

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Mohamed Elbachir El Ibrahimi
Bordj Bou Arreridj
Faculté des sciences et de la technologie
Département de Génie Civil



MÉMOIRE

En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en Génie Civil

Option: GEOTECHNIQUE

SPECIALITE : GEOTECHNIQUE

Thème

Étude de la corrélation entre CBR, compactage, et limites du sol dans
les projets de constricton routière traité par les déchets de céramique
et les liants hydrauliques

Présenté par :

- Ghazi Abdelhak
- Deffaf Abdelkader

Encadré par :

Dr: Deboucha Sadek

Mémoire évalué sans soutenance (Covid-19) par la commission composée de :

Dr: BELKADI Ahmed Abderraouf

Président

Dr: Ziani Hocine

Examineur

Dr: Logzit Nacer

Examineur

Année universitaire : 2019-2020



Remercîment

Nous exprimons toute notre gratitude et sincère dévouement à Dieu Le Tout puissant qui grâce à son aide nous avons terminé ce modeste travail

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur Deboucha Sadek pour son aide et son encadrement, ses encouragements et surtout sa compréhension durant toute Ca période de préparation de ce mémoire.

Nous remercions également Honorable jury qui a bien voulu examiner notre travail Nous adressons de chaleureux remerciements à tous les enseignants et les travailleurs d'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou-Arredj Bachir , pour les moyens qui ont été mis à notre disposition durant toute la durée de la formation.

Je tiens à remercier particulièrement tous les membres du Département de Génie Civil Pour leurs soutiens et leurs aides.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leurs aides, leurs patiences, leurs compréhensions et leurs encouragements, particulièrement.

Merci à vous tous.

DEDICACE

Je remercie dieu qui m'a donné la force de faire ce travail je dédie ce modeste travail à

:

Mes chers parents Dieu les protège, ceux qui ont été toujours là pour moi, c'est Grâce à eux ce que je suis.

Mes sœurs et mes frères. Toutes mes amies ainsi que

Tous mes collègues de Département de Génie Civil

En un mot, à toute ma famille, mes amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Résumé

La population et l'expansion industrielle dans le monde ont besoin de plusieurs installations, y compris des routes, en particulier des autoroutes, de sorte que de nouvelles routes doivent être construites n'importe où et à tout moment, mais les spécialistes du domaine ont trouvé plusieurs problèmes et défis dans l'implantation de routes, surtout lorsqu'il s'agit des sols meubles, qui ont des risques plus élevés. Cependant, l'augmentation de l'utilisation de la céramique et du marbre dans l'industrie du bâtiment induisent de fortes résidus de déchets solides qui ont un impact environnemental.

L'objectif de cette étude est d'analyser la corrélation entre les résultats des tests antérieurs du sol traité par la céramique et les déchets de poussière de marbre avec l'ajout d'une quantité réduite de ciment afin d'améliorer les paramètres mécaniques et physiques du sol (les limites, la densité et le CBR). L'homogénéité du mélange est un facteur important pour l'acquisition de bons résultats. Le choix des proportions des déchets et de ciment sur les propriétés géotechniques des sols modifiés ont été étudiées expérimentalement. Les résultats obtenus ont montré que les valeurs CBR augmentent avec l'augmentation de la densité sèche maximale du sol. Cependant, la corrélation entre le CBR et l'indice de plasticité, montre que l'addition de 10% de déchets de céramique au sol augmente sa capacité portante. En conclusion, l'utilisation des déchets de céramiques a donné des valeurs CBR élevées à l'état humide, alors que, l'ajout de ciment aux mélanges améliore la capacité portante du sol dans les conditions sèches et humides.

Enfin, l'ajout de 10% de déchets de céramique avec une faible dose de 4% de ciment à l'état humide ou un pourcentage de 6% de poussière de marbre, peuvent être utilisés comme stabilisants pour l'amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques de l'assiette de sol pour la réalisation de la sous-couche de base de la construction de route.

Mots clés: construction de routes, propriétés physiques et mécaniques, corrélation, déchets industriels, capacité portante

Abstract

Population and industrial expansion around the world need multiple facilities, including roads, especially highways, so new roads must be built anywhere and anytime, but engineers found several problems and challenges in road construction including soft soils, which has higher settlement, especially in the winter session, a lower capacity portent. However, the problem of ceramic and marble wastes produces a lot every year, which represents the environmental impact.

The objective of this study is to analyze the correlation for previous result tests of soil treated with ceramic, waste marble dust, and cement to improve the mechanical and physical parameters of soil such as limits, densities, and CBR. A good mix design is an important factor that affects the quality. The proportions of ceramic waste, marble dust, and cement on the geotechnical properties of modified soils have been studied experimentally.

Among the results of this study showed that the CBR values increased with increasing maximum dry density, which CBR confirm the results of compaction, however, the correlation between CBR and plasticity index, which the results obtained that the addition of ceramic waste increase CBR and IP 10% waste of ceramic then decreased.

From this study, we conclude that the use of ceramic waste gave high CBR values in the wet condition. However, the addition of cement to the mixtures gave the best results of capacity for both conditions dry and wet.

Finally, the addition of ceramic waste, marble dust, and cement can use as stabilizers to improve the sub-base layer of road construction.

Keywords: Road construction, mechanical properties, correlation, industrial wastes

Liste des Figures

Chapitre I : Introduction Générale

Figure I.1: La zone de Tixter.....	3
Figure I.2: la carte géographique de Tixter	4

Chapitre II : Revue bibliographique

Figure. II.1: Schéma simplifié des trois phases du sol. [4].....	8
Figure. II. 2: Représentation schématique des trois phases composant un sol et notations : à gauche, les volumes(V) ; à droite, les poids (W). [5]	9
Figure II.3 : Utilisation de la céramique.....	11
Figure II.4 : Déchet de céramiques.....	11
Figure II.5 : Marbre blanc.	12
Figure II.6 : Poudre de marbre.	12
Figure II.7: La terminologie de la chaussée	15
Figure II.8: Types de compactage de surface. [12]	18
Figure II.9: chantier d'un compactage dynamique profond. [12].....	19
Figure.II.10: Vibrocompactage.[12].....	19
Figure II.11: Chantier utilisant la congélation du sol. [12].....	21
Figure II.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la durée de cure et le pourcentage en chaux additionné. [13]	23
Figure II.14 : Variation de l'indice de portance IPI et du CBR en fonction des	24
Figure II.15 : Variation des paramètres de compressibilité en fonction du pourcentage en chaux additionnée (a) l'indice de compressibilité Cc (b) indice de gonflement Cg. [13].....	25
Figure II.16: Chantier de traitement du sol au ciment. [13].....	25

Chapitre III : Méthodologie

Figure III.1 : Zone de Tixter.....	28
Figure III.2 : Le sol utilisé.....	28
Figure III.3: La courbe granulométrique du sol.[4].....	29
Figure III.4: La courbe granulométrique du céramique. [4].....	29
Figure III.5 : Déchet de céramique.....	30
Figure III.6 : Poudre de marbre.....	30
Figure III.7: Le ciment utilisé.	31
Figure III.8 : Appareillage –Teneur en eau (NF P 94-050).....	31
Figure III.9 : Appareillage – essai Proctor.....	34

Figure III.10 : Déroulement de l'essai – Proctor.....	35
Figure III.11 : Schéma de principe de l'essai CBR.....	36
Figure III.12 : Appareillage R essai CBR.	37
Figure III.13 : CBR immédiat	38
Figure III.14 : CBR du sol traité en déches de cramique et liant hydraulique après plusieurs jours (7j ; 14j ; 28j).	39
Figure III.15 : CBR du sol traité en liant hydraulique et déches de cramique a l'Etat immergée (à la cure)	39
Figure III.16 : Déroulement de l'essai –CBR.	40

Chapitre IV : Etude de Corrélation

Figure IV.1 : Corrélation entre CBR(%) Humide et γ_d max	43
Figure IV.2 : Corrélation entre CBR Immergé et γ_d max.....	43
Figure IV.3 : Variation de la masse volumique sèche en fonction d'additives	45
Figure IV.4 : Variation de W (%) en fonction d'additives	45
Figure IV.5. :Corrélation entre CBR humide et indice de plasticité.....	46
Figure IV.6 : Corrélation entre CBR(%) Immergé et indice de plasticité	47
Figure IV.7 : Variation de force (KN) en fonction de déplacement	49
Figure IV.8 : Variation de CBR en fonction d'additives.....	50
Figure IV.9 :Corrélation entre la masse volumique sèche (γ_d) et Indice de plasticité (IP)	50
Figure IV.10 :Corrélation entre ω_{OPM} (%) et Indice de plasticité (IP)	51
Figure IV.11 :Variation de liquide limite (WL) en fonction d'additives.....	52
Figure IV.12 : Variation de limite de plasticité (WP) en fonction d'additives.....	52

Liste des tableaux :

Chapitre I : Introduction Générale

Tableau I.1 : Données climatiques de la ville de Bordj Bou Arreridj.....	4
---	----------

Chapitre II : Revue bibliographique

Tableau II.1 : Méthodes de traitement en fonction de la nature du sol . [11].....	17
--	-----------

Chapitre III : Méthodologie

Tableau III.1 : La classe de portance.	41
--	-----------

Chapitre IV : Etude de Corrélation

Tableau IV.1 : les Codes des mélanges	42
Tableau. IV.2 : Résultat de CBR de sol traité avec ($\omega=11\%$, $\omega=15\%$, $\omega=17\%$ $\omega=19\%$).....	47
Tableau IV.3 : Résulta de CBR en fonction de teneur en eau.....	49

Sommaire

Chapitre I : Introduction Générale

I.1 Introduction:.....	1
I.2 Emplacement de site (Tixer la zone de prélèvement):.....	3
I.2.1 Géographie:.....	3
I.2.2 Climat de La wilaya de Bordj Bou Arreridj:	4
I.3 Problématique :	5
I.4 Objectif:.....	5
I.5 Structure du mémoire:.....	6

Chapitre II : Revue bibliographique

II.1 Introduction	7
II.2.Les Matériaux utilisés :	7
II.2.1.2 Le rôle de sol:.....	7
II.2.1.3Types et caractéristiques des sols:.....	8
II.2.1.4 Les phases de sol :.....	8
II.2.1.5 Les caractéristiques pondérales de sol:	9
II.2.2 Les céramiques :.....	10
II.2.2.1 Quelques types de céramiques :	10
II.2.2.2.Utilisation:.....	11
II.2.2.3.Déchets de céramiques et de faïences :.....	11
II.2.3. Le marbre :	12
II.2.3.1 La poudre de marbre:	12
II.2.4 Le ciment :.....	12
II.2.4.1.Les grands étapes de préparation du ciment :.....	13
II.2.4.2.Caractéristiques et différentes formes du ciment:.....	13
II .3.1 La structure de chaussée :.....	14
II .3.2.Constitution d'une chaussée:.....	14
II.4 L'amélioration des sols:	15
II.4.1 Choix des techniques d'amélioration du sol:.....	17
II.4.2 Les méthodes d'amélioration:	17
II.4.2. 1. Méthodes mécaniques:.....	18
II.4.2. 2. Méthodes hydromécaniques:.....	20
II.4.2. 3 Méthodes thermiques:	21
II.4.3. 4 Méthodes chimiques.....	22
II.5.Conclusion.....	27

Chapitre III : Méthodologie

III.1 Introduction :	28
III.2 Matériaux utilisés :	28
III.2.1 Le sol étudié :	28
III.2.2 Déchets de céramique :	29
III.2.3 Poudre de marbre :	30
III.2.4 Le ciment utilisé (Matine):	30
III.3 Les essais:	31
III.3.1 Essai de Teneur en Eau (NF P 94-050):	31
III.3.1.1 Principe de la détermination de la teneur en eau :	31
III.3.1.2 Appareillage :	31
III.3.1.3 Mode opératoire :	32
III.3.1.4 Expression des résultats:	32
III.3.2 Essai Proctor Modifié (NF P 94-093) :	32
III.3.2.1 Généralité :	32
III.3.2.2 Définition du compactage :	32
III.3.2.3 L'objet de l'essai :	33
III.3.2.4 But de l'essai :	33
III.3.2.5 Principe de la méthode :	33
III.3.2.6 Appareillage nécessaire :	33
III.3.2.7 Mode opératoire :	34
III.3.3 Essais CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :	35
III.3.3.1 Généralité :	35
III.3.3.2 Définition :	36
III.3.3.3 But de l'essai :	36
III.3.3.4 Appareillage nécessaire :	36
III.3.3.5 Principe de l'essai :	37
III.3.3.6 Mode opératoire :	39
III.3.3.7 L'indice CBR (I.CBR) :	40
III.4. Conclusion :	41

Chapitre IV : Etude de Corrélation

IV.1. Introduction	42
IV.1.1. Corrélation entre CBR et compaction	42
IV.1.2. Effet de teneur en eau en CBR du sol naturel	48
IV.2. Corrélation entre compaction et limites des mélanges	50
IV.3. Conclusion :	53

Chapitre V : Conclusion Générale

V.1 Conclusion générale :	54
---------------------------	----

Chapitre I

Introduction Générale

Chapitre I : Introduction Générale

I.1 Introduction

L'amélioration des sols grâce à l'utilisation de déchets céramiques et marbre est une technique qui a été utilisée avec succès. C'est une technique relativement simple pour améliorer les propriétés du sol et a un énorme potentiel comme solution efficace à de nombreux problèmes géotechniques du sol.

La construction ou l'amélioration du réseau routier est à juste titre considérée comme un des moyens efficaces de promouvoir le développement économique d'un pays; l'infrastructure en général, l'infrastructure des transports en particulier sont incontestablement un des éléments moteurs du développement ; conjuguer leurs efforts avec ceux qui sont faits dans les autres domaines, c'est-à-dire réaliser ces infrastructures en harmonie avec les autres actions de développement, en sorte qu'elles ne se trouvent ni en retard, ni trop en avance, c'est bien une tâche essentielle des responsables des pays en voie de développement.[1]

Les infrastructures de transport, et en particulier les routes, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et les coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie locale. [2]

Le portrait global du réseau routier est celui d'un territoire parcouru un ensemble d'artères selon leurs fondation. Le réseau routier occupe une place stratégique dans notre système de transport, puisqu'il supporte plus de 85% du volume de transport de marchandises et de voyageurs. C'est par conséquent un élément fondamental dans le processus de développement du pays. [2]

La route représente aussi au niveau de la collectivité nationale un puissant facteur de cohésion, tandis qu'en accélérant les liaisons entre les grandes métropoles économiques, elle constitue un atout majeur en faveur de la compétitivité internationale d'une nation industrielle.[2]

La route est importante sur plusieurs plans :

- a. sur le plan sociale, la route facilite ;La communication et la fréquentation entre les hommes ,l'implantation et l'accessible des infrastructures communautaire (école ,dispensaire, marcher, football etc....).
- b. sur le plan économique ; elle permet, L'évacuation des produits agric-oles vers les centres villes, l'approvisionnement de campagne de produits manufacturés.
- c. sur le plan politico-administratif, la route facile .

