cet essai permet d'établir pour un échantillon donné, deux types de courbes :

La courbe de consolidation qui indique le tassement de l'échantillon en fonction du logarithme de la contrainte appliquée.

La courbe de consolidation, qui indique le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous l'application d'une contrainte constante.

Dans ce qui suit, nous allons nous intéresser aux paramètres oedométriques appropriés aux sols fins à caractère gonflant, et qui sont :

IV.3.4.1. Le coefficient de gonflement C_g :(tableau IV.5) :

qui est la pente de la courbe de déchargement.

IV.3.4.2. L'indice de compression C_c : (tableau IV.5) :

qui est la pente de la courbe de compression à la courbe de chargement, ce coefficient permet de préciser la sensibilité du sol au tassement le long de cette courbe.

Les sols gonflants et rétractables ont une courbe de déchargement de pente marquée sous faible contrainte. Selon leurs histoires, trois états différents peuvent être rencontrés :

S'il a été nécessaire d'empêcher le gonflement au début du chargement, il s'agit d'un sol sur consolidé, éventuellement non saturé, s'il est soumis à une succion élevée. Le sol, dans l'état où il a été prélevé, est susceptible de gonfler sous faibles contraintes, au contact avec l'eau.

Si un sol est soumis, en présence d'eau libre, au gonflement avant prélèvement, son potentiel de gonflement a été donc déjà libéré et sa succion avoisine zéro.

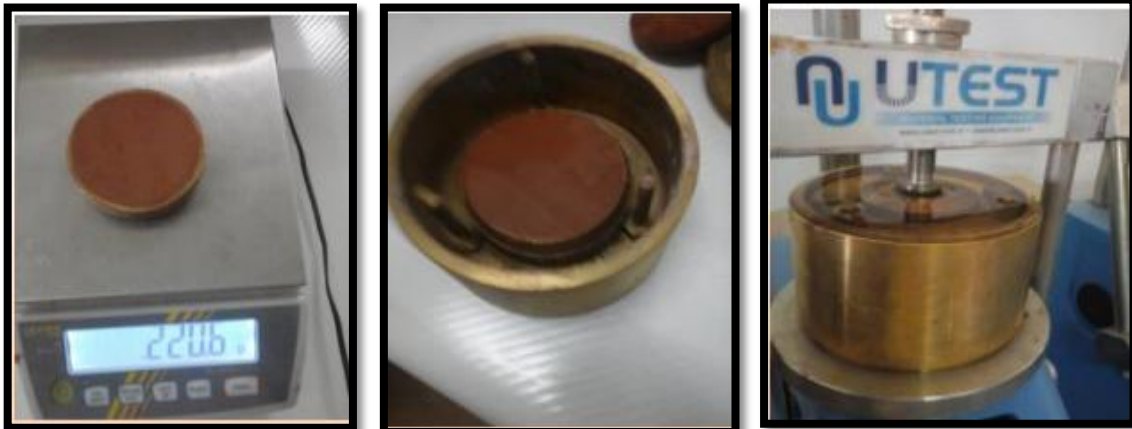


Photo IV.2 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai odomètre

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau suivant IV(5,6,7) et les figures IV(6.7.8.9.10)

