

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département Génie Civil*

# **Mémoire**

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**FILIERE : Génie Civil**

**Spécialité : Matériaux en génie civil**

**Par**

- **FERRAH FARID**
- **CHERGUI FARES**

*Intitulé*

**Effet des déchets de céramique et la chaux dans la couche de  
forme d'une chaussée.**

*Soutenu le : 23/06/2022*

*Devant le Jury composé de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.Messaoudane Ibrahim</i>	<i>prof</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.Sadek Deboucha</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.Loumachi Lazhar</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.Tabet Souad</i>	<i>MAA</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2021/2022*

# Remerciement

La présentation de ce modeste travail nous offre l'occasion d'exprimer notre profonde gratitude à Monsieur : **Dr DEBOUCHA SADEK**, qui a bien voulu diriger ce travail pendant toute la durée de l'expérimentation et la mise en forme du document final. Ses nombreux conseils ne nous ont jamais fait défaut. nous sommes heureux de lui exprimer ici nos respectueuses reconnaissances.

nous tenant aussi à exprimer nos remerciements aux membres de jury, qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Notre gratitude va également au chef de département pour ses encouragements et son assistance et aux membres du staff administratif du Département de Génie Civil de l'université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi ainsi qu'aux enseignants du master.

Tous nos camarades de promotion de la filière génie civil option matériaux pour leur esprit d'équipe et pour les débats chaleureux que nous avons eu à mener tous ensemble tout long de ces études.

Nous tenons à adresser nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

A toutes ces personnes qui ont toujours été présentes dans notre vie.

# Dédicace

Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU**, De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail :

A ma tendre **mère** et hommage à mon très cher **père « Abache Houria et Bachir Ferrah »**

Je dédie ce travail à ma **femme**, à mon **frère** et mes chères **sœurs**, qui ont toujours fait confiance durant tout notre parcours d'études.

A mon binôme : **Fares Chergui**.

A tous nos chers amis qui nous ont aidés à la réussite de ce travail.

A tous les membres de laboratoire des travaux publics de LTPE/EST et LNHC.

**Farid Ferrah**

Tout d'abord, je tiens à remercier **DIEU**, De m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier cet humble travail à :

A Mes grands-parents **Chergui Belkacem** et **Baatouche Messaoud**

A mes chers parents, qui sont toujours derrière nous pour nous encourager et nous pousser vers la réussite.

Je dédie ce travail à ma **femme** et mon fils **AYHEM**, à mes frères et mes chères sœurs, qui ont toujours fait confiance durant tout notre parcours d'études.

A mon binôme : **Farid Ferrah**

A tous nos chers amis qui nous ont aidés à la réussite de ce travail :

Khalkhal Fares, Reggoub layachi, Messaoud et Azzedine Guatouche, Hocine ziyed.

A tous les membres de laboratoire des travaux publics de LTPE/EST et LNHC

**Chergui Fares**

## Résumé

Le traitement à la chaux est une technique bien connue pour améliorer les propriétés mécaniques et physiques des sols en génie civil (construction routière, ferroviaire et aéroportuaire). Par ailleurs, la réutilisation des déchets céramiques représente la nouveauté la plus intéressante en termes de réduction de la pollution atmosphérique.

Une étude expérimentale sur le sol avec des déchets de céramique et de traitement à la chaux de la couche de fondation d'une chaussée a été étudiée dans ce travail à travers une série d'essais tels que des essais de compactage et des essais CBR. L'objectif est d'évaluer l'efficacité de la méthode de traitement à la chaux des sols avec des déchets de céramique, ainsi que de déterminer la quantité optimale de déchets de céramique et de chaux pour une conception pratique. Les résultats ont montré que le CBR a augmenté d'environ 266 %. On peut en conclure que l'ajout de déchets céramiques et d'une quantité de 4 à 8 % de chaux au sol est approprié pour stabiliser le sous-sol de la construction routière.

**Mots-clés :** Déchets de céramique, chaux, améliorations des sols, couche de forme, construction de routes.

## Abstract

Lime treatment is a well-known technique for improving the mechanical and physical properties of soils in civil engineering (road, rail and airport construction). Furthermore, the reuse of ceramic waste represents the most interesting news in terms of reducing atmospheric pollution. An experimental study on the soil with waste of ceramic and lime treatment of the subgrade layer of a pavement was investigate in this work through a series of tests such as compaction tests and CBR tests. The goal of evaluating the effectiveness of the method of lime treatment of soil with ceramic waste, as well as determining the optimal amount of waste of ceramic and lime for practical design.

