République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université YAHIA FARES de Médéa

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme :

Master en Génie Civil

Option : Géotechnique

Thème :

Contribution à la détermination des caractéristiques géotechniques de la bentonite de Mostaganem

Proposé et dirigé par :

Dr. Messad Ali

Etudier par :

Belal Abdelkadir islam

Taibi Amine

2017/2018

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercie Dieu tout puissant qui nous a donné la volonté et la patience pour accomplir ce travail.

Nous remercions nos parents pour leur support et leur prières.

Nous tenons à remercier Mr. Ali Messad, pour ses conseils, ses encouragements et surtout son temps malgré toutes ses occupations.

Nos remerciements vont au directeur de laboratoire géotechnique de l'EPTRC, et à touts les ingénieurs et les techniciens de laboratoire.

Nous remercions l'ingénieur de laboratoire MDC de l'USTHB.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, et à tous les enseignants qui ont participé à notre formation.

Nos remerciements à nos proches, nos collègues et à tous ceux qui ont contribué de loin ou de prés à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier le fruit de mes études :

A mes chers parents, qui ont cessez jamais de prier pour moi,

A mes chers frères, mes modèles.

A mes sœurs.

A mes nièces et mes neveux.

A mes tantes et à mes oncles.

A chaque cousins et cousines.

A ma deuxième famille, mes collègues et meilleurs amis.

Amine

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à:

Mes chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus difficiles de ce long chemin, ma cher mère qui a été à côté de moi et m'a soutenu dans toute ma vie, mon cher père qui s'est sacrifié afin de me voire devenir ce que je suis.

Merci mes parents, je vous aime beaucoup.

Et sans oublier mon petit frère mes sœurs et ma fiancée.

A toute ma famille et belle famille sans exception.

A notre promoteur Mr. MESSAD Ali qui nous a vraiment aidé.

A touts mes amis et collègues

En fin je veux remercier tous qui ont m'aides de loin ou de prés pour terminer ce travail.

BELAL

الملخص :

تهدف هذه الدراسة إلى وصف البنتونايت الخاصة بمنطقة مستغانم من خلال دراسة تأثير وقت التشبع و كذا كمية التربة المستخدمة في التجارب، لهذا الغرض تم إجراء عدة تجارب لتحديد الهوية بما في ذلك التجارب الفيزيائية (حدود Atterberg ، كثافة الحبوب الصلبة) وكذا الكيميائية (اختبار أزرق الميثيلين) وكذلك اختبار انكسار الأشعة X.

تم إجراء الاختبارات وفقاً للمعايير ، ولكن النتائج كانت خاطئة ، لذلك كان من الضروري إجراء تعديلات على الكميات الموصى بها وكذا وقت التشريب/ التشبع للحصول على نتائج لائقة.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها وجهة نظرنا حول تأثير كمية التربة المستخدمة و تأثير وقت التشبع ، بالإضافة إلى ذكر توصيات تم ذكرها من أجل المشاريع المستقبلية .

الكلمات المفتاحية: البنتونايت ، التشبع ، حدود Atterberg

Résume :

L'objectif de notre travail est de caractériser la bentonite de Mostaganem en étudiant l'influence du temps d'imbibition, de la quantité du sol utilise sur les résultats des essais. Pour cela des essai d'identification ont était effectuer notamment les essais physiques (limites d'Atterberg, la masse volumique des grains solides) et d'autres chimiques (l'essai au bleu de méthylène) ainsi que l'essai de diffraction par rayons x .

Les essais ont été réaliser selon les normes, mais les résultats étaient erronés, donc on été obliges de faire des modifications sur les quantités recommandées et le temps d'imbibition pour que les résultats obtenus soit représentatifs.

Les résultats obtenus ont confirmé notre point de vue sur l'influence du quantité de sol utilise et de temps d'imbibition, en plus des recommandations a étaient citées pour des futures projets.

Mots clés : Bentonite , imbibition , Limites d'Atterberg.

Abstract :

The objective of our work is to characterize the bentonite of Mostaganem by studying the influence of the imbibition time, the amount of used soil on the test results. For this purpose identification tests were carried out including physical tests (Atterberg limits, the density of solid grains) and other chemicals (the methylene blue test) as well as the X rays diffraction test.

The tests were carried out according to the standards, but the results were erroneous, so it was necessary to make modifications on the recommended quantities and the imbibition time for the results obtained to be representative.

The results obtained showed our point of view on the influence of the amount of soil used and the imbibition time, besides the recommendations were cited for future projects.

Key words: Bentonite, imbibition, Atterberg limits.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE……...……

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1 Introduction 01

I-2 Définitions : 02

I-2-1 L'argile : 02

I-2-2 La bentonite : 02

I-3 La microstructure de la bentonite : 03

I-3-1 Le feuillet : 03

I-3-2 La particule primaire : 04

I-3-3 L'agrégat : 04

I-4 Phénomènes exposés aux bentonites (gonflement et retrait) : 05

I-4-1 Le gonflement : 05

I-4-2 Le retrait : 06

I-4-3 Le mécanisme de gonflement : 06

I-4-3-1 Interfoliaire : 06

I-4-3-2 Interparticulaire : 07

I-5 Paramètres physiques, mécaniques et hydrauliques de la bentonite : 07

I-5-1 Paramètres physiques : 07

I-5-1-1 la granulométrie : 07

I-5-1-2 la masse volumique : 08

I-5-1-3 La valeur de bleu de méthylène : 09

I-5-1-4 La surface spécifique : 09

I-5-1-5 la consistance : 09

I-5-2 Paramètres mécaniques : 13

I-5-2-1 La cohésion (C) : 13

I-5-2-2 L'angle de frottement (φ) : 14

I-5-2-3 Le potentiel de gonflement (ε_g) : 14

I-3-2-4 la contrainte de gonflement (σ_g) : 14

I-5-3 Paramètres hydrauliques : 15

I-5-3-1 La perméabilité (K): 15
I-5-3-2 La capillarité : 16
I-6 Conclusion : 17

CHAPITRE II : REALISATION DES ESSAIS

II-1 Introduction : 18
II-2 Essais physiques : 18
II-2-1 Essai de détermination de la limite de liquidité (ω_L) : 18
II-2-2 Essai de détermination de la Limite de plasticité : 22
II-2-3 Masse volumique : 23
II-3 Essais chimiques : 25
II-3-1 La valeur de bleu de sol (VBS) : 25

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Introduction: 29
III -1- Essais DRX : 29
III-2- Limites d'Atterberg : 30
A- Limite de liquidité : 30
- **Résultats obtenus :** 30
- **Interprétation des résultats :** 32

B- Limite de plasticité : 33
- **Résultats obtenus :** 33
- **Interprétation des résultats :** 34

III-3- Masse volumique des grains solides : 34
- **Résultats obtenus :** 34
- **Interprétation des résultats :** 35

III-4 – Essais au bleu de méthylène : 35
- **Résultats obtenus :** 35
- **Interprétation des résultats :** 36

III-5- Conclusion : 36

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Liste des figures :

Figure I-1: schéma représentatif d'un modèle T-O-T……..……04
Figure I-2 : limites d'Atterberg et teneur en eau naturelle……12
Figure I-3: schéma des forces d'attraction entre les minéraux argileux……...…….13
Figure II-1 : les sacs d'imbibition contenant le sol et la quantité d'eau correspondante…...…….20
Figure II-2 : une agglomération de bentonite comporte des particules sèches à l'intérieur……...24
Figure II-3 : la viscosité de la solution de bleu de méthylène et la bentonite……..26
Figure II-4 : la liquidité de solution de bleu de méthylène et la bentonite……27
Figure III-1 : courbe de diffraction par rayon X de la Bentonite…….……...28
Figure III-2: résultats de l'essai immédiat. …….……29
Figure III-3 : résultats de l'essai réalisé après 24h…….....……29
Figure III-4 : résultats de l'essai réalisé après 48h…….……..30
Figure III-5 : résultats de tous les essais……...……30
Figure III-6 : l'auréole obtenue par l'essai de bleu de méthylène……...…34

Liste des tableau :

Tableau I-1 : caractéristiques microscopiques de la montmorillonite……....05
Tableau I-2 : Surfaces spécifiques des minéraux argileux courants ……..……09
Tableau I-3 : Remontées capillaire de différents types de sols (d'après Hansbo, 1975)…….…17
Tableau III-1 : Résultats de l'essai de diffraction par rayon X…….…….28
Tableau III-2 : les valeurs de limite de liquidité obtenus…….……..31
Tableau III-3 : les résultats obtenu par l'essai immédiat……32
Tableau III-4 : les résultats obtenus par l'essai de 48h d'homogénéisation……....32
Tableau III-5 : tout les résultats de limite de plasticité obtenus……32
Tableau III-6 : tout les résultats des indices de plasticité obtenus ……33
Tableau III-7 : valeurs obtenus dans l'essai de masse volumique……..33

INTRODUCTION GENERALE

Certains considèrent la géotechnique comme un art par rapport aux autre branches du génie civil, techniquement parlant, la géotechnique présente le domaine d'étude des propriété physiques, mécaniques et hydrauliques des sols et des roches, en se basant sur des théories communes avec des autres branches, elle peut être applicable aux travaux routiers et travaux de construction.