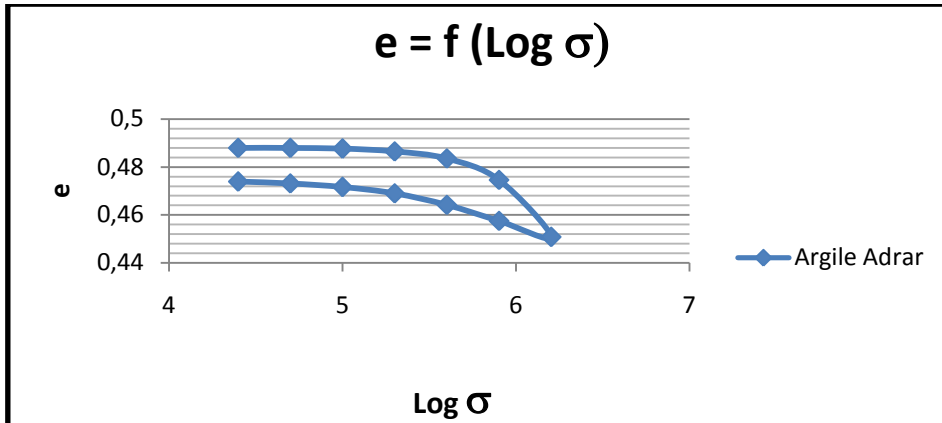


Figure IV.6 :courbe œdométrique argile Adrar

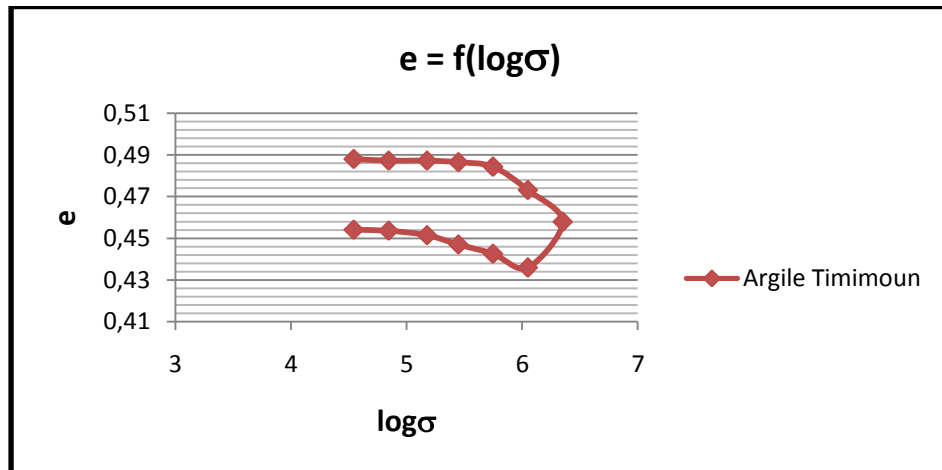


Figure IV.7 :courbe œdométrique argile Timimoun

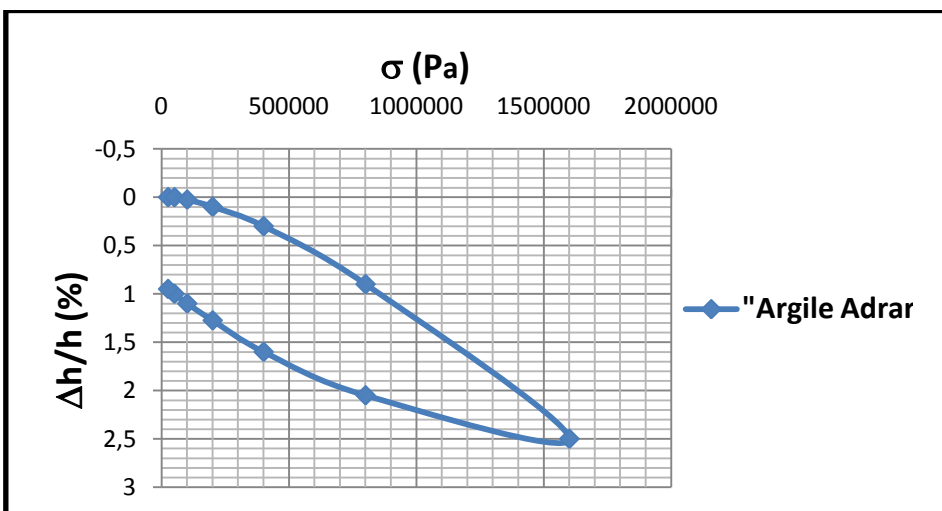


Figure IV.8 : courbe module œdométrique argile Adrar

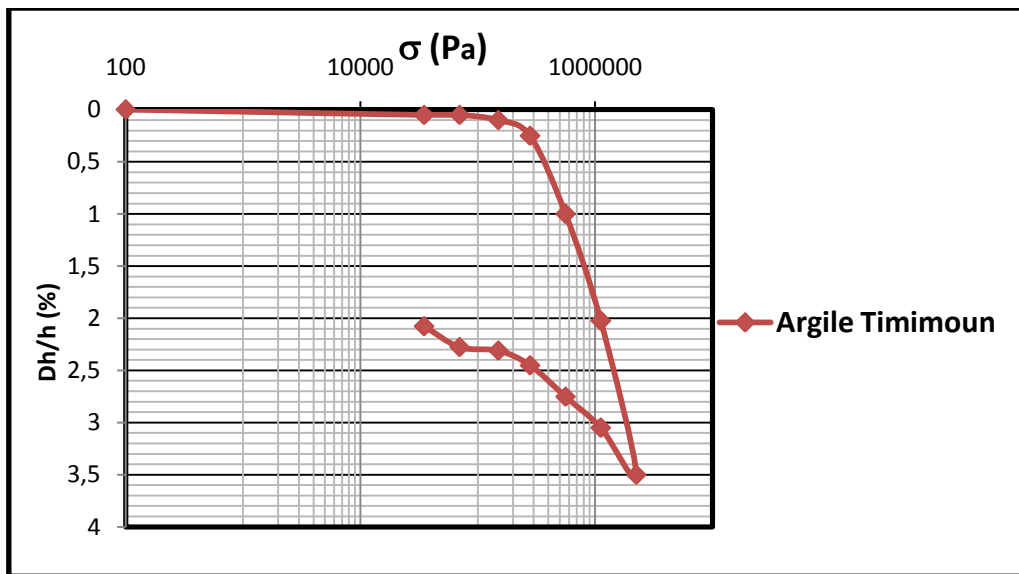


Figure IV.9 : courbe module œdométrique argile Timimoun

A partir des figures IV.8 et IV.9, on peut calculer le module oedométrique.

On a: $E' = - \Delta\sigma / \Delta h/h$, les valeurs de E' sont montrés dans le tableau IV.5.

Tableau IV.5 : Les résultats de l'essai œdométrique des deux argiles

Argile	Argile Adrar	Argile Timimoun
$C_c = - \Delta e / \Delta \log \sigma$	0,08 ≈ 0,1	0,07 ≈ 0,1
$C_g = - \Delta e / \Delta \log \sigma$	0,016	0,015
E' (bars)	200	500
e_0	0,186	0,484
$C_c / 1 + e_0$	0,08	0,07

- $C_c = - ((0,435 - 0,457) / (6,35 - 6,049)) = 0,07 \approx 0,1$
- $C_g = - ((0,4426 - 0,4470) / (5,748 - 5,447)) = 0,015$
- $C_c / 1 + e_0 = 0,08 / 1 + 0,186 = 0,07$

On peut déduire la compressibilité du sol en fonction du rapport $C_c / 1 + e_0$ (voir Tableau IV.5). Les sols argileux sont moyennement compressible les deux argile (Adrar ; Timimoun).....(voir tableau IV.6)

Tableau IV.6 : compressibilité des sols.[11]

$C_c / (1 + e_0) < 0.015$	Sol incompressible
$0.015 < C_c / (1 + e_0) < 0.05$	Sol peu incompressible
$0.05 < C_c / (1 + e_0) < 0.2$	Sol moyennement incompressible
$C_c / (1 + e_0) > 0.2$	Sol très incompressible

Pour le calcul de C_v (coefficient de consolidation), on trace la courbe C_v en fonction de $\log t$ voir figure IV.10, Le tableau IV.7 nous montre les valeurs de C_v pour les différents sols.