The results showed that the CBR increased by approximately 266%. It can be conclude that adding ceramic waste and a 4-8% amount of lime to the soil is suitable for stabilizing the subgrade of road construction.

**Keywords :** Ceramic waste, lime, soil improvements, subgrade layer, road construction.

## ملخص

معالجة الجير هي تقنية معروفة لتحسين الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للتربة في الهندسة المدنية (بناء الطرق والسكك الحديدية والمطارات) علاوة على ذلك تمثل إعادة استخدام نفايات السيراميك أكثر حداثة اثاره للاهتمام م حيث الحد من تلوث الغلاف الجوي.

تمت دراسة تجريبية على التربة بمخلفات السيراميك ومعالجة الجير لطبقة الاساس الفرعية للرصيف في هذا العمل من خلال سلسلة من الاختبارات مثل اختبارات الدمك (Proctor)، واختبارات، CBR. الهدف هو تقييم فعالية طريقة معالجة التربة بالجير وبمخلفات السيراميك وكذلك تحديد الكمية المثلى من نفايات السيراميك والجير للتصميم العملي. وأظهرت النتائج ان نسب زيادة اختبار CBR بنحو 266 %. يمكن الاستنتاج ان إضافة مخلفات السيراميك وكمية من 4%-8% من الجير الي التربة مناسبة لتثبيت التربة الجوفية لبناء الطرق.

**الكلمات المفتاحية:** مخلفات السيراميك، الجير، تحسين التربة، التربة السفلية، شق الطرق.

## Sommaire

### Chapitre 1 : Introduction Générale

1.1. Introduction générale .....	01
1.2. Problématiques.....	01
1.3. objectif.....	02
1.4. Structure de mémoire.....	03

### Chapitre 2 : Etude Bibliographique

2.1. Introduction.....	04
2.2. Généralité .....	04
2.3. Structure des sols.....	05
2.4. Les types de sol.....	05
2.5. Définition des sols évolutifs.....	05
2.5.1. les Argiles.....	05
2.5.2. Les limons.....	06
2.5.3. Les marnes.....	06
2.6. Caractéristique générale des chaussées.....	07
2.6.1. Structures de chaussées.....	07
2.6.2. Les différentes structures de chaussées.....	08
2.7. Techniques de stabilisation du sol .....	09
2.7.1. Stabilisation mécanique.....	09
2.7.2. Stabilisation thermique.....	10
2.7.3. Stabilisation chimique.....	10
2.8. Céramique.....	10
2.8.1. Généralités.....	10
2.8.2. Définition.....	11
2.8.3. Différents types des déchets.....	11
2.8.4. Origine de la production de déchets.....	11
2.8.5. Déchet de céramique et de faïence.....	12

2.9. Les liants hydrauliques (ciment et la chaux) .....	12
2.9.1. Utilisés des liants hydrauliques.....	13
2.9.2. De la chaux et du ciment pour augmenter la stabilité du sol .....	13
2.9.3. Le ciment.....	13
2.9.4. La stabilisation du sol avec du ciment.....	14
2.9.5. La Chaux .....	14
2.9.6. La stabilisation du sol avec de la chaux.....	15
2.10. Différents cas d'application .....	15
2.10.1. amélioration et consolidation des sols .....	15
2.10.2. Les Avantages de la stabilisation des sols .....	15
2.11. Les étapes de traitement (traiter le sol en place).....	16
2.11.1. Amélioration/Modification .....	16
2.11.2. Stabilisation .....	16
2.11.3. Épandage du liant .....	16
2.11.4. Malaxage.....	17
2.11.5. Réglage .....	18
2.11.6. Compactage final .....	18
2.11.7. Protection de surface.....	18
2.12. Interaction Liant – Matériau.....	19
2.13. CBR dans le sol stabilisent avec déchet de céramique.....	19
2.14. CBR dans le sol stabilisent avec déchet de céramique et ciment.....	20
2.15. CBR dans le sol stabilisent avec déchet de céramique et la chaux.....	20
2.16. CBR dans le sol stabilisent avec déchet plastique et ciment.....	21
2.17. CBR dans le sol stabilisent avec déchet plastique et la chaux.....	22
2.18. Conclusion .....	22
<b><u>Chapitre 3 : Méthodologie de l'ensemble des essais</u></b>	
3.1. Introduction.....	23
3.2. Matériaux utilisés.....	23
3.2.1. Le Sol étudié.....	23