Chapitre I : Introduction Générale

La durabilité d'une route s'obtient par une conception optimisée qui vient répondre directement aux besoins définis par son contexte. L'hétérogénéité des sols, les conditions climatiques, l'utilisation par l'utilisateur et l'environnement immédiat font tous partie intégrante du contexte propre à une chaussée. La performance technique, financière et environnementale sera alors garantie par une vision globale du système. Ainsi, le matériau au cœur de la fondation est tout aussi primordial que les ramifications du réseau routier parcourant l'ensemble d'un territoire. [3]

La construction des chaussées sur un sol évolutif est un des problèmes les plus communs de la construction des routes et d'autoroutes dans plusieurs de parties du monde. L'approche habituelle à la stabilisation des chaussée est d'enlever le sol fin à faible résistance et de le remplacer par un sol plus durable et résistant. Le coût élevé de remplacement a conduit généralement les gestionnaires de routes et d'autoroutes à utiliser la technique de stabilisation des sols en place. Un matériau évolutif peut être défini comme un matériau dont les propriétés physiques et mécaniques évoluent dans le temps. Les sols qui ont un caractère évolutif sont généralement les sols fins (argile, marne) qui peuvent être créés dans les ouvrages, des tassements, gonflement et glissement pendant sa durée de vie.

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformations qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet. De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, et sont jugées efficaces. Certaines de ces méthodes sont très anciennes, comme le battage de pieux de bois dans les sols de faible portance, d'autres sont plus récentes, comme les méthodes d'injection, de pilonnage ou de congélation. Elles ont connu, depuis une vingtaine d'années, un développement considérable et sont maintenant utilisées comme un élément à part entière des projets. [4]

D'autre part, et avec le grand développement observé dans le domaine de la construction, on constate une augmentation significative de l'accumulation des déchets de construction résultant de la démolition et de la maintenance. En raison de la perte de ces déchets de dommages esthétiques et de la santé sur la mer et l'homme. Il y a un gros effort pour collecter, recycler et réutiliser ces déchets dans d'autres régions pour en tirer parti, parmi les quels nous avons choisi les déchets céramiques et de marbre pour l'utilisation dans le sol comme solution pour exploiter ce déchets. [4]

Chapitre I : Introduction Générale

Le traitement des sols avec le déchet de céramique et de poudre de marbre résulte de la construction est une technique aisée à mettre en œuvre, économique et efficace. Elle permet de réutiliser les déblais issus des travaux de terrassement destinés à être rejetés, d'éviter de faire appel à des matériaux d'emprunt de qualité issus de carrières dont le transport implique la détérioration du réseau routier existant.

I.2 Emplacement de site :

Pour cette étude. Nous avons choisi d'utiliser le sol de la route reliant le port sec à commune de Tixter à L'autoroute pour mettre en œuvre les expériences proposées en laboratoire.



Figure I.1: La zone de Tixter

I.2.1 Géographie :

Tixter doit son nom à un oued qui prend naissance à 3 km au sud-est. La ville se situe à une altitude moyenne de 957m. La commune est située dans la région des Hauts Plateaux, entre les monts Bibans au nord et la chaîne du Hodna au sud, dans un bassin agricole situé à 966 mètres d'altitude moyenne. Elle se trouve à 33 km au nord-est de Bordj Bou Arreridj, à environ 27 km à l'ouest de Sétif et à environ de 275 km au sud-est d'Alger. Tixter est la commune de la Daïra d'Aïn Taghrout avec une superficie totale de 64 km²s.

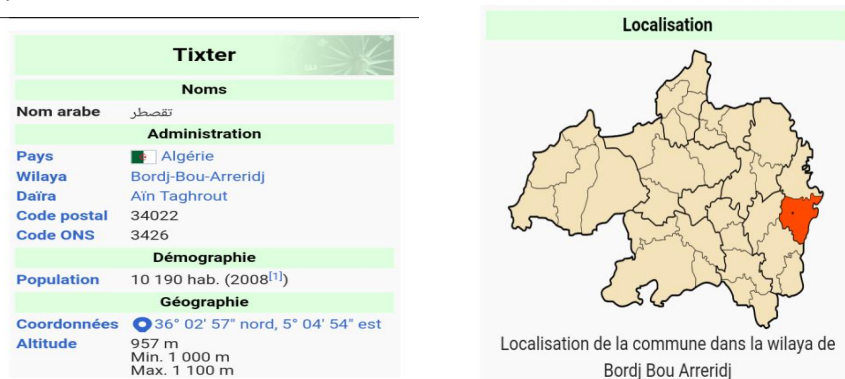


Figure I.2: la carte géographique de Tixter

Chapitre I : Introduction Générale

I.2.2 Climat de La wilaya de Bordj Bou Arreridj:

La wilaya se caractérise par un climat semi-aride sec et froid, qui offre des températures chaudes en été et très froides en hiver, parmi les plus basses d'Algérie. La température moyenne annuelle est de 13.5 °C. Le mois le plus chaud de l'année est celui de Juillet avec une température moyenne de 23.7 °C, 4.9 °C font du mois de Janvier le plus froid de l'année. La pluviométrie annuelle est de 406 mm, Le mois le plus sec est celui de Juillet avec seulement 8 mm de précipitations. Une moyenne de 48 mm fait du mois de Novembre le mois ayant le plus haut taux de précipitations.

Tableau I.1. Données climatiques de la ville de Bordj Bou Arreridj.

Mois	Température moyenne (°C)	Température moyenne (°C)	Précipitations (mm)
Janvier	5.7	42.3	37
Février	6.7	44.1	30
Mars	9.4	48.9	38
Avril	12.4	54.3	37
Mai	17.1	62.8	43
Juin	22.3	72.1	17
Juillet	26.5	79.7	9
Août	25.9	78.6	10
Septembre	21.6	70.9	40
Octobre	15.8	60.4	34
Novembre	10.1	50.2	41
Décembre	6.4	43.5	37

Une différence de 34 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Une variation de 20.8 °C est enregistrée sur l'année.

I.3 Problématique

Pour parler du problème de la qualité du sol à faible résistance à la construction routière, nous aborderons dans ce sujet l'amélioration de ses propriétés en utilisant les déchets de céramique, poudre de marbre et le ciment.

Certains des problèmes les plus importants causant des dommages aux routes:

- Etude de la corrélation entre les résultats des essais de compactage, CBR et A'tterberg limites.
- Après caractérisation notre sol ce qui les rend fragiles, ce qui ne convient pas à la construction de routes, il est conseillé d'améliorer la levée de ces propriétés pour améliorer la capacité portante dans le sens de l'état saturé de la route.

Chapitre I : Introduction Générale

- Le problème de tassement est l'un des plus gros problèmes qui se posent à la surface de la route en raison des fissures et des déformations et est lié à la structure du sol et au pourcentage de vides qui le contiennent. Les propriétés du sol doivent être améliorées pour réduire ce problème.
- Quant à la perméabilité en son absence, elle signifie que l'élevage est cohérent et exempt de vide, il faut donc travailler sur des mécanismes qui contribuent à les limiter ou à les réduire au maximum.

Il ya de grandes quantités de déchets de céramique dans d'autres zones agricoles sensibles, comme nous cherchions à les exploiter, comment ils peuvent être utilisés pour améliorer les propriétés du sol et comment ils peuvent aider à réduire le cout final du projet, c'est un facteur important qui doit être examiné attentivement.

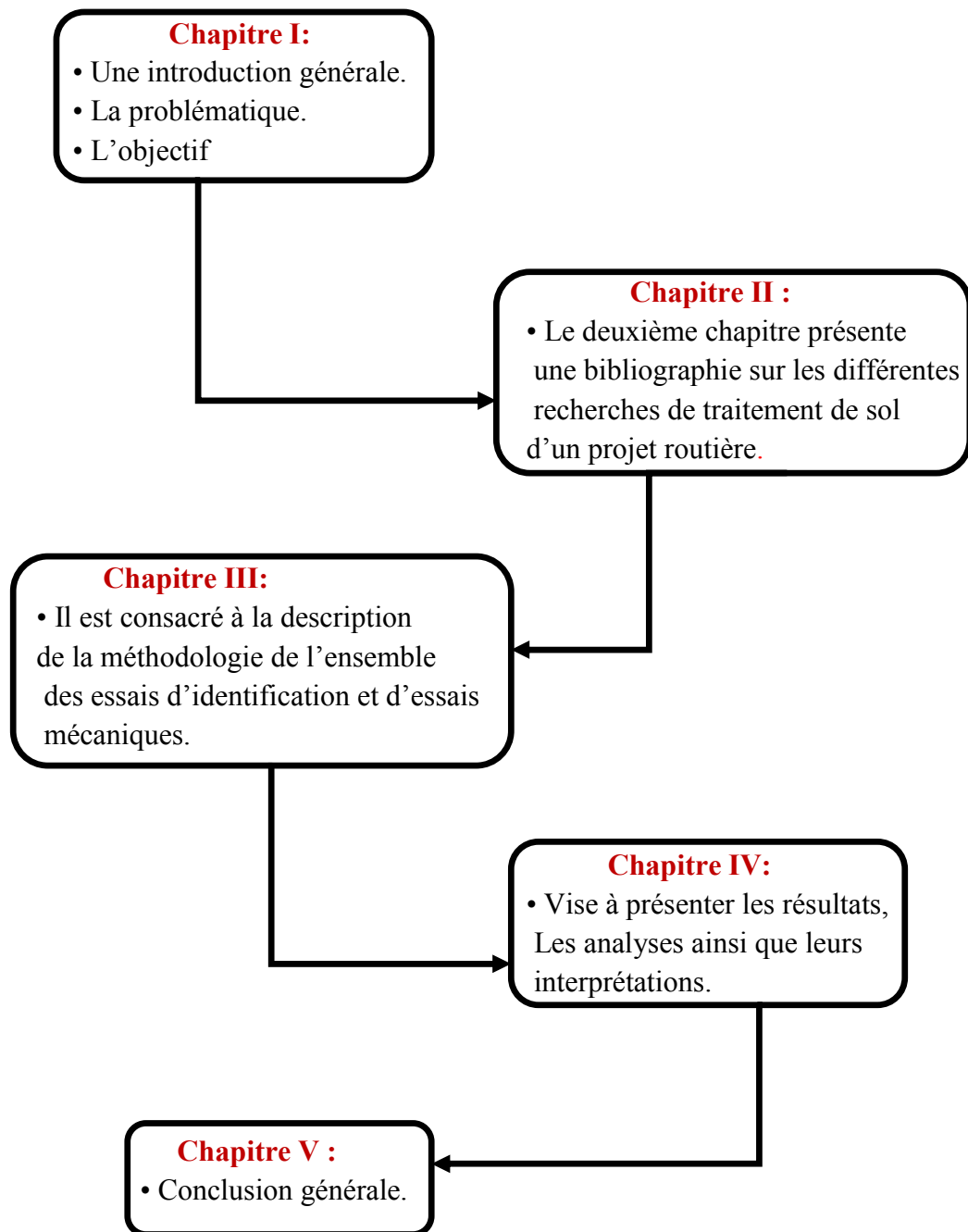
I.4 Objectif

Problème des route en Algérie et dans le monde exigée plusieurs effort pour prolonger durée de vie. Le principe de notre recherche distingué dans les points suivants :

- Évaluer la teneur en humidité pour vérifie l'amélioration caractéristique mécanique de couche de base de la construction routière.
- Eliminer la perméabilité et la capillarité de cette couche.
- Exploitation des déchets, notamment des déchets céramiques et poudre de marbre.
- Eliminer la pollution dans l'espace d'agriculture et zone côtier.
- Réduire les coûts avec réutilisation les déchets.

I.5 Structure du mémoire

Chapitre I : Introduction Générale



Chapitre II

Revue bibliographique

Chapitre II : Revue Bibliographique

II.1 Introduction

Le génie civil est l'une des branches d'ingénierie concernées par l'étude, la conception et l'analyse de diverses installations civiles telles que les bâtiments résidentiels et de service, les routes, les ponts, les tunnels, les aéroports et les ports, les réseaux d'approvisionnement en eau potable, les stations de pompage de l'eau, les réseaux d'assainissement, les stations d'épuration, le traitement de l'eau et les barrages, ainsi que les projets d'irrigation, et la supervision des travaux de ces installations. Pendant la période de sa continuation, ce drapeau ne devrait donc pas être limité à la science uniquement concernée par le design.

Le génie civil Comme toute science, elle se développe constamment sans s'arrêter, et ces derniers temps elle a été étroitement liée au développement industriel

Les plus grands volumes de déchets de céramique proviennent des chantiers de démolition ou des travaux publics .Considérées comme inertes, les céramiques ne se décomposent pas, ne polluent pas les eaux de ruissellement et ne posent pas de problème pour la santé. Cependant, elles représentent des quantités importantes et nécessitent d'être traitées.

Le traitement des sols à travers l'ajouter d'un pourcentage de déchets céramiques au sol a pour but l'augmentation de la résistance, la réduction de la perméabilité, et la diminution de la compressibilité du sol, et par conséquent sol minimisation de la sensibilité à l'eau.

II.2. Les Matériaux utilisés :

II.2.1. Le sol:

La mécanique des sols est la plus ancienne, la plus connue et la plus pratiquée des branches de la géo-mécanique, discipline mathématique de la géotechnique, pour l'étude du comportement théorique des formations détritiques meubles de la couverture terrestre, sous l'action d'efforts naturels d'érosion (glissements de terrain...), ou induits lors de la construction de la plupart des ouvrages du BTP (terrassements, fondations, drainage...).[5]

II.2.1.2 Le rôle de sol:

Le sol est un filtre et un tampon qui permet d'avoir de l'eau potable et de réguler les inondations ; le sol participe aux cycles de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium

Chapitre II : Revue Bibliographique

(K), éléments nécessaires au développement des plantes et des cultures ; le sol est un lieu de vie, riche en espèces et en êtres vivants.