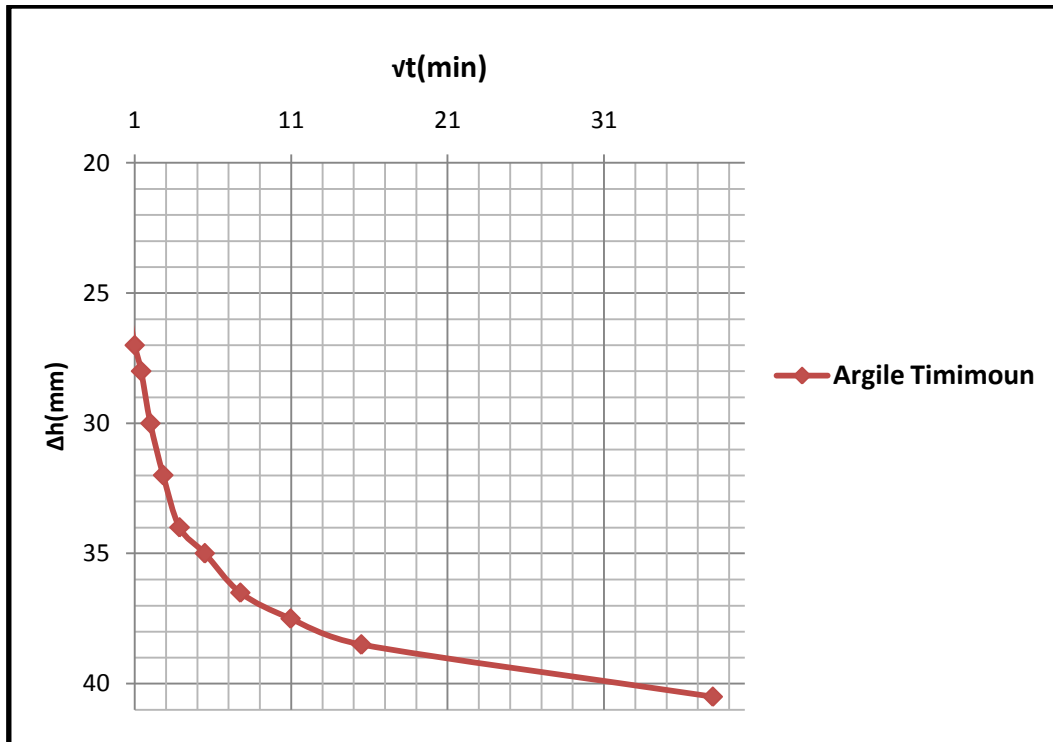


Figure IV. 10: Courbede consolidation argile Timimoun

Tableau IV.7 :Classement des valeurs de C_v en fonction de la nature des sols.[11]

Sole	Kaolinite	Illite	montmoillnite	Argilesables es
$C_v(\text{cm}^2/\text{s})$	$4 \cdot 10^{-3}$ à $2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$ à $1 \cdot 10^{-3}$	10^{-3} à $0.2 \cdot 10^{-3}$	10^{-3} enerson

Par la suite la valeur du coefficient de perméabilité des différents sols argileux est calculée par la formule suivante :

$$C_v = k E' / \gamma_w ; \quad \text{d'où} : k = C_v \cdot \gamma_w / E'.$$

La valeur du coefficient k en m/s nous oriente sur le choix des centres de stockage des déchets en fonction de la nature des déchets (déchets inertes, ménagers et toxiques).

IV.4 Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de déterminer la caractérisation mécanique des gisements argileux. Dans les essais de compactage, nous avons trouvé que l'argile d'Adrar a une densité sèche optimale au Proctor modifié inférieure que les deux autres argiles (Bouda et Timimoun).

On a pu aussi déterminer les valeurs de C_c et C_g (argiles d'Adrar et Timimoun), ainsi que E' (module oedométrique) et la valeur de $C_c / (1 + e_0)$ qui nous renseigne sur la compressibilité du sol.

Il a été aussi intéressant de connaître la valeur de C_v (coefficient de consolidation) et le coefficient de perméabilité K qui peut nous renseigner sur la nature des déchets à enfouir dans les centres de stockage des déchets.

La valorisation de ces matériaux locaux est devenue une nécessité au point de vue économique avec une résistance intéressante. De ce fait, un travail expérimental doit être mené dans le but d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de ces matériaux. Le chapitre suivant va permettre de mener une réflexion sur la valorisation de ces gisements par ajout d'un nouveau matériau qui est la chaux.

Chapitre V :

Recommandation sur l'utilisation des
argiles

V.1.Introduction :

D'après les conséquences des sols expansifs, Plusieurs chercheurs ont étudié la stabilisation des sols expansifs. Le gonflement des sols argileux est un phénomène très complexe qui fait intervenir un grand nombre de paramètres intrinsèques et environnants. Cette complexité est due principalement à la structure minéralogique de l'argile..

Des stabilisations physico-chimiques et mécaniques

sont employées surtout pour des sols contenant une certaine quantité d'argile . Ils ont pour effet de réagir avec la fraction argileuse et de modifier leur environnement chimique et sa structure minéralogique, Parmi les stabilisations les plus couramment utilisées on distingue :

Stabilisation à la chaux, Qu'est-ce que la chaux ?

V.2.Définitions de chaux :

Le terme « chaux » désigne les produits dérivés du calcaire, notamment la chaux vive et la chaux éteinte. Le calcaire est une pierre d'origine naturelle comportant des niveaux élevés de carbonates de calcium et/ou de magnésium. On extrait le calcaire dans des carrières et des mines à travers le monde

Dans notre cas on a utilisé une chaux vive extrait de la wilaya de Gardaia (photos V.1)



photos V.1 :photo de chaux utilisé

V.3.Différents types de chaux: La chaux est obtenue par calcination d'un calcaire (celui-ci représente 20% de la couche terrestre), selon la nature du calcaire utilisé, la cuisson permet la fabrication de plusieurs types de chaux :

- ❖ chaux aérienne provenant d'un calcaire pur.

Amélioration et stabilisation des propriétés physico- chimiques et mécaniques des argiles de la région d'Adrar dans des applications dans les centres de stockage des déchets

- ❖ chaux magnésienne provenant d'un mélange de calcaire et de carbonate de magnésium.
- ❖ chaux hydraulique provenant d'un calcaire argileux.