3.2.2. Céramique.....	24
3.2.3. La chaux.....	24
3.2.4. Ciment.....	24
3.3. Essai d'Analyse Granulométrique.....	25
3.3.1. Généralité.....	25
3.3.2. Objectif.....	25
3.3.3. Principe de l'essai.....	25
3.3.4. But de l'essai.....	26
3.3.5. Appareillage.....	26
3.7.6. Mode opératoire.....	26
3.4. Essai Limites d'Atterberg.....	27
3.4.1. Généralités.....	27
3.4.2. Définition.....	27
3.4.3. But de l'essai.....	27
3.4.4. Principe de l'essai .....	28
3.4.5. Appareillage.....	28
3.4.6. Pour la préparation du sol.....	28
3.5. Essai Proctor Modifié (NF P 94-093) .....	28
3.5.1. Définition du compactage .....	28
3.5.2. L'objectif de l'essai .....	29
3.5.3. Principe de la méthode.....	29
3.5.4. Appareillage nécessaire.....	29
3.5.5. Mode opératoire.....	30
3.6. Essais CBR (California Bearing Ratio).....	31
3.6.1. Définition.....	31
3.6.2. But de l'essai.....	32
3.6.3. Principe de l'essai.....	32

3.6.4. Préparation des échantillons.....	33
3.6.5. Appareillage nécessaire.....	33
3.6.6. Trois types d'indices CBR sont à distinguer.....	34
3.6.7. Mode opératoire.....	35
3.6.8. L'indice CBR (I.CBR).....	36
3.7. Conclusion.....	37
<b>Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations</b>	
4.1. Introduction.....	38
4.2. Constitution des Mélanges.....	38
4.3. Essais Analyse Granulométrique.....	39
4.4. Essais Limite Atterberg.....	39
4.5. Essais Proctor Modifier.....	40
4.5.1. Mélange (S0, S1, S2 et S3).....	40
4.5.2. Mélange (S0, S4, S5 et S6).....	41
4.5.1. Mélange (S0, S7, et S8).....	42
4.6. Essais CBR (California Bearing Ratio).....	43
4.6.1. Mélange (S0, S9, et S10) (Humide).....	43
4.6.2. Mélange (S0, S1, S2 et S3) (Humide) à 1 jour.....	44
4.6.3. Mélange (S0, S1, S2 et S3) (Immergé) à 1 jour.....	44
4.6.4. Mélange (S0, S1, S2 et S3) (Humide et Immergé) .....	45
4.6.5. Mélange (S0, S5, et S6) (Humide) à 28 jours.....	45
4.6.6. Mélange (S0, S4, S5 et S6) à l'état Immergé à 28 jours.....	46
4.6.7. Mélange (S0, S4, S5 et S6) à l'état Humide Immergé.....	46
4.6.8. Mélange (S0, S7, et S8) à l'état Humide.....	47
5. Résilient Module.....	48
5.1. à l'état Humide.....	48
5.2. à l'état Immergé.....	49
6. Conclusion.....	50
7. Conclusion générale .....	51