II.2.1.3 Types et caractéristiques des sols:

- Sol argileux
- Sol sablonneux
- Sol celtique
- Terre brune
- Sols sédimentaires
- Terre limoneuse [6]

II.2.1.4 Les phases de sol :

Un sol est généralement constitué de trois phases :

- phase solide (humus, éléments minéraux, organismes vivants)
- phase liquide (eau libre et interstitielle)
- phase gazeuse (CO_2 , O_2 , N_2)

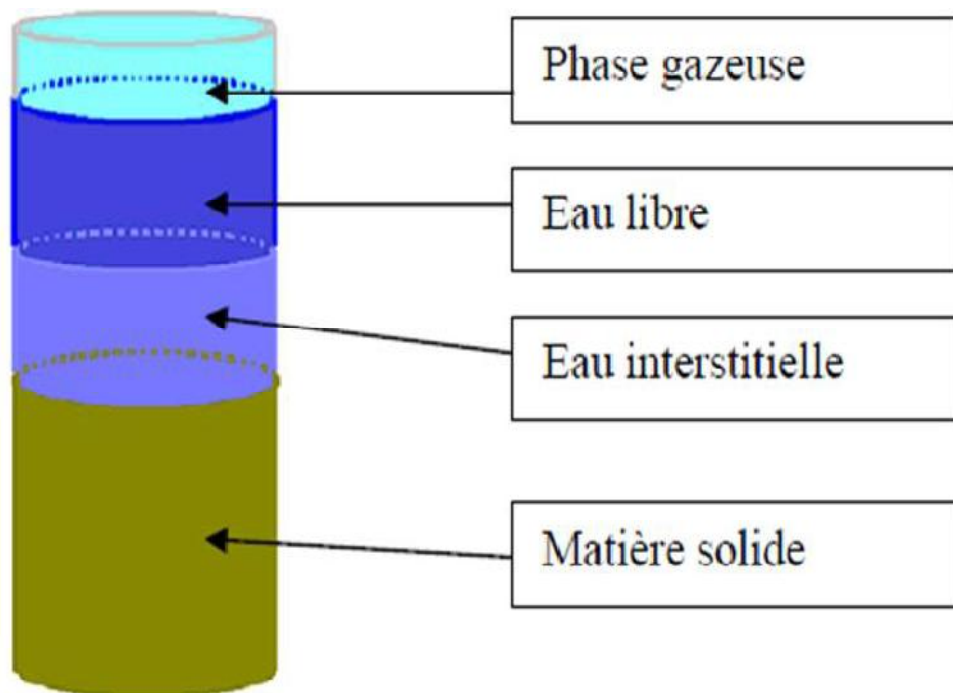


Figure. II.1: Schéma simplifié des trois phases du sol. [4]

II.2.1.5 Les caractéristiques pondérales de sol:

Pour les articles homonymes, voir Teneur en eau.

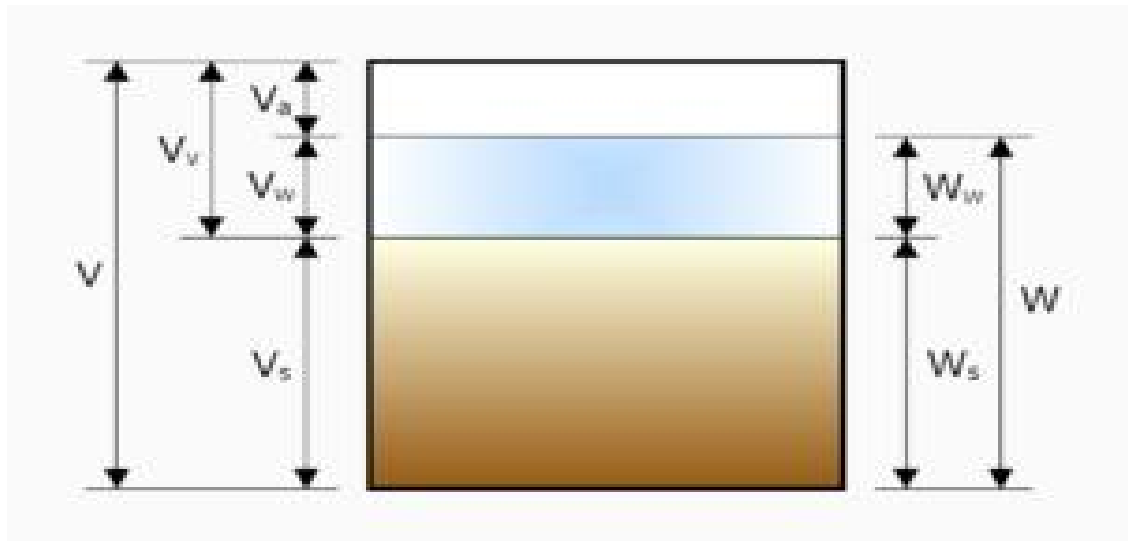


Figure. II. 2:Représentation schématique des trois phases composant un sol et notations : à gauche, les volumes(V) ; à droite, les poids (W). [5]

En physique des milieux poreux, on désigne par teneur en eau la quantité d'eau liquide contenue dans un échantillon de matière, par exemple un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois, la quantité étant évaluée par un rapport pondéral ou volumétrique. Cette propriété intervient dans un large éventail de disciplines scientifiques et techniques, et s'exprime comme un rapport ou quotient, dont la valeur peut varier entre 0 (échantillon complètement sec) et (pour la teneur « volumétrique ») la « porosité à saturation » du matériau.[5]

On définit tout d'abord les volumes et les poids liés au constituant d'un échantillon

1-les volumes :

- volume de l'échantillon (V).
- volume de la matière solide, aussi appelé volume des grains solides (V_s).
- volume du liquide <eau> (V_w).
- volume des vides, constitué la somme du volume d'eau et du volume d'air (V_v).

2-les poids :

- le poids de l'échantillon (W)ou (W_h).
- le poids des grains solides (W_s).
- le poids du liquide <eau> (W_w).
- le poids de la phase gazeuse <l'air> est considéré comme nul.

il n'y a donc pas de symbole pour le définir.

Chapitre II : Revue Bibliographique

II.2.2 Les céramiques :

Une céramique est un objet en argile cuite. La céramique est le matériau, ou bien la technique qui permet de le confectionner. Par extension, de nombreux matériaux contemporains non métalliques et inorganiques entrent dans le champ des céramiques techniques. [5]

Les céramiques sont des matériaux inorganiques, composés d'oxydes, de carbures, de nitrures et de borures. Les céramiques présentent des liaisons chimiques fortes de nature ionique ou covalente.

II.2.2.1 Quelques types de céramiques :

la porcelaine est une céramique fine et translucide qui, si elle est produite à partir du kaolin par cuisson à plus de 1 200 °C , prend le nom plus précis de porcelaine dure. Elle est majoritairement utilisée dans les arts de la table. [5]

La faïence, du nom de la ville italienne de Faenza où elle fut rendue célèbre, est une poterie, par métonymie un objet, de terre émaillée ou vernissée, ordinairement à fond blanc.

La faïence est un matériau à base d'argile et de terre cuite, servant à réaliser des objets et des décors travaillés.[5]

La poterie est désigne des vases et récipients à usage essentiellement domestique ou culinaire réalisés en terre cuite poreuse qui peuvent demeurer bruts ou recevoir un revêtement glaçure. Par métonymie, le terme poterie désigne également la technique de production et l'atelier du potier. [5]

II.2.2.2.Utilisation

Les céramiques présentes dans les terres cuites utilisées afin d'obtenir des briques, des tuiles de toiture. Des conduits de fumée. Des tuyaux de drainage. Des revêtements de sol et mur. L'autre type de céramique présent est le grès avec les carreaux de sols, les tuyaux et les équipements sanitaires.(Pôle européen de la céramique).[4]



Figure II.3 :

de la céramique

Utilisation

Chapitre II : Revue Bibliographique

II.2.2.3. Déchets de céramiques et de faïences

Une partie des déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics peut être recyclée sous forme de granulats. Vu le manque de sources de granulats, certains déchets de démolition et déblais de terrassements peuvent être concassés et criblés en produisant des granulats de différents calibres utilisables dans les TP en sous couches de routes ou en produits de drainage. Les déchets du BTP contiennent aussi des parties non recyclables comme des déblais de terrassement argileux et marneux, des céramiques Kaoliniques, des carreaux et tuiles et des plâtres (non encore récupérés). Ces déchets considérés comme ultimes doivent être stockés en sites de Classe III, déchets inertes non dangereux. Nous manquons en pays de faïence d'un tel site. Celui envisagé au vallon des Frayères en zone natura 2000 n'est pas adapté.[4]



Figure II.4 : Déchet de céramiques.

II.2.3. Le marbre

Un marbre est une roche métamorphique dérivant d'un calcaire ou d'une dolomie sédimentaire ayant été transformée généralement par métamorphisme régional ou plus rarement par métamorphisme de contact. Dans ce processus de transformation de la roche originelle, les structures sédimentaires sont effacées et la roche carbonatée recristallise en un amas de cristaux de calcite et/ou de dolomie engrenés de dimensions millimétriques à centimétriques. [7] .



Figure II.5 : Marbre blanc. [7]

Chapitre II : Revue Bibliographique

II.2.3.1 La poudre de marbre :

La poudre de marbre ajoutée au sol pendant les essais est obtenue après broyage des résidus.



Figure II.6 : Poudre de marbre.

II.2.4 Le ciment :

le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers.[5]

II.2.4.1. Les grands étapes de préparation du ciment :

- L'extraction des matières premières (le calcaire et l'argile).
- La préparation du cru.
- La cuisson.
- Le broyage du ciment.
- Le stockage et la livraison du ciment.

II.2.4.2. Caractéristiques et différentes formes du ciment:

Cette matière forme, avec l'eau ou une solution saline, une pâte plastique liante. Après avoir durci dans l'air ou dans l'eau, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité. Sous forme de poudre mélangée à l'eau, le ciment permet d'agréger du sable fin pour produire du mortier, des granulats et du béton. Le mot recouvre plusieurs matériaux comme le plâtre, la chaux, la pouzzolane, le ciment prompt, le ciment Portland et le ciment de romain.[4]

II .3. Les chaussées:

La chaussée est la partie d'une voie de communication affectée à la circulation des véhicules. Au Moyen Âge, les routes importantes étaient recouvertes de cailloux et pierre liés à la chaux, terme qui a donné le mot chaussée.

Elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises, quelles que soient les conditions météorologiques, dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire.

Chapitre II : Revue Bibliographique

D'un point de vue mécanique, son rôle est de répartir les charges mécaniques sur le sol support, quelles que soient les conditions environnantes.

Une route est au sens littéral une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues. Ce terme s'applique plutôt aux voies importantes situées en rase campagne et ne peut être apparenté à une rue. Dans les pays vastes et peu peuplés, à la fin du xxe siècle, de nombreuses routes étaient encore des chemins empierrés ou damés (les "sentiers battus").[5]

II .3.1 La structure de chaussée

Les chaussées sont des structures composites, multicouches, souvent complexes, conçues pour résister sur une durée de vie relativement longue aux multiples sollicitations mécaniques (liées principalement au passage de charges lourdes) et climatiques (température, pluie, gel, etc.), qui l'une après l'autre dégradent imperceptiblement les performances initiales des matériaux et de leurs interfaces.[9]

II .3.2.Constitution d'une chaussée

Une chaussée est constituée de plusieurs couches mises en œuvre:

- couche de forme.
- couche d'assise.
- couche de surface.
- couche de forme (plate-forme)** : Cette couche vient en premier au-dessus du sol support.(les calculs a long terme et a court terme).
- couche d'assise** : elle se compose de couche de fondation et couche de base.
- couche de surface** : Elle est constituée de la couche de liaison et de la couche de roulement.

Les différentes structures de chaussées:

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants :

- Chaussées souples.
- Chaussées semi-rigides.
- Chaussées rigides.[10]

Chapitre II : Revue Bibliographique



Figure II.7. La terminologie de la chaussée.[4]

Les données nécessaires pour l'étude un projet routier :

- Étude de trafic.
- Étude géotechnique.
- Dimensionnement de la chaussée.
- Étude hydrologique.
- Étude hydraulique.
- Étude géométrique.
- Drainage longitudinal de la chaussée.
- Étude économique.

II.4 L'amélioration des sols

Lorsque la construction d'un ouvrage est décidée sur un terrain constitué d'un sol dit à problèmes, en vue d'éviter la solution onéreuse et classique de fondation profonde, il faut recourir à une opération d'amélioration de sol. Cette dernière, des points de vue coût et délai d'exécution, devra être avantageuse par rapport à toute autre solution de fondation envisageable [10]

Lorsqu'une technique d'amélioration est décidée, une vérification s'impose, au préalable, de la faisabilité de son exécution dans les conditions géotechniques du projet visé et de la quantification des performances prédictées pour le sol amélioré. Cela implique la réalisation de plots d'essais sur une plateforme limitrophe à l'emplacement de l'ouvrage, ce qui pourrait amener de compléter la campagne géotechnique déjà faite. Il y a lieu, donc, de comparer entre les propriétés du sol initial avant et après l'opération d'amélioration, qui s'accompagne de certaines performances qui conduiront à de nouvelles propriétés et caractéristiques du sol initial. Les résultats de ces essais servent

Chapitre II : Revue Bibliographique

également à la validation des méthodes de calcul adoptées lors du dimensionnement spécifique à la technique d'amélioration exécutée. [10]

Le sol à l'état non amélioré, est identifié essentiellement par sa courbe granulométrique qui demeure un facteur déterminant dans le choix d'une opération d'amélioration donnée. En effet, compte tenu de la connaissance de la nature des sols pulvérulents ou fins, on comprend naturellement qu'il existe à chaque type de sols une amélioration appropriée. Sachant qu'il existe de nombreux sols intermédiaires avec d'autres dérivées de techniques d'amélioration qui peuvent être envisagées. Le tableau suivant illustre la différence nette entre les techniques exécutables dans les sols fins et les sols grenus. Alors que pour les sols intermédiaires les possibilités d'amélioration ne sont pas si diversifiées. [11]

II.4.1 Choix des techniques d'amélioration du sol:

Le sol initial, ou à l'état non amélioré, est identifié essentiellement par sa courbe granulométrique qui demeure un facteur essentiel en vue de lui faire subir une opération d'amélioration donnée. En effet, compte tenu des deux grandes classes de sols bien connus, les sols pulvérulents et les sols fins, on comprend naturellement qu'il existe une différence entre les techniques d'amélioration appropriées à chacune de ces deux classes de sols. Etant donnée l'existence d'une bonne majorité de sols intermédiaires d'autres dérivées de techniques d'amélioration peuvent être envisagées. En effet, la figure 6.1 illustre la différence nette entre les techniques exécutables dans les sols fins, d'une part, et dans les sols grenus, d'autre part. Alors que pour les sols intermédiaires les possibilités d'amélioration ne sont pas si diversifiées. [10]

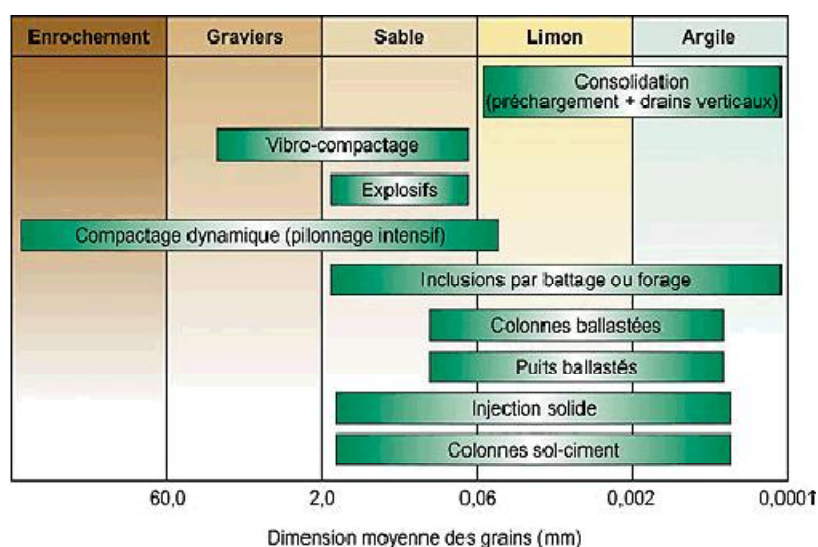


Tableau II.1 : Méthodes de traitement en fonction de la nature du sol . [11]

