REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité :Géotechnique

Thème :
Valorisation de la bentonite de Mostaganem dans les techniques d'imperméabilisation : étude du comportement hydraulique et caractérisation physique.

Présenté par

RAHAL Nawel .

Proposé et Dirigé par

Dr . MESSAD Ali .

Promotion Juin 2019


بسم الله الرحمن الرحيم
خضيري
١٤٢٥

Remerciement

Tout d'abord, Je tiens à remercier ALLAH, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à ce travail, il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des mots a été toujours difficile.

Je remercie mes chers parents pour leur support et leurs prières.

Je remercie mon frère ISMAIL pour ses encouragement et qui m'a vraiment aidé.

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

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

Je suis grée au membre de jury, d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de mon travail.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de Génie civil de l'université de Médéa, qui nous ont offert tout leur savoir.

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

DEDICACE

Tous les mots ne peuvent exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance, c'est tous simplement que ;

Je dédie ce modeste travail à:

Mes chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus difficiles de ce long chemin, ma chère mère qui a été à côté de moi et m'a soutenue 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 mes sœurs * AMEL ET ZAHIRA* et mon frère *WALID* et mes neveux * RAFIK ET WASSIM*.*

A toute ma famille sans exception.

A mon promoteur Mr. MESSAD Ali qui m'a vraiment aidé.

À tout mes amis et à tout les étudiants de la promotion 2018/2019 Génie Civil.

En fin je remercier tous qui m'ont aidé de prés ou de loin pour réaliser ce travail.

RAHAL Nawel.

Résumé

L'objectif principal de ce projet consiste à valoriser la Bentonite de Mostaganem dans les techniques d'imperméabilisation et étude du comportement hydraulique et caractérisation physique et l'utilisation des déchets de fonderie stocker dans les couches imperméables (plus précisément les déchets de sable de moulage et poudre de fonte). Mon étude consiste à mélanger ces derniers avec la Bentonite ajouté en pourcentages différent (0%,2%,4%,6% et 8%) respectivement.

Les résultats obtenus montrent que pour réaliser une couche imperméable de sable de fonderie et de bentonite on doit ajouter 2% de Bentonite au sable de fonderie, et la résistance au cisaillement est atteinte.

Donc, il est possible d'obtenir un nouveau matériau utilisable pour différents technique d'imperméabilisation**.**

Mots clés : Bentonite , les techniques d'imperméabilisation .

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين بنتونيت مستغانم في تقنيات العزل المائي و دراسة السلوك الهيدروليكي والتوصيف الفيزيائي واستخدام نفايات المسابك لتخزينها في الطبقة غير المنفذة يخلط مع البنتونيت بإضافة نسب مختلفة(0 ٪ ، 2 ٪ ، 4 ٪ ، 6 ٪ و 8 ٪) على التوالي.

و قد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أنه لتحقيق طبقة غير منفذة من رمل المسبك والبنتونيت يجب إضافة بنتونيت 2٪ إلى رمل المسبك ، ويتم تحقيق قوة القص.

لذلك ، من الممكن الحصول على مادة جديدة يمكن استخدامها لتقنيات العزل المختلفة.

المفتاحية الكلمات : بنتونيت تقنيات العزل

Abstract

The main objective of this project is to valorize the Bentonite of Mostaganem in the techniques of waterproofing and study of the hydraulic behavior and physical characterization and the use of the foundry waste store in the impermeable layers (more precisely the mold sand scrap and cast iron powder). My study involves mixing these with Bentonite added in different percentages (0%, 2%, 4%, 6% and 8%) respectively.

he results obtained show that in order to make an impermeable layer of foundry sand and bentonite, 2% of Bentonite must be added to the foundry sand, and the shear strength is acceptable .

So, it is possible to obtain a new material that can be used for different waterproofing techniques.

Key words: Bentonite, the techniques of waterproofing

Sommaire

Sommaire :

Remerciements

Dédicace

Résume

ملخص

Abstract

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1-1 Introduction ……..5

1-2 Définitions des argiles ……6

1-2-1 L'argile ……6

1-2-2 La bentonite……..6

1-3 Sable de fonderie……7

1-4 Mode de formation ……7

1-5 Gisements de montmorillonite ……8

1-6 La microstructure de la bentonite ……..8

1-6-1 Le feuillet ……8

I-6-2 La particule primaire ……10

1-6-3 L'agrégat …… ……....10

1-7 Les différents types de bentonite ……..10

1-7-1 Bentonites naturelles ……10

1-7-2 Bentonites activées ……...11

1-8 Le compactage de sol ……11

1-8-1 Les principe de compactage ……...…11

1-8-2 Facteurs d'influence ……...……12

1-8-2-1 influence de la teneur en eau ……. 12

1-8-2-2 influence de la nature du sol ……..13

1-8-2-3 influence de l'énergie de compactage ……16

1-8-3 Essais de compactage au laboratoire ……..17

1-8-3-1 l'essai PROCTOR ……17

1-8-3-2 l'indice portant CBR ……...18

1-8-3-3 Etude PROCTORE – CBR ……19

1-9 action de l'eau aux bentonites ……..21

1-9-1 Le gonflement ……21

1-9-2 Le retrait…….21

1-9-3 La Perméabilité des sols…….21

1-9-3-1 1e coefficient de perméabilité …….22

1-9-3-2 détermination du coefficient de perméabilité K au laboratoire ……..23

1-10 Conclusion ……..24

CHAPITRE 2 : REALISATION DES ESSAIS

2-1 Introduction…….26

2-2 Essais sur sable de fonderie……27

2-2-1 masse volumique absolue……27

2-2-2 analyse granulométrique……28

2-2-3 Analyse granulométrique sédimentaire……..29

2-3 Essai de compactage au laboratoire…….……30

2-4 Perméabilité à charge variable……..…….32

2-5 cisaillements à la boite de Casagrande ……..……33

CHAPITRE 3 :RESULTATS ET INTERPRETATION

3-1 Introduction ……35

3-2 L'analyse granulométrique ……35

- La masse volumique ……..35
- Résultats obtenus……..35
- Interprétation des résultats…….36

3-3 Essai de compactage ……37

- Résultats obtenus ……..……..37
- Interprétation des résultats……38

3-4 Essai cisaillement à la boite……39

- Résultats obtenus…….……39
- Interprétation des résultats …….……42

3-5 Essai de perméabilité à charge variable…….42

- Résultats obtenus……..43
- Interprétation des résultats……..43

3-6 Conclusion ……..44

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Références bibliographiques

Annexe

liste des tableaux

Liste des tableau :

Tableau 1-1 Caractéristiques des essais Proctor……...…18

Tableau 1-2 Résultats des essais Proctor…….18

Tableau 1-3 : coefficient de perméabilité de différents type des sols(d'après Hough,1957)...22

Tableau 3-1 représente les résultats d'analyse granulométrique et sédimentométrique……...35

Tableau 3-2 : Représenté les résultats de Proctor…….37

Tableau 3-3 : Résultats de l'essai cisaillement à la boite à vitesse 0,5……39

Tableau 3-4 : Représenté le Coefficient de perméabilité (m/s)……43

liste des figures

Liste des figures :

Figure 1-1 : Schéma représentatif d'un modèle T-O-T……..7

Figure 1-2 : courbe de Proctor……..12

Figure 1-3 : influence de la granulométrie sur l'optimum Proctor ……..14

Figure 1-4 : influence de la teneur en eau sur l'argile……..15

Figure 1-5 : influence de l'énergie de compactage sur l'optimum……...16

Figure 1-6 : Etude Proctor-CBR d'un sol…….20

Figure 1-7 : Montage d'essai de perméabilité à charge variable……..23

Figure 2-1 : l'imbibition de pycnomètre contenant sable fonderie……. 27

Figure 2-2 : représente le déroulement d'essai de l'analyse granulométrique sédimentaire...30

Figure 2-3 : les sacs d'imbibition contenant le sol et la quantité d'eau correspondante……31

Figure 2-4 : démoulage du moule de Proctor avec des éprouvettes…….….31

Figure 2-5 : la presse de l'échantillon dans le perméamétrie…….....32

Figure 2-6 : l'éprouvette tailler et mis en place dans la boite de cisaillement ……33

Figure 3-1 les pourcentages des tamisât en fonction du tamis……..36

Figure 3-2 : la teneur en eau en fonction du pourcentage de bentonite……...37

Figure 3- 3 : la masse volumique maximales en fonction du pourcentage de bentonite…….38

Figure3-4 : Cohésion au pique en fonction du pourcentage de Bentonite……39

Figure 3-5 :Cohésion final en fonction du pourcentage de Bentonite…… …….40

Figure 3-6 : l'angle de frottement au pique en fonction du pourcentage de Bentonite ……....40

Figure 3-7 : l'angle de frottement final en fonction du pourcentage de Bentonite……..41

Figure 3-8 la cohésion en fonction du pourcentage de Bentonite……41

Figure 3-9 L'angle de frottement en fonction du pourcentage de Bentonite ……..42

Figure 3-10 le coefficient de perméabilité en fonction du pourcentage de Bentonite……..43

introduction général

INTRODUCTION GENERAL

Le domaine du génie civil est un domaine très large, Il concerne un ensemble de disciplines, parmi lesquelles on peut cité la géotechnique , le calcul des structure et l'étude des matériaux de construction , Ces disciplines permettent la sécurité des ouvrages d'une part et leurs économies d'autre parts (réaliser au moindre cout).

Le mot «géo» indique le «sol»; La géotechnique est donc l'ensemble des techniques qui permettent d'étudier un sol afin d'éviter la majeure partie des dégâts et accidents qui seront éventuellement dus à l'inadaptation de l'ouvrage au site. C'est la résolution de tous les problèmes induits par le sol; Elle comprend l'étude des propriétés physique , mécanique et hydraulique de sol. Elle concerne les travaux de construction, la maintenance et la réparation de tout type d'aménagement et d'ouvrage - route, voie ferrée, canal, aménagement de montagnes, de cours d'eau et du littoral, pont et viaduc, tunnel, barrage, puits et forage, carrière, immeuble, etc., l'exécution de tout type de travaux de terrassement, fondation, drainage… dans tout type de site qu'il soit terrestre, fluvial où maritime.

L'étude du sol est intéressante puisque le sol est souvent le support de l'ouvrage considéré, et reçoit les charges transmises par la structure de l'ouvrage ou bien les matériaux constructifs dans un projet , le sol est une ensemble des minéraux de différentes taille ,il peut classe à partir de la dimension des grains (grossier et fin), la comportement mécaniques (cohérant et pulvérulent) et son état hydraulique (perméable et imperméable) …. Ect .

Les sols fins sont les sols qui présentent le plus de dégâts particulièrement quand ils sont en présence d'eau, ils sont caractérisés par un comportement compliqué, parmi les sols fin on a la bentonite , largement utiliser dans de nombreux secteurs industriels , la bentonite joue généralement le rôle d'un composant « viscosifiant » dans les boues de forage des puits ou pieux sous le nom « boue bentonite » on la trouve dans les couches imperméable puisqu'elle est imperméable et parfois utilisée dans l'industriels et dans les produits esthétiques.

L'environnement est endommagé par les déchets des usines et cette dernière pose une série de problèmes à cause de leurs durées de vie et leurs quantités donc leur gestion est nécessaire que se soit pour l'environnement où pour le côté économique; Dans notre cas on s'intéresse au déchet de fonderie, en l'occurrence le « sable de fonderie » .

L'ingénieur talentueux qui songe à trouver des solutions économiques et qui joue sur deux axes est l'économie et la résistance , il peut utiliser le déchet de fonderie comme un matériau recycler , dans ce cas l'environnement peut être protégés et on bénéficie dans l'économie du projet par l'utilisation de ce matériau qui est à l'origine à l'évacuation à la décharge publique.

Pour atteindre cet objectif , nous présentons un travail s'articulant autour des trois chapitres qui sont suivants :

D'abord , nous présentons dans le premier chapitre une étude bibliographie regroupant les généralités sur la bentonite ensuite l'effet de compactage sur le sol et enfin la perméabilité de sol avec des exemples .

Ensuite dans le deuxième chapitre , nous présentons les essais de caractérisation du sol et leur identification comme la masse volumique et analyse granulométrique , nous présentons le Proctor et perméabilité.

Nous présentons les résultats des essais avec une interprétation des résultats .

Enfin des conclusions générales et des recommandations sont présentées pour achever ce modeste travail de recherche.

Chapitre 1:
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1-1 Introduction :

En génie civil, le mot argile désigne habituellement les sols contenant une quantité de particules d'argile suffisante pour leur conférer cohésion et plasticité. Il peut également s'appliquer aux particules d'argile elle mêmes c'est-à-dire aux particules microscopiques qui portent le nom de minéraux.

Beaucoup d'ouvrage sont érigés sur des dépôts d'argile, dont le comportement est considérablement influencé par les propriétés physique des minéraux argileux.

Dan ce chapitre, nous expliquerons les mécanismes qui gèrent le comportement des argiles pour cela on doit faire l'étude du comportement hydraulique et les caractéristiques physiques de la bentonite.

1-2 Définitions des argiles :

1-2-1 L'argile :

L'argile est une matière première utilisée depuis la plus haute antiquité. Le mot argile vient du grec "argilos" dérivé de "Argos" qui veut dire blanc et qui signifie la couleur du matériau utilisé en céramique [1]. Le mot argile peut être défini par les géologues comme étant une particule dont la dimension est inferieur à 4 micromètre quelque soit sa nature minéralogique ou comme étant un minéral de la famille des phyllosilicats (silicates en feuillets) ; ils sont à l'origine lies à des molécules d'eau par rapport aux autres silicates. Les minéraux argileux sont alors des phyllo-silicates hydratés de petite taille. [2]

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.[3]

1-2-2 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 gisements de bentonite sont d'origines volcanique. [4]

Cette argile est caractérisée par une grande capacité de rétention d'eau et elle est très active, donc son utilisation beaucoup plus dans les travaux de terrassement et de forage des pieux et des parois moules sous forme d'une boue.

D'une autre part, elle à un comportement très complexe lors de la mise en contact avec l'eau, on parle du comportement hydraulique et caractéristique physique de la bentonite.