Les chaux utilisées en sont les chaux aériennes Elles se présentent sous deux formes

- ❖ chaux vive
- ❖ chaux éteinte

V.4. But de la stabilisation :

- ❖ Réduire le volume des vides entre les particules solides (augmenter la compacité).
- ❖ Colmater les vides que l'on peut supprimer.
- ❖ Créer des liens et améliorer les liaisons existantes entre les particules

V.5. Action de la chaux sur les argiles :

Les argiles sont des minéraux généralement issus de l'altération des roches. On les trouve dans les sols, sédiments, roches sédimentaires, ainsi que dans les zones d'altération hydrothermales. Ce sont principalement des phyllosilicates. C'est-à-dire qui présentent sous forme de feuillets d'aluminium plus ou moins hydraté et de petite taille. Les feuillets sont constitués de couches de tétraèdres SiO_4 et de couches d'octaèdres $\text{Al}(\text{OH})_6$, reliées par les atomes O et OH^- mis en commun. Cependant, cette organisation peut être perturbée par des défauts cristallins entraînant un déséquilibre de charge plus ou moins prononcé selon le cas ; certaines argiles, comme les smectites, ont un déficit de charge dix fois plus prononcé que les kaolinites. Ce déséquilibre est compensé par l'adsorption de cations dans l'espace interfoliaire, ce qui favorise le regroupement des feuillets sous forme de particules dont la taille dépend de la qualité des liaisons[4].

L'aptitude des minéraux argileux à adsorber des molécules d'eau, ainsi que différents cations, dans l'espace inter-foliaire varie donc d'un type d'argile à l'autre. Elle est à l'origine de la sensibilité à l'eau des argiles, et des sols qui en contiennent, ou, en d'autres termes, de leur capacité à changer de consistance en fonction de la teneur en eau. Lorsqu'on mélange de la chaux vive avec un sol argileux humide, elle s'hydrate rapidement en fixant une

quantité d'eau. Puis, l'hydrate passe en solution dans l'eau. Les cations divalents Ca^{++} sont alors en mesure de déplacer les cations monovalents adsorbés à la surface des argiles, ainsi

Amélioration et stabilisation des propriétés physico- chimiques et mécaniques des argiles de la région d'Adrar dans des applications dans les centres de stockage des déchets

que ceux en plus faible concentration ou de plus petite taille. La hiérarchie est donnée par la série dite « lyotropique » dans laquelle les cations de droite remplacent ceux de gauche : Li Na H K NH₄ Mg Ca Al. [4]

➤ La Figure (V.1) définit l'organigramme représentant le travail de ce chapitre, il traite les trois mélanges à la chaux (2%, 4% et 6%) avec les trois types d'argile (Adrar, Timimoun, Bouda) en donnant les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques de ces mélanges.

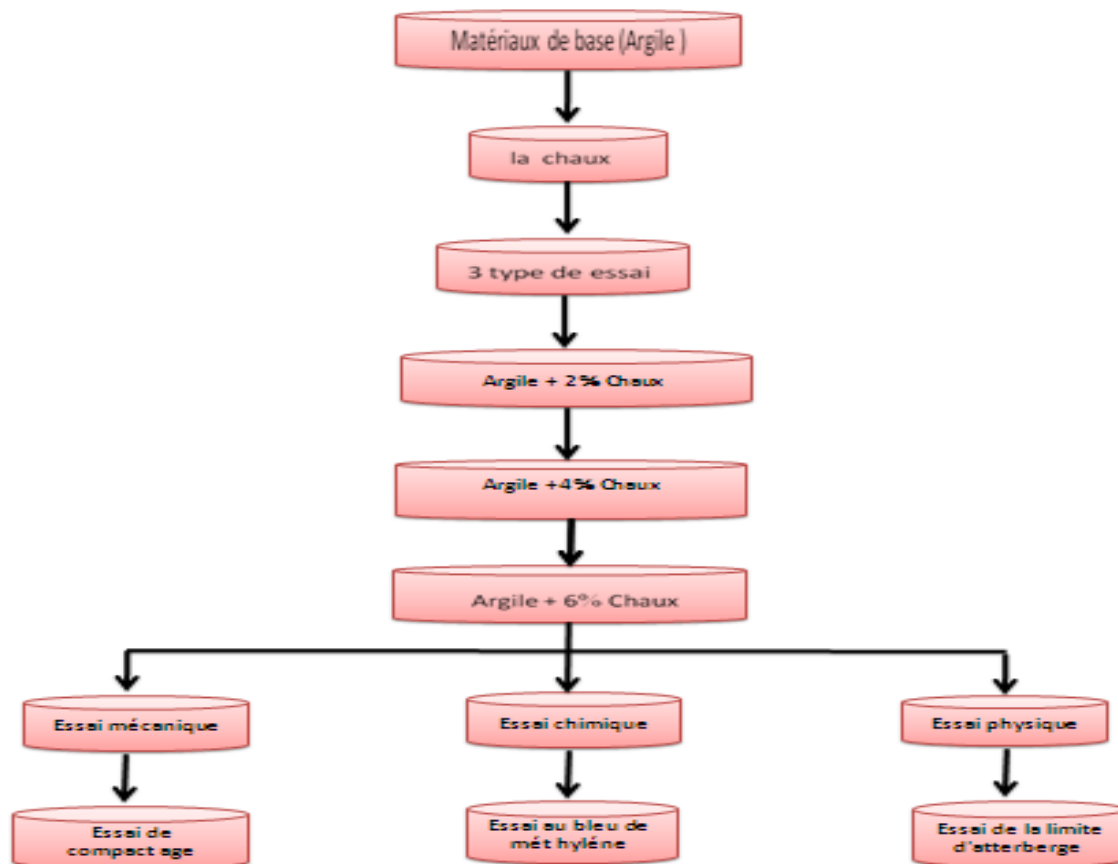


Figure V.1 : Organigramme de l'étude du traitement des argiles avec la chaux

V.6. Les essais étudiés :

V.6.1. Essai de compactage (Essai Proctor Modifié) ; (NF P 94-093) :

V.6.1.1. Techniques des mélanges :

Le choix des techniques de stabilisations les plus utilisées dépend de plusieurs paramètres tels que ; les considérations économiques, la nature du sol à traiter, durée de l'opération, la

Amélioration et stabilisation des propriétés physico-chimiques et mécaniques des argiles de la région d'Adrar dans des applications dans les centres de stockage des déchets

disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions de l'environnement.