Le terme "Géo" indique la terre « Sol » qui présente le problème et la solution de la géotechnique, le sol est définit comme le milieu de travail du géotechnicien, il peut être le support de l'ouvrage ou bien les matériaux constructifs dans un projet. Il présente l'ensemble des agrégats de différentes tailles, d'origines minérales et organique qui couvre la croute terrestre. Il peut être classifié selon plusieurs critères parmi eux il y a les dimensions des grains (grossier et fins), ces dimensions sont des indicateurs des types de sols (graves, sables, argiles et limons) , le comportement vis-à-vis de l'eau (gonflant ou non gonflants)…etc.

Les sols qui posent toujours des dilemmes aux géotechniciens sont les sols argileux, ils sont très caractérisés par leurs comportements compliqués surtout lorsqu'ils sont en contact avec l'eau ce qui peut engendrer des situations catastrophiques ainsi que le gonflement dans la saison pluviale et le retrait dans la saison de sècheresse.

Parmi ces argiles il y a la bentonite qui est de la famille de "Smectites" appelé aussi "Montmorillonite", Cette argile est caractérisée par sa capacité d'absorption et de rétention d'eau ainsi que son activité, elle est utilisée comme une boue dans les forages des puits et des pieux sous le nom commercial "boue béntonitique ", aussi elle est utilisée comme un matériaux imperméable, parfois on la trouve dans la production des céramiques et dans la production pharmaceutique grâce à sa richesse de minéraux, cette diversité d'utilisation nous a poussé à essayer d'étudier son comportement par curiosité plus que l'esprit scientifique.

La compréhension du comportement doit être passé par une étape assez essentielle appelé l'étude expérimentale, cette étude comporte une série d'essais in situ et au laboratoire sous des conditions adéquates, suivant des normes mondiales pour avoir des meilleurs résultats. Ces résultats nous permettent d'identifier et de classifier le sol étudié.

l'objectif de notre travail est de caractériser la Bentonite de Mostaganem en étudiant l'influence, du temps d'imbibition, de la quantité du sol utilisé pour l'échantillonnage, de la manière de malaxage et de tant d'autres paramètres sur les résultats des essais afin d'aboutir à un mode opératoire qui nous permettra d'obtenir des résultats référentiels.

Ce mémoire est constitué de deux parties:

- La première est une partie bibliographique qui traitera en premier lieu des informations d'ordre général sur les argiles.
- La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale, elle comporte les modes opératoires des essais ainsi que les résultats obtenus et des commentaires.

On termine avec une conclusion générale, des recommandations et perspectives.

CHAPITRE 01:
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I-1 Introduction

Dans le domaine des travaux publics et de bâtiment, l'investigation géotechnique présente une étape très importante avant de réaliser n'importe qu'elle ouvrage, son importance apparait dans la connaissance des différentes caractéristiques du sol support et parfois du milieu environnant des travaux. Pour cela des essais in situ et en laboratoire doivent être réalisées, pour identifier le comportement du sol vis-à-vis des différents facteurs influant sur ses caractéristiques et par la suite faire l'intervention adéquate pour éviter les désordres possibles.

Parmi les fameux phénomènes qui provoquent des désordres importants et parfois des dégâts, celui de gonflement et de retrait, ces deux phénomènes touchent les sols fins (argiles), spécifiquement parlant les argiles gonflantes comme la bentonite.

I-2 Définitions :

I-2-1 L'argile :

Le mot argile vient du grec "argilos" dérivé de "argos" qui veut dire blanc et qui signifie la couleur du matériau utilisé en céramique. D'autres appellent une argile tous les sols contenants des portions des particules d'argile ou des minéraux argileux suffisantes pour leur donner une cohésion et aussi une plasticité. L'argile est un sol à grains fins résulte par la fragmentation des roches c'est à dire qu'il est une roche à l'origine.

De point de vue géotechnique, on peut définir l'argile comme étant toutes les particules dont la dimension maximale des grains est inferieure ou égale à 0.075mm selon l'USCS (Unified Soil Classification System) , 0.05mm selon l'ASTM et AASTHO(American Society for Testing and Materials et American Association for State Highway and Transportation Officials) , 0.08mm selon les normes françaises .[1]

I-2-2 La bentonite :

La bentonite est généralement dite aux matériaux à usage beaucoup plus industriel, connue sous le terme de la terre à foulon. Techniquement parlant, une bentonite est une argile exceptionnelle composé essentiellement de smectites et plus particulièrement de montmorillonite de 80% avec d'autre minéraux comme le feldspath, le quartz, la pyrite et le mica .Certains disent que les gisement de bentonite sont d'origines volcanique [2].

Cette argile est très active, elle a une grande capacité de rétention d'eau c'est pour cela elle est utilisé dans les travaux de terrassement et de forage des pieux et des parois moulés sous forme d'une boue.

D'une autre part, elle a un comportement très complexe lors de la mise en contact avec l'eau, on parle du gonflement et de retrait, ces deux phénomènes dépendent essentiellement de la variation de la teneur en eau et aussi de la microstructure complexe de ce matériau.

I-3 La microstructure de la bentonite :

On a dit que la bentonite est composée essentiellement de la montmorillonite, pour cela il suffit de comprendre la microstructure de cette dernière pour comprendre celle de la bentonite.

La montmorillonite "Smectite" est un minéral argileux composé de silicate d'aluminium et de magnésium hydraté D'après [Le Pluart *et al.* (2004)], elle a une structure multi-échelle composée de trois éléments qui sont: le feuillet, la particule primaire et l'agrégat. Ces composantes peuvent être observées par des techniques expérimentales bien sophistiquées comme la MEB (Microscope Electronique à Balayage) et la MET (Microscope Electronique à transmission).

I-3-1 Le feuillet :

Un feuillet présente l'unité basique dans la structure d'argile, son épaisseur est d'environ 1 nm, elle peut être tétraédrique ou octaédrique. Les feuillets sont séparés par un espace appelé l'espace interfoliaire.

Dans le cas de la montmorillonite, chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent et a une extension latéral extrêmement grande par rapport à son épaisseur ce qu'elle donne une forme assez unique composé des faces inférieures et supérieures.[3]

Les feuillets de la montmorillonite sont constitués des couches placés de forme 2:1 ou T-O-T qui veut dire deux couches Tétraédrique séparés par une couche Octaédrique.

- Les couches tétraédriques sont agencées en mailles hexagonales et sont constitués de tétraèdres d'oxygène entourant un atome de silicium ou d'aluminium.
- Les couches octaédriques sont composés d'octaèdres formés par deux plans d'oxygènes-hydroxyles encadrant des atomes plus larges comme le Fer, le magnésium, l'aluminium, lithium.

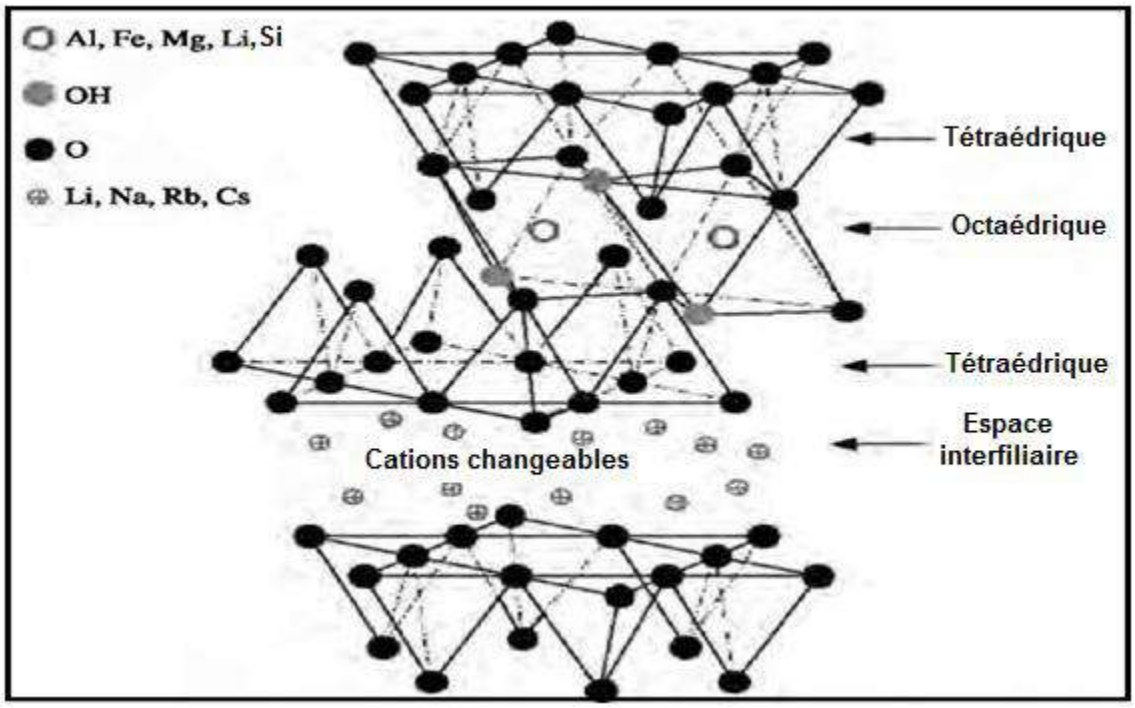


Figure I-1 : Schéma représentatif d'un modèle T-O-T

I-3-2 La particule primaire :

Ses particules sont formées d'un empilement des feuillets identiques parallèlement à leur plan de base. Les empilements peuvent être ordonnés, semi-ordonnée, désordonné. Son épaisseur est de 8 à 10 nm. Dans le cas de montmorillonite les empilements sont désordonnés.