## Liste de figures

### Chapitre 2 :

<b>Figure 2.1</b> : les trois phases du sol.....	04
<b>Figure 2.2</b> : type des sols (Argileux, limoneux, sableux ou calcaire) .....	07
<b>Figure 2.3</b> : Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches.....	08
<b>Figure 2.4</b> : Compactage partiel.....	09
<b>Figure 2.5</b> : l'humidification.....	09
<b>Figure 2.6</b> : Drainage routiers.....	09
<b>Figure 2.7</b> : Ajout ou additifs ciment et de la chaux.....	10
<b>Figure 2.8</b> : Utilisation de la céramique.....	11
<b>Figure 2.9</b> : Déchet de céramiques et de faïence.....	12
<b>Figure 2.10</b> : liant hydraulique (ciment et la chaux) .....	13
<b>Figure 2.11</b> : Epanchage du liant.....	17
<b>Figure 2.12</b> : malaxage de liant.....	17
<b>Figure 2.13</b> : Compactage final.....	18
<b>Figure 2.14</b> : Protection de surface.....	19
<b>Figure 2.15</b> : Résultat essai CBR (sol + céramique).....	19
<b>Figure 2.16</b> : Résultat essai CBR (déférénte pourcentage du déchet de céramique et ciment) .....	20
<b>Figure 2.17</b> : Résultat essai CBR pour les mélanges à l'état humide et immergé sur CBR au 28 jours.....	20
<b>Figure 2.18</b> : Combinaison de l'effet des ajouts de plastique PET et PT et ciment sur S0 à l'état humide et immergé à 28 jours.....	21
<b>Figure 2.19</b> : Combinaison de l'effet des ajouts de plastique PT et la chaux à l'état humide et immergé à 28 jours.....	22
<b><u>Chapitre 3 :</u></b>	
<b>Figure 3.1</b> : Zone de prélèvement de sol.....	23
<b>Figure 3.2</b> : Photo du sol utilisé.....	23
<b>Figure 3.3</b> : Concassage de céramique utilisé.....	24
<b>Figure 3.4</b> : La chaux.....	24
<b>Figure 3.5</b> : le Ciment.....	25
<b>Figure 3.6</b> : Appareillage – essai granulométrique.....	26
<b>Figure 3.7</b> : Symbole des limites 'Atterberg.....	27
<b>Figure 3.8</b> : Appareillage de caussenarde.....	28
<b>Figure 3.9</b> : Appareillage – essai Proctor .....	30
<b>Figure 3.10</b> : Déroulement de l'essai –Proctor.....	31
<b>Figure 3.11</b> : Appareiller de l'essai C BR.....	32
<b>Figure 3.12</b> : CBR immédiat.....	34
<b>Figure 3.13</b> : CBR du sol traité en liant hydraulique après plusieurs jours.....	35
<b>Figure 3.14</b> : CBR après immersion.....	35
<b><u>Chapitre 4 :</u></b>	
<b>Figure 4.1</b> : Distribution granulométrique des sols et des déchets céramique.....	39
<b>Figure 4.2</b> . Compactage Courbe de sol avec 20% déchet de céramique (humide).....	40

<b>Figure 4. 3 :</b> Compactage Courbe de sol avec 25% déchet de céramique.....	41
<b>Figure 4. 4 :</b> Compactage Courbe de sol avec (15 % et 20%), déchet de céramique.....	42
<b>Figure 4. 5 :</b> Influence de déchet de céramique et la chaux dans le compactage du sol avec 20-25% déchets de céramique et 4% , 8% de chaux.....	43
<b>Figure 4. 6 :</b> Effet de 20% et 25% de déchet de céramique on CBR .....	43
<b>Figure 4. 7 :</b> Effet de 20% déchet de céramique, avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR (Immergé).....	44
<b>Figure 4. 8 :</b> Effet de 20% de déchet de céramique avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR à (immergé).....	44
<b>Figure 4. 9 :</b> Effet de 20% déchet de céramique avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR (Humide et immergé) (7J).....	45
<b>Figure 4. 10 :</b> Effet de 25% déchet de céramique avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR (Humide).....	45
<b>Figure 4. 11 :</b> Effet de 25% déchet de céramique avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR (Immergé).....	46
<b>Figure 4. 12 :</b> Effet de 25% déchet de céramique avec 4% et 6% et 8% chaux on CBR (Humide et Immergé).....	46
<b>Figure 4. 13 :</b> Effet de (15% et 20% déchets de céramique avec 2% ciment et 2% chaux on CBR (Humide).....	47
<b>Figure 4. 14 :</b> Résilient module en fonction de mélange à l'état Humide(Référence1).	48
<b>Figure 4. 15 :</b> Résilient module en fonction de mélange à l'état Humide (Référence2)	48
<b>Figure 4. 16 :</b> Résilient module en fonction de mélange à l'état immergé(Référence1)	49
<b>Figure 4. 17 :</b> Résilient module en fonction de mélange à l'état immergé(Référence2)	49

### **LISTE DES TABLEAUX :**

<b>Chapitre 2 : Tableau 1</b> L'échelle granulométrique.....	05
<b>Chapitre 3 : Tableau 2.</b> La classe de portance.....	36
<b>Chapitre 4 : Tableau .3.</b> Désignation des mélanges.....	38
<b>Chapitre 4 :Tableau.4.</b> Limite Atterberg préparation.....	39
<b>Chapitre 4 :Tableau.5.</b> Analyse limite de plasticité.....	40
<b>Chapitre 4 :Tableau.6.</b> Analyse limite de liquidité.....	40