V.6.1.2.Mode opératoire d'essai Proctor modifié des trois Argiles +chaux :

Lemême principe de l'essai déjà cité dans le chapitre IV, sauf on a traité les mélanges Argile +chaux (2%, 4%, 6%).

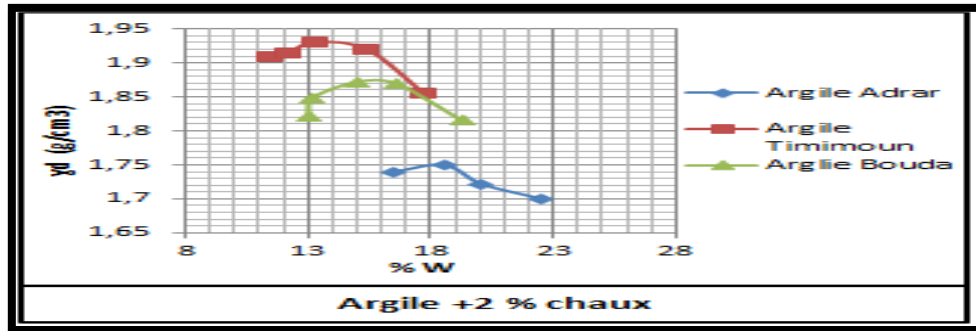


PhotoV.2 : Photos présentant le mode opératoire de l'essai de proctor des mélanges

Les figures (V.2,V.3,V.4) et le tableau suivant Représente les résultats d'essai Proctor modifié des trois argiles

Tableau V.1: Résultats de l'essai proctor modifié

	Argile Adrar		Argile Timimoun		Argile Bouda	
	γ_{dmax}	$W_{optimale}$	γ_{dmax}	$W_{optimale}$	γ_{dmax}	$W_{optimale}$
2%	1.75	18.55	1.93	13.22	1.87	14.94
4%	1.70	17	1.92	14.15	1.86	15.13
6%	1.70	20.20	1.89	15.87	1.86	15.32



Figure

V.2 :Courbes Proctor modifiées argile+2% chaux pour les trois argiles

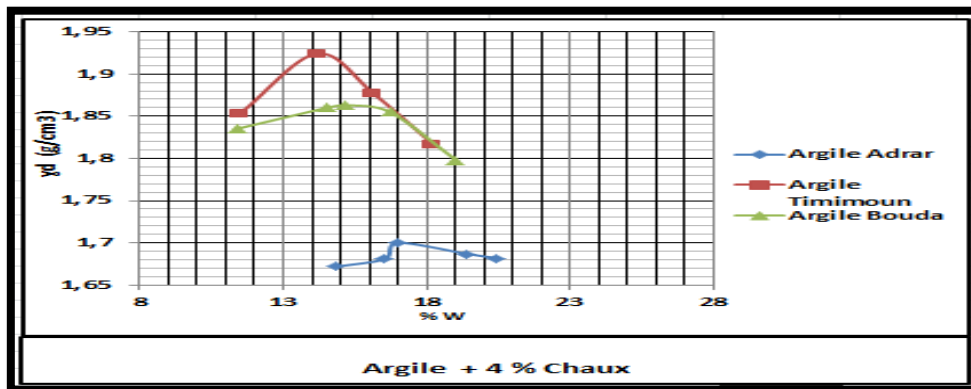


Figure V.3 :Courbes Proctor modifiées argile+4% chaux pour les trois argiles

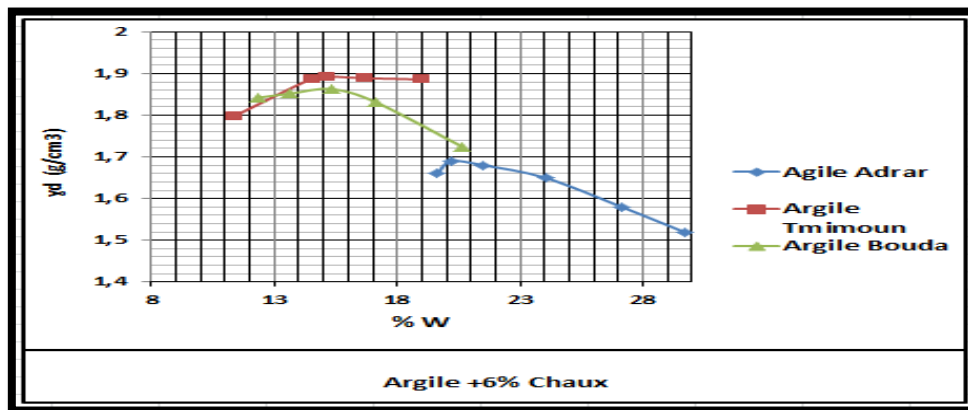


Figure V.4 :Courbes Proctor modifiées argile+6% chaux pour les trois argiles

Suivant les trois figures (V.2, V.3, V.4) qui montrent les courbes de comparaison des trois argiles pour chaque pourcentage de chaux (2%, 4%, 6%) on peut conclure que les trois figures ont la même distribution (remarque), qui montre que l'argile d'Adrar a une densité maximale plus éloignée (inférieure) que l'argile de Bouda, ainsi que l'argile de Bouda a une densité inférieure que celle de Timimoun.