II.2 Sable de fonderie :

Le sable de fonderie est lié avec des matériaux naturels (bentonite, sable à verts) ou des résines chimiques (sables à prise chimique), Il est utilisé pour confectionner des moules et des noyaux dans lesquels sont coulés les métaux en fusion. Ce procédé de moulage au sable est utilisé pour la totalité des productions de fonderie de fonte et d'acier. Apres l'opération de démoulage des pièces métalliques, une grande partie des sables est réutilisée sur place par régénération, tandis que les sables usés de fonderie résiduaires nommés également sables rejetés ou vieux sable doivent être éliminés. [5]

Origine : Le sable de fonderie est un sable propre, de granulométrie uniforme, ayant une haute qualité qui est lié par un liant pour former des moules afin de mouler des pièces en métal ferreux ou non ferreux. [5]

1-3 Mode de formation :

La bentonite est une roche volcanique qui s'est déposée sous forme de cendres volcaniques dans des eaux douces ou salées il y à des millions d'années. Ces cendres se sont chimiquement modifiées en bentonite. La bentonite sodique est formée des cendres déposées dans l'eau de mer, tandis que la bentonite calcique est formée des cendres déposées dans l'eau douce.[6]

La bentonite provient aussi de l'altération de roches siliceuses comme le basalte et le granite.

Le terme bentonite désigne actuellement le nom commercial d'un minéral qui contient essentiellement des smectites, dont la forme minéralogique la plus commune est la montmorillonite, appellation dérivant du nom d'un gisement à Montmorillon, au sud de la France. Selon la nature du gisement, la bentonite peut contenir une variété de minéraux autres que la montmorillonite. Il s'agit de minéraux argileux comme l'attapulgite, le kaolin, le mica et l'illite ou de minéraux non argileux comme le quartz, le feldspath, la calcite et le gypse. [7]

1-4 Gisements de montmorillonite :

En Algérie, les gisements de bentonite les plus importants économiquement se trouvent dans l'oranie (ouest algérien). On relève en particulier la carrière de Maghnia (Hammam Boughrara) dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes. [9]

En 1994, SIDAM à établi des calculs préliminaires et classer les réserves de quatorze couches selon leur qualité, dans le cadre d'une étude de développement des argiles bentonitiques de la région de Mostaganem. [1]

1-5 La microstructure de la bentonite :

Si on parle de la bentonite qui est composée essentiellement de la montmorillonite, il suffit de comprendre la microstructure de cette dernière pour pouvoir 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 à 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 le MEB (Microscope Electronique à Balayage) et le MET (Microscope Electronique à transmission).

1-5-1 Le feuillet :

Le feuillet est l'empilement horizontal successif dans les directions X et Y pour la Demi-maille. Il à la forme d'un disque ou d'une plaquette avec des dimensions d'environ cent à mille nanomètres de longueur et de dix Angström d'épaisseur.

Ces plaquettes sont très souples surtout en présence de l'eau, donc elles sont déformables. L'anisotropie des feuillets est très importante: elle prouve l'existence de plusieurs familles de smectites. Dans la famille de ces dernières, la charge d'un feuillet varie de 0.2 à 0.6 électron par maille, selon le taux d'occupation des couches octaédriques, et à partir de la localisation des substitutions.

Les cations qui composent la montmorillonite sont en général des cations de calcium ou bien De sodium; les montmorillonites composées par des cations de calcium sont appelées des Montmorillonites **calciques**. Lorsqu'elles sont composées par des cations de sodium, elles sont Appelées des montmorillonites **sodiques**. [6]

Les feuillets de la montmorillonite sont constituées de couches placées 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 constituées 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.

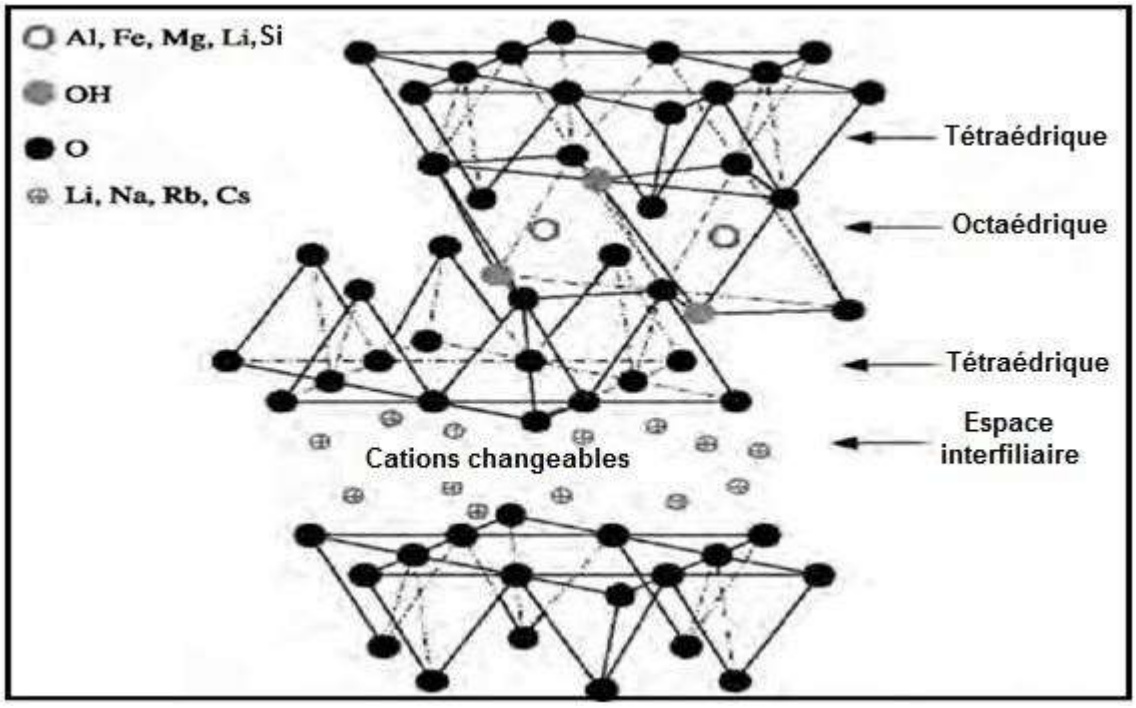


Figure 1-1 : Schéma représentatif d'un modèle T-O-T

I-5-2 La particule primaire :

Particule formée d'un empilement de feuillets identiques parallèle à son plan de base. L'empilement peut être ordonné, semi-ordonnée ou désordonné. Son épaisseur est varie de 8 à 10 nm. Dans le cas de la montmorillonite l'empilement est désordonné.

1-5-3 L'agrégat : [6]

L'agrégat est un groupement de particules primaires orientées dans toutes les directions, sa taille est d'environ 0,1 à 10 μ . Grâce à l'agrégat, on peut voir différents niveaux de porosité à partir de formation ou d'empilement structurale multi-échelle de la montmorillonite ce qui explique leur aptitude au gonflement.

Donc l'absorption d'eau se fait à plusieurs niveaux, qui sont les suivants:

- ✓ hydratation des cations compensateurs.
- ✓ par capillarité au sein des galeries.
- ✓ porosités inter-particulaires.
- ✓ porosités inter-agrégats.

1-6 Les différents types de bentonite :

1-6-1 Bentonites naturelles :

En fonction de la nature de cation échangeable présent, il existe à l'état naturel deux types de bentonites:

- ➢ les bentonites sodiques, où le sodium est le cation échangeable majoritaire, elles ont Un fort pouvoir de gonflement et d'absorption.

- ➢ les bentonites calciques, où le calcium est le cation échangeable majoritaire, elles ont Un pouvoir de gonflement et d'absorption plus faible que les bentonites sodiques.

Ces deux types de bentonites, éventuellement après un séchage à 80-90°C, sont simplement broyés avant leur commercialisation. [9]

1-6-2 Bentonite activée :

Afin d'améliorer les propriétés d'absorption des bentonites calciques, ces dernières sont le plus souvent activées par le carbonate de sodium puis séchées et broyées; on obtient ainsi des bentonites calciques activées dont les propriétés sont égales ou supérieures à celles des bentonites sodiques.

Les propriétés de ces bentonites ainsi activées ou permutées sont moins stables dans le temps (3 à 18 mois) et dépendent de l'activation et des taux de magnésium, calcium et sodium.

Ces différents types de bentonites se présentent sous forme de poudre ou de granulés Sphériques ou cylindriques. Elles ont des couleurs très variables allant du blanc pour les Produits les plus purs au gris, beige ou vert pour les autres. [9]

1-7 Le compactage du sol :

Comme nous l'avons déjà mentionné en introduction, le sol est à la fois un support de construction et un élément de construction. Dans le dernier cas, le sol est extrait, transporté, puis remis en place. Lors de la remise en place, le volume est plus important que le volume extrait car l'extraction a conduit à un foisonnement du matériau. On procède donc à un compactage, afin d'augmenter la densité du sol.

1-7-1 Les principe de compactage : [1]

Le compactage consiste à appliquer suffisamment d'énergie au sol pour y réduire l'indice des vides et ainsi en accroitre la compacité de la masse volumique sèche ρ_d d'un sol compacté qui sera donc supérieure à celle d'un sol non compacté. [1]

C'est d'ailleurs cette caractéristique qui permet de vérifier l'efficacité du compactage, la masse volumique du sol sec est influencée par trois variables :

- la teneur en eau
- l'énergie de compactage
- la granulométrie

1-7-2 Facteurs d'influence :

1-7-2-1 influence de la teneur en eau :

Les premières études systématiques sur le compactage ont été effectuées vers 1930 par un ingénieur américain, PROCTOR, ce dernier a montré l'influence de la teneur en eau sur le compactage.

Pour une énergie de compactage donnée, on peut tracer les variations du poids volumique sec γ_d en fonction de la teneur en eau w. la courbe obtenue est une courbe en cloche appelée courbe de compactage ou diagramme de Proctor.

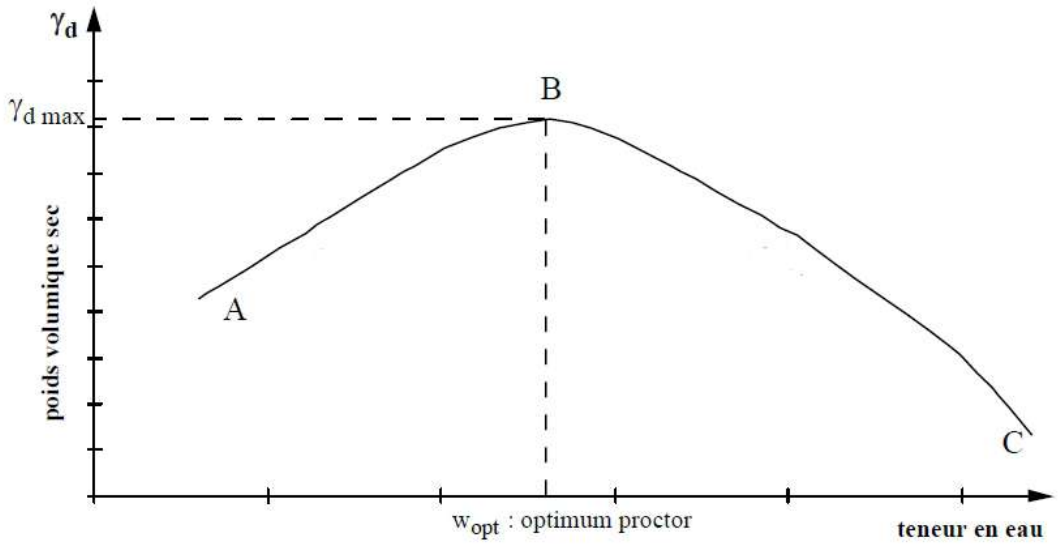


Figure 1-2 : courbe de Proctor

On remarque que le valeur maximale de la masse volumique du sol sec se situe au sommet de cette courbe en un point qu'on appelle l'optimum Proctor(c'est le point B) .l'optimum Proctor est le poids volumique sèche maximale $\gamma_{d\,m}$ correspondant à une teneur en eau optimale w_o pour une énergie de compactage donnée ainsi pour atteindre la masse volumique sèche maximale alors que l'énergie de compactage ne varie pas on doit fournir au sol la teneur en eau optimale.

. Les teneur en eau inferieurs à la teneur optimale forment le versant sec de la courbe de compactage [c'est la partie (AB)] ,tandis que les teneurs en eau supérieur forment le versant mouille de la courbe [c'est la partie (BC)] .

Sur le versant sec de la courbe, l'eau agit comme les autres est adoptent une structure plus serrée. Plus la teneur en eau est faible, plus cette action s'atténue et plus la masse volumique du sol sec diminue.

Sur le versant mouillé l'eau occupe une grande partie des vides du sol , étant incompressible, elle absorbe une portion importante de l'énergie de compactage ce qui empêche les particules de sol d'adopter une structure plus dense plus la teneur en eau augmente plus l'eau absorbe d'énergie et plus la masse volumique du sol sec décroit. [1]

1-7-2-2 influence de la nature du sol :

De façon général, la courbe Proctor est en général différente d'après le type du sol, donc on remarque une courbe très aplatie pour les sables et par contre présente un maximum très marqué pour les argiles plastiques.

Pour les matériaux à courbe Proctor aplatie, le compactage est peu influencé par la teneur en eau.

Ces matériaux (courbe Proctor aplatie) constituent donc à priori les meilleurs remblais d'un point de vue tolérance à l'exécution, car peu sensibles à la teneur en eau réellement ou non apportée par des camions citernes ou les pluies. Mais, par contre, il est plus difficile d'améliorer les caractéristiques de ces sols (Energie de compactage à fournir plus importante).

.