# Chapitre 1 : Introduction Générale

## 1.1. Introduction Générale :

La quantité de déchets augmente dans le monde au fil du temps, ce qui a un impact sur l'environnement, ces déchets dangereux pour la vie des organismes vivants de notre monde, nous avons utilisé des déchets céramiques et des liants hydrauliques, tels que la chaux et le ciment pour une utilisation dans le corps de la chaussée. La couche de forme qui se situe entre la partie supérieure du terrassement et la couche de base, elle permet notamment d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux qui constituent (en remblai ou dans le sol en place) les contraintes mécaniques et physiques caractéristiques, prises comme hypothèses dans la conception de la structure de la chaussée.

Le contrôle des matériaux inutilisés est l'un des sujets les plus épineux auxquels sont confrontées de nombreuses républiques. Matériaux recyclés sont les stabilisateurs les plus récents et les plus futurs pour de nombreux types de sols dans le monde, que le gouvernement algérien soutient les recherches développent et analysent les caractéristiques de nouveaux matériaux utilisés des déchets industriels recyclés.

Ce travail présente l'addition de divers additifs au sol comme un déchet de céramique, de chaux et ciment, les déchets de céramique, chaux et le ciment pour l'amélioration de sa densité et de ses valeurs CBR. Cible principale de cela recherche consiste à examiner la quantité maximale d'additifs du sol de couche de forme.

La couche de forme est de structure plus ou moins complexe suivant la qualité du sol devant recevoir la chaussée elle va jouer le rôle de plate-forme pour que les couches suivantes soient parfaitement la résistante et assurer également un rôle de transition avec le sol support.

## 1.2.Problématique:

Les problèmes de la chaussée ou défauts de voirie désignent l'ensemble des problèmes liés aux anomalies de la route, Les principaux problèmes visibles sont des déformation , affaissement de rives, l'orniérage, déchirement longitudinal, gonflement, à cause du sols qui ont une faible résistance et une grande compressibilité avec un état d'immersion, L'entretien des chaussées a un coût financier considérable pour l'ensemble des collectivités territoriales, ces problèmes sont responsables chaque année d'accident et endommage les véhicules qui coûtent cher.

Notre travail a pour l'objet d'améliorer des propriétés physique et mécanique du sol en modifiant les sols par des déchets de céramiques, et liant hydraulique de la chaux et le ciment.

# Chapitre 1 : Introduction Générale

## 1.3.Objectifs:

La conception d'une plate-forme support d'une chaussée ont pour vocation de supporter toutes les sollicitations résultant du trafic, car elles sont conçues pour pouvoir supporter le poids sur les couches de sol, qui sont le véritable socle de la route sans causant des problèmes tels qu'un affaissement ou un effondrement de la route.

Les paramètres qui entrent en ligne de compte pour sa conception sont :

- ✓ Élévation de la capacité portante du sol, la rigidité, imperméabilité, homogénéité, durabilité, prédiction de la résistance fonction du type de sol, par introduisant des déchets de céramique et les liants hydrauliques comme la chaux pour stabilisation du sol.
- ✓ la nature et l'état des matériaux envisageables pour réaliser la couche de forme.
- ✓ Réduire les coûts par l'utilisation des déchets et minimiser la maintenance de route.