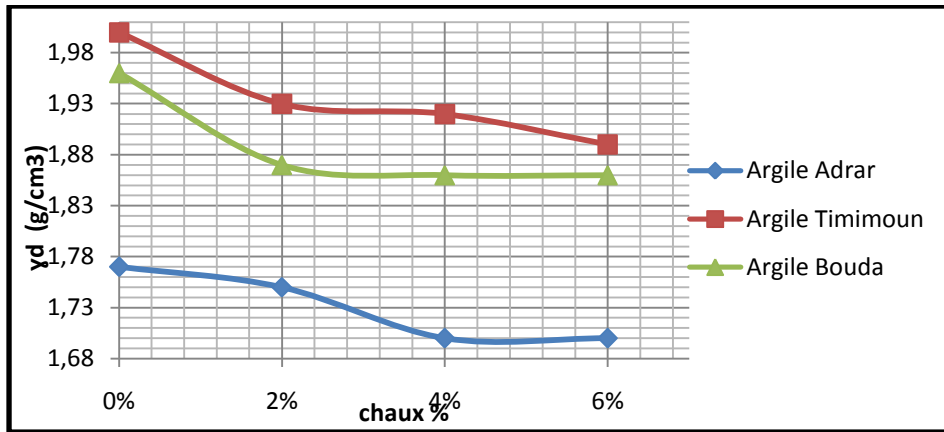


Figure V.5: L'influence du pourcentage de chaux sur le poids volumique sec optimale

Dela figure (V.5) on peut conclure que pour les trois argiles plus le pourcentage de chaux augmente , plus le poids volumique sec optimale diminue.

V.6.2.Essai au bleu de méthylène à la tache (NF P 94-068) :

V.6.2.1.Calculs et résultats

La valeur au bleu de méthylène constitue un paramètre d'identification permettant de mesurer la surface spécifique des particules solides contenues dans les sols fins et de déterminer l'activité de leur fraction argileuse (NF P 94-068).

Dans cet essai on a calculé la valeur de bleu des trois argiles mais avec des mélanges à la chaux (2%,4%,6%) la photos (V.3) présente les résultats de cet essai.

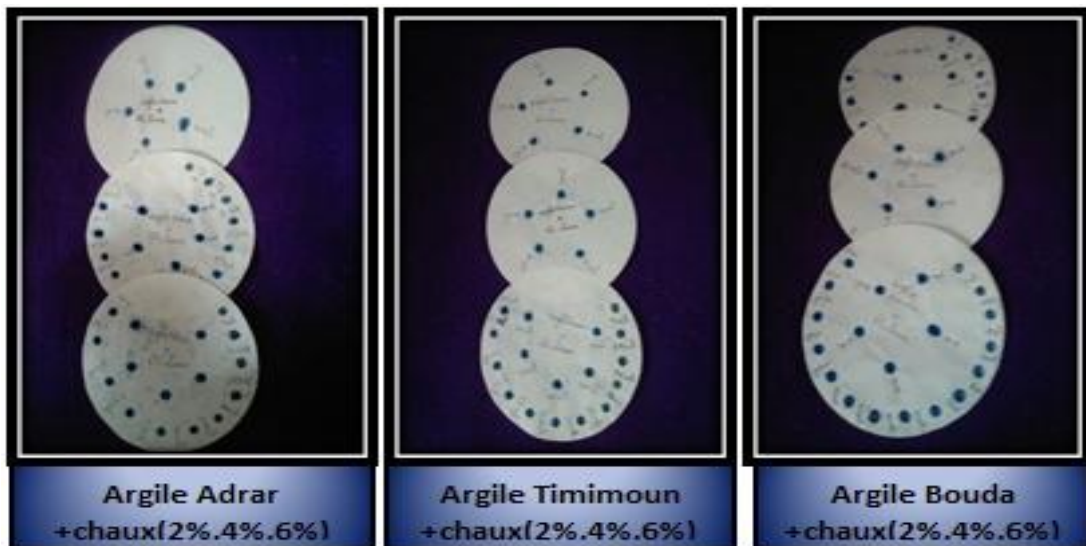


Photo V.3 : Photos présentant les résultats de l'essai de bleu de méthylène pour

dosage 2%,4% et6% de chaux avec AA et AT et AB

Suivant le tableau (V.2), on Peut dire qu'on avait attendre les mêmes résultats pour les trois types d'argile et même pour les trois pourcentages,ce qui inclue que l'ajout de la chaux n'influe pas pour les trois Argiles avec ces pourcentages.

Tableau V.2:Tableau récapitulatif des ésltats de l'essai de bleu de méthylène

	Argile Adrar		Argile Timimoun		Argile Bouda	
	SST	VB	SST	VB	SST	VB
2%	84	4	84	4	84	4
4%	84	4	84	4	84	4
6%	84	4	84	4	84	4

Une seule différence (remarque) c'est que l'ajout de la chaux a diminué le volume de bleu ; cette diminution donne une nouvelle classification de ces mélanges tableau (V.3).

Tableau V.3:Résultats de l'essai de bleu méthylène

Type d'argile		Adrar	Timimoun	Bouda
Argile Sans Traitement	Valeur de VB	10	6.5	6
	Classification	sol très argileux	sol argileux	sol argileux
Argile + Chaux(2%,4%,6%)	Valeur de VB	4	4	4
	Classification	Sol limoneux de plasticité moyenne	Sol limoneux de plasticité moyenne	Sol limoneux de plasticité moyenne

V.6.3.. Limites d'Atterberg

Le meme principe que l'essai déjà cité dans lechapitre III

Tableau V.4 :Résultats de limited'Atterberg d'argile Adrar+chaux

	W_L	W_P	I_P
2%	71	45.35	26.46
4%	68	48.46	19.54
6%	75	66.66	8.34

Tableau V.5 :Résultats de la limite d'argile Timimoun+chaux

	W_L	W_P	I_P
2%	44.52	32.59	11.93
4%	37	26.05	10.98
6%	46	36.22	9.78

Tableau V.6:Résultats de llimite d'Atterberg d' argile Bouda+chaux

	W_L	W_P	I_P
2%	41.54	20.19	21.35
4%	30	22.39	7.61
6%	41	36.90	4.1

De la courbe de limitede liquidité(W_L) figure(V.6), en fonction du pourcentage de chaux pour l'argile d'adrar ; on peut conclure que la limite de liquidité augmente pour le pourcentage de 2%après elle diminue pour 4% et elle augmente une 2^{ème} fois pour 6% et la même allure (courbe) se repète pour les deux autres argiles(Bouda et Timimoun),comme 2^{ème} remarque on peut dire que suivant les valeurs de limite de liquidité des argiles sans traitement ont changé de classement, par rapport aux mélanges (l'ajout de chaux), pour le 1^{er} essai on avait ($W_L=77.9%$) de l'argile Adrar est qui est supérieur à celle de Bouda ($W_L=67.5%$) et celle-ci est supérieurà l'argile de Timimoun ($W_L=39%$) ; par contre après l'ajout de la chaux avec ces argiles, on remarqueque la limite de liquidité d'argile Adrar est supérieur à celle deTimimoun ($W_L=44.52%$),et que celle-ci est supérieur à lalimite de liquidité d'argile Bouda.