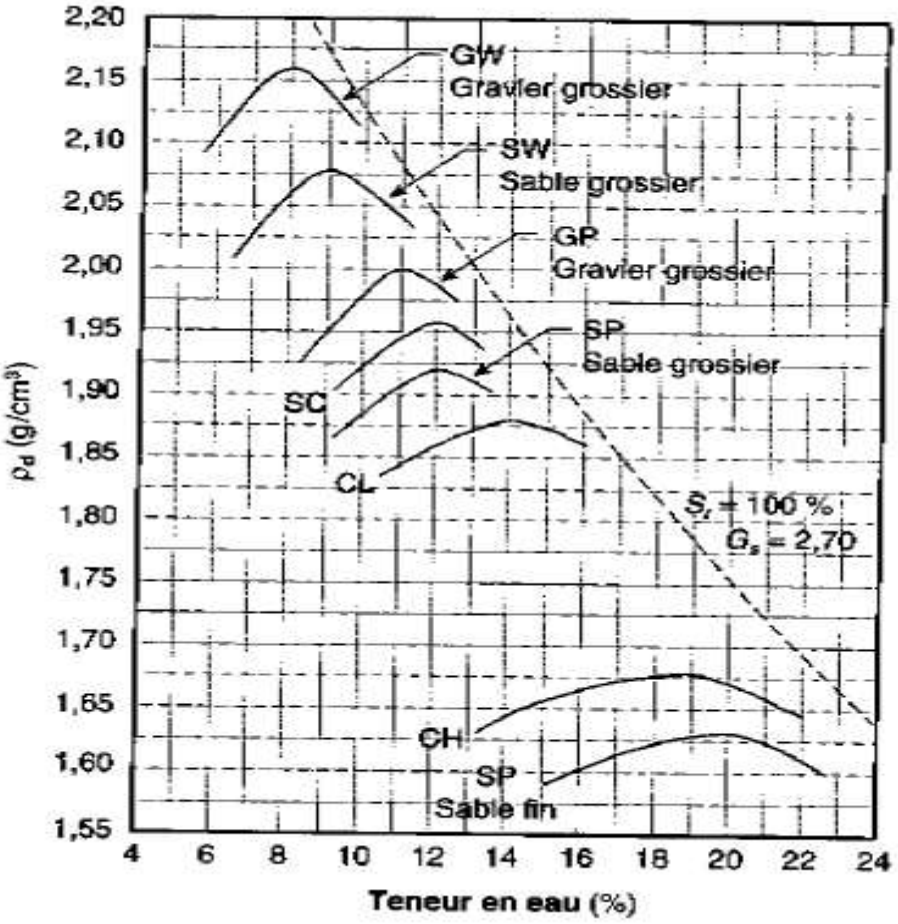


Figure 1-3 : influence de la granulométrie sur l'optimum Proctor

- **Note :**

Selon la teneur en eau du sol compacté par rapport à w_o on obtient pour les sols fins les perméabilités suivantes :

- w_{f} : forte perméabilité (1000 à 10000 fois plus étanche)

-w_{f} : faible perméabilité

Cela tient de la structure des argiles, comme le montre la figure ci-dessous.

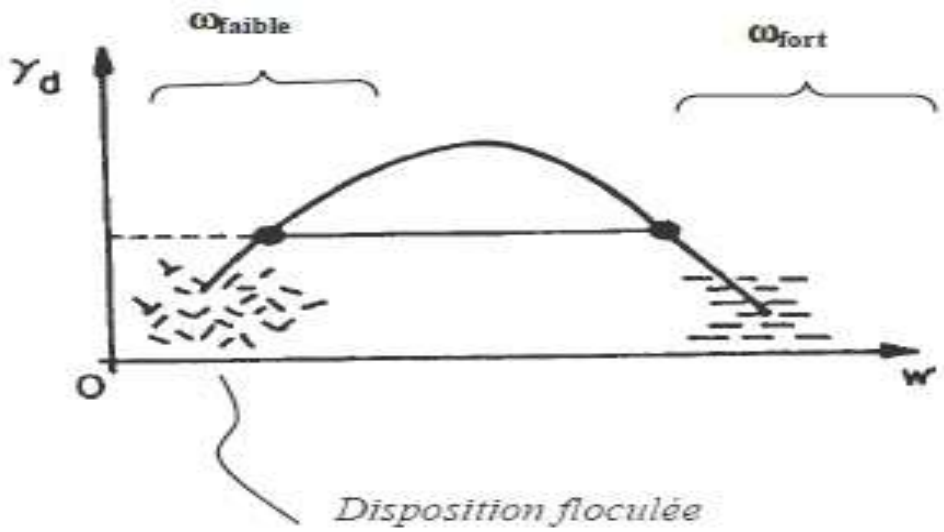


Figure 1-4 : influence de la teneur en eau sur l'argile

Remarque :

- ✓ Aux faibles teneures en eau, les particules d'argile ont une structure floculée, alors qu'aux fortes teneures en eau les particules d'argile sont plus orientées.
- ✓ Ainsi pour un barrage en terre, on recherche une faible perméabilité, alors il faut compacter du côté . Par contre pour humide. dans les travaux routiers, on recherche au contraire un sol plutôt perméable, pouvant drainer facilement : on compacte donc côté sec.

1-7-1-3 influence de l'énergie de compactage :

L'énergie de compactage est l'énergie mécanique transmise à un volume de sol pour y réduire l'indice des vides, donc cette dernière joue un rôle important dans le compactage d'un sol donnée.

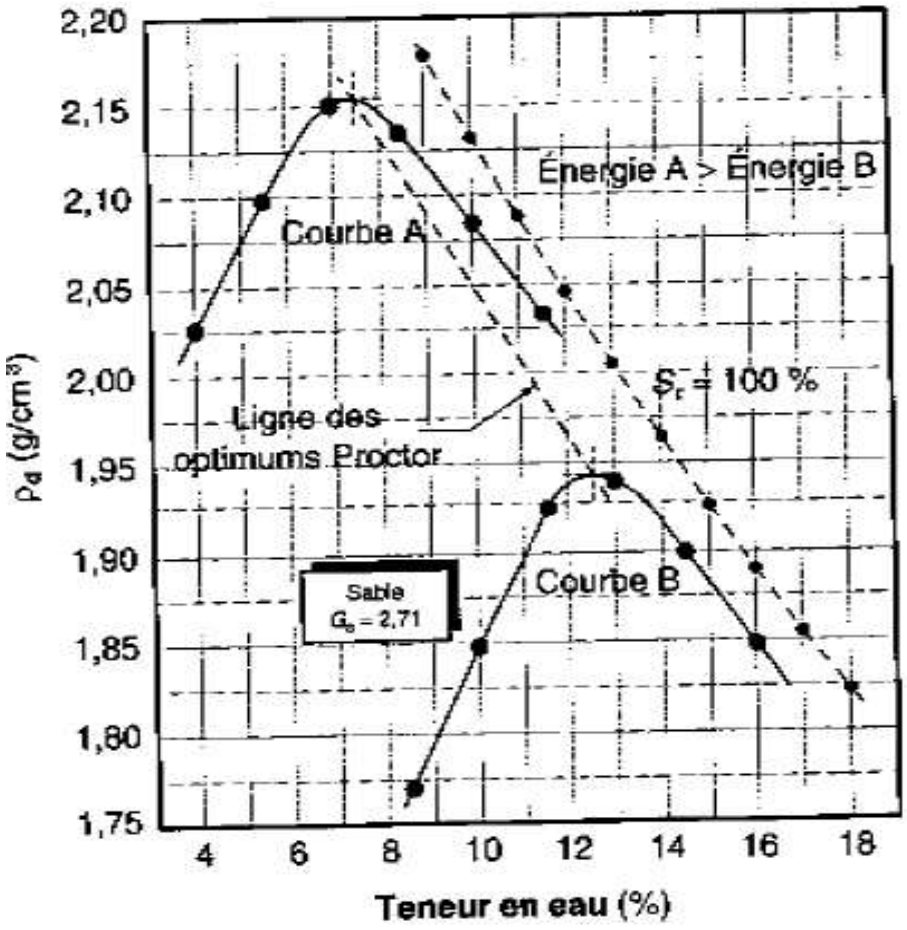


Figure 1-5 : influence de l'énergie de compactage sur l'optimum

L'influence de l'énergie de compactage sur la valeur de la mase volumique sèche maximale est aussi importante que celle de l'eau. Sur la figure ci-dessus on présente les résultats de deux compactage effectue sur le même sol, mais avec des énergies différentes (l'énergie du compactage A est supérieure à l'énergie du compactage B)

On constate qu'une hausse de l'énergie de compactage fait augmenter la masse volumique sèche maximale et diminuer la teneur en eau optimale. [1]

1-7-3 Essais de compactage au laboratoire :

Les essais de compactage effectués en laboratoire permettent de déterminer la masse volumique sèche maximale pour une énergie de compactage donnée. Et puis on va comparer la valeur obtenue en laboratoire avec la masse volumique du sol sec mesurée sur le chantier après les opérations de compactage et on doit vérifier si elle est suffisante et ainsi s'assurer de la qualité des travaux.

1-7-3-1 l'essai PROCTOR :

En 1933, l' Engineering News Record publia une série d'articles de RR Proctor qui portaient sur le compactage des sols . Il y présentait un essai de compactage en laboratoire qu'on appelle aujourd'hui l'essai Proctor normal et qui est décrit dans la norme NQ 2501-250. [1]

L'essai Proctor normal consiste à mesurer la masse volumique sèche d'un sol disposé en trois couches dans un moule normalisé (moule Proctor : 10,15 cm de diamètre et 11,7 cm de haut), chaque couches étant compactée avec un marteau de 2,49 kg tombant dune hauteur libre de 305mm. On répète l'essai à plusieurs reprises en faisant varier la teneur en eau du sol , on porte chaque mesure de la masse volumique du sol sec sur un graphique en fonction de la teneur en eau correspondante puis on trace la courbe de compactage et on détermine la masse volumique sèche maximale du sol ($\rho_{d\,m}$) et sa teneur en en eau optimale (w_o).

En comparant la masse volumique du sol sec sur le chantier ρ_c avec la masse volumique sèche maximale ($\rho_{d\,m}$), on établit le degré de compacité D_C en pourcentage de compactage, à l'aide de l'équation suivante :

$$D_C = \frac{\rho_{cha}}{\rho_{d\,m}}$$

On utilise pour ces essais deux types des moules de dimensions différentes :

- ✓ Le moule Proctor ($\emptyset_m$ =101,6 mm et $H_{d\ s}$ =117 mm) lorsque le matériau est suffisamment fin (pas d'élément supérieurs 5 mm).
- ✓ Le moule CBR (Californie Bearing Ratio) pour des matériaux de dimensions supérieurs à 5 mm et inferieures à 20 mm ($\emptyset_m$ =152mm et $H_{d\ s}$ =152mm)

Le tableau ci-dessous précise les conditions de chaque essai :

Essais	Masse du marteau (Kg)	Hauteur de chute du marteau (c)	Nombre de couches	Volume de moule (c 3)	Nombre de coups par couche	Energie de compactage (K /m^3)
Proctor normal (NQ 2501-250)	2,49	30,5	3	944 2124	25 56	592 589
Proctor modifie (NQ 2501-255)	4,54	45,7	5	944 2124	25 56	2695 2683

Tableau 1-1 Caractéristiques des essais Proctor.

Le tableau ci-dessous contient les résultats des essais Proctor pour différents types de sol :

Type de sol	sym bole	Proctor normal		Proctor modifie	
		$\rho_{d\,m}$ (g/c 3)	w_o (%)	$\rho_{d\,m}$ (g/c 3)'	w_o (%)'
sable argileux	SC	1,68 à 2	11 à 19	1,6 à 2,16	7 à 14
Argile inorganique de plasticite faible ou moyenne	CL	1,52 à 1,6	21 à 33	1,44 à 2,08	8 à 18
Argile de haute plasticite, argile silteuse	CH	1,2 à 1,68	19 à 36	1,44 à 1,84	14 à 28

Tableau 1-2 Résultats des essais Proctor.

1-7-3-2 l'indice portant CBR :

L'Indice Portant Californien est un nombre sans dimension exprimant en pourcentage le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau à étudier d'une part (avec ou sans immersion au préalable) et dans un matériau type d'autre part. Il caractérise implicitement la tenue au poinçonnement d'un sol.

Le matériau à étudier est placé dans un moule dans un état donné de densité et de teneur en eau. Il est ensuite poinçonné par un piston de 19,3 cm^2 de section, enfoncé à la vitesse constante de 1,27mm/min.

L'indice de portance ou CBR exprime en % le rapport entre les pressions produites en même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part.

Par définition cet indice est pris également à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$\frac{p \quad \text{à } 2{,}5\ m \quad d'e}{0{,}7}$$

$$\frac{p \quad \text{à } 5\ m \quad d'e_1}{1{,}05}$$

Le pouvoir portant d'un sol routier est d'autant meilleur que le CBR est grand.

1-7-3-3 Etude PROCTOR – CBR :

Cette étude consiste à compacter le sol à plusieurs teneurs en eau et à plusieurs énergies de compactage, pour effectuer un essai CBR. On peut, de cette façon tracer les courbes indiquées sur la figure ci-après, qui montrent :

1. Le poids volumique sec gd en fonction de la teneur en eau pour deux énergies de compactage encadrant l'énergie Proctor Normal.

2. Le poids volumique sec gd en fonction de la valeur du CBR pour différentes teneurs en eau.

3. La valeur du CBR en fonction de la teneur en eau pour chaque énergie de compactage.

Par ailleurs on porte sur ces graphiques la valeur de la teneur en eau naturelle.