I-3-3 L'agrégat :

Il est défini comme étant un ensemble des particules primaire, il a une dimension de 0.1 à 10 micromètres, elle résulte de l'interaction entre les particules primaire . Les particules primaires sont positionnées de façon aléatoire et dans toutes les directions.

Argile	Smectite
Type de feuillet	2:1
Epaisseur de feuillet (A°)	9,6
Nombre de feuillet par particule	1-40
Surface spécifique (m^2/g)	700-900
Comportement dans l'eau	Gonflant

Tableau I-1 : caractéristiques microscopiques de la montmorillonite

I-4 Phénomènes exposés aux bentonites (gonflement et retrait) :

Le sol dans la nature est exposé toujours aux différents phénomènes qui se passe spontanément et naturellement, et qui influe de façon négative dans la plus part du temps, parmi ces phénomènes il y a ceux qui sont en relation directe avec l'eau, on parle de retrait et de gonflement.

Ces deux phénomènes touchent beaucoup plus les sols fins (argiles) à cause de la forte présence des minéraux gonflants, notamment la bentonite. Comme on a dit le gonflement et le retrait sont en relation avec la variation de la teneur en eau de sol qui peut inclure dans deux saisons l'hiver et l'été, la saison pluviale et celle de sècheresse.

I-4-1 Le gonflement :

Il est définit comme une augmentation de volume de sol lorsqu'il est mis en contacte avec l'eau.

Ce phénomène se passe durant la saison pluviale quand l'argile est complètement saturée en eau. En Pratique, le gonflement dépend de l'augmentation de la teneur en eau d'un sol et aussi de ça teneur en minéraux argileux actifs, ces minéraux aident l'eau à s'infiltrer plus facilement , ainsi que la composition chimique de l'eau qui peut favoriser ce phénomène. [1]

I-4-2 Le retrait :

Le retrait est une diminution de volume d'un sol, Contrairement au gonflement il survient lorsque La teneur en eau d'un sol diminue .

Dans la nature cette diminution peut être par l'abaissement de la nappe phréatique ou bien par l'évaporation de l'eau souterraine en surface dans la saison de sècheresse, cette diminution s'accompagne d'une remonté capillaire(tension capillaire) se qui fait une augmentation de l'attraction entre les particules.

Plus le sol s'assèche, plus les particules s'approchent et plus le volume se réduit.

I-4-3 Le mécanisme de gonflement :

Le gonflement est un phénomène très complexe influé par plusieurs facteurs minéralogiques, hydriques et chimiques, qui ont besoin des dispositifs et des essais très compliqué et couteux pour comprendre ce phénomène, mais de façon brève.

Des analyses minéralogiques montrent que le gonflement se passe de 2 façons:

I-4-3-1 Interfoliaire :

Ce gonflement intervient à l'échelle microscopique, mais il peut avoir des ampleurs importantes, comme le cas des Smectites et les montmorillonites ces argiles sont fameuses de leur liaison interfeuillets faibles. Ils ont une propriété de fixer les molécules d'eau entre deux feuillets voisins, donc l'eau pénètre à l'intérieur des particules et s'organise en couches mono-moléculaires, par conséquence ses couches écartent les particules les uns aux autres, et on observe un gonflement. [4]

I-4-3-2 Interparticulaire :

Dans ce cas, l'eau pénètre entre les particules primaires (assemblage des feuillets), ce gonflement a des ampleurs assez limités mais peut affecter toutes les argiles.

Les échanges cationiques et la minéralogie de l'argile qui précise le type de gonflement .

I-5 Paramètres physiques, mécaniques et hydrauliques de la bentonite :

Dans le but de classifier le sol et de déterminer les différentes paramètres physiques, mécaniques et hydrauliques d'un échantillon de sol, des essais doivent être réalisés.

I-5-1 Paramètres physiques :

Les paramètres physiques sont des paramètres qui ont une relation avec l'état naturelle du sol, ils influent sur les caractéristiques mécaniques et hydrauliques du sol. Parmi eux ceux dont on aura besoin dans cette étude : la granulométrie, la masse volumique, la valeur de bleu de méthylène, la surface spécifique et la consistance.

I-5-1-1 la granulométrie :

La granulométrie est définie comme la répartition de la dimension moyenne des particules du sol selon leur diamètre équivalent pour le but de le classifier, pratiquement il existe plusieurs essais pour déterminer la granularité surnommé Analyse Granulométrique, qui nous indique les proportions de grains de différents diamètres d'un échantillon.

On trouve en général deux types d' essais :

A. Analyse granulométrique par tamisage :

L'essai peut se faire pour les sols dont les particules ont des diamètres équivalents supérieurs à 80µm. Il consiste à faire passer un échantillon représentatif de sol à travers des tamis superposés dont les ouvertures vont en décroissant du haut vers le bas .Les particules les plus grosses restent donc emprisonnées sur les tamis les plus hauts. Tandis que les particules plus fines se dirigent vers les tamis inférieurs.

B. Analyse granulométrique par sédimentation :

L'essai est fait avec les particules de diamètre équivalent est inférieur à 80µm, lorsqu' il est impossible d'utiliser les tamis.

I-5-1-2 la masse volumique :

La masse volumique représente le rapport entre la masse et un certain volume de sol, elle peut être déterminée au laboratoire à l'aide d'un pycnomètre; Il existe plusieurs formes de masses volumiques :

La masse volumique total : $\rho = \frac{M}{V}$

La masse volumique du sol sec : $\rho_d = \frac{M_S}{V}$

La masse volumique des solides : $\rho_S = \frac{M_S}{V_S}$

La masse volumique déjaugée : $\rho' = \rho - \rho_W$

Ou ρ_W correspondent à la masse volumique de l'eau :

$$\rho_W = \frac{M_W}{V_W} = 1\ g/cm^3$$

I-5-1-3 La valeur de bleu de méthylène :

La valeur de bleu de méthylène d'un sol exprime la capacité d'absorption de la solution de bleu de méthylène par les particules d'argile. Elle a pour un objet d'estimer la surface spécifique et par la suite l'activité de ce sol.

Elle peut être déterminée au laboratoire en utilisant un dispositif adéquat et des matériaux spécifiques pour cela.

I-5-1-4 La surface spécifique :

La surface spécifique est définit comme le rapport entre la surface d'un solide et sa masse ou son volume. En termes de volume, elle est exprimée comme suit :

$$\textbf{Surface spécifique} = \frac{\text{surface}}{\text{volume}} \ (m^2/g)$$

Elle peut être déterminée au laboratoire en utilisant une formule spécifique en fonction de la valeur de bleu de méthylène.

Type d'argile	Surface spécifique (m^2/g)
kaolinite	10 - 70
illite	80 -100
montmorillonite (Smectite)	300-500

Tableau I-2 : Surfaces spécifiques des minéraux argileux courants

I-5-1-5 la consistance :

Le mot consistance signifie l'état de fermeté, elle est liée aux forces de cohésion entre les particules donc les sols grenus ne sont pas concerné par elle. Elle a une influence sur la résistance aux déformations.

La consistance dépend de la distance qui sépare les particules d'un sol. Cette distance est simplement estimative à partir de détermination de la teneur en eau, surtout dans les cas d'un sol à grains fins.

La consistance peut être présenté sous une valeur exacte appelé **Indice de consistance I_c** , cet indice est calculé en fonction des autres paramètres appelé les limites d'Atterberg.

On distingue quatre états de consistance :

A. L'état solide :

Dans cet état les particules de sol sont en contact les unes avec les autres et les films d'eau adsorbée sont très minces. L'assèchement du sol ne produit aucun retrait. Le sol manifeste une très grande résistance au cisaillement, En génie civil on parle de sol ayant un comportement fragile.