Chapitre II : Revue Bibliographique

II.4.2 Les méthodes d'amélioration:

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformations qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet. De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, et sont jugées efficaces. Certaines de ces méthodes sont très anciennes, comme le battage de pieux en bois dans les sols de faible portance, d'autres sont plus récentes

- augmenter la capacité portante et/ou la résistance au cisaillement
- diminuer les tassements, tant absolus que différentiels, et le cas échéant les accélérer,
- diminuer ou éliminer le risque de liquéfaction en cas de tremblement de terre ou de vibrations importantes. [12]
- comme les méthodes d'injection, de pilonnage ou de congélation. Elles ont connu, depuis une vingtaine d'années, un développement considérable et sont maintenant utilisées comme un élément à part entière des projets. [12]

II.4.2. 1. Méthodes mécaniques:

Nous citerons trois méthodes de stabilisation mécanique:

a. Compactage de surface:

Le compactage est un procédé de densification des sols en place (Lawton, 2004). Ce procédé mène à une diminution des vides du sol par des moyens mécaniques aboutissant ainsi à une augmentation de la densité et de la résistance ainsi qu'une réduction de la compressibilité. [12]



Figure II.8. Types de compactage de surface. [12]

L'application des charges sur le sol à compacter par le biais de certains rouleaux de compactage statiques ou vibratoires induisent une densification dans le sol qui sera

Chapitre II : Revue Bibliographique

proportionnelle à l'énergie mécanique appliquée. Le compactage de surface peut être accompli sur différents types de sites. . [12]

b. Compactage dynamique

Cette technique a été inventée et développée des les années 60. Le Compactage Dynamique permet de densifier les sols pulvérulents à grande profondeur situés hors nappe que sous la nappe phréatique, sous l'effet de choc de très haute énergie obtenus par la chute d'une masse (10-20 tonnes jusqu'à 150 tonnes) en surface, d'une hauteur qui varie de 10-20 à 40 m, Bergado et col (1996). Le principe de base consiste à transmettre des chocs de forte énergie à la surface d'un sol initialement compressible et de faible portance, afin d'en améliorer en profondeur les caractéristiques mécaniques. Le pilonnage est associé à un contrôle géotechnique particulièrement intensif. Il est applicable dans tous les sols granulaire et aussi aux remblais hétérogènes inertes ainsi qu'aux terrains qui contiennent des blocs. Le compactage dynamique peut s'appliquer aussi à la densification des sols affaissables à structure macroporeuse tels que les loëss URSS . [11]



Figure II.9.chantier d'un compactage dynamique profond. [12]

c. Vibrocompactage

Le procédé de Vibrocompactage, développé à la fin des années trente, permet de compacter localement ou dans la masse, les sols grenus sans cohésion (sables, graviers, cailloux) en place ou mis en remblai au-dessus ou en-dessous de la nappe et ceci jusqu'à des profondeurs maximum de plus de 50 m .C'est une technique d'amélioration des sols pulvérulents de type sablo-graveleux permettant de les densifier sous l'effet de la vibration. . [12]

Chapitre II : Revue Bibliographique

Ces vibrations, émises par l'outil, se propagent de grains en grains et provoquent un réarrangement optimal du volume initial occupé. La réduction de la porosité du matériau permet aussi d'augmenter sa capacité portante de manière significative. . [12]



Figure.II.10Vibrocompactage.[12]

Ce procédé de Vibrocompactage est appelé aussi la vibroflotation. Cette méthode trouve son application dans les sols granulaires particulièrement les sables propres et les sables silt eux avec une teneur en fines inférieure à 20%. Les vibrations engendrent un phénomène localisé de liquéfaction sous l'effet des surpressions interstitielles qui met les grains du sol dans un état liquéfié. Les grains se réarrangent en un état plus dense. [12]

II.4.2. 2 Méthodes hydromécaniques

Nous citerons deux méthodes de stabilisation hydromécaniques :

a. Pré chargement

Le pré-chargement est une méthode utilisée pour les sols relativement compressibles d'usage très courant en pratique. Il est appliqué lorsqu'il s'agit de construire sur des sols de composition argileuse saturé de faible portance. Le principe est simple, pour les 2 types de sol que se soit fin ou grenus, il consiste à surcharger le terrain en question (généralement par un remblai) afin qu'il se tasse naturellement et par conséquent assurer une amélioration de la résistance au cisaillement à court terme. Pour les remblais de grande hauteur (> 6m), édifier sur argile molle très compressible on utilise le pré-chargement par étapes dont le but d'éviter la rupture par poinçonnement du sol. Toutefois l'inconvénient majeur du pré- chargement, sans tenir compte du coût d'exécution demeure la durée qu'il nécessite pour atteindre l'amélioration escomptée, outre la durée du pré-chargement, le temps d'exécution du remblai de pré-chargement et la durée que nécessite sa suppression, qui ne permet d'envisager le début des travaux

Chapitre II : Revue Bibliographique

qu'après un temps de consolidation non négligeable (six mois au minimum) qui est parfois même comparable à celui de l'exécution de l'ouvrage. . [11]

b. Drains verticaux

Les drains verticaux sont utilisés pour l'amélioration des sols fins saturés en eau. La technique consiste à foncer verticalement dans le terrain, suivant un maillage régulier, un drain préfabriqué. Lors de la mise en charge du terrain, les drains facilitent l'évacuation de l'eau interstitielle jusqu'à la surface, permettant ainsi une consolidation accélérée des sols traités. La surcharge est apportée soit par un remblai de pré chargement, soit par d'autres méthodes. . [4]

II.4.2. 3 Méthodes thermiques

Nous citerons deux méthodes de stabilisation thermiques :

a. Déshydratation

La déshydratation par la chaleur est très rarement appliquée en géotechnique, elle permet de durcir certaines argiles par exemple. En pratique, la méthode consiste à brûler un carburant dans un forage en utilisant un forage voisin communiquant avec le premier et servant de cheminée de tirage. . [12]

b. Congélation

La congélation des terrains instables est un procédé ancien à caractère provisoire , employé pour le creusement des fouilles de puits ou de galeries. Cette technique rend le sol étanche et résistant provisoirement. Ce procédé est généralement développé pour les sols grenus mais il peut être appliqué aux argiles molles et aux limons. La congélation de l'eau interstitielle d'un sol produit un matériau dont les propriétés sont temporairement améliorées tant que la congélation est entretenue. La congélation a également pour effet de rendre imperméable le sol et de faciliter les travaux de terrassements ou de construction sous le niveau de la nappe. Ces propriétés en font une technique d'amélioration

provisoire très efficace, mais dont l'emploi reste limité en raison de son coût élevé. .[12]



Figure II.11. Chantier utilisant la congélation du sol. [12]

Chapitre II : Revue Bibliographique

Les techniques de congélation utilisées sont basées sur la circulation d'un fluide froid dans des tubes enfoncés dans le massif de sol. Une saturation complète du sol est souhaitée. La congélation du sol s'effectue d'habitude en deux étapes à savoir les étapes active et passive de congélation. L'étape active est la plus importante et l'appareillage de réfrigération marche avec sa grande capacité que durant l'étape passive nécessaire pour maintenir l'épaisseur du front de gel contre le dégel. [12]

II.4.3. 4 Méthodes chimiques:

La stabilisation chimique est une technique intéressante pour les améliorer propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. Aujourd'hui les divers produits et techniques font partie d'une pratique courante des grands ouvrages du Génie Civil à l'échelle mondiale.

Le recours massif à cette technique qui valorise les matériaux en place ce qui entraîne une diminution notable des coûts est due principalement aux facteurs suivants tels que la raréfaction des gisements naturels de matériaux nobles ; le souci écologique croissant imposant de préserver d'une part les ressources naturelles existantes et de limiter d'autre part la mise en dépôt des matériaux impropres à la réutilisation en remblais ou en couches de forme. Les ajouts cimentaires et les produits chimiques les plus utilisés sont le ciment, la chaux, les cendres volantes, L'objectif principal du malaxage des ajouts cimentaires avec le sol est l'amélioration de ses propriétés physico-mécaniques ainsi que sa durabilité.

Les différentes propriétés qui peuvent être améliorées sont la résistance, la plasticité, la compressibilité, la perméabilité, le potentiel de gonflement et le potentiel d'effondrement.

L'amélioration de ces propriétés s'effectue soit par l'augmentation de certaines d'entre elles telle que la résistance, soit par la réduction d'autres telles que la plasticité, la perméabilité et l'érosion. Un bon malaxage des ajouts cimentaires avec le sol à traiter est un facteur important affectant d'une façon significative la qualité des résultats. . [12]

a. Chaux:

La stabilisation par ajout de la chaux est la technique de traitement des sols la plus répandue, elle concerne essentiellement les sols fins (argileux, limoneux et marneux) L'utilisation de cette technique permet :

- D'éviter des volumes de terrassement importants dans le cas de substitution des sols médiocres.

Chapitre II : Revue Bibliographique

- De donner aux sols argileux d'une manière assez rapide une bonne consistance pour des dosages compris entre 1% et 2%. Ceci montre aussi l'intérêt économique de ce procédé.
 - De modifier les propriétés du sol.
 - Sachant qu'il y a deux types de chaux, vive et éteinte, le choix s'effectue en se basant sur les essais de laboratoire, les essais de chantier et sur le prix de revient.
- [13]

- **Etude de la compactibilité:**

La sensibilité à l'eau des mélanges se traduit par des formes de courbes variées, selon la Figure II.12, on remarque que pour l'état naturel, la courbe de compactage soit à l'OPM présente une forme accentuée, ce qui explique la grande sensibilité du sol. [14]

Pour les mélanges de C= 1, 2,3 et 4%, les courbes Proctor sont déplacées vers la droite elles présentent une forme aplatie qui traduit la faible sensibilité des mélange à l'eau.

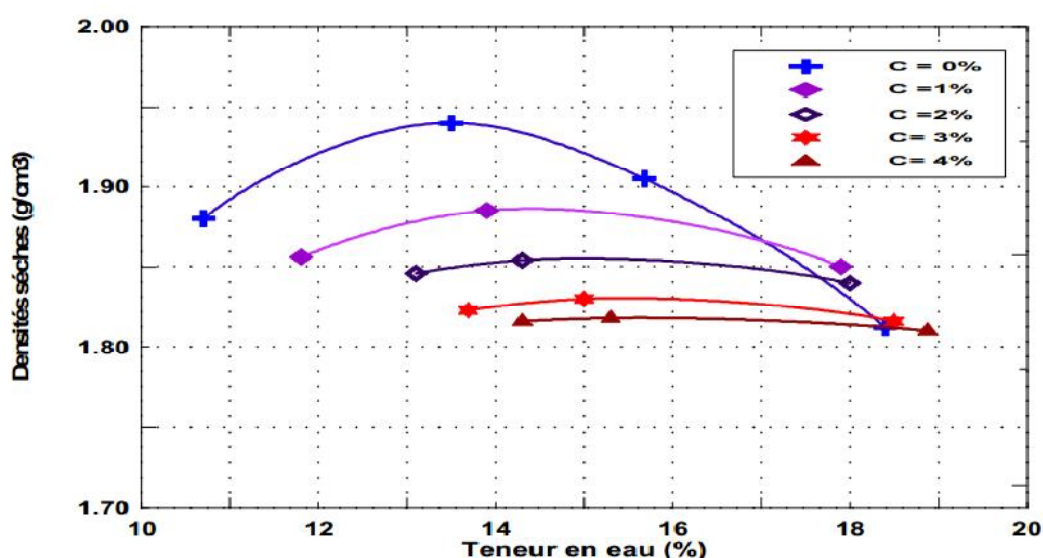


Figure II.12 : Variation des caractéristiques de compactage à l'OPM pour les différents pourcentages de l'eau. [13]

Le traitement à la chaux réduit donc la valeur maximale de la masse volumique apparente sèche et augmente la valeur de la teneur en eau optimale. L'augmentation de la teneur en eau optimale est due à l'accroissement de la surface totale des particules des mélanges traités par les grains fins de la chaux additionnée, puis la raison la diminution de la densité sèche maximum est le faible poids volumique de la chaux .

- **Résistance à la compression des mélanges:**

La résistance à la compression de la marne à l'état naturel est très faible, elle est de l'ordre de 0.644 MPa. La figure II.13, représente le développement de la résistance à la

Chapitre II : Revue Bibliographique

compression en fonction des différentes conditions de cure pour les mélanges traités et non traités. On remarque que pour une durée de cure nulle (l'écrasement immédiat), la résistance à la compression garde sa valeur faible pour les différents mélanges. [13]

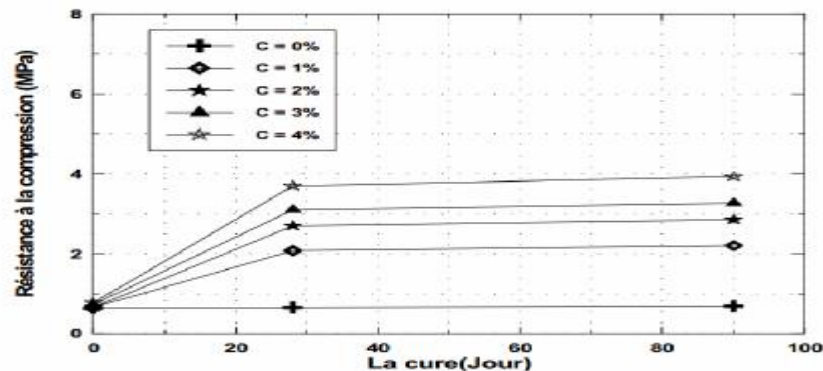


Figure II.13 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la durée de cure et le pourcentage en chaux additionné. [13]

Pour la durée de cure de 28 jours, on constate une évolution importante avec l'augmentation du pourcentage de la chaux, les valeurs de la résistance obtenues pour les mélanges C= 1, 2,3et 4 % sont respectivement 2.08, 2.7, 3.1 et 3.7 MPa. Pour la durée de cure de 90 jours, on remarque une faible augmentation de la résistance qui varie de 3.7 à 3.93 MPa pour un pourcentage de 4%. La résistance à la compression augmente avec l'accroissement du pourcentage en chaux dans les mélanges traités, cette augmentation peut être expliquée par l'addition des matériaux fins dans les sols qui implique une augmentation de la cohésion. La raison de la forte augmentation de la résistance à la compression après 28 jours est justifiée par la réaction d'hydratation de la chaux pendant cette période.