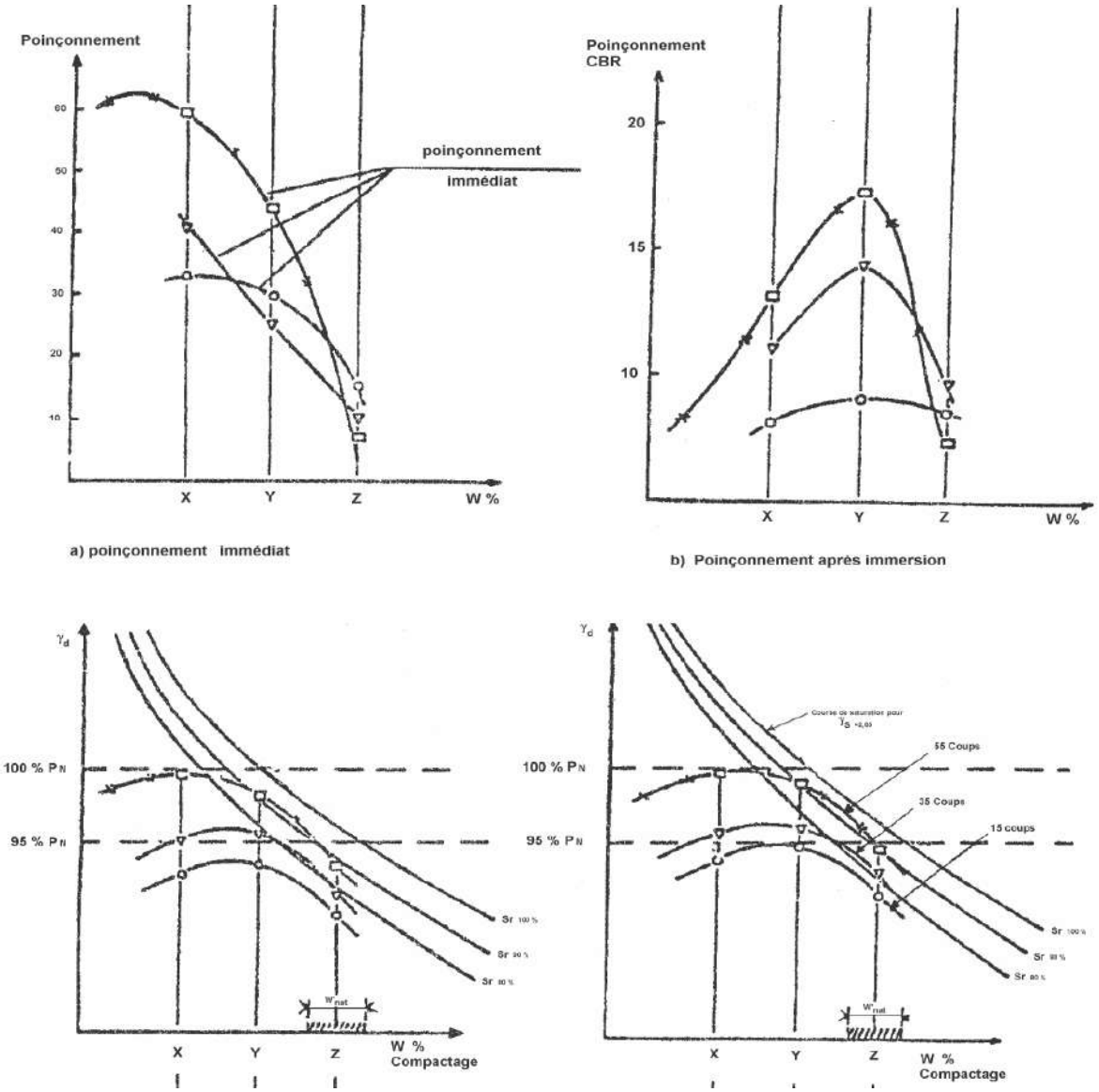


Figure 1-6 : Etude Proctor-CBR d'un sol

1-8 action de l'eau sur la bentonite :

En présence d'eau, une bentonite peut former un solide hydraté, un gel et/ou une suspension plus ou moins stable. Cela est possible grâce au caractère gonflant de cette argile.

1-8-1 Le gonflement :

La bentonite est caractérisé généralement par le gonflement en présence d'eau et il est définit par une augmentation du volume de sol.

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]

1-8-2 Le retrait :

Le retrait survient lorsque la quantité d'eau dans le sol diminue, il agit contrairement au gonflement.

La cause de cette diminution peut être due généralement soit 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 génère une augmentation de l'attraction entre les particules.[1]

1-8-3 La Perméabilité des sols :

La perméabilité est la capacité d'un sol à se laisser traverser par l'eau à travers ses interstices, les vides plus petits signifient que l'eau s'écoule moins vîtes à travers le sol et l'argile est caractériser par un écoulement d'eau lent donc il est caractérisé par un sol peut-perméable 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 œnométrique.

La perméabilité est un critère important dans le choix des sols utilisés comme matériaux d'étanchéité et elle varie selon la granulométrie et la forme des grains et l'état de compactage du sol.

La perméabilité est déterminée dans les laboratoires par deux méthodes:

La mesure sous charge constante pour les sols perméable (sable) et la mesure sous charge variable pour les sols peu perméables (argile). Pour la bentonite qui est une argile, c'est avec le deuxième type d'essaie qu'on va déterminer sa perméabilité.

1-8-3-1 1e coefficient de perméabilité :

1e coefficient de perméabilité est la constante de proportionnalité entre la vitesse découlement et le gradient hydraulique, il permet de quantifier la perméabilité des sols et il est un bon indice de classement des sols selon leur perméabilités.[1]

Ce dernier varie d'un sol à l'autre selon plusieurs influence dont les principaux la taille et la forme des grains et peut aussi varie selon l'indice des vides, la viscosité dynamique de l'eau et le degré de saturation.

Le tableau se dessous définie le coefficient de perméabilité de différents type de sol :

Type de sol	Coefficient de perméabilité K (c /s)
Argile sableuse	5×10^{-6}
Argile silteuse	10^{-6}
Argile (contenant de 30 à 50 % de particules inferieures à 2μ)	10^{-7}
Agile colloïdale (contenant plus de 50% de particules inferieurs à 2μ)	10^{-9}

Tableau 1-3 : coefficient de perméabilité de différents type de sols (d'après Hough, 1957).

1-8-3-2 détermination du coefficient de perméabilité K au laboratoire :

Dans notre étude on utilise l'essai de perméabilité à charge variable, dans cet essai, l'écoulement d'eau à travers un échantillon de sol placé dans un perméamétre à pour cause une perte de charge qui diminue dans le temps d'une hauteur h_1 à une hauteur h_2 (voir la figure) on définit le coefficient de perméabilité comme suite :

$$K = 2{,}3\,\frac{a\,L}{A(t_2 - t_1)}\,l_{10}\,\frac{h_1}{h_2}$$

Le déroulement de l'essai de perméabilité à charge variable est comme le montre la figure suivante :

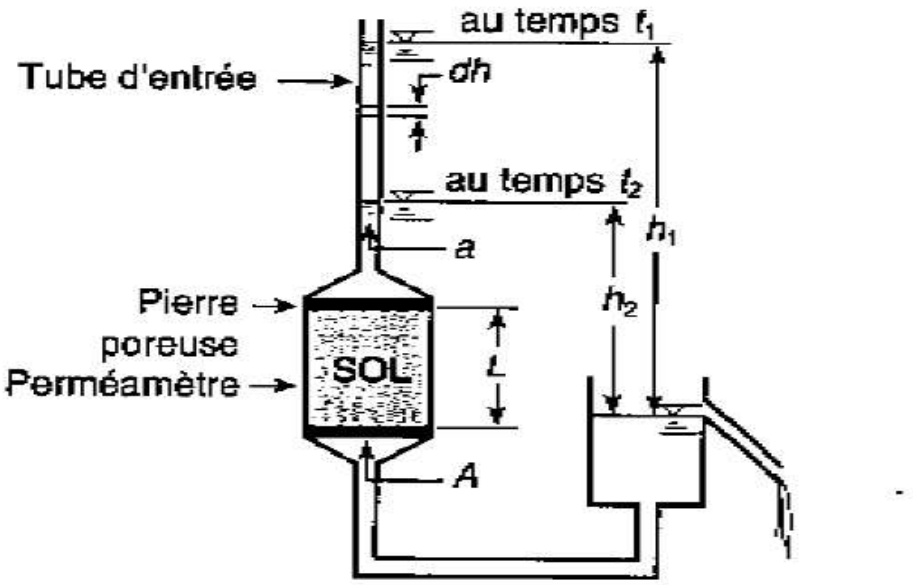


Figure 1-7 : Montage d'essai de perméabilité à charge variable

1-9 Conclusion :

Cette partie était affecté à la description des argiles spécialement la bentonite et le sable de fonderie, on a vu des définitions brèves des différents termes qu'on va utiliser puis définir le mode de formation de bentonite et le gisement de la bentonite an Algérie et ensuite 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 le compactage bien détail avec ses déférent facteurs, et on vu aussi la perméabilité des argiles avec des exemples.

Chapitre 2:
Réalisation des essais

2-1 Introduction :

“ Si vous ne faite pas d’essai, vous avez déjà échouez “

Partant de ce principe, l’expérience est le seul moyen de vérifier ou de découvrir les théories, les lois ou les postulats.

Ce chapitre est consacrer aux essais et à leurs réalisations dont mon thème est basé sur, à commencer par les essais sur le sable de fonderie et terminé par cisaillements à la boite sur la bentonite de Mostaganem.

2-2 Essais physique sur sable de fonderie :

2-2-1 masse volumique absolue :

➢ **principe de l'essai :**

L'essai de la détermination de la masse volumique absolue des sables de fonderie est fait selon la norme NF P94-554.

➢ **Déroulement de l'essai :**

A / Préparation de l'échantillon :

- Sécher le matériau dans une étuve pendant 24 heures a une température de 105°C .

- S'assurer que les pycnomètres sont propres et sèches.

B / Réalisation de l'essai :

- Mettre une quantité 500 g de l'échantillon dans 3 pycnomètres.

- Remplir les 3 pycnomètres d'eau jusqu'à un volume V_1 bien déterminé.

- Faire l'imbibition à une température de 20°C pendant 24 heures (pour s'assurer que les bulles d'air ont disparue) .

- Remplir à nouveau les 3 pycnomètres d'eau jusqu'au un volume V_2 .

- Peser les 3 pycnomètres et faire le calcul de cet essai. $\rho_s = \frac{M}{V_1 - V_2}$



Figure 2-1 : l'imbibition de pycnomètre contenant sable fonderie.

2-2-2 / analyse granulométrique :

- **principe de l'essai :**

Il est indispensable de connaitre dans un sable la grosseur des grains dont il se compose et leur proportion dans un volume de sable déterminé.

L'analyse granulométrique est définit par La norme NF P94-054.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes (refus, tamisât).

- **Déroulement de l'essai :**

A - Préparation de l'échantillon :

- Sécher l'échantillon dans une étuve pendant 24 heures a une température de 105°C et on le pèse 500 grammes.

- Laver le sur le tamis de 80µm afin d'éliminer les particules de silt et d'argile (pour éviter de surcharger le tamis de 80µm, on peut y superposer un tamis de 400 µm ou de 630µm), lorsque l'eau de lavage devient claire, la séparation est terminée.
- Le refus recueilli sur le tamis de 80µm est alors séché au four pour qu'on puisse mesurer sa masse sèche.

- **Réalisation de l'essai :**

- Mettre une série de tamis par ordre décroissant .

- Passer l'échantillon M_s à travers la série de tamis et faire agiter manuellement cette série.
- Reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adaptant un fond et un couvercle, peser le refusR_1.
- Reprendre la même opération avec tout les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus cumulés R_2 …R_i…… R_n.
- Peser le tamisât au dernier tamisT_n.
- Calculer pour chaque tamis le pourcentage du refus cumulé :

$$R_n = \frac{R_i}{M_S} * 1\ \ 0$$

-Calculer pour le pourcentage de tamisas cumulés pour chaque tamis :

$$T_n = 100 - R_n$$

- tracer la courbe granulométrique .

2-2-3 /Analyse granulométrique sédimentaire :

- **Objet :**

Avec les particules dont le diamètre est inférieur ou égale à 0,08 mm l'utilisation de tamis est physiquement impossible, donc on procède à ce type d'analyse (sédimentaire) pour estimer la distribution granulométrique des particules de silt et d'argile.

- **Principe de l'essai :**

Dans un milieu liquide au repos, la vitesse de la décantation des grains fins à très fins est fonction de leurs dimensions, la loi de STOKES donne la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation, par convention cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalents de particules.

- **Préparation de l'échantillon :**

- Un sol à grains fins contenant des particules dont le diamètre équivalent est supérieur à 2 mm.
- Prélever un échantillon de sol humide et le tamiser par lavage sur le tamis de 2 mm.
- Le tamisât et l'eau de lavage sont recueillis dans un récipient pour servir a la sédimentation.
- Prélèvement de 40 à 100 gr du tamisât de 2 mm.

- **Réalisation de l'essai** :

- Prendre l'échantillon et lui incorporer une solution d'eau distillé ou déminéralisé et 5 gr d'agent dispersant (habituellement de l'hexamétaphosphate de sodium qui sert à séparer les particules d'argile).
- Laisser reposer l'échantillon préparé à sec dans la solution pendant au moins 16 heures (afin d'atteindre une saturation complète permettant à l'agent dispersant d'agir dans des conditions idéales).
- Mélanger la solution et le sol à l'aide d'un agitateur pendant 30 a 60 secondes (pour les sols a gros grains contenant des particules d'argile et de silt) , et pendant 1 à 4 minutes pour les sols a grains fins .
- Verser toute la suspension dans un cylindre de sédimentation de 1 litre, et on y ajoute au besoin en eau distillé ou déminéraliser.
- Boucher le cylindre et on l'agite vigoureusement pendant 1 minute, en le renversant de bas en haut à plusieurs reprises.
- Le déposer dans un endroit stable et exempt de vibration, si possible dans un bain à température constante (25°c).

- Noter le temps de départ de la sédimentation (qui correspond au temps du dépôt de cylindre au repos).
- Mesurer la concentration et la vitesse de chute des particules de sol à l'aide d'un hydromètre (qui est insérer délicatement dans la solution pour éviter de créer la turbulence).
- Retirer l'hydromètre et on enregistre la température de la suspension.
-A partir du temps de départ de la sédimentation, on fait des lectures à l'hydromètre après des temps suggérer (0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 40 et 1440 minute).



Figure 2-2 : représente le déroulement d'essai de l'analyse granulométrique sédimentaire.

2-3 Essai de compactage au laboratoire :

➢ **Objet:**

Déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible et consiste à mesure la masse volumique sèche d'un sol ,définir par la norme NF P-94-093.

➢ **Préparation de l'échantillon :**

- Tamiser un échantillon de 2kg, de sol représentatif à 20 mm.

- Séché l'échantillon dans une étuve à 105°c pendant 24 heures.

- Faire la pesé de l'eau contenu dans l'échantillon.



Figure 2-3 : les sacs d'imbibition contenant le sol et la quantité d'eau correspondante.