B. L'état semi-solide :

Lorsque un sol est à cet état a une faible teneur en eau et la cohésion est aussi très importante. Les films d'eau adsorbée sont encore minces mais séparent légèrement les particules de telle sorte qu'un assèchement du sol va causer un retrait

C. L'état plastique :

Un sol à l'état plastique, sa teneur en eau est plus grande et ses particules sont plus éloignées les unes des autres. Les films d'eau adsorbée sont beaucoup plus épais, mais ils se touchent encore. La cohésion est plus faible que celle de l'état précédent, sous des petites charges, le sol se déforme sans fissure.

D. L'état liquide :

Dans cet état de sol, la teneur en eau est très élevée, il n'existe plus aucune cohésion entre les particules, qui sont entourées de leur film d'eau adsorbée et isolée les unes des autres par l'eau libre. Le comportement des sols va être comme celle d'un liquide visqueux.

Ces quatre états de consistance sont séparées par des teneurs en eau qui les délimitent on les appelle les limites de consistance ou limites d'Atterberg.

Les limites d'Atterberg sont utilisées dans le but de déterminer l'état de consistance d'un sol, elles sont exprimées en pourcentages. On peut les présenter comme suit :

A. La limite de retrait (ω_s) :

Elle est définie comme la teneur en eau maximale que le sol peut avoir sans changer de volume. Cette limite sépare l'état solide de l'état semi-solide. [1]

La limite de retrait peut être déterminée au laboratoire à partir d'un essai spécifique en utilisant le Mercure avec un dispositif adéquat.

B. La limite de plasticité (ω_p) :

Elle est une teneur en eau au delà de laquelle le sol devient plastique, pratiquement cette limite est calculée lorsqu' on observe une apparition de fissures dans l'échantillon de sol.

On peut détermine cette limite au laboratoire avec un mode opératoire assez simple, on parle de la méthode classique de rouleau.

C. La limite de liquidité (ω_L) :

C'est la teneur en eau au delà de laquelle le sol devient liquide, autrement dit ; une teneur en eau pour laquelle une rainure se renferme sur une distance de 13 mm au bout de 25 coups successifs à la coupelle de Casagrande ou la teneur en eau correspondante à un enfoncement de 17mm de cône de pénétromètre suédois.

Cette limite peut être déterminée au laboratoire par deux méthodes : la première est celle de la coupelle de Casagrande et la deuxième est celle du pénétromètre à cône suédois.

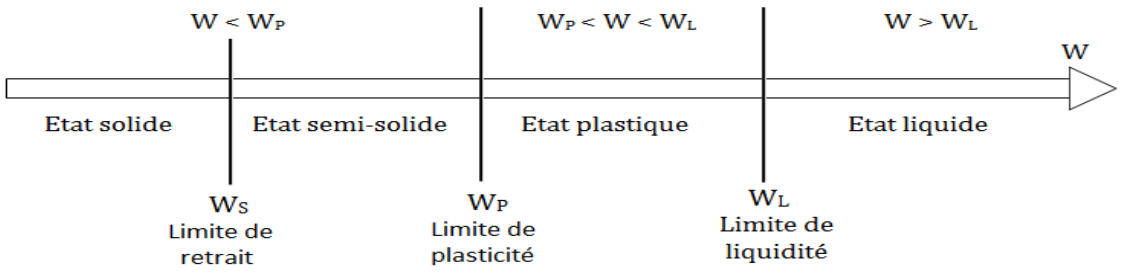


Figure I-2 : Limites d'Atterberg et teneur en eau naturelle

Ces limites pourront être utilisées pour déterminer des indices de consistance qui s'expriment en pourcentage et qui sont :

L'indice de plasticité (I_P) : il est définit comme la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, autrement dit, cet indice définit l'étendue du domaine plastique.

$$I_P = \omega_L - \omega_p$$

L'indice de liquidité : (I_L) : il permet de savoir rapidement l'état de consistance d'un sol parce qu'il est basé sur une comparaison de la teneur en eau naturelle (ω) aux limites de liquidité et plasticité de sol .

$$I_L = \frac{(\omega - \omega_L)}{(\omega_L - \omega_P)} = \frac{(\omega - \omega_L)}{I_P}$$

I-5-2 Paramètres mécaniques :

Les paramètres mécaniques sont des facteurs variables qui peuvent être influés par l'état hydraulique et l'état de chargement de sol, pour cela leurs détermination est très utile pour caractériser le comportement mécanique d'un sol .

On utilisant des essais convenables pour cela et un matériel bien sophistiqué pour chaque essai et notamment des normes adéquats pour obtenir des résultats fiables.

Parmi les paramètres qu'on peu déterminer au laboratoire on cite :
la cohésion, l'angle de frottement, la résistance au cisaillement, le potentiel et la contrainte de gonflement.

I-5-2-1 La cohésion (C) :

La cohésion est définit comme une force d'attraction entre les particules d'argile, cette force résulte entre les surface des minéraux qui sont chargées négativement et qui attirent les cations des films d'eau adsorbée qui sont chargé positivement, ces cations agissent comme des liens d'attraction entre les minéraux argileux, plus ces derniers sont rapprochés plus l'attraction est forte.

Seulement les sols fins sont concernés par cette cohésion, elle est considéré comme le seul facteur qui garanti la stabilité de squelette granulaire.

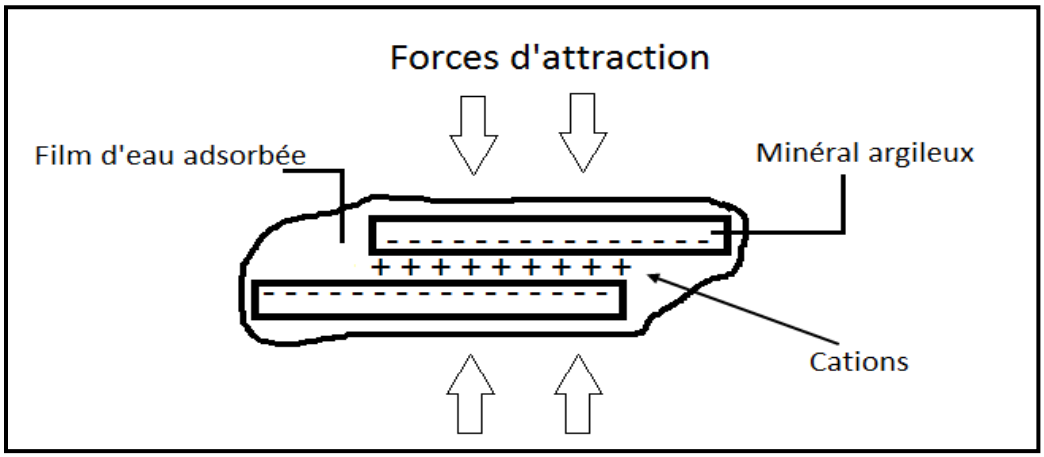


Figure I-3: Schéma des forces d'attraction entre les minéraux argileux

I-5-2-2 L'angle de frottement (φ) :

Elle est définit comme une caractéristique intrinsèque d'un sol, exprimée en degrés, correspondante à l'inclinaison de la droite de Coulomb.

On peut déterminer les valeurs de cohésion et de l'angle de frottement à partir des calculs faits après la réalisation des essais en laboratoire. Ces essai sont appelés les essais de cisaillement qui peut être **direct (à la boite)** ou bien **triaxial.**

I-5-2-3 Le potentiel de gonflement (ε_g) :

Un potentiel de gonflement signifie la déformation maximale que provoque l'imbibition d'une éprouvette de sol sous une contrainte quasi nulle. On peut l'estimer et l'évaluer à partir des méthodes directes et indirectes.

I-3-2-4 la contrainte de gonflement (σ_g) :

Elle est définit comme la contrainte qu'il faut appliquer au matériau gonflant afin que lorsqu'il est mise en contact avec l'eau à la pression atmosphérique, sa déformation axial correspondante soit nulle.

Les méthodes directes consiste à réaliser des essais de gonflement in situ et au laboratoire, mais comme les essais in situ sont très couteux, celles de laboratoires sont les plus utilisées, pratiquement il existe plusieurs types des essais au laboratoire. Parmi elles on cite :

A. L'essai de gonflement sous charge constante :

L'essai est fait généralement sur plusieurs éprouvettes (04 éprouvettes) de même échantillon et propriétés, à l'aide d'une cellule œdométrique, l'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lorsqu'elle est mise en contacte avec l'eau.