- **Etude de la portance:**

La Figure II.14, donne les effets de l'additive chaux sur les deux indices de portance IPI et le CBR. On montre qu'il y a une tendance générale d'augmenter des valeurs de CBR et IPI avec l'augmentation de contenu en chaux, un pourcentage de 1% de chaux donne une augmentation de 50% de CBR. Un accroissement de l'IPI de 15 à 41% et de 14 à 43% pour le CBR a été montré sur les échantillons de sol stabilisés à la chaux avec un pourcentage variait de 2 à 4%

Chapitre II : Revue Bibliographique

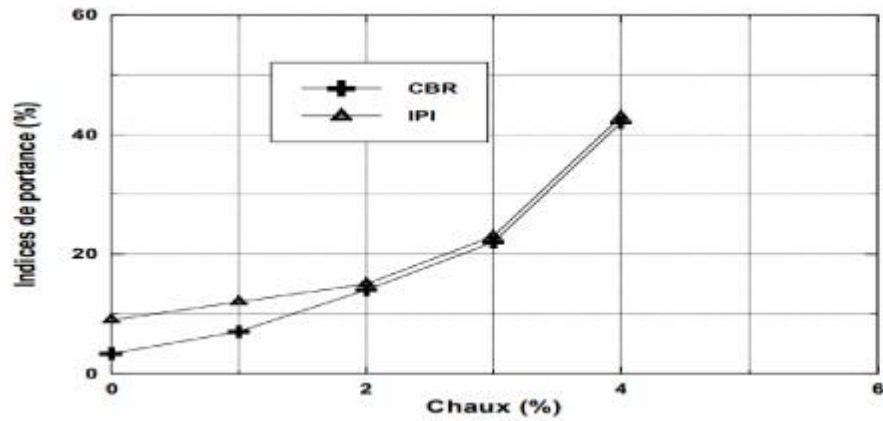


Figure II.14 : Variation de l'indice de portance IPI et du CBR en fonction des différents pourcentages de chaux. [13]

L'amélioration de la portance de la marne traitée (augmentation de CBR et IPI) est justifiée par la diminution du volume des vides dans le sol qui est due à la bonne distribution des particules du sol avec les particules fins de l'additive chaux. [13]

Détermination de l'indice de compressibilité (C_c) et de l'indice de gonflement (C_g) A l'état naturel de la marne étudiée, les valeurs de C_c et C_g sont respectivement 3.32 % et 4.11%, ce qui donne une marne argileuse très peu compressible et gonflant.

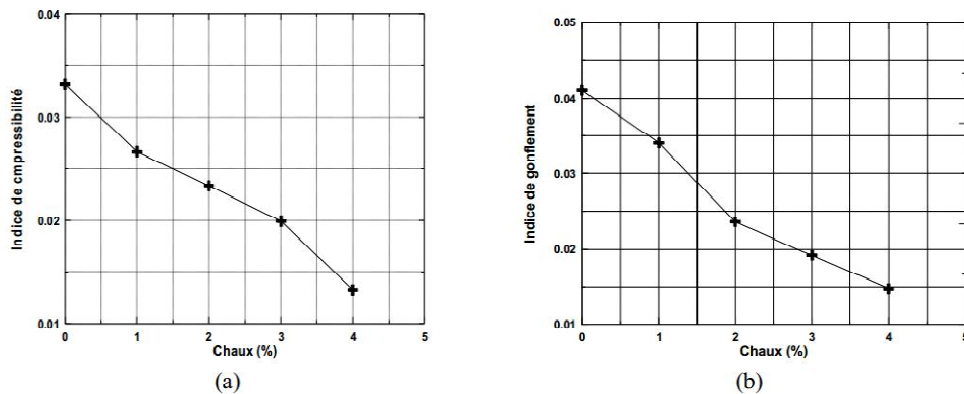


Figure II.15 : Variation des paramètres de compressibilité en fonction du pourcentage en chaux additionnée (a) l'indice de compressibilité C_c (b) indice de gonflement C_g .

[13]

b. le ciment

Le ciment Portland est un autre produit envisageable pour la stabilisation de certaines catégories de sols utilisés pour les routes et les revêtements de pistes d'aéroports. Alors qu'il existe plusieurs similarités entre la chaux et le ciment Portland comme stabilisants,

Chapitre II : Revue Bibliographique

le ciment Portland fournit en plus la chaux et la source de silice. Lorsque le ciment Portland est mélangé à l'eau, l'initiation de l'hydratation occasionne une augmentation rapide de la concentration de calcium dans le sol. A mesure que les ions de calcium sont libérés, ils deviennent disponibles pour stabiliser l'argile. La figure II.16 ci-dessous montre un chantier de traitement du sol au ciment. [14]



Figure II.16:Chantier de traitement du sol au ciment. [13]

Comme indiqué ci-dessus, le processus de stabilisation initié par l'ajout du ciment Portland à l'argile engendre quatre étapes distinctes à savoir l'échange cationique, la floculation et l'agglomération de l'argile, l'hydratation par cimentation et les réactions pouzzolaniques. Le ciment Portland possède donc des propriétés lui permettant d'initier une étape de plus que la chaux soit celle de l'hydratation par cimentation. Les sols possédant un faible pourcentage d'argile, donc moins de silice et d'alumine ont besoin d'un apport de ciment si les réactions pouzzolaniques sont désirées. Par conséquent, le ciment Portland peut généralement être utilisé dans les mêmes types de sols que la chaux. [14]

c. Les liants hydrauliques routiers (LHR)

Des liants spéciaux routiers (LHR) ont été étudiés et mis au point depuis plusieurs années pour le traitement des sols en place ou en centrale et pour la fabrication de matériaux d'assises de chaussées, le LHR concerné présente, pour un type de sol et une nature d'ouvrage donnés, un comportement satisfaisant, mais toute extrapolation à d'autres paramètres de chantier comporte une part de risque qu'il convient d'évaluer pour chaque nouveau chantier. [15]

Chapitre II : Revue Bibliographique

Les principes d'action des LHR ne sont pas fondamentalement différents de ceux des ciments car on y retrouve, mais en proportion différentes, les mêmes constituants et donc des phénomènes de prise hydraulique de même nature, mais le plus souvent avec des cinétiques spécifiques.

Les LHR peuvent présenter certains avantages et notamment :

- Leur coût de fabrication plus faible, car leur composition est en forte proportion à base de constituants ne nécessitant pas de cuisson spécifique (laitiers, cendres volantes, pouzzolanes, etc.)

- Leur possibilité de mieux s'adapter à un cas de chantier particulier.

En effet, leur fabrication pouvant être gérée de manière plus souple que celle des ciments, peut être envisagée, si les enjeux du projet le justifient, de fabriquer un produit optimisé à un sol particulier et ayant une cinétique de prise ajustée à l'époque des travaux et/ou aux contraintes d'organisation du chantier. En contrepartie, l'absence, jusqu'à présent, de normalisation de procédure de certification gêne en partie le développement de ces produits (du fait, notamment, de la nécessité de pratiquer des études plus détaillées qu'avec des ciments).

II.5.Conclusion:

Le traitement des sols est le processus d'ajout de matières premières telles que la chaux, le ciment ou les produits chimiques hydrauliques pour améliorer la résistance des sols qui ne peuvent pas être résistés à l'état naturel.

Aujourd'hui, la technologie de traitement des sols connaît une grande diffusion et récupération. Cette technologie a permis de réduire de nombreux problèmes en termes de difficulté d'exécution des travaux et de circulation des voitures et d'accidents dus à la compression du sol et aux fissures des routes provoquées par la fragilité du sol ou le poids lourd des véhicules. L'utilisation de déchets de céramique et de marbre dans cette technique a donné des résultats positifs, à la fois en termes d'augmentation de la résistance des sols d'une part ou de recyclage de ces déchets d'autre part (préservation de l'environnement) et leur utilisation offre également un coût économique par rapport à d'autres méthodes de traitement (moins cher).

Pour cette raison, nous avons décidé d'étudier le traitement des sols en ajoutant des déchets de céramique et le déches de poudre marbre.

Chapitre III

Méthodologie

Chapitre III : Méthodologie

III.1 Introduction :

Pour améliorer les couches du sol routier, ce chapitre présente les matériaux de traitement (déchet de céramique ; poudre de marbre et ciment CEM / II .42.5 MPA). et le sol utilise les matériaux ajouté au ce dernier sont en pourcentage volumique.il existe plusieurs des essais pour faire d'étude de stabilité de sol, parmi (Analyse granulométrique, la teneur en eau, Proctor modifier et CBR).

III.2 Matériaux utilisé :

III.2.1 Le sol étudié :

Pour cette étude. Nous avons choisi d'utiliser le sol de la route reliant le port sec à commune de Tixter et à L'autoroute pour mettre en œuvre les expériences proposées en laboratoire



Figure III.1 : Zone de prélèvement de sol.



Figure III.2 : Le sol utilisé.

Chapitre III : Méthodologie

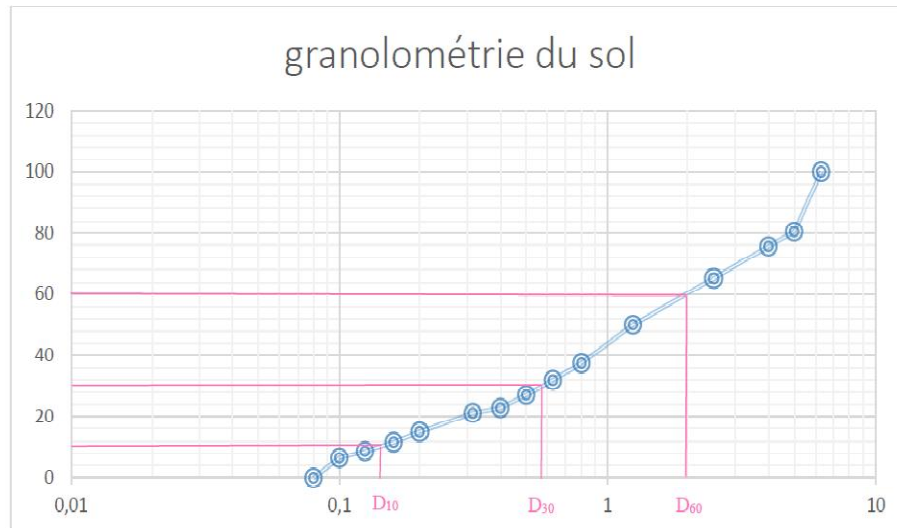


Figure III.3: La courbe granulométrique du sol.[4]

Plus de 50 % des éléments $> 0,08$ mm ont un diamètre > 2 mm $C_c = 3,14 > 3$,
Céramique propre mal graduée.

III.2.2 Déché de céramique :

Le déchet de céramique est concassé manuellement ou par machine de broyage, elle
passé le déchet broyé verre le tamis de 5 mm.

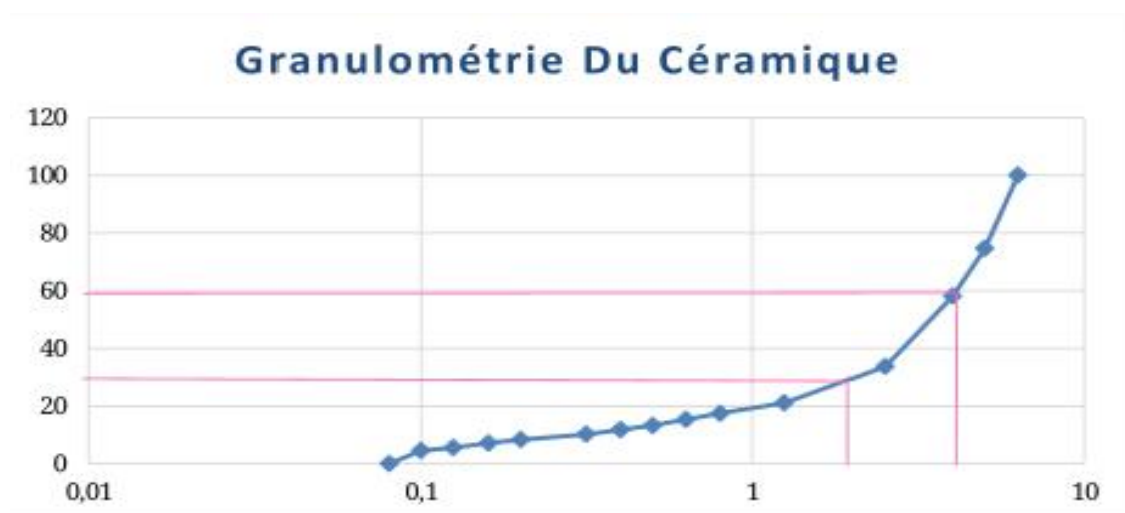


Figure III.4: La courbe granulométrique du céramique. [4]

Chapitre III : Méthodologie



Figure III.5 : Déchet de céramique.

III.2.3 Poudre de marbre :

La poudre de marbre ajoutée au sol pendant les essais représente le déchet de marbre de découpage des roches de marbre.



Figure III.6 : Poudre de marbre.

III.2.4 Le ciment utilisé (Matine):

Le ciment portland est un liant hydraulique composé par clinker et gypse pour réguler la prise, le site de la fabrication de ciment portland c'est l'usine de Hammam D'ala - la Wilaya de M'sila. Le produit a comme identification CPJ-CEMII/A 42,5 MPa.



Figure III.7. Le ciment utilisé.

Chapitre III : Méthodologie

III.3 Les essais:

III.3.1 Essai de Teneur en Eau (NF P 94-050):

III.3.1.1 Principe de la détermination de la teneur en eau :

La perte d'eau d'un échantillon de matériau est provoquée par étuvage. Les masses de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage.

III.3.1.2 Appareillage :

- Etuve réglable à 50°C et à 105°C ;
- Des capsules en métal ou boites de pétri. Des spatules, une truelle
- Balance



Figure III.8 : Appareillage –Teneur en eau (NF P 94-050).

III.3.1.3 Mode opératoire :

1. Prélever un échantillon de sol représentatif, sa masse est choisie en fonction de la dimension des éléments qu'il contient.
2. Placer le prélèvement sur une capsule.
3. Peser immédiatement, soit **Ph**.
4. Mettre à l'étuve à **105°C** pour les matériaux insensibles à la chaleur et à **50°C** pour les matériaux sensibles à la chaleur (les matériaux gypsifères, latéritiques ou s'ils contiennent des matières organiques), jusqu'à dessiccation complète et poids stable (la durée totale de séchage peut donc varier entre quelques heures et plusieurs jours).
5. Peser l'échantillon sec immédiatement à la sortie de l'étuve, ou après refroidissement dans un dessiccateur, soit **PS**.

III.3.1.4 Expression des résultats :

$$\omega (\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

Avec :

Chapitre III : Méthodologie

ω : teneur en eau (exprimée en%).

Ph : poids de sol humide en (g).

PS : poids de sol sec en (g).

III.3.2 Essai Proctor Modifier (NF P 94-093) :

III.3.2.1 Généralité :

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire (ou non) par compactage à une énergie fixée (poids de dame, nombre de coups et dimensions normés).