➢ **Réalisation de l'essai :**

- Mélanger l'eau avec l'échantillon.

- Laisser reposer pendant 24 heures pour l'imbibition.

- Mettre l'échantillon dans un moule de Proctor en 3 couches et faire dans la dame de Proctor automatique chaque couche étant compactée.

- Répété l'essai à plusieurs reprises en faisant varier la teneur en eau du sol.

- Peser le moule contenant le sol humide et on détermine la teneur en eau du sol

- Déterminé les masse volumique humide et sèche de chaque échantillon à l'aide des équations suivantes :

$$\rho_h = \frac{m_h_m}{v} \qquad \rho_d = \frac{\rho_h}{(1-W)}$$

- Extraire l'éprouvette du moule et calculer la teneur en eau réel (corrigé).

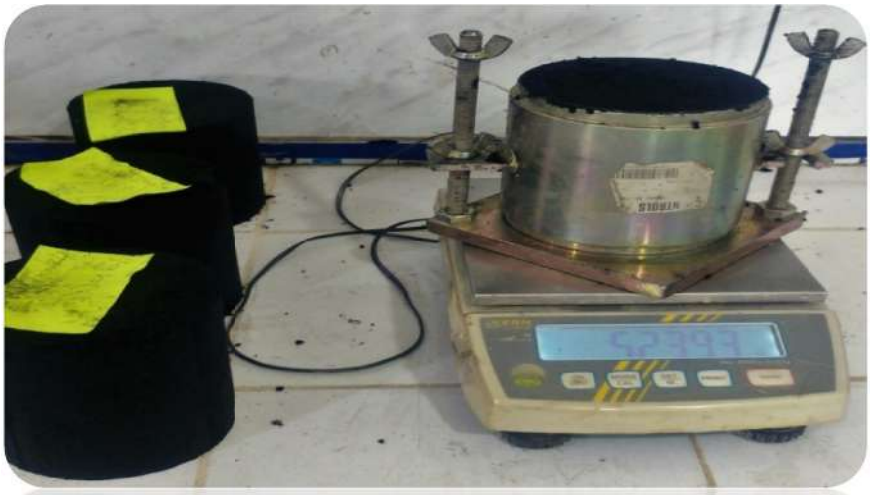


Figure 2-4 : démoulage du moule de Proctor avec des éprouvettes.

2-4 Perméabilité à charge variable :

➢ **Objet:**

On utilise cette essai dans les sols peu perméable et l'essai est normalisé par la norme BNQ 2501-062 , pour déterminé le coefficient de perméabilité on procédé suivant trois étapes :

- La mise en place de l'échantillon de sol dans le perméamétrie.
- La saturation de l'échantillon de sol.
- La détermination du coefficient perméabilité

➢ **Préparation de l'échantillon :**

- Tamiser 2 kg l'échantillon à un tamis 20 mm pour éliminé les particules supérieur à 20 mm.

- Sécher l'échantillon dans une étuve à 105°c pendant 24 heures.

- Faire la peser de l'eau contenue dans l'échantillon.

➢ **Réalisation de l'essai :**

- Mélanger l'eau avec l'échantillon.

- Laisser reposer pendant 24 heures pour l'imbibition.

- Mettre dans le moule la masse d'échantillon calcule et la presser à l'aide de presse DRS .

- Mettre l'échantillon dans le perméamétrie et faire immerger le perméamétrie pendant 24 heures dans un bassin de trempage dont le niveau d'eau est situé environ 50 mm au dessus de la tête du perméamétrie .

- Mettre le perméamétrie dans le système, et lorsque la burette est installée, on la remplit avec d'eau jusqu'à le niveau h_1 en essayant d'évité les bulle d'aire au montage .



Figure 2-5 : la presse de l'échantillon dans le perméamétrie.

2-5 cisaillements à la boite de Casagrande :

- **Objet:**
  Déterminer les paramètres mécaniques du sol sous les conditions maximales, c'est-à-dire, le sol mis en place dans la boîte de cisaillement à une densité correspondante à celle de l'optimum du Proctor normal , défini par la norme NF P94-071-01 .

- **Préparation de l'échantillon :**
  - Extraire l'éprouvette du moule.
  - Tailler l'éprouvette de telle sorte que les dimensions de la section de l'éprouvette correspondent à celle de la boite du cisaillement.
  - Peser l'échantillon et mesurer sa hauteur.
  - Placer une plaque drainante dans le fond de la demi-boite inférieure.
  - Introduire l'éprouvette dans les deux demi-boites solidarisées au préalable
  - Placer une deuxième plaque drainante des demi-boites supérieures.

- **Réalisation de l'essai :**

L'essai comporte le cisaillement d'au moins trois éprouvettes de mêmes dimensions, préparer dans les mêmes conditions, cisailler à la même vitesse mais soumises à des efforts verticaux différents.

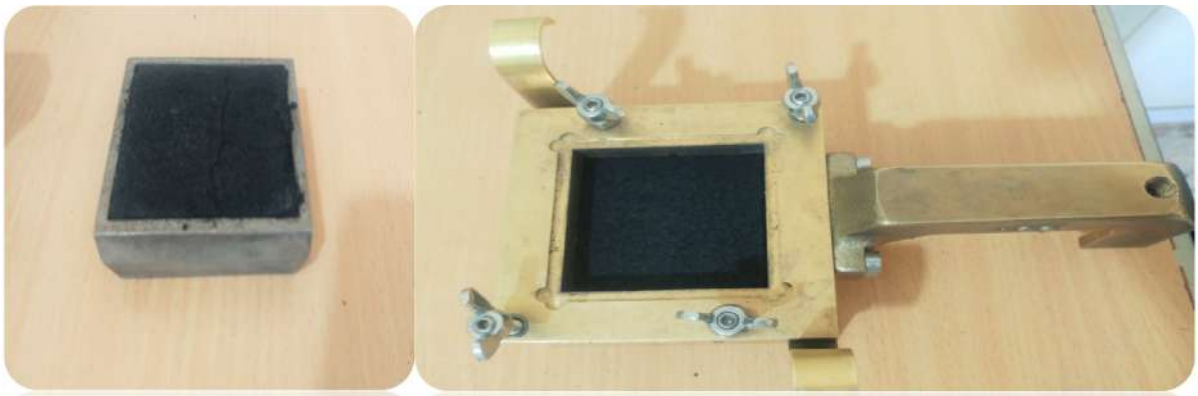


Figure 2-6 : l'éprouvette tailler et mis en place dans la boite de cisaillement .

Chapitre 3:
Résultats et interprétation

3-1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats des essais réalisés notamment les essais de cisaillement à la boite de Casagrande, de perméabilité, de compactage et d'analyse granulométrique.

Cette étude expérimentale a été réalisée sur des échantillons de sable de la fonderie et de Bentonite.

3-2 L'analyse granulométrique :

❖ **La masse volumique :**

Tout d'abord on a commencé par le calcul de la masse volumique dans le but de calculer les différents indices plus tard.

$$l\iota\ m \qquad v\iota \qquad \text{sèche}\ \rho_d = 2{,}16\ {}^{k}/_{m^3}$$

D'essais d'analyse granulométrique a été réalisé sur sable de fonderie dans le but de déterminer la distribution dimensionnelle des grains de sable de fonderie .

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau et les figures suivantes :

❖ **Résultats obtenus :**

Tableau 3-1 représente les résultats d'analyse granulométrique et sédimentométrique .

	Tamis (mm)	Refus partielles (g)	Refus cumulé (%)		Tamisat cumulé (%)	
ANALYSE GRANULOMETRIQUE	**80**	0		0,00		**100,00**
	50	0		0,00		**100,00**
	31,5	0		0,00		**100,00**
	20	0		0,00		**100,00**
	10	0		0,00		**100,00**
	5	0	0,00	100,00	0,00	**100,00**
	2	0	0,00	100,00	0,00	**100,00**
	1	0	0,00	100,00	0,00	**100,00**
	0,4	15,2	3,04	96,96	3,04	**96,96**
	0,2	310,9	62,18	37,82	62,18	**37,82**
	0,1	372,8	74,56	25,44	74,56	**25,44**
	0,08	381	76,20	23,80	76,20	**23,80**

	D (mm)	Temps (mn)	Température (° C)	Lecture Rt (g/cm3)	% P sur le 80 µm	% P sur le 50 mm
COMPLEMENT SEDIMENTOMETRIQUE	**0,0746**	0,5	20	1,02210	87,74	**20,88**
	0,0544	1	20	1,01955	77,61	**18,47**
	0,0392	2	20	1,01800	71,46	**17,01**
	0,0250	5	20	1,01600	63,14	**15,03**
	0,0179	10	20	1,01500	59,17	**14,08**
	0,0129	20	20	1,01350	53,22	**12,67**
	0,0092	40	20	1,01250	49,24	**11,72**
	0,0065	80	20	1,01210	47,66	**11,34**
	0,0038	240	20	1,01100	43,29	**10,30**
	0,0016	1440	20	1,00700	27,41	**6,52**

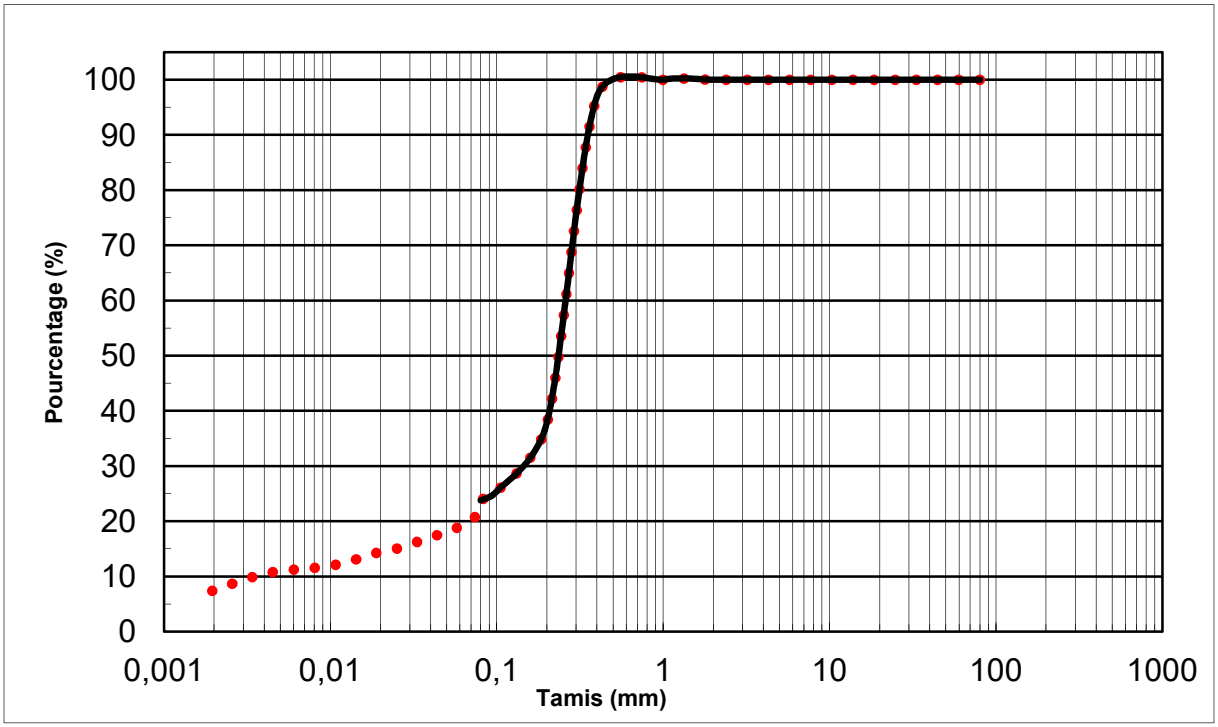


Figure 3-1 les pourcentages des tamisât en fonction du tamis.

❖ **Interprétation des résultats :**

D'après les essais d'analyse granulométrique par tamisage et par sédimentation, on peut classifier le sable de fonderie comme un sable limoneux avec des traces d'argile.

3-3 Essai de compactage :

Des essais de compactage ont été réalisés sur dés mélanges sable de fonderie/Bentonite dans le but de déterminer la teneur en eau optimales et la masses volumiques maximales correspondante .

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau et les figures suivantes :

❖ **Résultats obtenus :**

Tableau 3-2 : Représenté les résultats de Proctor .

	0%	2%	4%	6%	8%
W_o	12,5	13	13,2	13,5	14
$\rho_{d\,m}$	1,86	1,891	1,88	1,871	1,867

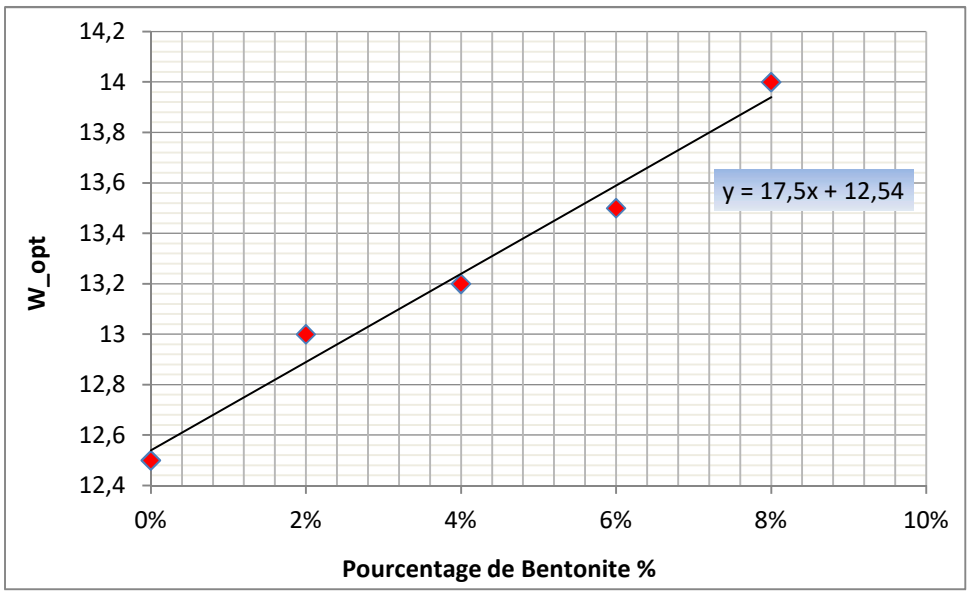


Figure 3-2 : la teneur en eau en fonction du pourcentage de bentonite.