B. L'essai de gonflement sous plusieurs paliers :

Cet essai se différencie du premier dans le mode de chargement, de façon que l'échantillon aurait subit à un cycle de chargement/déchargement pour un but d'éliminer les effets de la maniabilité d'éprouvette. Par la suite l'éprouvette est mise en présence d'eau sous une contrainte, après la stabilisation de gonflement l'échantillon est déchargé par palier avec une stabilisation entre chaque palier.

C. L'essai de gonflement à volume constant :

Le principe de cet essai est de saturer l'échantillon tout en maintenant son volume constant. La pression de gonflement est la pression qui garantir la constance de volume d'éprouvette à la saturation.

I-5-3 Paramètres hydrauliques :

Lorsque on parle du mot " Hydraulique" dans le domaine de géotechnique, on parle de l'eau qui influe de manière assez importante sur le comportement de sol surtout s'il s'agit d'un sol fin.

Pratiquement, il existe plusieurs paramètres hydrauliques mais on s'intéresse beaucoup plus à la perméabilité d'un sol et à sa la capillarité .

I-5-3-1 La perméabilité (K):

Elle est définit comme la capacité d'un sol à laisser passer l'eau à travers les pores existants dans le sol lui-même. Elle représente un paramètre très important car elle influe directement sur le drainage de l'eau à travers le sol, donc il faut toujours faire attention à ce sujet surtout pour les essais au laboratoire qui sont fait en présence d'eau et de drainage ainsi que l'essai œdométrique.

La perméabilité varie selon les dimensions des grains de sol et l'état de compactage de ce sol, ce qui nous permet de manipuler ce paramètre librement.

Elle peut être déterminée en laboratoire par des essais à charge constante ou bien à charge variable.

I-5-3-2 La capillarité :

La capillarité est définit comme un phénomène physique traduit par la remonté de niveau d'eau, elle apparait carrément lorsque on plonge un tube de verre très fin dans un récipient contenant de l'eau. Par la suite l'eau s'infiltre à l'intérieur du tube et s'élève à une hauteur supérieure au niveau de l'eau du récipient.

Dans le sol, l'eau s'infiltre par capillarité à travers les interstices du sol, Ces interstices forment un réseau complexe et jouent le rôle de tube capillaire.

La capillarité a une relation directe avec la granularité et l'indice des vides de façon que, plus les particules du sol sont fines et les vide entre les grains sont petite, plus la remontée capillaire est élevée. [1]

Type de sol	Remontées capillaire approximatives (m)	
	Etat lâche	Etat dense
Sable grossier	0.03 à 0.12	0.04 à 0.15
Sable moyenne	0.12 à 0.50	0.35 à 1.10
Sable fin	0.30 à 2.0	0.40 à 3.5
Silt	1.5 à 10	2.5 à 12
argile	≥ 10	≥ 10

Tableau I-3 : Remontées capillaire de différents types de sols (d'après Hansbo, 1975)

I-6 Conclusion :

Cette partie était consacré à la description des argiles en général et surtout les argiles gonflantes, on a vu des définitions brèves des différents termes qu'on va utiliser et puis la complexité de la structure de la bentonite ce qui se traduit par une complexité de son comportement surtout lorsqu'il est mis en contact avec l'eau.

On a vu aussi les différents paramètres qu'on aura besoin pour la caractérisation de la bentonite.

CHAPITRE 02 :

Réalisation des essais

II -1 Introduction :

Lors des études bibliographiques, relatives à la caractérisation de la bentonite de Mostaganem, on a remarqué que pour le même sol, les différentes études aboutissent à des résultats très éparses et parfois contradictoires, y compris ceux réalisés par nos soins tels que les limites d'Atterberg, L'essaie de bleu de méthylène, la densité apparente et les analyses granulométriques.

A priori, nous ne pouvons réaliser notre travail initial qui consiste à une étude de la caractérisation de la bentonite sans résoudre le problème relatif à la dispersion des résultats pour les mêmes sols.

Ceci nous a amené à faire des recherches sur les causes de la dispersion des résultats. On doit étudier l'influence, du temps d'imbibition, de la quantité du sol utilisé pour l'échantillonnage, de la manière de malaxage et de tant d'autres paramètres afin d'aboutir à un mode opératoire qui nous permettra d'obtenir des mêmes résultats pour des matériaux identiques dans la limite des écarts permis. Pour ce faire, des séries d'essais au laboratoire on été effectuées.

II-1 Essais physiques :

II-1-1 Essai de détermination de la limite de liquidité (ω_L) :

Après recherche bibliographique et d'après les travaux de Mme Massaouda Debieche ; La valeur de limite de liquidité pour le même sol est de 187 % [5] et 243% cette contradiction des résultats nous a mis dans un dilemme qu'on doit résoudre.

La limite de liquidité est la teneur en eau au delà de laquelle le sol devient liquide, autrement dit ; une teneur en eau pour laquelle une rainure se renferme sur une distance de 13 mm au bout de 25 coups successifs de la coupelle de Casagrande.

Sachant que les principaux facteurs qui peuvent influer sur la fiabilité des résultats sont : [1]

- La préparation de l'échantillon de sol en vue d'obtenir un mélange parfaitement homogène.
- La hauteur de chute de la coupelle, qui doit être ajustée à 10mm exactement.
- La quantité et l'épaisseur de sol dans la coupelle.
- La vitesse de chute de la coupelle qui doit être (2 coups par seconde).
- Les variations indésirables de la teneur en eau durant l'essai.
- La propreté du matériel tout au long de l'essai.

Lorsque on a essayé d'appliquer le mode opératoire classique, on a trouvé plusieurs difficulté à cause de :

- Le comportement bizarre de la bentonite en contact avec l'eau.
- La variation rapide de la teneur en eau qui a compliquée et influée sur les résultats obtenues.
- La difficulté du malaxage de bentonite/eau qui donne une hétérogénéité de mélange.

Pour cela on a proposé d'étudier l'effet du temps de malaxage sur la détermination des limites d'Atterberg de cette argile.

- **Le plan proposé :**

Pour la détermination de la limite de liquidité, on a réalisé un essai immédiat (mode opératoire classique) selon la norme NF P 94-051 pour estimer la limite de liquidité, puis on a met en imbibition des séries de sol avec des différentes teneurs en eau dans la plage de la limite de liquidité obtenue dans l'essai immédiat, ces séries ont été réalisées avec différents temps d'imbibition.

- Déroulement des essais :

❖ **Préparation de l'échantillon :**

- Prendre un sac imperméable et le tarer.
- Prendre une quantité du sol est le mettre dans le sac puis le peser.
- Tarer encore une fois la balance et ajouter une quantité d'eau selon le pourcentage souhaité.
- Assurer que le sac est parfaitement fermé afin d'éviter que l'air et l'humidité ne s'infiltrent à l'intérieur du sac.
- Malaxer le mélange dans le sac et assurer que le mélange est homogène.
- Coller sur le sac une étiquette qui porte le temps et le pourcentage de teneur en eau d'imbibition , la date de l'essai .



Figure II-1 : les sacs d'imbibition contenant le sol et la quantité d'eau correspondante

❖ **Réalisation de l'essai :**

Après que l'échantillon a été bien imbibé (24h et 48h)

- Faire sortir le mélange du sac et confirmer que le sac est vide (aucune particule de sol est coller dedans) .

- Malaxer le mélange sur une plaque en marbre jusqu'aucune bulle d'air n'apparait pour obtenir une pate homogène.

- Remplir la coupelle à l'aide d'une spatule en plusieurs couches afin d'éviter la composition des bulles d'air.

- Fixer la coupelle dans l'appareil en utilisant une vis de fixation.

- Appliquer une rainure à l'aide d'un outil à rainurer divisant le sol en deux parties identiques .

- Subir une série de choc à la coupelle en utilisant la came de l'appareil en suivant un rythme de 2 coups par seconde.

l'essai est terminé lorsque les deux lèvres de la rainure se rejoignent sur une distance de 10 mm.

- Une prise d'environ 4g de sol contenu dans la coupelle est utilisée pour la détermination de la teneur en eau par la suite.

II-1-2 Essai de détermination de la Limite de plasticité :

Comme celle de liquidité, on a réalisé un essai immédiat puis on a refait l'essai avec des temps d'imbibition différents.

- Déroulement de l'essai :

- **Préparation de l'échantillon :**

- Mettre en imbibition une prise de sol d'environ 70g avec une teneur en eau de 70% dans un sac imperméable

- **Réalisation de l'essai :**

Les étapes suivantes ont été appliquées à des déférents temps d'imbibition à 24 et 48 heures.

- Former des boulettes en argile et les mettre sur une surface absorbante telle qu'un papier absorbant pour assécher l'échantillon à l'air libre.

- Lorsque les boulettes commencent à être maniables, former des rouleaux en utilisant la paume de la main.

- Continuer ce processus jusqu'à l'obtention d'un rouleau de 3mm de diamètre et 10mm de longueur.

- L'essai se termine lorsque le rouleau se brise ou lorsque des fissures transversales apparaissent sur la surface de rouleau.