Donc le classement a changé entre Bouda et Timimoun.

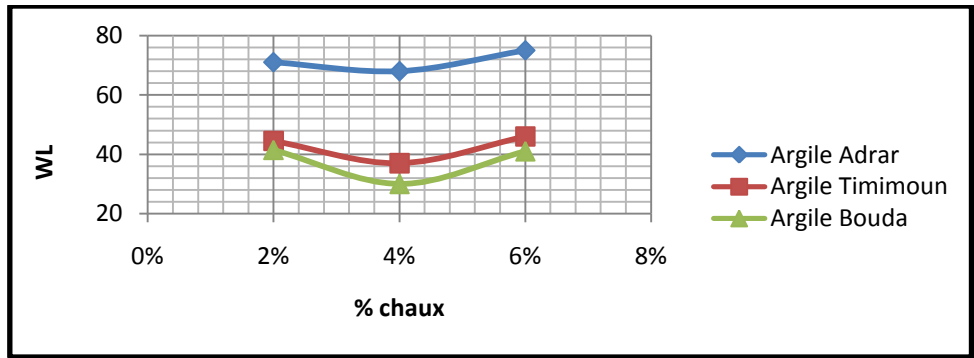


Figure V.6: Influence de % de chaux sur la limite de liquidité .

Pour la limite de plasticité (Wp) figure (V.7), on peut remarquer que plus le pourcentage de chaux augmente plus la limite de plasticité augmente ce qui implique qu'il y a

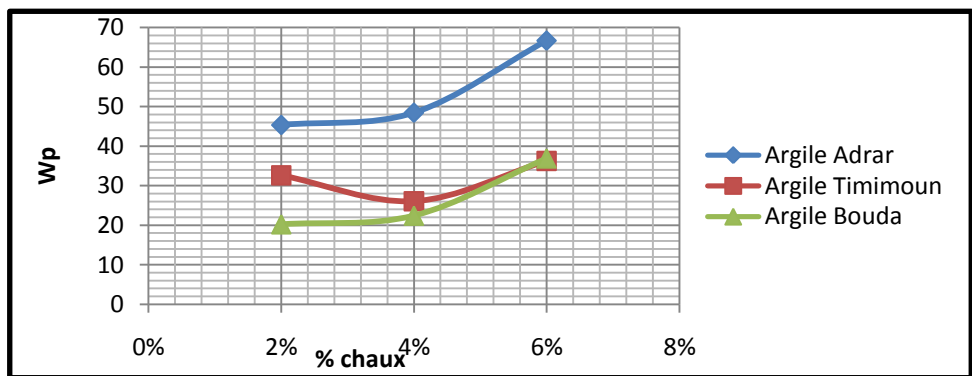


Figure V.7 : Influence de % de chaux sur la limite de plasticité .

Contrairement à la limite de plasticité, l'indice de plasticité diminue avec l'augmentation de pourcentage de la chaux (figure V.8)

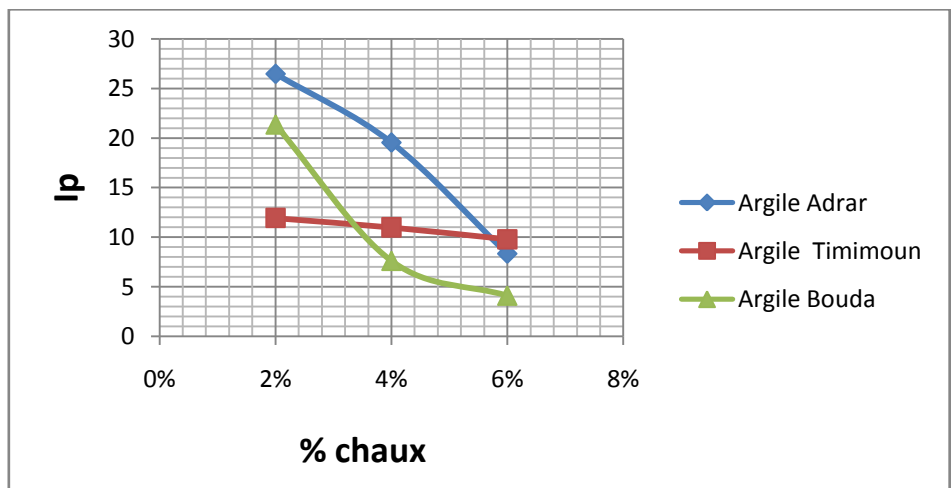


Figure V.8 : Influence de % de chaux sur l'indice de plasticité .

On peut comparer la classification de ces mélanges avec la classification des argiles sans traitement suivant l'abaque de Casagrande figure(V.9) donc l'argile d'Adrar était très plastique et après l'ajout de la chaux la classification a devenue un limon très plastique pour 2 % et 4% un sol organique très plastique pour 6%, ce qu'on peut conclure que la nature de sol a changé mais la plasticité a resté la même (très plastique). L'argile de Bouda était classifiée dans la classe des argiles plastique, et après le mélange avec la chaux a donné une argile peu plastique pour un pourcentage de 2% et un limon plastique (pour 4% et 6% de chaux). L'argile de Timimoun était argile plastique après l'ajout de la chaux on a atteint des limons plastiques pour les trois pourcentages.