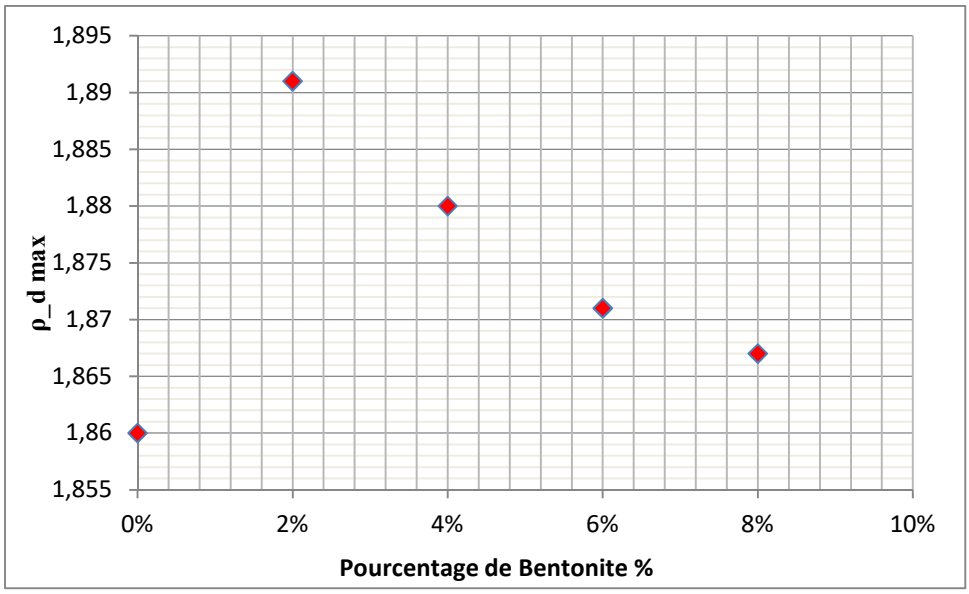


Figure 3- 3 : la masse volumique maximales en fonction du pourcentage de bentonite .

❖ **Interprétation des résultats :**

Les résultats obtenus montrent que la teneur en eau optimale augmente en fonction du pourcentage de Bentonite ; Par contre la masse volumique sèche maximale diminue en fonction du pourcentage de Bentonite .

3-4 Essai cisaillement à la boite :

Des essais de cisaillement à la boite de Casagrande ont été réalisés sur dés mélanges sable de fonderie/Bentonite dans le but de déterminer l'effet de l'ajout de Bentonite sur la résistance au cisaillement de sable.

Les échantillons utilisés pendant essai ont été compactés avec les teneurs en eau optimales et les masses volumiques maximales obtenues lors des essais Proctor .

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau et les figures suivantes :

❖ **Résultats obtenus :**

Tableau 3-3 : Résultats de l'essai cisaillement à la boite à vitesse 0,5 .

	0%	2%	4%	6%	8%
C_p(Kpa)	22 ,87	62,22	66,49	79,54	153,6
C_f(Kpa)	35,09	42,59	46,8	53,8	115,6
$\emptyset_p$(°)	39,19	31,95	31,80	31,78	15,38
$\emptyset_f$(°)	33,08	31,31	30	34,07	21,25

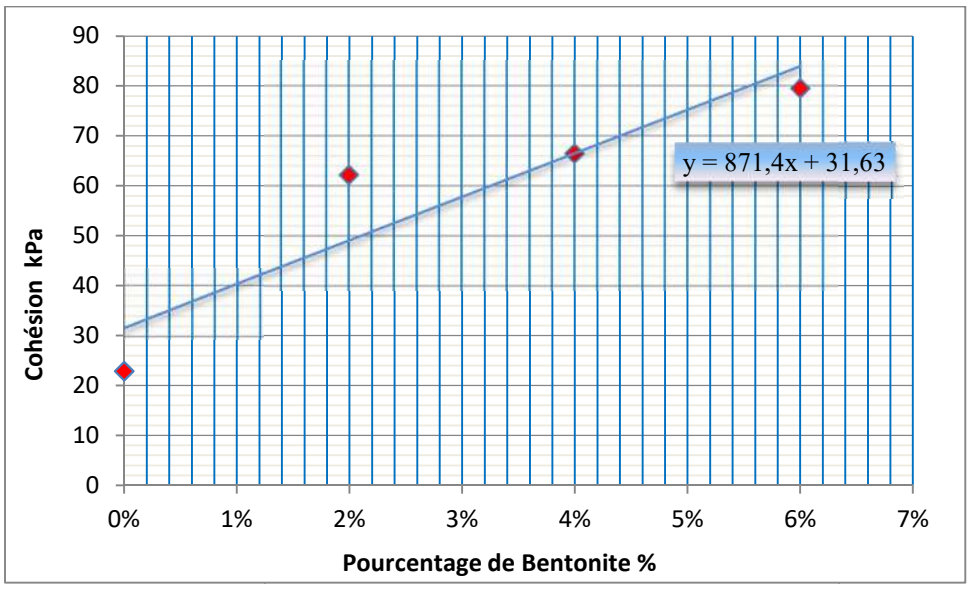


Figure3-4 : Cohésion au pique en fonction du pourcentage de Bentonite.

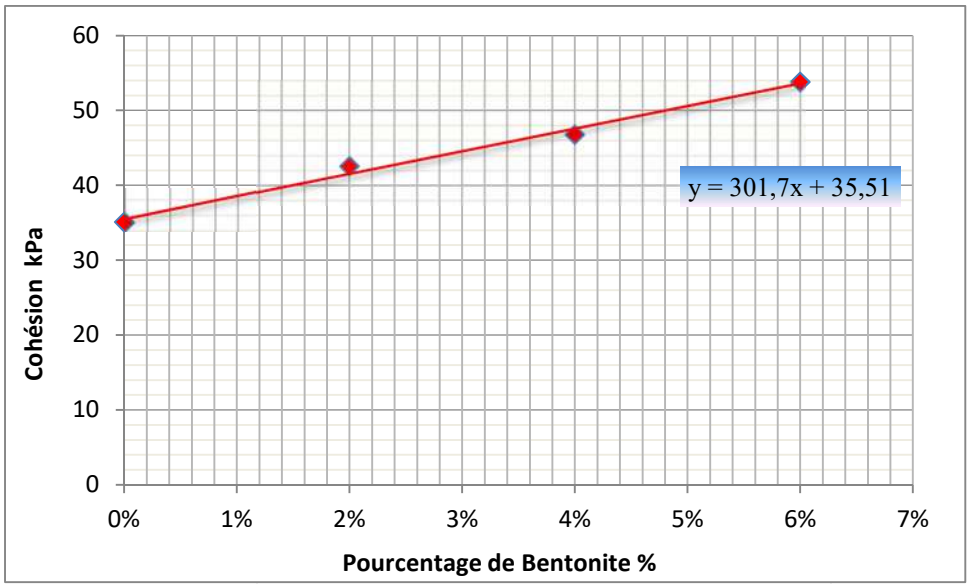


Figure 3-5 :Cohésion final en fonction du pourcentage de Bentonite .

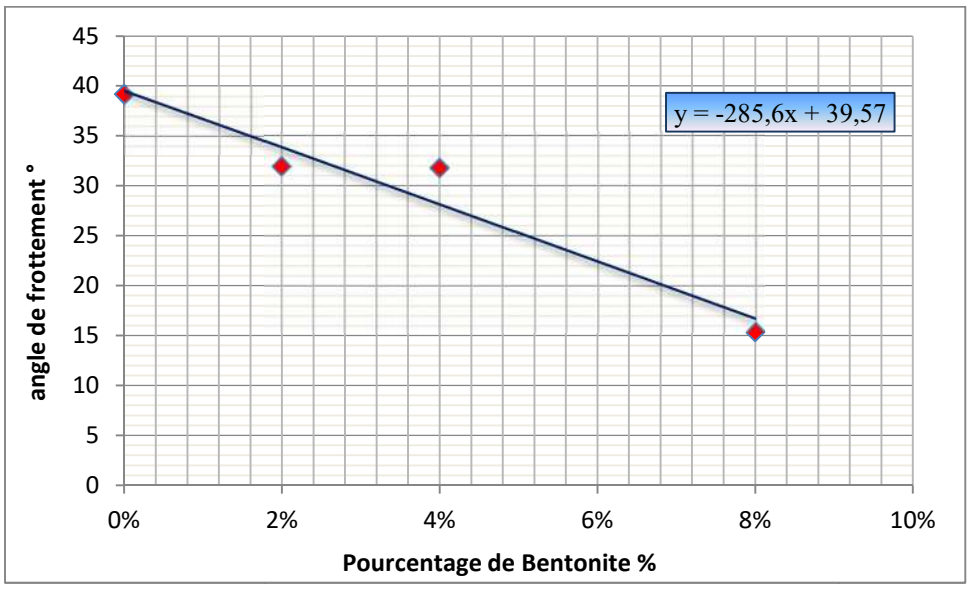


Figure 3-6 : l'angle de frottement au pique en fonction du pourcentage de Bentonite .

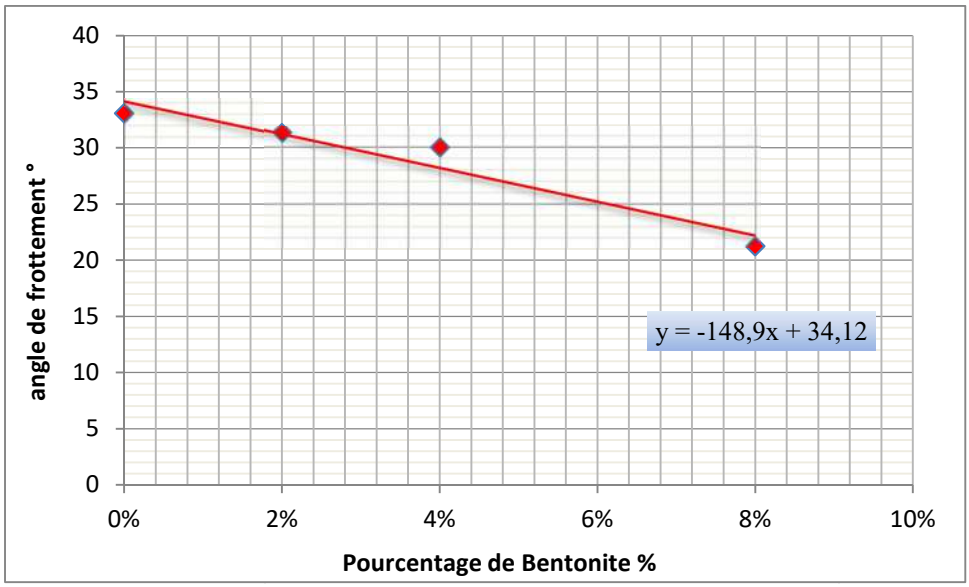


Figure 3-7 : l'angle de frottement final en fonction du pourcentage de Bentonite.

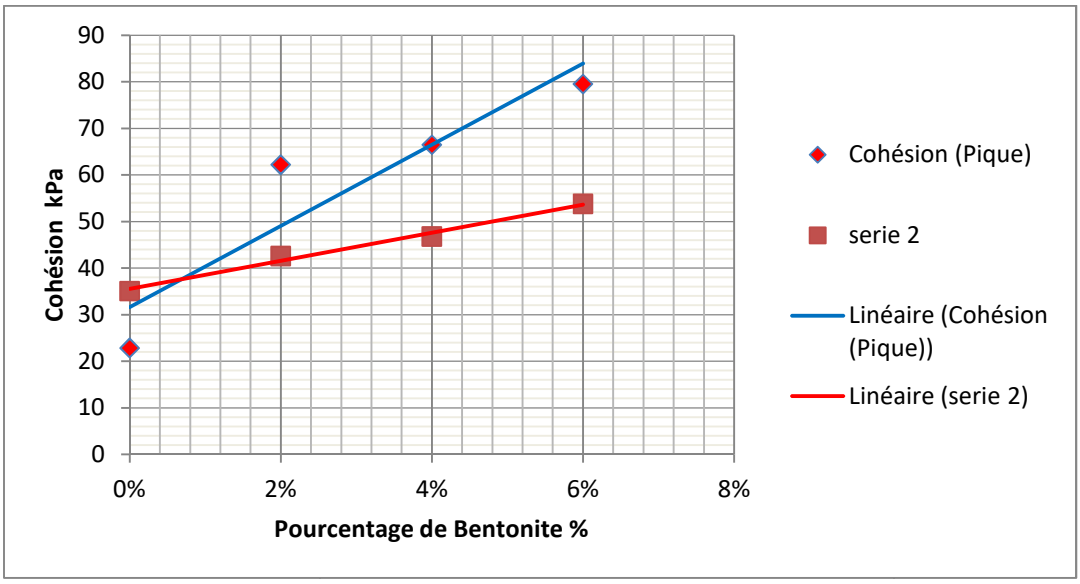


Figure 3-8 la cohésion en fonction du pourcentage de Bentonite.