- **Coefficient d'activité :**

D'après Skempton (1953), on peut définit l'activité d'une argile par la formule suivante :

$$A = \frac{I_P}{\text{fraction argileuse}}$$

tel que : la fraction argileuse est le pourcentage en masses des particules inférieures à 2 µm .

II-1-3 Masse volumique :

L'essai de détermination de la masse volumique des argiles est fait selon la norme NF P94-054 en utilisant un pycnomètre de 50 ml.

- Déroulement de l'essai :

❖ **Préparation de l'échantillon :**

- Sécher la prise de sol à 105 °C jusqu'à son masse soit constante.

- Assurer que le pycnomètre et son bouchon son sec et propre.

❖ **Réalisation de l'essai :**

Remplir le pycnomètre d'eau distillé jusqu'à 1/2 de son volume.

-Introduire une prise de 25g dans le pycnomètre en utilisant un entonnoir en verre et s'assurer qu'aucune particule ne se colle sur ses parois intérieures.

- Agiter le pycnomètre afin que l'eau s'infiltre entre toutes les particules solides.

- Désaérer le pycnomètre par ébullition en utilisant un bain marré pendant au mois 15 minutes, et agiter le pycnomètre de temps en temps pour facilité le départ des bulles d'air.

- Laisser le pycnomètre revenir à la température ambiante.

- Agiter le pycnomètre encore afin de s'assurer que toutes les bulles d'air sont échappées, sinon refaire la désaération.

- Remplir le pycnomètre d'eau distillé jusqu'au goulot.

- Mettre le bouchon le remplir jusqu'au repère.

- Essuyer l'extérieure de pycnomètre puis le peser, .

- Nettoyer le pycnomètre et le remplir d'eau.

- Mettre le bouchon et remplir d'eau jusqu'au repère.

- Essuyer et peser le pycnomètre, noter .

- **Problème détecté :**

Lorsque on a réalisé l'essai avec la quantité de sol recommandée par la norme (25g) on trouve des valeurs de masses volumiques énormes (5 -12 g/cm^3), par la suite et en cours du nettoyage on découvre qu'il y a des agglomérations de sol, ces agglomérations ont empêchées l'eau à atteindre toute les particules de sol.(voir la figure).



Figure II-2 : une agglomération de bentonite comporte des particules sèches à l'intérieur

- **Solution proposée :**

On a proposé de diminuer la quantité de sol, on a travaillé avec des quantités de 20,15,10 et 5 g de sol.

II-2 Essais chimiques :

II-2-1 La valeur de bleu de sol (VBS) :

L'essai de bleu de méthylène est fait selon la norme NF P 94-068

- Déroulement de l'essai :

❖ **Préparation de la solution de bleu de méthylène :**

- prendre une quantité de 10g produit de bleu de méthylène.

- mélanger la quantité de bleu avec une litre d'eau distillé et l'agiter jusqu'à la solution complète de produit dans l'eau.

- laisser le mélange rester pendant 24 heures avant l'utiliser.

❖ **Réalisation de l'essai :**

- mettre 500 ml d'eau distillé dans un récipient de 3 litres.

- mettre en place le récipient sous l'agitateur de telle sorte qu'il soit de 1 cm au dessus du fond de récipient.

- introduire une prise de 60g [7] de sol sec dans le récipient.

- démarrer l'agitateur avec une vitesse d'agitation de 700 tr/min pendant 5 minutes pour avoir un mélange homogène.

- injecter la solution de bleu successivement par pas (de 30ml au début et de 5 à 10ml lorsque on s'approche de l'apparition de l'auréole).

- prélever des gouttes du mélange solution/sol à l'aide d'une burette chaque minute.

- déposer les gouttes sur un papier filtre normalisé

- attendre 30 secondes après le dépôt des gouttes pour s'assurer que l'auréole n'est pas apparue.

lorsqu'une auréole bleu clair apparait autour de la goutte.

- appliquer 5 autres gouttes encore sans l'ajout de solution. Avec une moyenne d'une goutte par minute, afin d'assurer que l'auréole ne va pas disparaitre avec le temps lors du mélange.

Si c'est le cas, on reprend l'injection de la solution avec prudence.(diminution de quantité de la solution injecté).

- **Problèmes détecté :**

Durant l'essai on a remarqué que la solution est devenu très visqueuse jusqu'au point d'empêcher l'agitateur de tourner avec une vitesse de 400tr/min ce qui va fausser la procédure normalisé, et influer sur l'homogénéité du mélange on était obligé d'arrêter l'essai immédiatement.



Figure II-3 : la viscosité de la solution de bleu de méthylène et la bentonite

Cette viscosité est à cause de l'utilisation d'une grande quantité de Bentonite par rapport à la quantité d'eau, cette viscosité nous donne une idée sur la grandeur de la surface spécifique de notre bentonite donc de cette grande activité.

- **La solution proposée :**

On propose de diminuer la quantité du sol 'à 30g et refaire l'essai en suivant le même procédé.

Enfin on a trouvé que l'essai a était bien effectué avec succès et le problème a était réglé.



Figure II-4 : la liquidité de solution de bleu de méthylène et la bentonite

CHAPITRE 03 :

Résultats Et interprétations

Introduction:

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des essais réalisés notamment les essais de limite d'Atterberg, de masse volumique des grains solides et les essais au bleu de méthylène.

- **Teneur en eau naturelle :**

Tout d'abord on a commencé par le calcul de la teneur en eau naturelle dans le but de calculer les différents indices plus tard.

$$\omega_n = 6.72\ (\%)$$

III -1- Essais DRX :

Composition	%
SiO_2	64.13
Al_2O_3	13.74
Fe_2O_3	3.94
CaO	4.14
MgO	2.81
K_2O	1.52
Na_2O	1.93
So_3	0.2
Loss on ignition	7.31

Tableau III-1 : Résultats de l'essai de diffraction par rayon X.

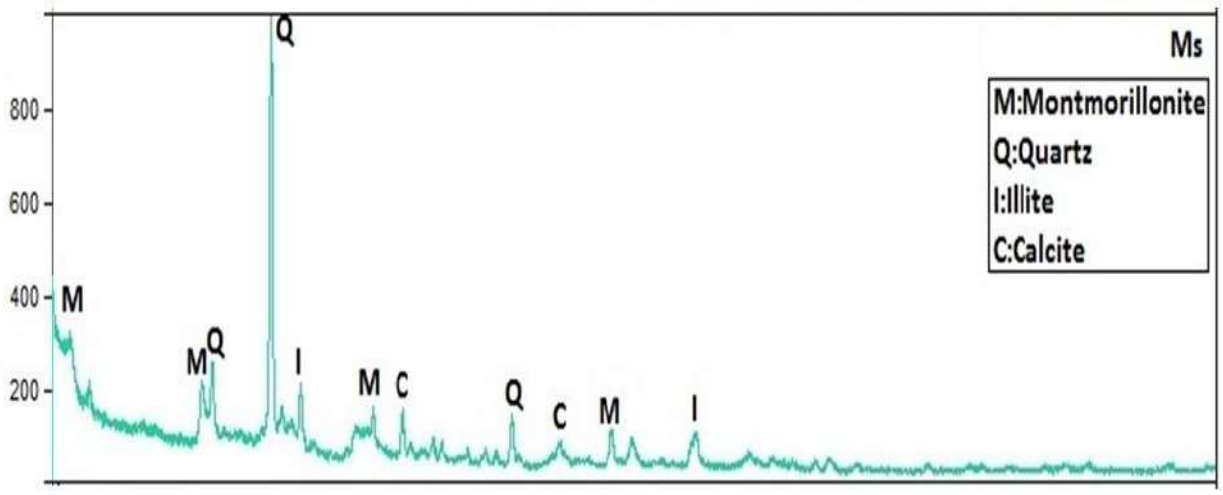


Figure III- 1 : Courbe de diffraction par rayon X de la Bentonite.