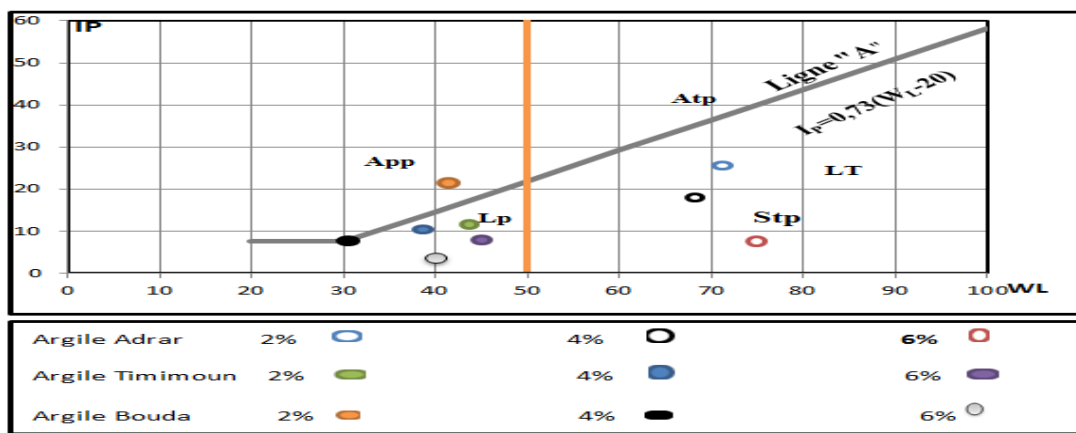


Figure V.9 :Abaque de plasticité de Casagrande selon la classification L.C.P.C des sols fins

V.7. Conclusion :

Les méthodes d'amélioration et de renforcement de l'argile avec des pourcentages de chaux 2, 4 et 6 %.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution de la plasticité et une diminution remarquable du poids volumique sec optimal. en fonction du pourcentage de chaux à ajouter. L'essai au bleu méthylène a donné des résultats stables et égaux pour les trois argiles et aux différents pourcentages.

Conclusion générale

Conclusion générale

Avec la création du ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, l'Algérie a pris en considération sur le plan environnemental la gestion des déchets. L'enfouissement technique a été choisi comme moyen principal d'élimination des déchets ménagers.

nous avons mené un travail expérimental permettant la caractérisation physico-chimique, mécanique des matériaux argileux locaux de la région d'Adrar ; une argile (Adrar Nord) et une autre argile de (Timimoun) et la troisième au niveau de la région de Bouda (Ouayna).

D'après la caractérisation physique et chimique, l'argile d'Adrar est une très plastique et très gonflante de la famille d'illite, par contre les argiles de Timimoun et Bouda sont classées comme des argiles plastiques avec une nature de Kaolinite et l'argile de Bouda a un gonflement élevé à fort, par contre l'argile de Timimoun a un potentiel de gonflement faible à moyen.

Dans les essais de compactage, nous avons trouvé que l'argile d'Adrar a une densité sèche optimale au Proctor modifié inférieure que les deux autres argiles (Bouda et Timimoun). On a pu aussi déterminer les valeurs de C_c et C_g (argiles d'Adrar et Timimoun), ainsi que E' (module oedométrique) et la valeur de $C_c/1 + e_0$ qui nous renseignent sur la compressibilité du sol.

Les résultats obtenus sur les sols prélevés ont permis de constater que l'amélioration par l'ajout de chaux à des pourcentages de 2, 4 et 6%, modifie considérablement les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques ainsi que la classification, et une diminution remarquable du poids volumique sec optimum en fonction du pourcentage de chaux à ajouter.

Pour d'éventuelles suites à ce travail, il serait intéressant de connaître la valeur de C_v (coefficient de consolidation) et le coefficient de perméabilité K qui peut nous renseigner sur la nature des déchets (déchets inertes et polluants) à enfouir dans les centres de stockage des déchets, d'étudier d'autres pourcentages par ajout de 8% et 10% de chaux.

Il reste maintenant à choisir l'argile qui donne une imperméabilité importante pour notre domaine. Ces derniers feront l'objet des travaux futurs.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Derras Abdelkader, comportement des Barrières ouvragées dans les centres de stockage de déchets. Mémoire magister, Tlemcen Avril 2012.
- [2] Bourabah ,Maghnai Asmahane, Etude bibliographique et Modélisation de comportement Mécanique des sols argileux. Mémoire magister, Tlemcen Juillet 2004.
- [3] Harrat Mehamed, Contribution à l'amélioration du procédé de fabrication de la céramique étude sur site: unité Maghreb céramique de touggourt. Mémoire magister, Ouargla Janvier 2007.
- [4] Djanni et Benmansour. Satabilisation de sols gonflants de la région d'In-Aménas par ajout des liants hydrauliques (chaux et ciment). Mémoire master, Ouargla 2011.
- [5] Hafsi et Mekki. Amélioration des caractéristiques mécaniques des matériaux à la région d'Adrar. Mémoire master, Adrar Septembre 2015.
- [6] Rahmouni et Saidi, Caractérisation mécanique de l'optimun proctor Modifié d'un Mélange Tuf-sable de dune –Argile. Mémoire master, Adrar Juin 2016.
- [7] Brahim Dgemaci. la gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité. Rouen Novembre 2012.
- [8] Boussaid et Baouahhab, caractérisation physico-chimique des gisements des argiles à la région d'Adrar. Mémoire master, Adrar Septembre 2015.
- [9] Samou et Benyahia, Conception d'une brique comprimée à partir de sable et d'argile de la région d'Adrar. Mémoire master, Adrar Juin 2016.
- [10] Azzouz]F.atima zohra. Contribution à l'étude de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes se la région de Tlemcen. Mémoire magister, Tlemcen Novembre 2006.
- [11] Cours de géotechnique (Mr B. Mekerta), Université Adrar 2016.