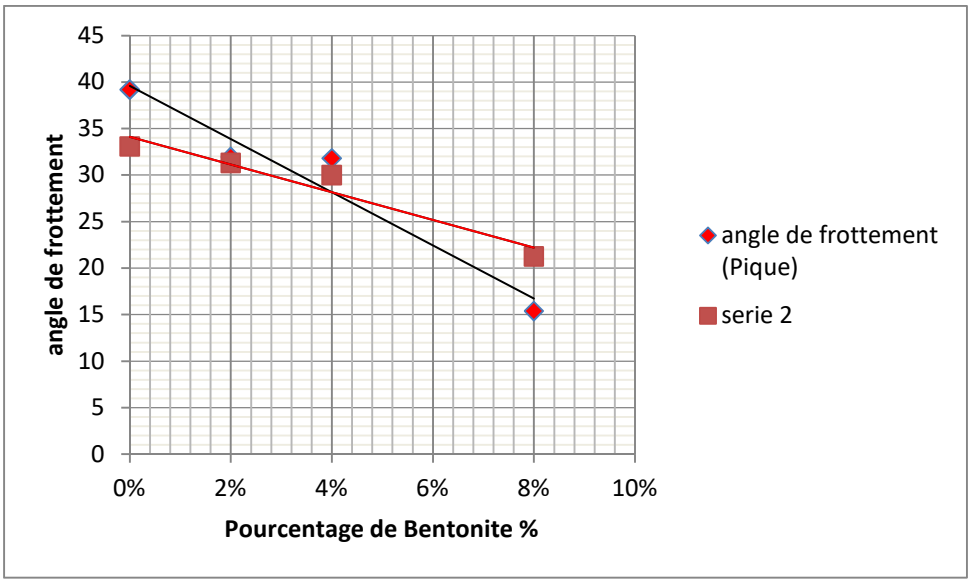


Figure 3-9 L'angle de frottement en fonction du pourcentage de Bentonite .

Interprétation des résultats :

Les résultats obtenues montrent que la cohésion (au pique et finale) augmente en fonction du pourcentage de Bentonite parce que la bentonite caractérise par une forte cohésion donc la bentonite est une sol cohérent .

Par contre l'angle de frottement diminue en fonction du pourcentage de Bentonite parce que la bentonite a une faible angle de frottement .

3-5 Essai de perméabilité à charge variable :

Dans le but d'obtenir une couche de sables de fonderie imperméable, des essais de perméabilité ont été réalisés sur des mélanges de sable de fonderie/Bentonite.

Les échantillons utilisés pendant essai ont été compactés avec les teneurs en eau optimales et les masses volumiques maximales obtenues lors des essais Proctor . le but du variation de bentonite est d'obtenir la perméabilité recherchée est de 10E-9 .

Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau et les figures suivantes :

❖ **Résultats obtenus :**

Tableau 3-4 : Représenté le Coefficient de perméabilité (m/s).

	0%	2%	4%	6%	8
K (m/s) à l'état dense	4,12E-08	1,05E-09	6,32E-10	3,03E-10	1,62E-11
K (m/s) à l'état lâche	1,96E-07				

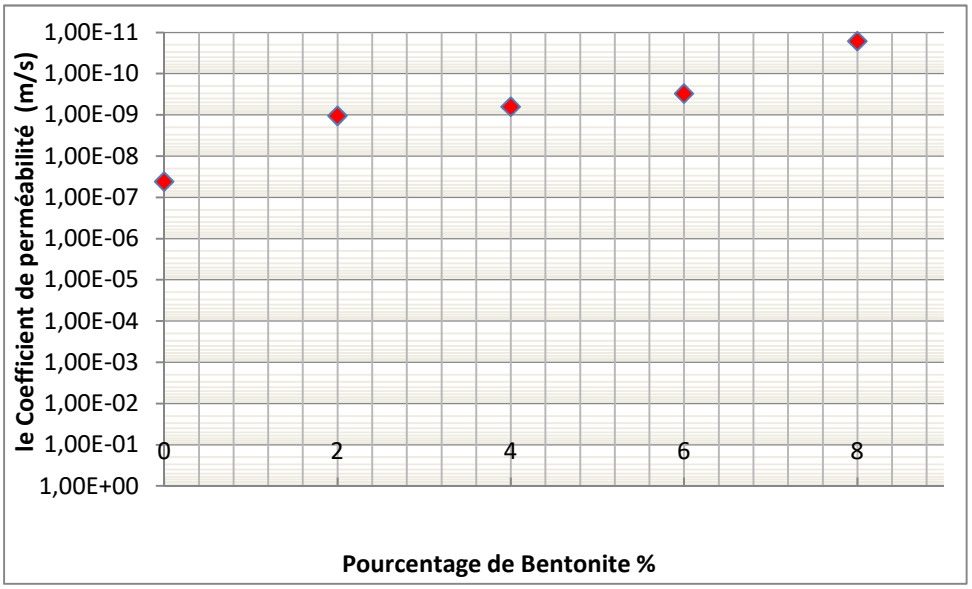


Figure 3-10 le coefficient de perméabilité en fonction du pourcentage de Bentonite.

❖ **Interprétation des résultats :**

Les résultats des essais de perméabilité ont montrés que la perméabilité diminue en fonction du pourcentage de Bentonite .

Il est note que la perméabilité recherchée à partir de 2% de perméabilité .

3-6 Conclusion :

A partir des résultats obtenus on peut tirer les conclusions suivantes :

- La masse volumique maximale ($\rho_{d\,m}$) est diminue lorsqu'on ajoute les pourcentages des Bentonite par contre la teneur en augmente en fonction du pourcentage de Bentonite
- La cohésion est augmente en fonction du pourcentage de bentonite et l'angle de frottement diminue parce que la bentonite caractérise généralement par une fort cohésion et un faible angle de frottement.
- La perméabilité diminue en fonction du pourcentage de Bentonite.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La bentonite est une argile gonflante et imperméable, aujourd'hui son domaine d'application est vaste, elle présente une matière industrielle par excellence et une importance économique, par sa disponibilité en Algérie (plus précisément dans deux carrières a Mostaganem et Maghnia). C'est la principale cause qui ma inciter à faire le choix de cette argile pour mon étude.

Le sable de fonderie est un déchet qui à été utiliser dans ma recherche, à cause de pouvoir le stoker dans des couches imperméables. Je voulais faire une étude expérimentale pour pouvoir bien comprendre le phénomène de perméabilité de cette sable fonderie, par la suite et durant ma recherche bibliographique, j'ai remarqué qu'il y a des différences entre les résultats obtenus par des essais effectués sur le même sol.

Par conséquent, j'étais obligé d'étudier la perméabilité sur le sable de fonderie avec différents pourcentages de bentonite ;

Les résultats des essais m'a permis de tracer les conclusions suivante:

- ✓ D'après les résultats des essais on constate que le sable est classe comme un sable limoneux et d'après les résultats d'essai de détermination de la masse volumique des grain solide la masse volumique de sable de fonderies et de 2,16 et le sol classe comme un sable organique
- ✓ les essais de compactage mon permet de déduire que la masse volumique diminue en fonction du pourcentage de la bentonite, mais part contre la teneur en eau optimale augmente.
- ✓ La cohésion augmente proportionnellement avec les pourcentages de la bentonite, par contre l'angle de frottement diminue.
- ✓ Le coefficient de perméabilité est diminue en fonction du pourcentage de bentonite .
- ✓ Pour réalisé une couche imperméable de sable de fonderie on doit ajouter 2% de Bentonite au sable de fonderie, et d'après les résultats précédents mon objectif est atteint.

Référence

Référence :

[1] Abderrahim MELKI , Etude analytique des caractères physico-chimiques et hydriques de deux types de Bentonite (exemple de la bentonite Maghnia et de la bentonite Mostaganem), le diplôme de Master Académique

[2] A K. Chowdhury, A.D.Sarkar, A. Bandyopadhyay , Rice husk ash as a low cost adsorbent for the removal of methylene blue and congo red in aqueous phases, Clean, 37, 581–591,2009.

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

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

[5] TURCRY P., "Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants Influence de la Formulation" Thèse de doctorat de l'Université de Nantes-France, (2004)

[6] Ibrahim BELHOUARI , Hamza LADJ . Etude de conformité de la bentonite par dopage avec différents polymères dans la préparation des boues de forage , mémoire de master université Abderrahmane Mira de Bejaia 2016.

[7] E. ASSAAD, étude du processus de coagulation-floculation du système montmorillonite-chitosane dans l'élimination de métaux de transition » mémoire de doctorat université du Québec à Montréal 2006

[8] M. FERHAT . Co-adsorption des métaux lourds sur la bentonite modifiée en présence de floculant minéral et biologique . mémoire de magister université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou 2012 .

[9] Z. MOUSSAOUI . Intercalation de dendromètre sa travers la bentonite sodique . mémoire de master université Abou Bekr belkaid-Tlemcen 2012.

Annex

Proctor (bentonite 2%) :

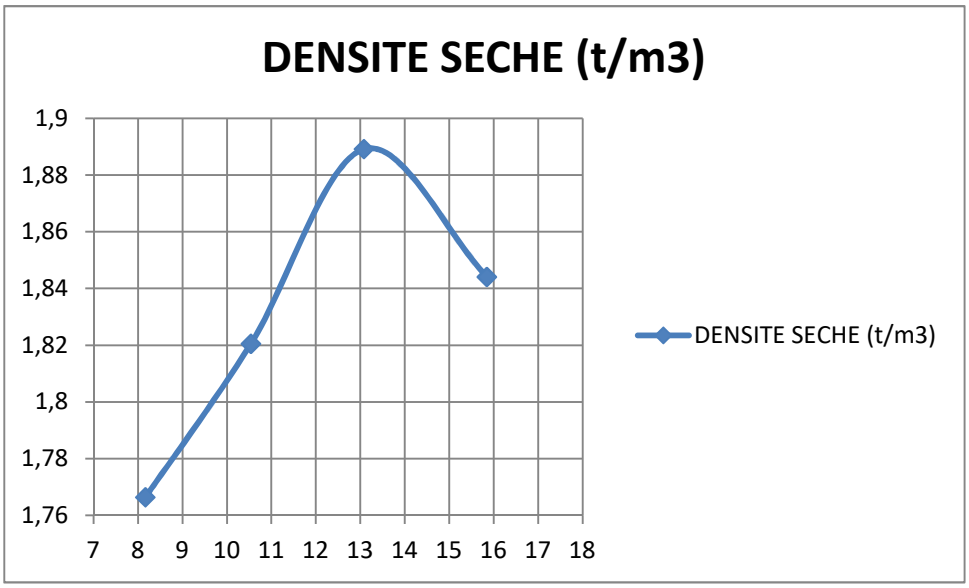


Fig. A.1 Proctor du sable de fonderie/ bentonite à 2%.

Proctor (bentonite 4%) :

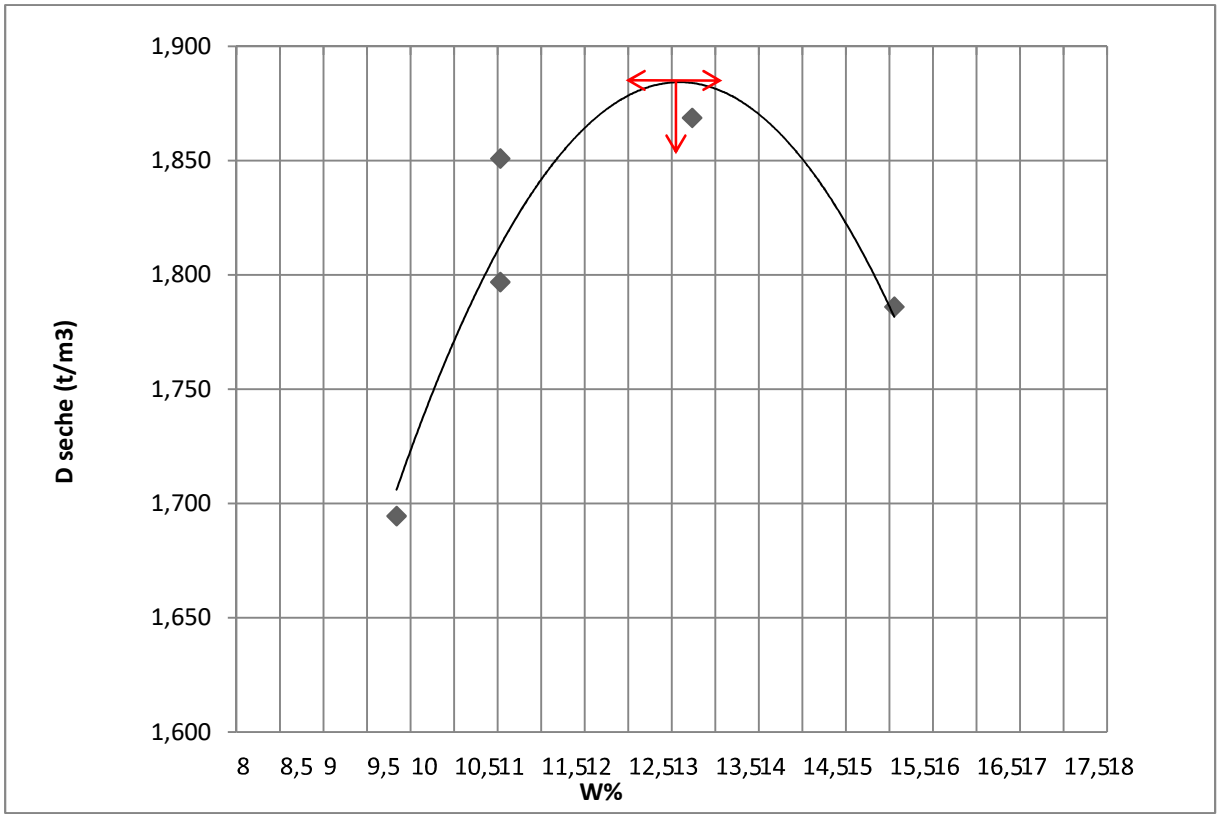


Fig. A.2 Proctor du sable de fonderie/ bentonite à 4%.

Proctor (bentonite 6%) :

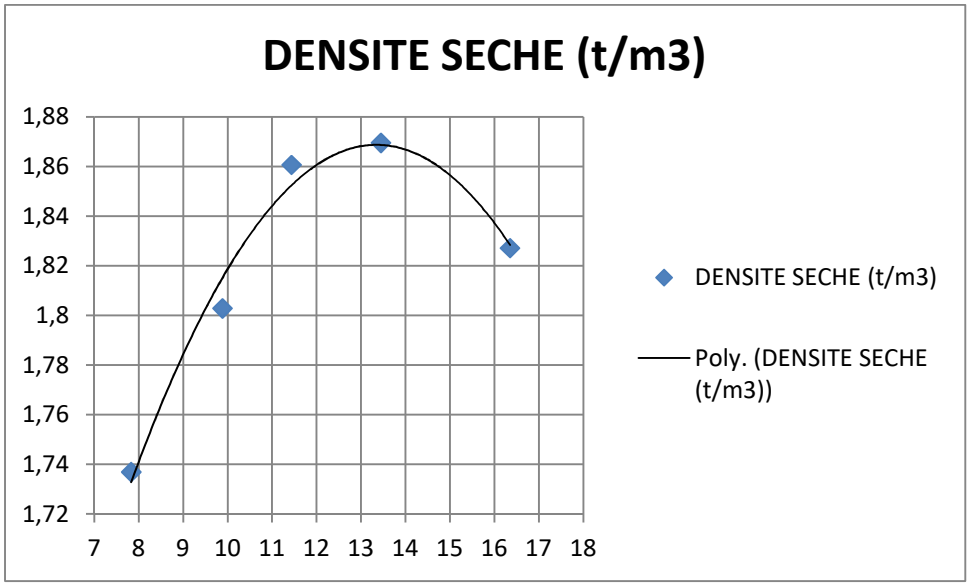


Fig. A.3 Proctor du sable de fonderie/ bentonite à 6%.