III-2- Limites d'Atterberg :

A- Limite de liquidité :

❖ **Résultats obtenus :**

- L'essai immédiat :

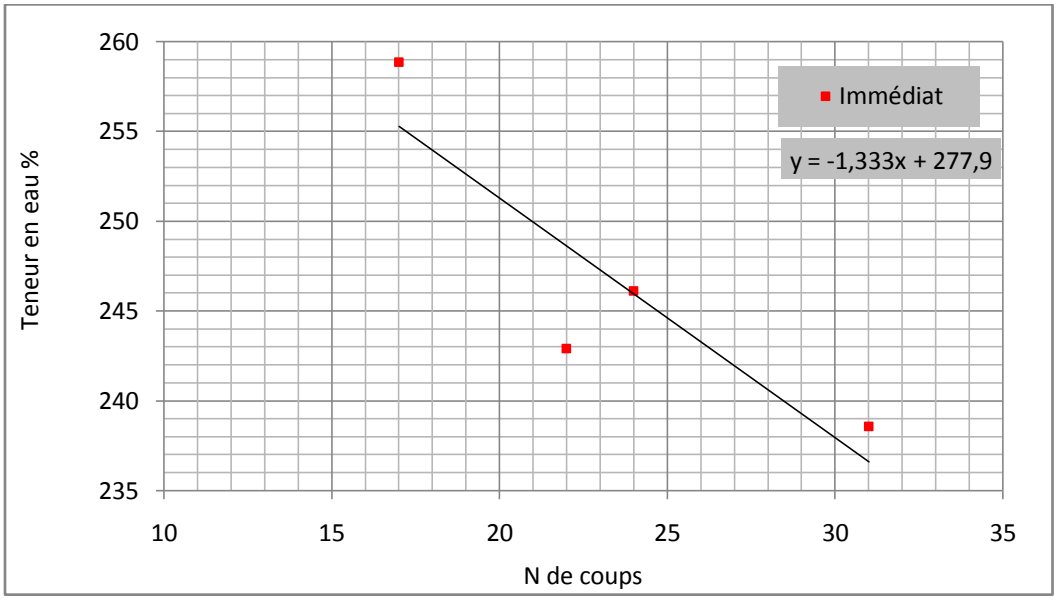


Figure III-2: Résultats de l'essai immédiat.

- L'essai avec la série de 24 heures d'imbibition :

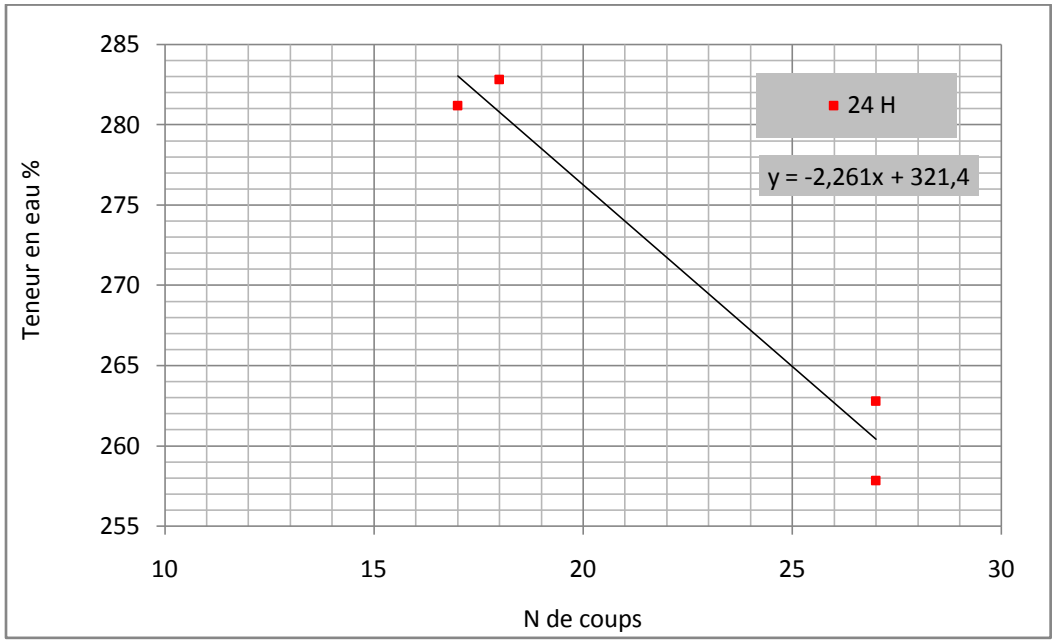


Figure III-3 : Résultats de l'essai réalisé après 24h.

- L'essai avec la série de 48 heures d'imbibition :

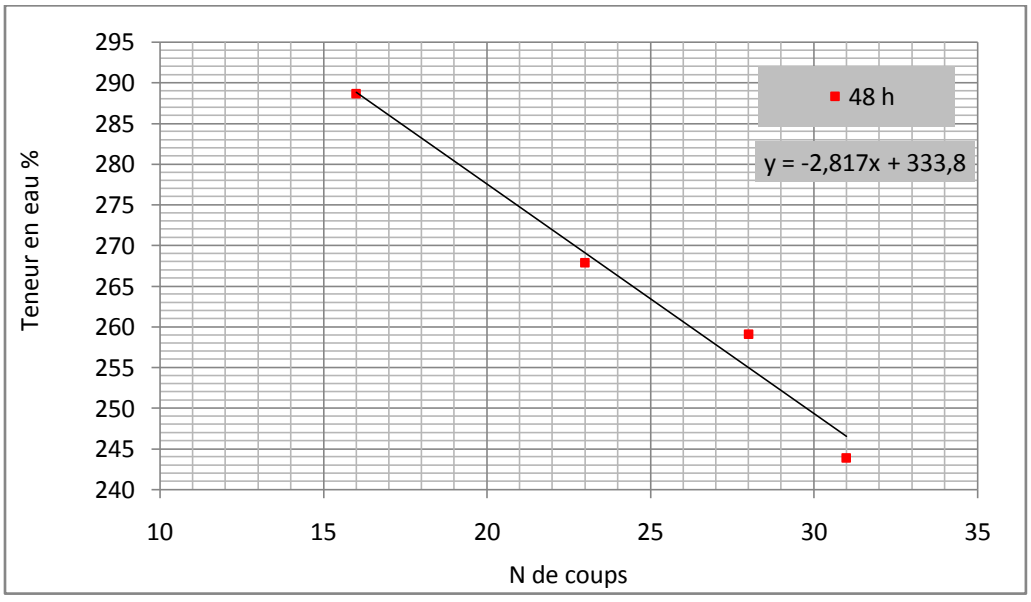


Figure III-4 : Résultats de l'essai réalisé après 48h.

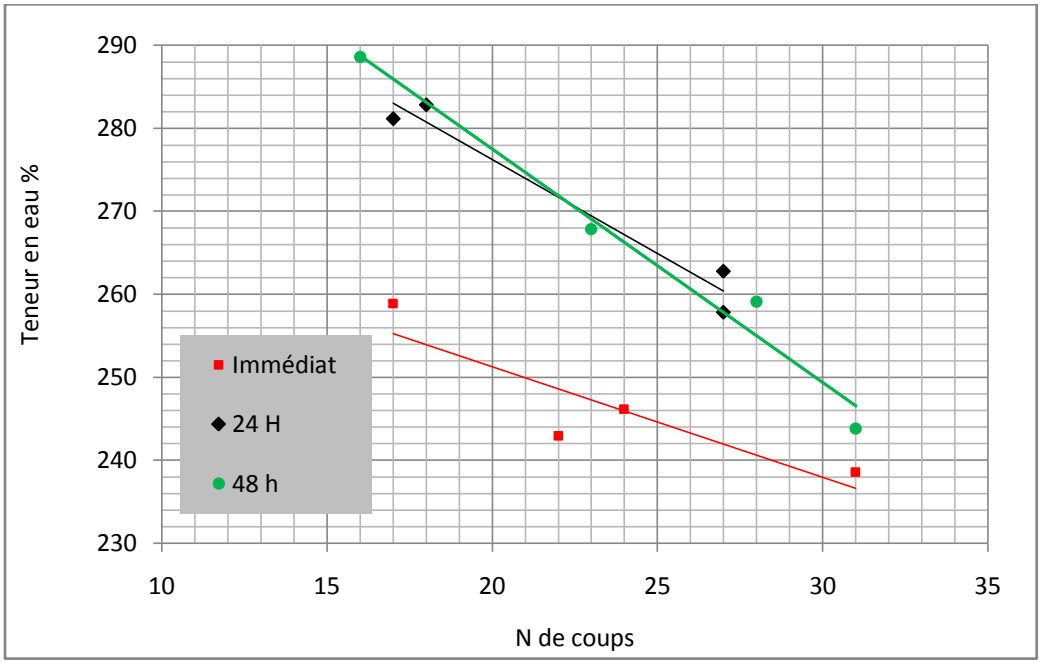


Figure III-5 : Résultats de tous les essais

On peut déterminer la valeur de limite de liquidité de chaque série à l'aide des équations des courbes de tendance correspondantes.

Temps d'imbibition (H)	0	24	48
ω_L (%)	244.60	265	263.43

Tableau III-2 : les valeurs de limite de liquidité obtenus

Interprétation des résultats :

d'après ces courbe, il semble qu'il est impossible de tracer des courbes de tendance, relatives à la variation de la teneur en eau en fonction du nombre de coups, pour les essais immédiats et de 24h d'imbibition. Par contre dans l'essai de 48h d'imbibition l'alignement des points est très claire donc la possibilité de tracer une courbe de tendance qui passe par tous les points et par conséquent les résultats seront plus fiables et précis.

la différence entre les valeurs de limite de liquidité obtenu dans l'essai immédiat et après l'imbibition est assez importants de point qu'on peut pas la négliger.