Le protocole de l'essai Proctor suit la norme NF P 94-093 (détermination des références de compactage d'un matériau). Les valeurs obtenues par l'essai sont notées W_{OPN} pour la teneur en eau optimale, et γ_{OPN} pour la masse volumique sèche optimale. Une autre référence peut être déterminée pour une énergie supérieure (notamment pour des couches de chaussées granulaires), il s'agit de l'optimum Proctor modifié (OPM).

III.3.2.2 Définition du compactage :

Le sol est utilisé comme matériau pour la construction d'ouvrage en terre (corps de remblai, des couches de formes et d'assise de chaussées). Il est bien connu, la résistance d'un sol est d'autant plus forte et sa déformabilité est d'autant plus faible que les grains de ce sol sont serrés et rapprochés.

Pour obtenir un remblai de bonne qualité (résistant et peu déformable) on a recours au compactage du sol. On appelle compactage, l'opération qui consiste à accroître la densité en place du sol par des moyens mécaniques appropriés. On dit que l'opération de compactage augmente la compacité du sol, resserre la texture des grains, réduit la déformabilité et augmente la résistance du sol. L'expérience montre que pour un sol donné, la compacité obtenue lors d'une opération de compactage varie avec la teneur en eau de compactage et avec l'intensité ou l'énergie de compactage.

III.3.2.3 L'objet de l'essai :

Le compactage d'un sol vise à améliorer les propriétés géotechniques des sols, Il est fonction de quatre principales variables :

-La masse volumique du sol sec.

-La teneur en eau.

-L'énergie de compactage.

-Le type de sol (étalement granulométrique, présence de minéraux argileux, etc)

III.3.2.4 But de l'essai :

Chapitre III : Méthodologie

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

III.3.2.5 Principe de la méthode :

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage l'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe ($\gamma_d ; \omega$), on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale.

III.3.2.6 Appareillage nécessaire :

- Moule CBR (éventuellement Proctor),
- Compacteur électrique,
- Dame Proctor modifié,
- Règle à araser,
- Disque d'espacement,
- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau,
- Tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon),
- Truelle, spatule, pinceau, etc...
- Eprouvette graduée,
- Tare (mesures des teneurs en eau),
- Balance portée 20 kg, précision ± 5 g,
- Balance de précision 200 g, précision $\pm 0,1$ g,
- Etuve $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$,
- Burette à huile.



Figure III.9 : Appareillage – essai Proctor.

III.3.2.7 Mode opératoire :

- 1- Peser l'ensemble du moule vide + embase (soit P_m). Mettre en place la hausse.
- 2- Prendre 5 Kg de sol tamisé à 5 mm.
- 3- Ajouter 8% d'eau à cette quantité, l'homogénéiser et partager en trois.
- 4- Introduire la 1^{ère} couche de sol et la compacter en 56 coups.
Scarifier la surface compactée.
- 5- Procéder de manière identique pour les deux couches suivantes.
- 6- Enlever délicatement la hausse et araser soigneusement le moule, le nettoyer puis le peser (soit P_h).
- 7- Enlever l'embase et prélever deux prises sur l'échantillon, l'une en haut et l'autre en bas, et en déterminer la teneur en eau (On prendra la moyenne des deux valeurs).

Chapitre III : Méthodologie



Figure III.10 : Déroulement de l'essai – Proctor.

III.3.3 Essais CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :

III.3.3.1 Généralité :

Cet essai a été développé en 1929 par les ingénieurs **T.E Stanton** et **O.J. Porter** du département des routes de Californie. Il permet la classification d'un sol pour être utilisé comme sous-fondation et fondation dans la construction de routes. Pendant la deuxième guerre mondiale, le corps des ingénieurs des États-Unis l'ont également adopté pour la construction des aéroports.

III.3.3.2 Définition :

Chapitre III : Méthodologie

L'essai CBR est un essai qui caractérise la portance d'un sol du point de vue routier.

L'échantillon de sol étudié est compacté dans un moule (moule CBR $\varnothing = 15,1$ cm, hauteur : 15,1 cm) après avoir été amené à une teneur en eau homogène et bien définie.

Il est ensuite poinçonné et on déduit de la pression nécessaire à ce poinçonnement (les modalités du poinçonnement sont normalisées) un indice qui caractérise la qualité routière du matériau dans les conditions de compacité et de teneur en eau de l'essai.[4]

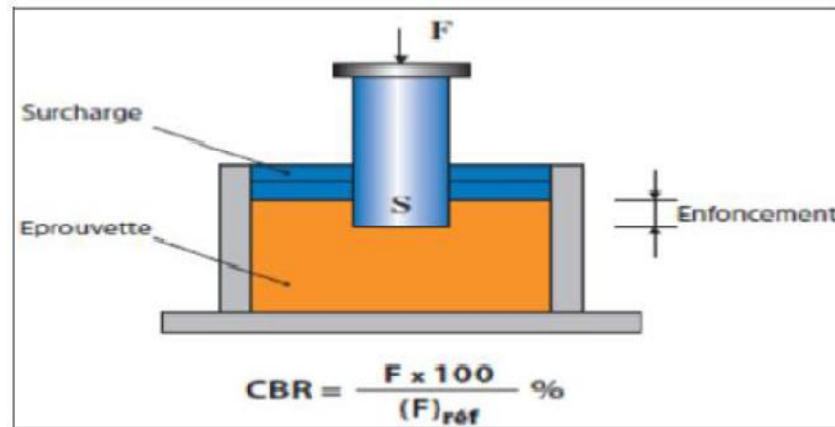


Figure III.11 : Schéma de principe de l'essai CBR.

III.3.3.3 But de l'essai :

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers. Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (CBR) qui permettent :

- d'établir une classification des sols (GTR)
- d'évaluer la traficabilité des engins de terrassement
- déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augment \Rightarrow épaisseur diminue).
- d'établir une classification des sols (GTR)

III.3.3.4 Appareillage nécessaire :

- moules standard CBR.
- Disque d'espacement de 151 mm de diamètre et 25,5 mm d'épaisseur.
- Compacteur électrique. (NF P094 R 093).
- Des disques de surcharge annulaire en plomb de 2,265 kg en deux parties de diamètre extérieur de 150 mm de diamètre inférieur de 27 mm.
- 1 presse hydraulique de 60 kN pouvant assurer une vitesse de poinçonnement de 1,27 mm / minute.
- Des bacs d'eau, chan ber humide, balance, étuve à 105°C.
- Pelle à main, truelles, mains métalliques, pinceau.

Chapitre III : Méthodologie

- des disques de papier filtre correspondant aux côtés moule couteau maillet, burin, marteau, plane à araser.
- Couteau maillet, burin, marteau, plane à araser.



Figure III.12 : Appareillage pour l'essai CBR.

III.3.3.5 Principe de l'essai :

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces appliquées sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1,27 mm / min) dans une éprouvette de matériel.

Trois types d'indices CBR sont à distinguer :

1-CBR immédiat : il correspond au poinçonnement d'une éprouvette confectionnée immédiatement après son compactage ;

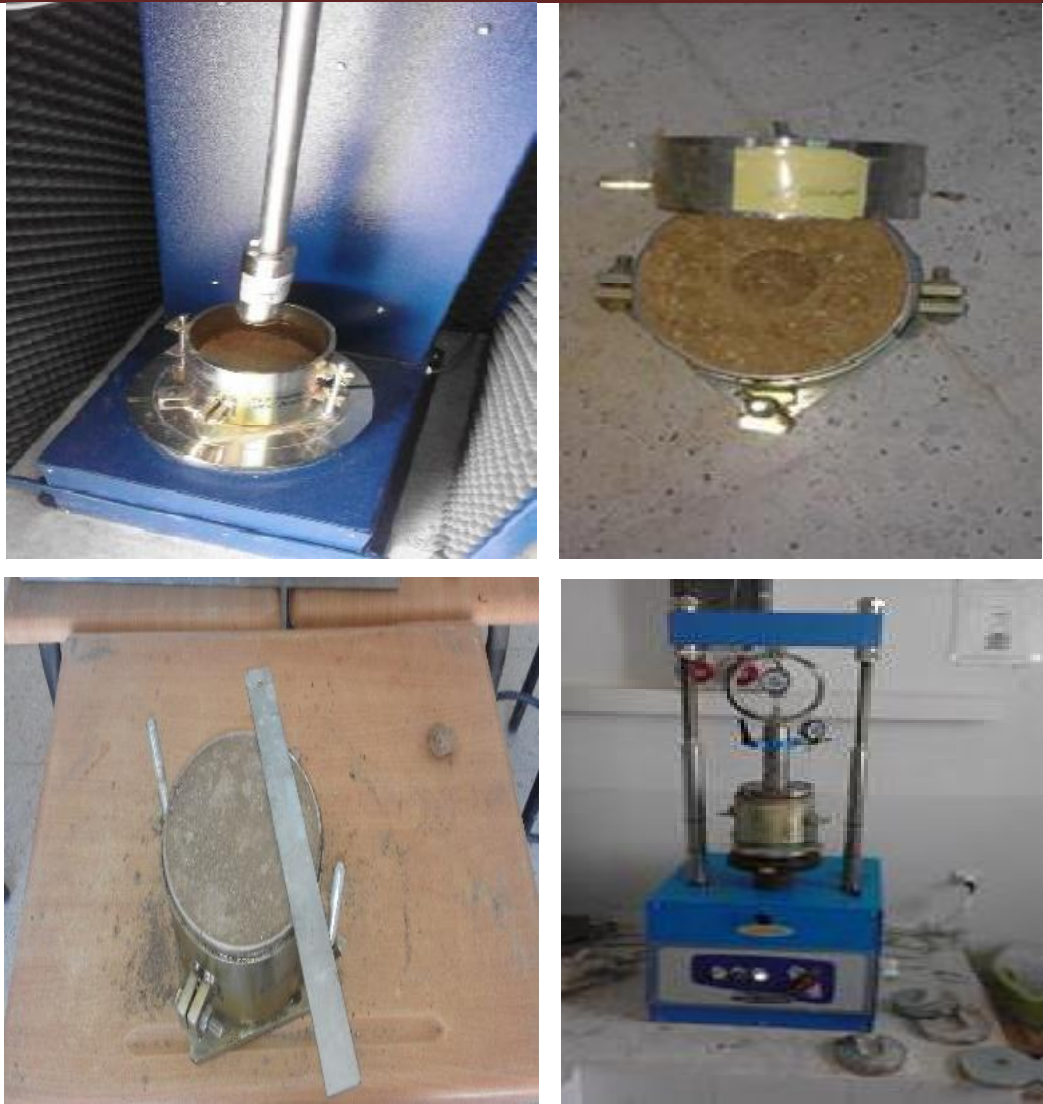


Figure III.13 : CBR immédiat.

2-CBR après plusieurs jours (généralement 7, 14 ou 28 jours selon l'application) ;

Chapitre III : Méthodologie



Figure III.14 : CBR du sol traité en déchets de cramique et liant hydraulique après plusieurs jours (7j ; 14j ; 28j).

3-CBR après immersion : il correspond au poinçonnement d'une éprouvette confectionnée après immersion dans l'eau durant 24 h à 20°C. Ceci simule un sol humidifié après son compactage en place.



Figure III.15 : CBR du sol traité en liant hydraulique et déchets de cramique a l'Etat immergée (à la cure).

III.3.3.6 Mode opératoire :

- 1-peser l'ensemble du moule vide + embase (soit P_m)
- 2-Prendre 5Kg de sol sec passée au tamis 5mm
- 3-Ajouter W (opt) de l'essai de Proctor.

Chapitre III : Méthodologie

4-Introduire la 1ère couche de sol et compacter en 56 coups. Scarifier la surface compactée.

5-Procéder de manière identique pour les couches suivantes.

6-Enlever l'embase et prélever deux prises sur l'échantillon, l'une en haute et l'autre en bas, et en déterminer la teneur en eau (On prendra la moyenne des deux valeurs)

7-Placer l'ensemble dans la machine et lire la force et déplacements.



Figure III.16 : Déroulement de l'essai –CBR.

III.3.3.7 L'indice CBR (I.CBR) :

Exprime en % le rapport entre les pressions produisant dans le 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 égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$I_1 = \frac{\text{effort de pénétration a } 2,5(\text{KN}) * 100}{13,35(\text{KN})}$$

$$I_2 = \frac{\text{effort de pénétration a } 5 (\text{KN}) * 100}{19,93(\text{KN})}$$

$$\text{I.CBR} = \max (\text{I.CBR } 2.5; \text{I.CBR } 5)$$

Chapitre III : Méthodologie

Classes de portance	CBR [%]
S ₀ portance très faible	CBR < 3
S ₁ portance faible	3 < CBR < 6
S ₂ portance moyenne	6 < CBR < 12
S ₃ portance élevée	12 < CBR < 25
S ₄ portance très élevée	25 < CBR

Tableau III.1 : La classe de portance.

III.4.Conclusion :

Dans toute étude géotechnique, nous réalisons d'abord des essais pour identifier et définir le sol (essais d'identification des sols), et c'est ce que nous avons fait sur ce type de sol (Tixter) afin de connaître l'étendue de sa résistance à la déformation et à la pression. Les paramètres nécessaires pour cette classification sont aussi bien de natures physico- mécaniques.

Ce chapitre a été consacré à l'identification des matériaux désirés pour cette étude qui sont : le sol, le déchet céramique, le déchet de marbre et le liant hydraulique (ciment). Il contient tous les essais effectués au niveau du laboratoire du Département de Génie Civil à l'université de BBA.

Chapitre IV :

Etude de

Corrélation

Chapitre IV : Etude de Corrélation

IV.I. Introduction

Ce chapitre est consacré à présenter l'ensemble des résultats des essais effectués sur l'échantillon de sol prélevé de la zone de TIXTER qui a été traité avec les différents pourcentages d'ajouts hydraulique et déchet de céramique.

Etude corrélation entre CBR, compaction et limites. Ces résultats sont représentés sous forme de tableaux et de courbures.

IV.1. Corrélation entre CBR et compaction :

Tableau IV.1 : les Codes des mélanges .

Mélanges	Code de Semp
Naturel sol	S0
5 % céramique	S1
10 % céramique	S2
15 % céramique	S3
5 % céramique + 4 % Ciment	S4
10 % céramique + 4 % Ciment	S5
15 % céramique + 4 % Ciment	S6
5 % céramique + 2 % Ciment	S7
10 % céramique + 2 % Ciment	S8

Chapitre IV : Etude de Corrélation

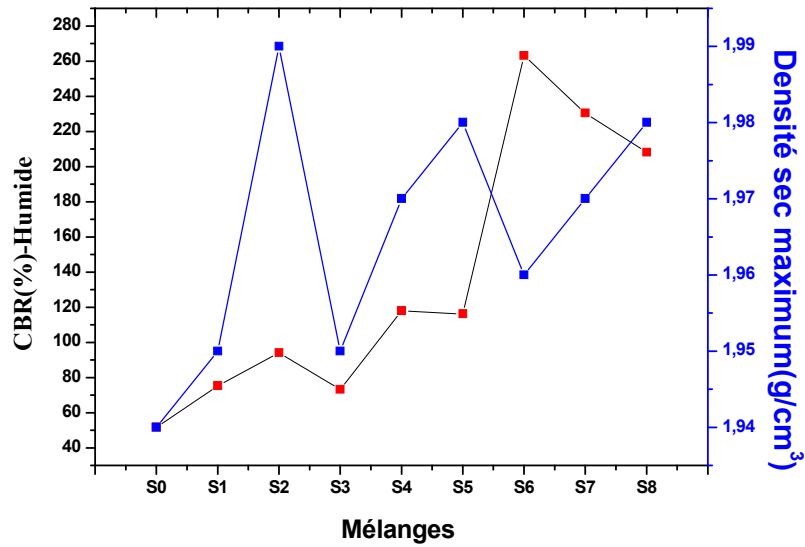


Figure IV.1. Corrélation entre CBR(%) Humide et $\gamma_{d \max}$.