Proctor (bentonite 8%) :

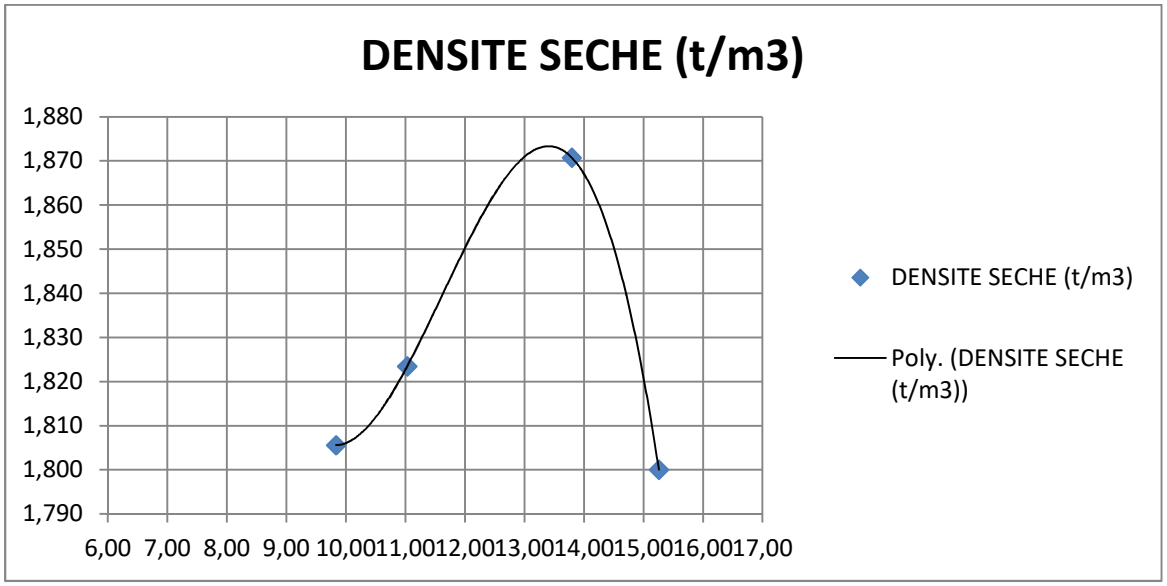


Fig. A.4 Proctor du sable de fonderie/ bentonite à 8%.

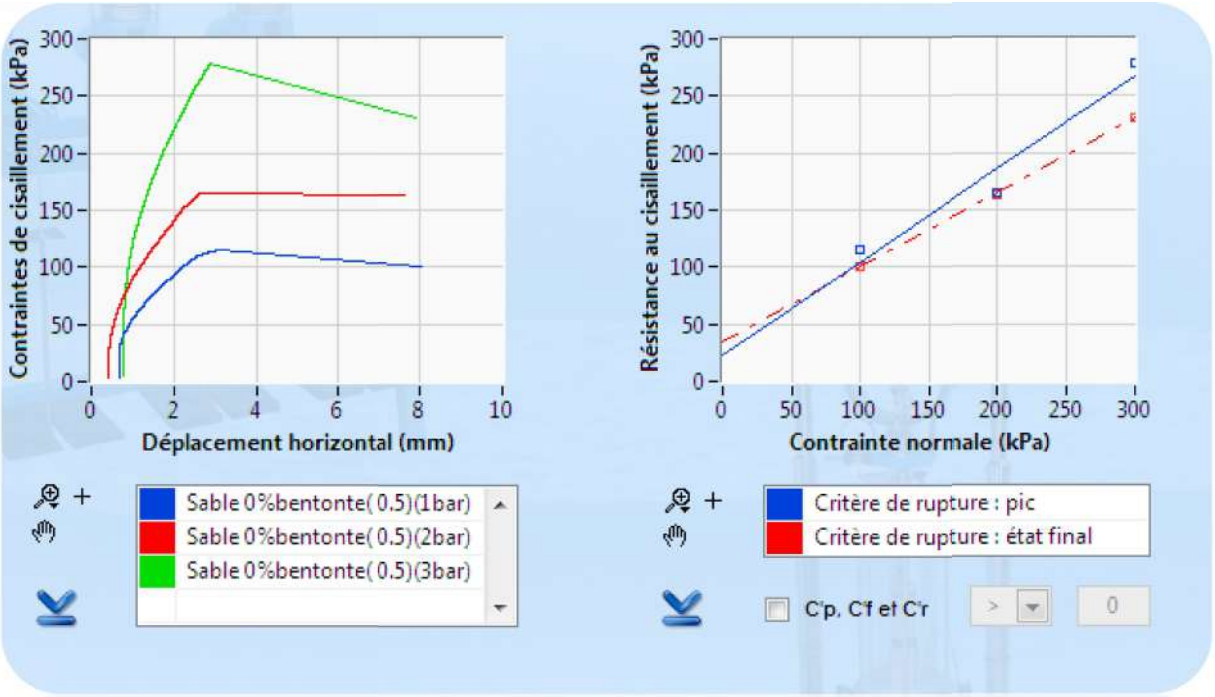


Fig. A.5 les résultats de cisaillement du sable de fonderie/ bentonite à 0%.

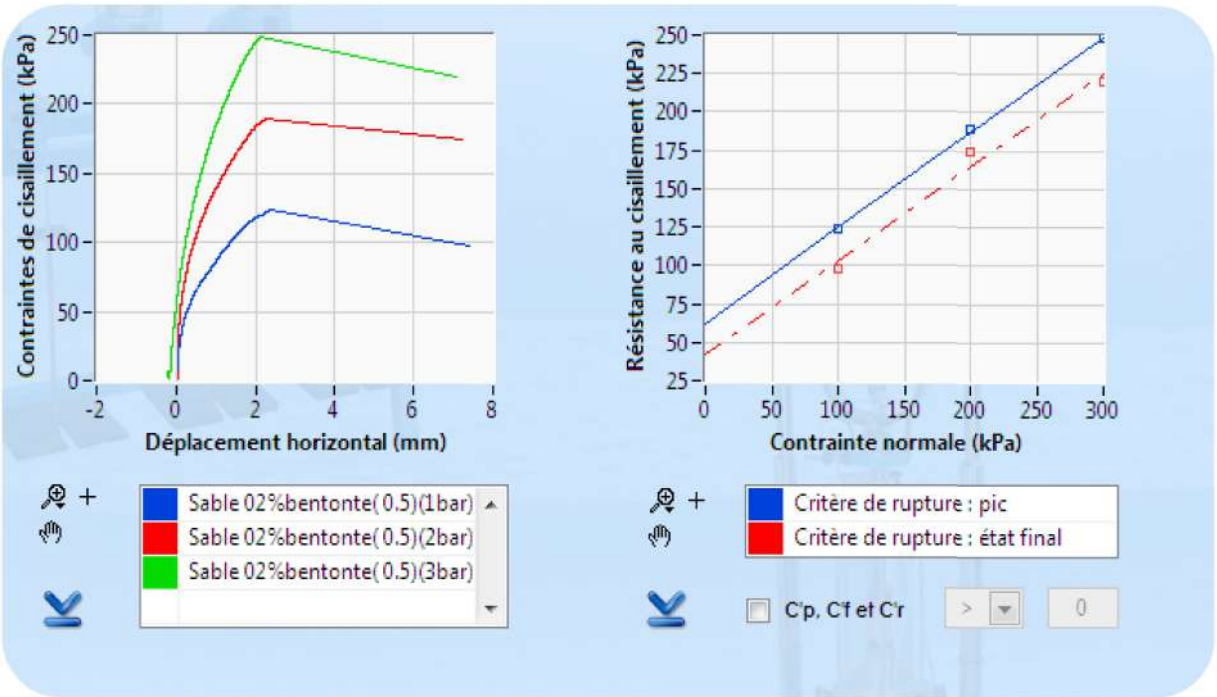


Fig. A.6 les résultats de cisaillement du sable de fonderie/ bentonite à 2%.

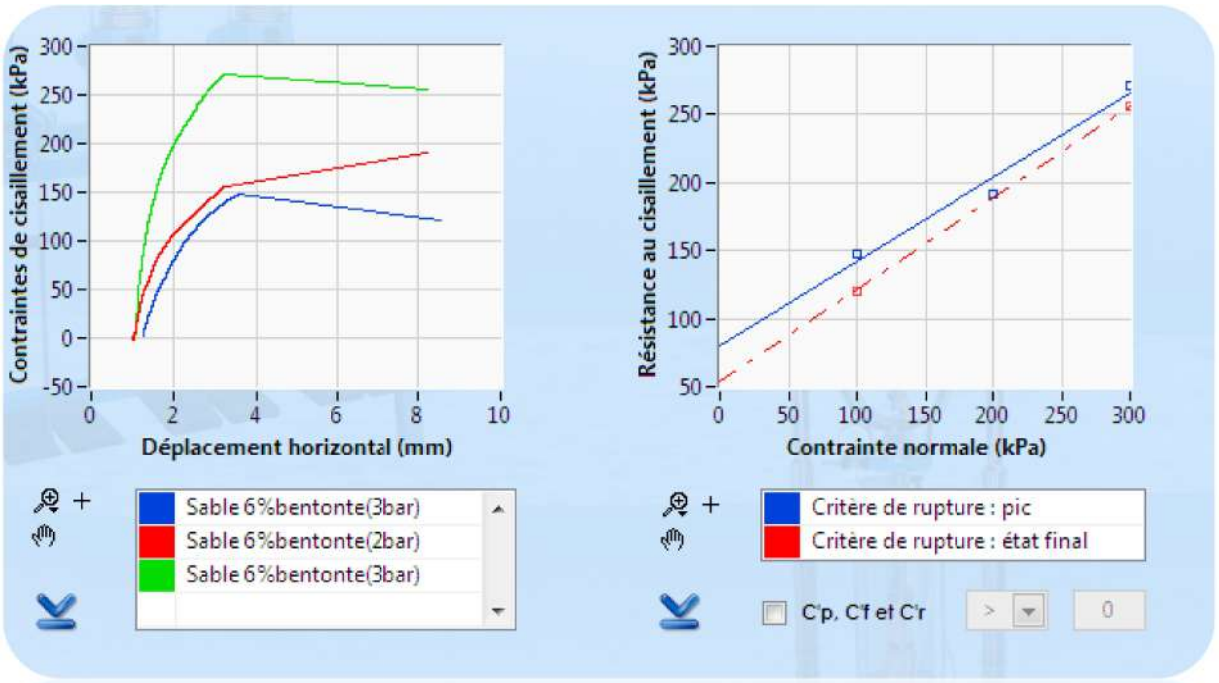


Fig. A.7 les résultats de cisaillement du sable de fonderie/ bentonite à 6%.

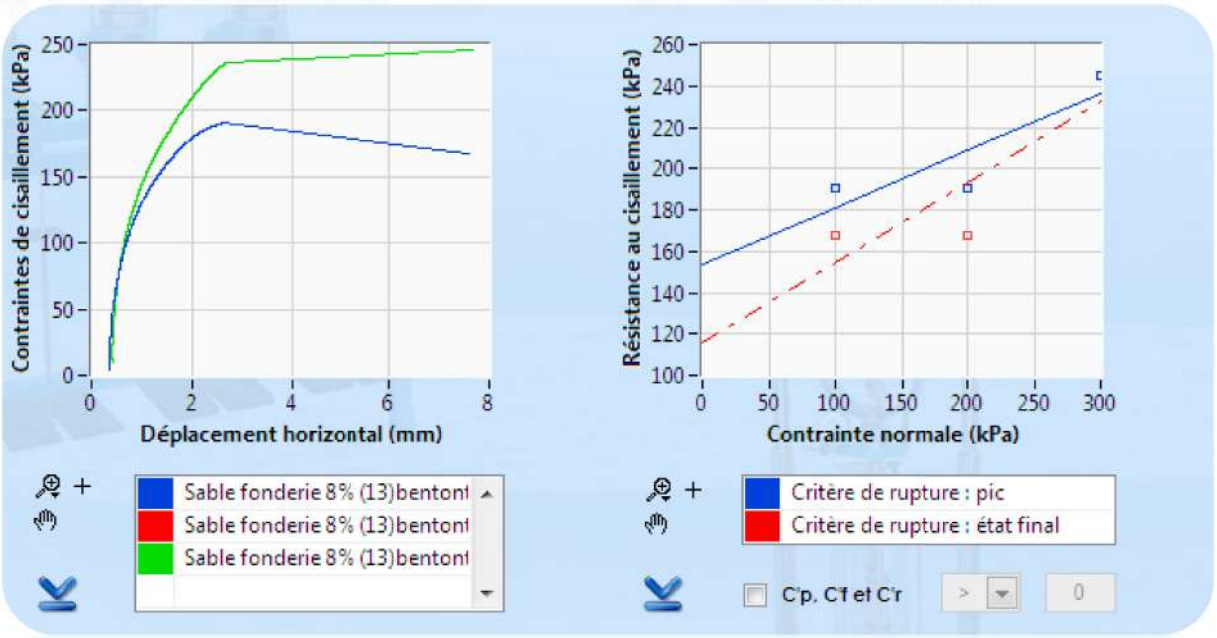


Fig. A.8 les résultats de cisaillement du sable de fonderie/ bentonite à 8%.