B- Limite de plasticité :

❖ **Résultats obtenus :**

- Essai immédiat :

Essai Immédiat			
N° de tare	47	12	58
Masse de Tare (g)	12.49	12.5	12.49
Masse totale humide (g)	13	12.94	12.99
Masse totale sèche (g)	12.81	12.81	12.81
Masse d'eau (g)	0.19	0.13	0.18
Masse de sol (g)	0.32	0.31	0.32
Wp (%)	59.37	41.94	56.25

Tableau III-3 : les résultats obtenu par l'essai immédiat

Essai après 48h		
N° de tare	48	27
Masse de Tare (g)	12.4	12.33
Masse totale humide (g)	13.31	13.13
Masse totale sèche (g)	13.05	12.89
Masse d'eau (g)	0.26	0.24
Masse de sol (g)	0.65	0.56
Wp (%)	40.00	42.86
Wp Moyenne (%)	41.43	

Tableau III-4: les résultats obtenus par l'essai de 48h d'homogénéisation

Temps (h)	0	24	48
ω_P (%)	-	-	41.43

Tableau III-5 : tout les résultats de limite de plasticité obtenus

- **Interprétation des résultats :**

Dans cet essai, on a pas pris en considération les valeurs des essais immédiats et celles de 24h d'imbibition à cause de l'hétérogénéité des résultats de ces derniers.

Les résultats obtenus après 48h d'imbibition semblent représentatives. Ce qui permet de calculer l'indice de plasticité.

L'indice de plasticité est calculé à partir de l'équation suivante : $I_p = \omega_L - \omega_P$

Temps (h)	0	24	48
I_p (%)	-	-	222

Tableau III-6 : tout les résultats des indices de plasticité obtenus

III-3- Masse volumique des grains solides :

- **Résultats obtenus :**

Les résultats obtenus sont présentées dans le tableau suivant :

M_{sol} (g)	5	10	15	20
$M_{pyc+eau}$ (g)	145.7	147.6	174.3	147.6
$M_{pyc+eau+sol}$ (g)	148.1	151.7	180.9	155.4
ρ_S (g/cm^3)	2.6	5.9	8.4	12.2

Tableau III-7 : valeurs obtenus dans l'essai de masse volumique

❖ **Interprétation des résultats :**

A partir des résultats des essais réalisés, nous avons constaté que la quantité de sol utilisée a une grande influence sur la fiabilité des résultats.

Lorsque des quantités de 10, 15 et 20 grammes de sol ont été utilisées , les résultats étaient très hétérogène ; par contre un résultat logique est obtenu lorsque la quantité de sol est réduit à 5 grammes.

Il est à noter que la norme recommande d'utiliser une quantité de 20 grammes.

III-4 – Essais au bleu de méthylène :

❖ **Résultats obtenus :**

On a obtenu l'auréole après l'utilisation de 430 ml de la solution de bleu de méthylène comme le montre la figure suivante :

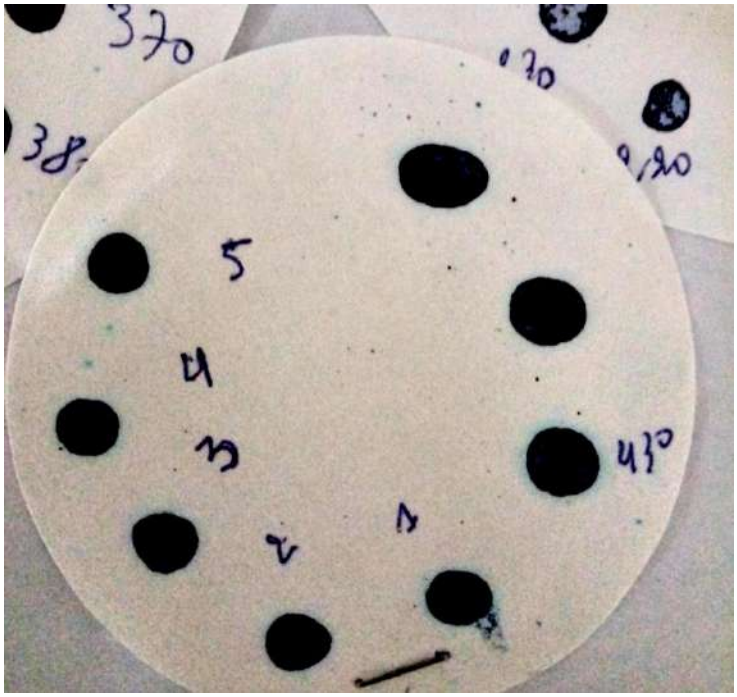


Figure III-6 : l'auréole obtenue par l'essai de bleu de méthylène.

- la valeur de bleu du sol : $VBS = \frac{B}{m_s} \times 100$

$VBS = 14.33\ \%$

- Surface spécifique totale : $S.S.T = (V_B/100)\ (N/373) \times 130 \times 10^{-20} = 21\ V_B\ (cm^2/g)$

$S.S.T = 300.93\ cm^2/g$

Masse utilisée (g)	60	30
VBS (%)	-	14.33
Activité (%)	-	20.94
Classification	-	Très Active

Tableau III-7 : résultats de l'essai au bleu de méthylène

❖ **Interprétation des résultats :**

la réalisation de l'essai avec une masse de 60g de bentonite était très difficile comme indiqué précédemment, donc on a pas obtenu des résultats, par contre une facilité d'exécution a été remarquer lorsque l'essai est réalisé avec l'utilisation d'une masse de 30g.

III-5- Conclusion :

Après avoir réaliser ces essais et observer les résultats obtenus on peut conclure que :

- La quantité de sol recommandée par les normes peut donner des résultats erronés et contradictoires.

- Le temps d'imbibition peut influe sur les résultats des essais d'Atterberg.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La bentonite est une argile gonflante, son domaine d'application est assez vaste, elle présente une matière industrielle par excellence et une importance par sa disponibilité en Algérie plus précisément dans deux carrières Maghnia et Mostaganem. Ces cause étaient largement suffisantes pour qu'on choisit cette argile pour l'étudier.

Dés le début on voulait faire une étude expérimentale pour comprendre le phénomène de gonflement de cette argile, par la suite et durant notre recherche bibliographique, on a remarqué qu'il y pleines des contradictions entre les résultats obtenus par des essais effectués sur le même sol.

Par conséquent, on étaient obliger d'étudier l'influence, du temps d'imbibition, de la quantité du sol utilisé pour l'échantillonnage, de la manière de malaxage et de tant d'autres paramètres sur les résultats Des essais de laboratoire ont été réaliser sur la Bentonite de Mostaganem notamment, les essais d'Atterberg, de masse volumique absolu , de diffraction par rayon X et des essais au bleu de méthylène.

- Les résultats des essais nous a permis de tracer les conclusions suivante:
- L'utilisation du quantité de sol normalisée pour la réalisation de l'essai de la masse volumique absolue donne des valeurs erronées ; Il est suggéré d'utiliser une quantité de 5 grammes.
- La réalisation des essais d'Atterberg sur la Bentonite nécessite un temps d'homogénéisation de 48 h pour que le résultat soit fiable et représentatif. Les limites de liquidité et de plasticité de la Bentonite de Mostaganem sont respectivement de 263 % et 41% respectivement .
- Il est suggéré d'utiliser une quantité de sol de 30 grammes au lieu de 60 grammes (Valeur normalisée) pour la réalisation des essais au bleu de méthylène.
- La Bentonite de Mostaganem est classée comme une argile très active.
- La masse volumique des grains solides de la Bentonite de Mostaganem est de 2.60 g/cm^3.

Références

[1] Vincent ROBITAILLE & Denis TREMBLAY, Mécanique des sols THEORIE ET PRATIQUE.

[2] Adel BENCHABANE, Etude du comportement rhéologique de mélanges argiles- polymères. Effets de l'ajout de polymères. Thèse de Doctorat.

[3] Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.-M., Masrouri F., Oppenheim E., Heck J.-V., Ruaux N., Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2006) - Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti – rapport final. BRGM/RP-54862-FR, 378 p., 308 ill

[4] BOUTARFA Mustapha ,Caractérisation physique et rhéologique de la bentonite de Maghnia. Thèse de Magister (2012).

[5] Messaouda Debieche*, Farid Kaoua , Characterization and Valorization of Two Algerian Bentonites in the Waterproofing Systems (2014).

[6] Nadia EL YAKOUBI , potentionalités d'utilisation des argiles marocaines dans l'industrie céramique : cas de gisment de jbel kharrou et de benhmed (Meseta morocaine occidentale) 2006.

[7] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_au_bleu_de_m%C3%A9thyl%C3%A8ne#NOR99/ NF P 94-068