Q partir de figure IV. 1 On remarque que la valeur de CBR a 10% déchets de céramique était plus élevé parce que l' effet de céramique amélioré caractéristiques du sol, donc le déchets de céramique est contenir des minérales qui contribuer à élaver la résistance de sol et diminué le vide entre les grains solides.

Également à partir de la figure, on peut observer de la même manière pour le CBR et la densité qui ont confirmé les résultats de manière positive.

L'ajout de déchets de céramique et de ciment au sol donné un CBR et une densité plus élevés, peut-être que la combinaison céramique et ciment entraîne la réaction pouzzolanique.

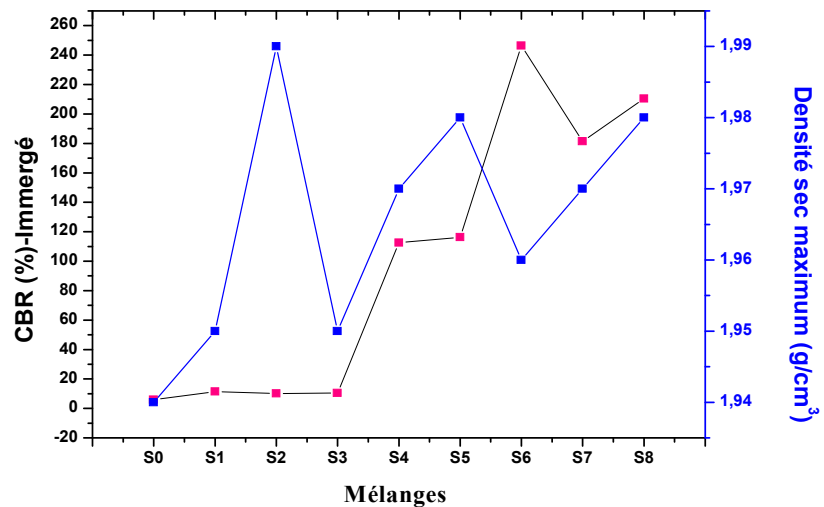


Figure IV.2. Corrélation entre CBR Immérgé et $\gamma_{d \max}$.

Chapitre IV : Etude de Corrélation

À partir de la Figure IV.2, nous pouvons voir que la condition d'immersion donne un CBR inférieur du sol naturel et plus élevé avec ciment lorsque le ciment liée les particules des sols devenir matrice solide.

D'après la Figure IV.1 et la Figure IV.2 On constate que les déchets céramiques et le ciment ont eu un effet positif sur le résultat CBR. Il y a une tendance générale à l'augmentation des valeurs CBR et γ_{dmax} avec l'augmentation de dosage de déchets de céramique et ciment, cette augmentation plus de 3% γ_{dmax} , car pas de temps pour la cimentation dans le test de compactage quel CBR augmente entre 35,91% et 42,41%

L'amélioration de la capacité portant des sols traités (CBR et γ_{dmax}) est justifiée. En réduisant le volume dans le sol grâce à une bonne répartition des particules de sol avec de fines particules à traiter.

Cabalar et al (2016) ont testé des portions de remplacement de 0%, 5%, 10%, 15%, 20% et 30% de l'agrégat de déchets céramiques pour trouver les densités et les valeurs CBR du sous-sol du revêtement routier. Ils découvrent que l'augmentation du déchets de céramique augmente les valeurs de CBR et de densité sèche. Electriwala et al (2013) ont étudié l'ajout de poussière de céramique dans la chaussée rigide qui a remplacé 10,%, 20% et 30% de poussière de céramique. Chen & Indusuyi (2015) ont mené des expériences sur le CBR, UCS et la houle libre de 0% à 30% de déchets de céramique incrément de 5% pour stabiliser le sous-niveau de la chaussée flexible, qui ont conclu que le CBR et UCS augmentaient avec une augmentation dans déchets de céramiques et diminuer la houle libre. Ils ont également signalé que l'augmentation du MDD et la diminution de la teneur en eau.[16] [17]

En comparant notre recherche à plusieurs types de recherche, nous pouvons conclure que notre travail allant dans le sens positif et le but de notre matériau peuvent être utilisés pour stabiliser la couche de base.

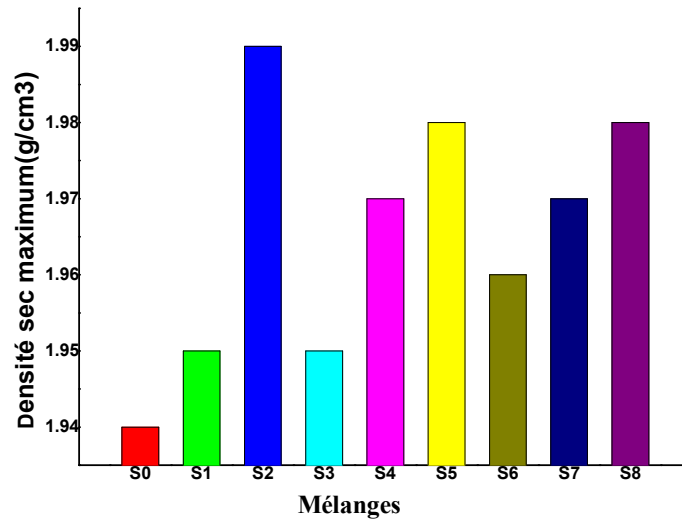


Figure IV.3. Variation de la masse volumique sèche en fonction d'additives .

D'après la Figure IV.3 On constate que le changement des additifs dans le sol entraîne un augmentation de la densité sèche maximal, ($\gamma_{d \max}$) de 1.94 à 1.99 (g/cm^3).

Pour le test de compactage, il est clair qu'il n'y a pas beaucoup de changements pour utilisons du ciment car le court temps de préparation des échantillons ne suffit pas pour la cimentation.

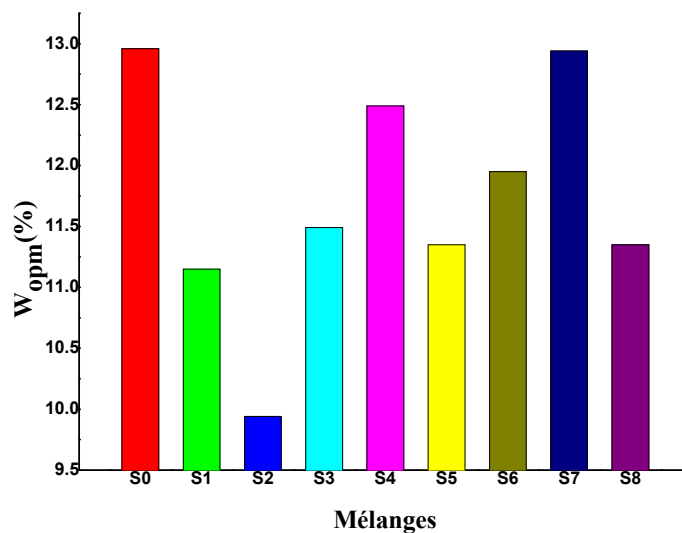


Figure IV.4. Variation de W_{OPM} (%) en fonction d'additives.

D'après la Figure IV.4 nous pouvons observer que le sol naturel a une teneur en eau plus élevée, mais en utilisant les déchets de céramique réduire teneur en eau, d'autre part

Chapitre IV : Etude de Corrélation

quant utilisant le ciment et la céramique ensemble tenue en eau augment, peut-être la finesse du ciment change les résultats de la teneur en eau.

Aussi on constate que le changement des additif dans le sol conduit a un diminution de la teneur en eau optimal de 12.96 a 11.15 cela est du aux bons résultats obtenus grâce aux additif au sol.

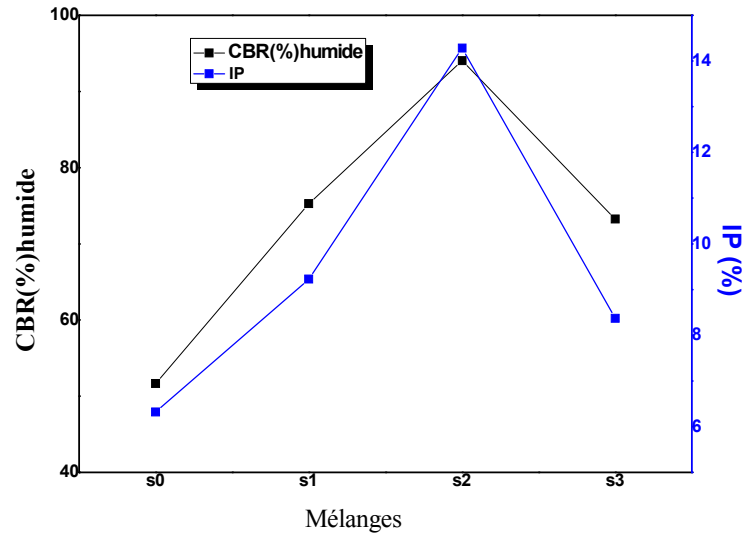


Figure IV.5. Corrélation entre CBR humide et indice de plasticité.

D'après la Figure IV.5. Corrélation entre CBR et IP allant de la même manière en augmentant jusqu'à 10% de déchets de céramique puis diminuant lorsque les déchets de céramique dépassent 10%.

Stabilisation normalement positive du sol diminue l'indice de plasticité IP mais dans notre cas IP des spécimens augmente avec l'augmentation des déchets de céramique jusqu'à 10% puis diminue peut-être la composition des minéraux dans la céramique.

On remarque que les deux courbes sont identiques (CBR et IP), il existe une augmentation est lui-même de pourcentage de (50 %) de valeur de CBR et 32% de valeur de IP, entre le sol non traitée et le sol traitée à addition de (10% de déchet céramique).

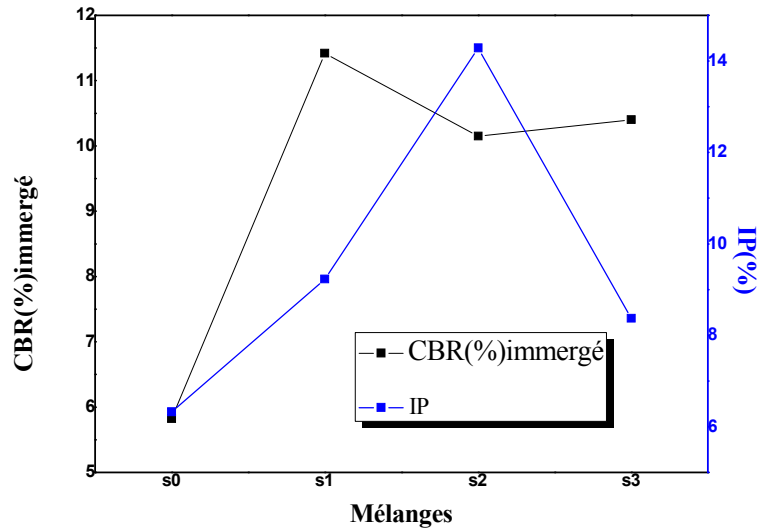


Figure IV.6. Corrélation entre CBR(%) Immergé et indice de plasticité.

De la même manière on peut observer à partir de la Figure IV. 6 que la corrélation entre CBR et IP va de la même manière en augmentant. On observe une augmentation de 45% de valeur de CBR au (5%céramiques) et augmentation de 54% de valeur de IP. Donc cette addition a sens positif jusqu'à le pourcentage de (15 %) il a changé à sens négatif.

Chapitre IV : Etude de Corrélation

Tableau. IV.2 : Résultat de CBR de sol traité avec ($\omega=11\%$, $\omega=15\%$, $\omega=17\%$ $\omega=19\%$)

Déplacement (mm)	Force (KN)			
	11%	15%	17%	19%
0	0	0	0	0
0.25	1	3	1.5	0.5
0.5	2	7	3	1
0.75	3	9	4.5	1
1	5	12.6	6	1
1.25	7	15	7.5	1.2
1.5	8.5	17.5	8.5	1.7
1.75	9.5	19	9.5	2.4
2	11	20.5	10	2.5
2.25	12	22	11	2.8
2.5	13	22.5	11.5	3
2.75	14	23.5	12	3
3	15	24.6	12.5	3.2
3.25	16	25	13	3.4
3.5	16.5	26	13.5	3.5
3.75	17	26.5	14	3.8
4	17.5	27	14	4
4.25	18	27.6	14.5	4
4.5	18.5	28	15	4.2
4.75	19	29	15	4.4
5	19.5	29.5	15.5	4.5
5.25	20	30	16	4.8
5.5	20.5	31	16.25	5
5.75	21	31.5	16.5	5
6	21.4	32	16.5	5
6.25	21.8	32.5	17	5.2
6.5	21	33	17	5.2
6.75	21.4	34	17.2	5.4
7	21.8	34.5	17.5	5.6
7.25	22.4	35	18	5.8
7.5	23.8	35.5	18	6

Chapitre IV : Etude de Corrélation

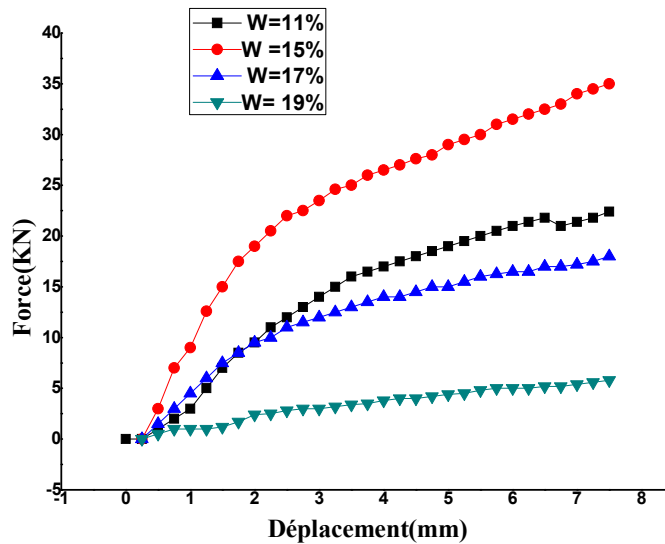


Figure IV.7. Variation de force (KN) en fonction de déplacement.