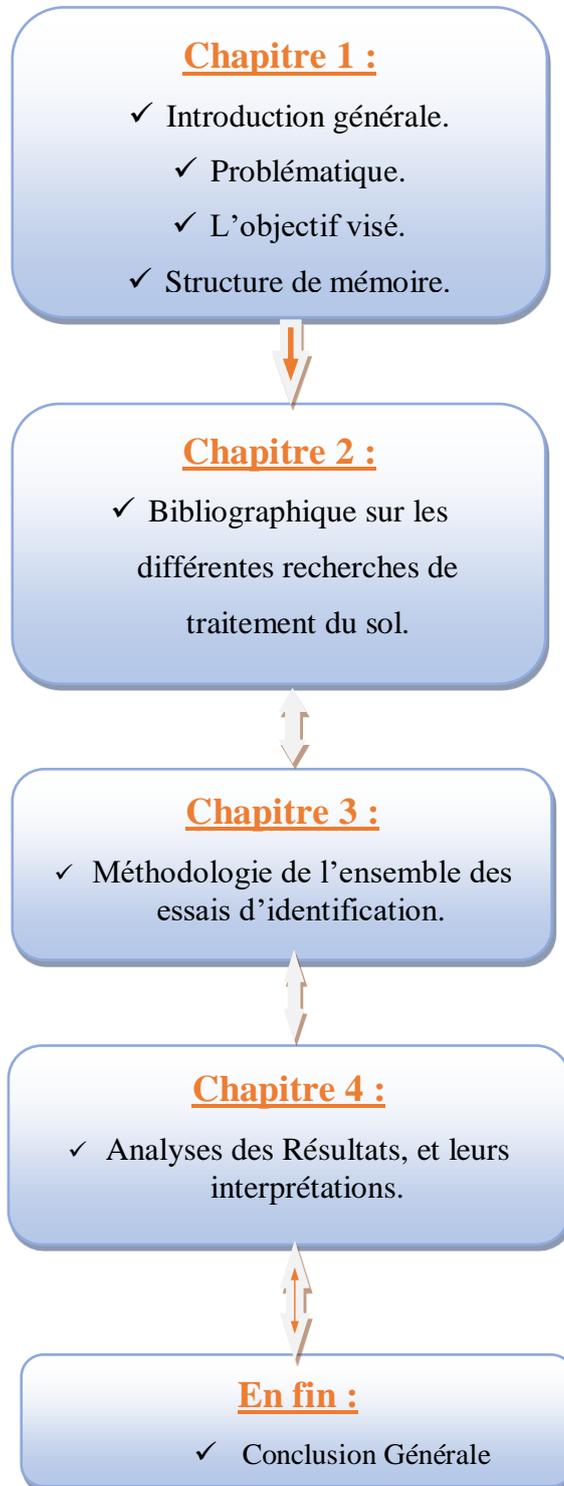
Réduire les risques de déchets pour l'environnement en éliminant le CO<sub>2</sub> dans

L'atmosphère

# Chapitre 1 : Introduction Générale

## 1.4. Structure de mémoire :

Au cours de ce mémoire, nous avons organisé en quatre (04) chapitres.



## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2-1 Introduction:

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospector et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil.

Le traitement des sols est souvent opéré pour augmenter leur résistance, pour réduire ou augmenter leur perméabilité ainsi que pour diminuer leur compressibilité. Il est, aussi utilisé pour minimiser la sensibilité du sol aux variations de la teneur en eau comme dans le cas des sols expansifs.

### 2.2.Généralité sur sol:

Les couches de sol différentes et hétérogènes sont constituées de composants organiques, minéraux et gazeux, d'eau et d'ions qui rendent les propriétés du sol très complexes, prenons par exemple, trois phase des sols solide, liquide et gazeux.

L'objectif principal est de prélever plusieurs échantillons de sol, facteur important de perméabilité à tester et analyser en laboratoire pour la réussite d'une étude géotechnique.

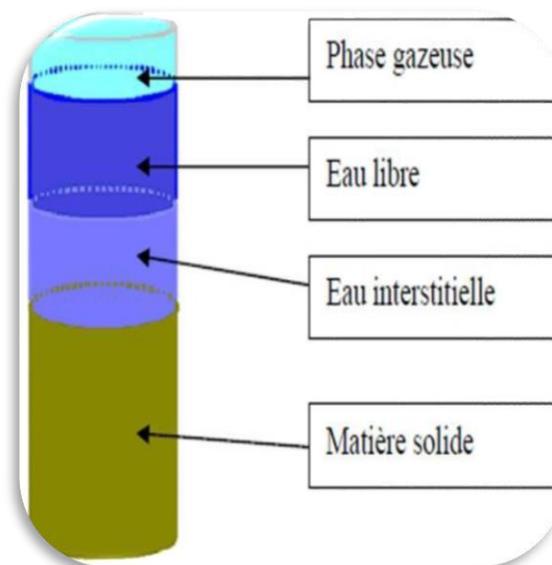


Figure 2.1 : les trois phases du sol.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

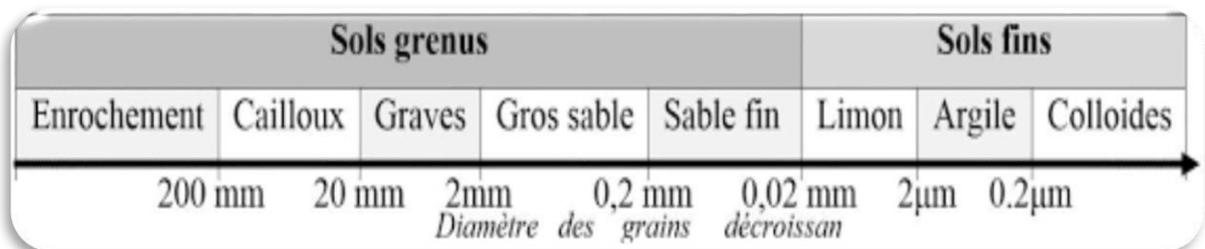
### 2.3. Structure des sols:

La structure primaire du sol est la disposition spatiale de ces composants, déterminée par la forme de l'agrégat, par opposition aux structures principales du sol, constitué de particules, uniformes ou variées allant des cailloux, et s'étendant jusqu'aux particules fines de moins du micron. Autre que la grosseur des grains, les particules possèdent d'autres caractéristiques telles que forme, texture et structure élémentaire, appelé activité biologique.

### 2.4. Les types de sol:

Les sols argileux forment une boule que l'on tient dans la main tandis que les sols sableux glissent entre les doigts. La texture du sol affecte directement sa structure, sa teneur en éléments nutritifs, son humidité et sa capacité à drainer l'eau. Les sols varient en texture et en structure. La texture du sol dépend de la taille des particules qui le composent. Afin de déterminer la texture du sol, on peut simplement procéder à un test au toucher ou un test à la jarre d'eau. On peut regrouper les sols en quatre grands types :

- Sol sableux.
- Sol limoneux.
- Sol argileux.
- Sol humifère. **Tableau 1** : L'échelle granulométrique.



### 2.5. Définition des sols évolutifs:

On peut définir un matériau évolutif comme un matériau dont les propriétés physiques et mécaniques évoluent dans le temps. Les sols qui ont un caractère évolutif sont les sols fins (limons, argiles, marne) qui peuvent créer dans les ouvrages, des tassements, gonflements et glissements pendant leur durée de vie.

#### 2.5.1. Les argiles:

L'argile est une matière rocheuse naturelle à base de silicates ou d'aluminosilicates hydratés de structure lamellaire, provenant en général de l'altération de silicates à charpente tridimensionnelle, tels que les feldspaths. Elle peut être une matière localement abondante,

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

très diverse, traitée ou raffinée avant emploi, à la fois meuble ou plastique (souvent après addition d'eau) ou à pouvoir desséchant, absorbant ou dégraissant, voire à propriétés collantes ou encore réfractaires, pour servir par exemple autrefois selon des usages spécifiques, souvent anciens, au potier et au briquetier, au maçon et au peintre, au teinturier et au drapier, au verrier et à l'ouvrier céramiste.

### 2.5.2. Les limon:

En géologie et en pédologie, un limon est une formation sédimentaire dont les grains sont de taille intermédiaire entre les argiles et les sables c'est-à-dire entre 2 et 63 micromètres (les limites précises peuvent varier quelque peu suivant les laboratoires). Un dépôt majoritairement limoneux peut être qualifié de limon. En géologie, on utilise souvent l'anglicisme silt pour désigner les limons.

Le limon est l'ultime produit de l'érosion fluviale des roches du bassin versant des rivières. Les particules limoneuses sont ainsi constituées de débris très fins de quartz, de mica et de feldspath, voire de minéraux argileux.

Les limons caractérisent les dépôts éoliens de lœss, aussi nommés « limon des plateaux », et sont fréquents dans des dépôts alluviaux. Dans ce dernier cas, les particules limoneuses libèrent des éléments nutritifs qui ont un intérêt majeur pour le renouvellement de la fertilité des sols et donc pour leur exploitation agricole.

Les limons étant souvent en suspension dans l'eau, ils peuvent contribuer à sa turbidité.

### 2.5.3. Les marnes:

La marne est une roche sédimentaire, mélange de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 % (autre notation :  $(50 \pm 15) \%$ ). Au-delà de 65 % de calcaire, il s'agit d'un calcaire argileux, tandis qu'en deçà de 35 % de calcaire, on parle d'argile calcaire (parfois « argile calcareuse » ou « argile saccharifère »).