A partir de la Figure IV7, nous observons l'influence sur la capacité de charge du sol avec addition de teneur en eau. Dont la force augmente près de l'optimum, puis lorsque l'eau passe à l'optimum, la force commence à diminuer. Ce même phénomène se produit dans le site pendant la session d'hiver.

Aussi d'après la Figure IV.7 on remarque une bonne résistance de sol à teneur en eau égale 15 %, est une mauvaise valeur à teneur en eau de 19 % .nous avons également remarqué une convergence entre la force de (11 % et 17 %) de teneur en eau.

On peut en conclure que notre sol est sensible à l'eau qui a besoin d'améliorer ses caractéristiques.

Tableau. IV.3 Résulta de CBR en fonction de teneur en eau.

Mélange	CBR max(%)
S1($\omega=11\%$)	21,76
S2($\omega=15\%$)	37,48
S3($\omega=17\%$)	19,15
S4($\omega=19\%$)	4,46

Chapitre IV : Etude de Corrélation

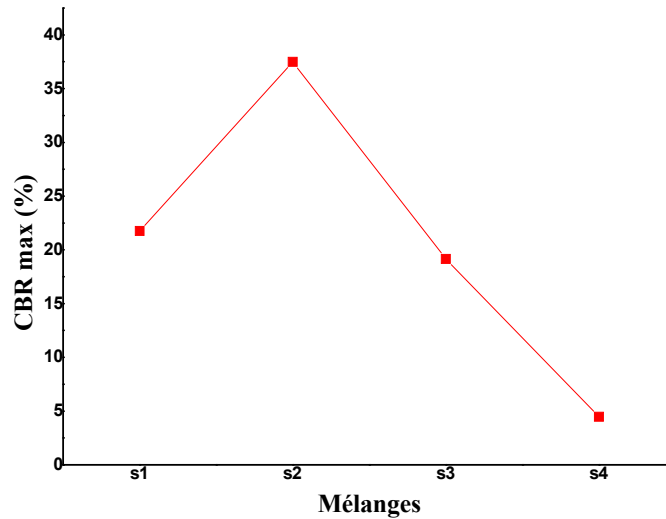


Figure IV.8. Variation de CBR en fonction d'additives.

Il ressort clairement de la Figure IV 8 que le CBR est plus élevé lorsque on utilise l'eau près de l'optimale, et diminue lorsque on passe cette valeur. Ce résultat peut conformer la situation de notre route en session d'hiver pluvieuse.

IV.3. Corrélation entre compaction et limites des mélanges:

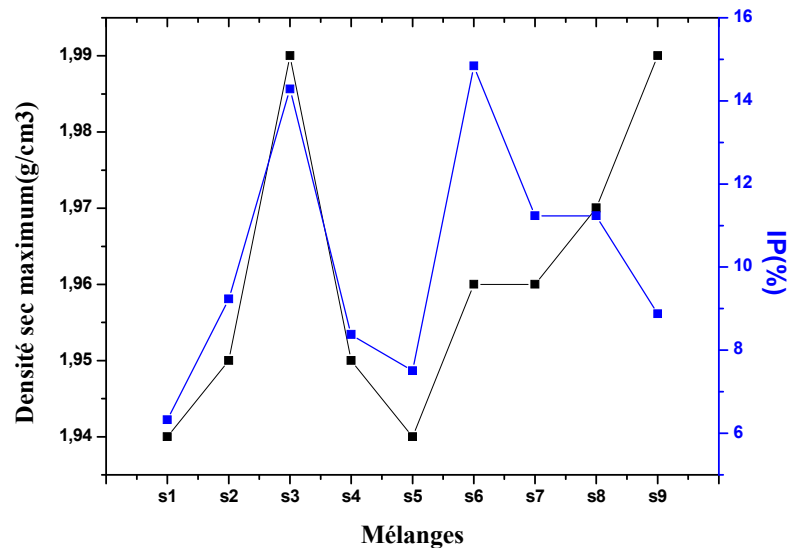


Figure IV.9. Corrélation entre la masse volumique sèche (γ_d) et Indice de plasticité (IP).

On peut observer à partir de la figure IV.9 la corrélation entre la densité sèche maximale et l'indice de plasticité, l'influence des déchets de céramique IP augmentée de plus une

Chapitre IV : Etude de Corrélation

densité sèche maximale augmentée, peut-être la matrice d'influence céramique sur les mélanges par cette augmentation de IP

Dans ce mélange de 10% céramiques, on remarque une augmentation de 2% dans la densité sèche et une augmentation de 54% de l'indice de plasticité IP.

Cependant, l'influence du marbre sur les mélanges a une autre manière par rapport aux déchets de céramique en diminuant UP et en augmentant le séchage maximum.

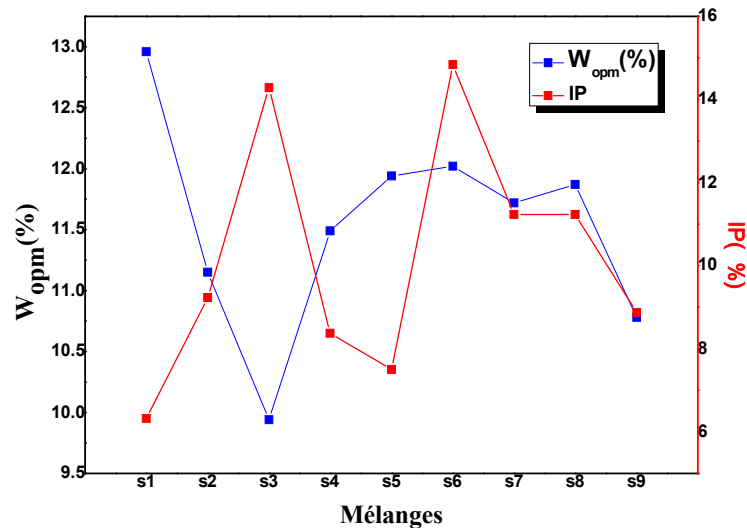


Figure IV.10. Corrélation entre $\omega_{OPM} (%)$ et Indice de plasticité (IP).

À partir de la figure IV .9, les deux lignes s'inversent lorsque la teneur en humidité optimale augmente l'indice de plasticité diminue, seulement pour les spécimens de marbre la diminution de IP avec la diminution de ω_{OPM}

Ce l'est dû à sa contribution à l'assèchement de sol et minimisation de vide entre les grains solides.

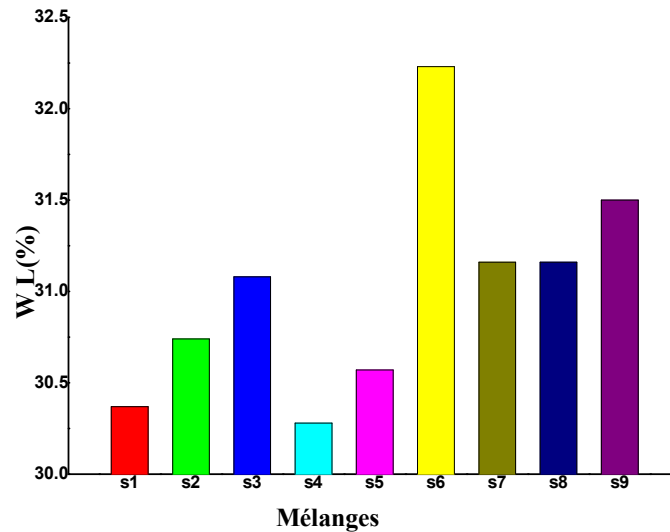


Figure IV.11. Variation de liquide limite (WL) en fonction d'additives.

Qui augmentent de déchets céramique et le marbre à quantité moyenne (par exemple 15% céramique ou 6 % marbre) il en diminution de limite de liquidité, les valeurs les plus élevées de WL en mélange 15% de déchets de céramique et 4% de ciment avec de la terre, aller vers une voie positive de stabilisation du sol utilisant pour la couche de base d'un route.

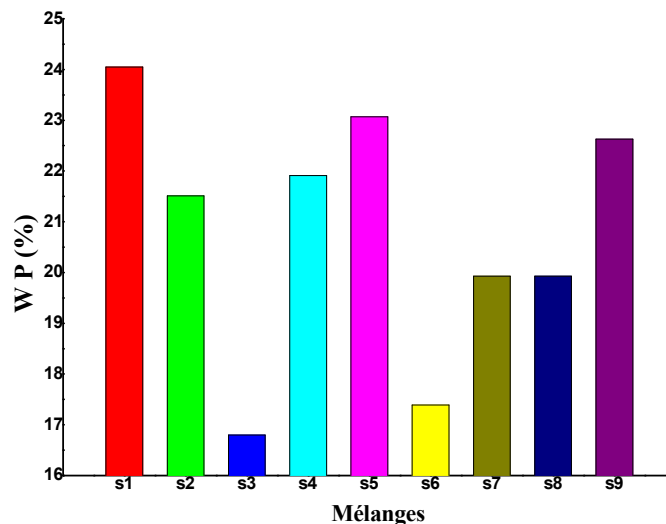


Figure IV.12. Variation de limite de plasticité (WP) en fonction d'additives.

Chapitre IV : Etude de Corrélation

Afin d'augmenter la résistance de sol, nous avons ajouté les déchets de céramiques et de marbres, et sur ça nous avons remarqué une diminution de 30% la valeur de limite de plasticité.

IV.4.Conclusion :

La stabilisation du sol avec déchet de céramique et de marbre et le ciment amélioré les propriétés mécanique et physique de sol, augment la capacité portant des sols, diminuer la perméabilité, et influe sur les paramètres de la consolidation par réduire le tassement. Utilisation de ciment avec diffèrent dosage des additives améliore caractéristique du sol par réduire les vide et échange du squelette granulaire du sol traité. Utilisation déchets de céramique et de marbre donnée bonne résultat pour tous les essais à l'état humide. Cependant la corrélation entre la plupart des tests trouvés de manière positive qui a confirmé les résultats des différents tests.

Chapitre V

Conclusion Générale

Chapitre V : Conclusion Générale

V.1 Conclusion générale :

La couche de base d'une route peut jouer un rôle structurel, on a donc intérêt à privilégier ses performances par la technique de traitement des sols. Les travaux des couches de formes représentent une part importante du coût global de réalisation des projets routiers. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts, et protégé l'environnement.

Notre étude expérimentale a été consacrée à l'effet du déchets de céramique, marbre plus un liant hydraulique (ciment) sur le comportement mécanique de la couche de base d'une route de Tixter (BBA- Algérie). Les paramètres qui intervient dans cette étude sont les teneurs en ajouts au sol pour voir leur effet sur la stabilité de la couche de base.

L'étude nous permet de corréler entre les essais :

- Corrélation entre CBR(%) Humide et $\gamma_{d \max}$
- Corrélation entre CBR Immergé et $\gamma_{d \max}$
- Corrélation entre CBR humide et indice de plasticité.
- Corrélation entre ω_{OPM} (%) et Indice de plasticité (**IP**).
- Corrélation entre la masse volumique sèche (γ_d) et Indice de plasticité (**IP**).

L'effet de déchets de céramique remplit les vides du sol et l'ajout du ciment augmente l'adhérence entre les particules de déchets de céramique et le sol, ce qui augmente sa résistance en fonction de temps.

L'addition des déchets céramiques et le liant hydraulique (ciment) permet de développer une couche de route de spécifications durables et de bonnes propriétés mécaniques pour l'aider à tenir longtemps sans déformations et glissements. Grâce au traitement du sol avec les déchets de céramique, ce sol devient apte à la réalisation de couches de forme d'une route pour éviter la déformation et tassements de ce sol, traitement de sol avec les différents ajouts utilisés dans notre étude (déchets de céramique, déchets de marbre et ciment) est une technique qui offre trois types d'avantages : techniques, économiques, écologiques et environnementaux.

- Avantages techniques : performante, durable, sûre et codifiée ;
- Avantages économiques : le plus souvent moins chère que les techniques traditionnelles ;
- Avantages environnementaux : limiter les quantités de déchets de la céramique, marbre ajoutés chaque année, et protéger l'espace de la pollution qui influe sur la santé des habitants.

Chapitre V : Conclusion Générale

Enfin, nous pouvons dire que cette étude devrait être d'un grand intérêt, et un développement permanent dans le domaine de la construction routière, pour une utilisation future.

Perspectives:

- Evaluer la teneur en eau en contrôler les résultats des essais mécanique et physique.
- Etude de la durabilité du sol traitée.
- Comparaison des résultats trouvés en utilisant d'autres additifs.
- Etude de la réalisation de la technique sur site.

Références Bibliographiques

- [1]. Organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture, Routes dans les pays en voie de développement. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001856/>.
- [2]. Etude de dédoublement d'un tracé routier de 6km sur la RN46 de PK194+000 au PK200+000 (wilaya de Biskra) (Kouadria- Yassin, 2019).
- [3]. Étude expérimentale sur la formulation de sols-ciment en contexte québécois. (Branier Racine Marc-Antoine, 2018).
- [4]. (Benzartiha Ilyas, Gouichiche Youcef, 2018). « Amélioration de la stabilité du sol dans les projets de construction routière par les déchets de céramique et les liants hydrauliques ». Mémoire de Master. Université de BBA. 2017. 2018
- [5]. [Fr.m.wikipedia.org.com](http://fr.m.wikipedia.org.com)
- [6]. www.vaderstad.com
- [7]. <http://www.marbrerie.com/Sff-marb.htm.com>
- [8]. www.lafarge.dz.com
- [9]. www.wikiterritorial.cnfpt.fr
- [10] M. Bouassida, (2011) Amélioration des sols en place. « Introduction à la géotechnique ». Université Tunis El Manar. 2010. 2011
- [11]. Dr Hocine ZIANI (2019/2020) Module : Amélioration des Sols. Université de BBA.
- [12]. (Douakha Haroun, Mohamedatni Hamza, 2018). « Amélioration des sols ». Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 de Guelma.
- [13]. Mellal Fatima, (2008/2009), « Étude du comportement physico-chimique et mécanique d'un remblai routier marneux amélioré par la chaux éteinte Cas de l'autoroute Est-Ouest tronçon Oued Fodda / Khemis Miliana ». Mémoire de Magister. Université Hassiba Ben-Bouali – Chlef.
- [14]. Rouabhia El Houssayne, Zedadra Hanane (2017), « Amélioration des sols ». Mémoire de Master. Université 08 Mai 1945 de Guelma
- [15]. Bensalem Ahmed, (2010) « Caractérisation Et Exploitation De L'argile De BENAZZOUZ Dans La Construction Routière ». Mémoire Magister, Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [16]. (Calabar A.F, Hassan D.I, Abdulnafaa. MD (2016) Use of waste of ceramic tile for road pavement subgrade. Road Mate & Pavem Desig. Doi. 10.1080/14680629.2016.1194884.
- [17]. (Electricwala.F, Ankit.J, Rakesh.K. (2013) Ceramic dust as construction material in rigid pavement. A.J.C.Eng & Archi. 5.112-116.