Les alternances marne-calcaire sont très fréquentes dans les séries sédimentaires et portent le nom de formation marno-calcaire.

Sa sensibilité à l'eau favorise les instabilités de pente. Le fluage des marnes ou des formations marno-calcaires, le glissement de terrain et le ravinement sont à l'origine de catastrophes régulières.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique



Figure 2.2 .type des sols (Argileux, limoneux, sableux ou calcaire).

### 2.6. Caractéristique générale des chaussées :

#### 2.6.1 structures de chaussées:

Les chaussées sont des conglomérats de matériaux, ces matériaux, leurs propriétés associées et leurs interactions déterminent les caractéristiques de la chaussée résultante. ainsi une bonne compréhension de ces matériaux, de leur description et de leur performance est fondamentale pour comprendre la chaussée, car les matériaux utilisés dans la construction des autoroutes sont d'une grande importance pour l'ingénieur, car ils nécessitent non seulement une compréhension approfondie des propriétés du sol et des granulats qui affectent la stabilité et la durabilité de la chaussées , mais également des liants qui peuvent être ajoutés pour améliorer ces caractéristiques de la chaussées. Les chaussées sont composées de plusieurs couches au-dessus du groupe appelé plateforme, forment le sol de support de chaussée, description adoptée par les méthodes de dimensionnements, on associe à chacune des couches en fonction.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

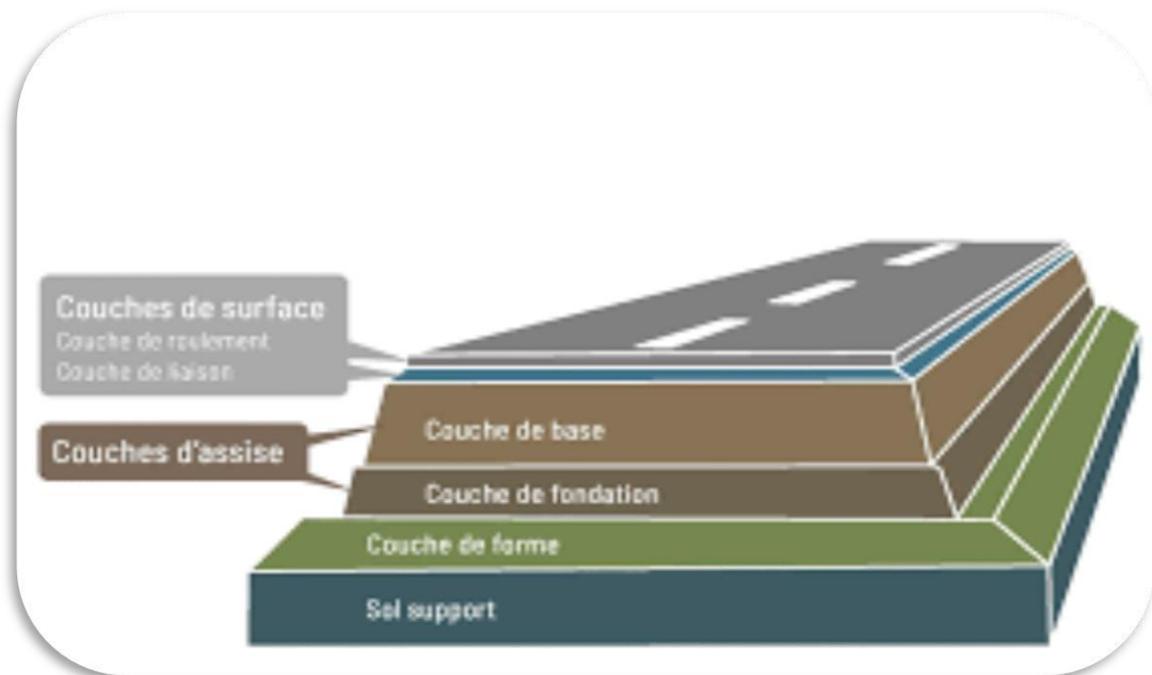


Figure 2.3 : Structure d'une chaussée et terminologie des différentes couches.

### 2.6.2. Les différentes structures de chaussées :

La nature géologique des sols permet de les classer dans quatre grandes familles :

- **Les chaussées souples :** C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent sont traitées aux liants hydrocarbonés, La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traitée.
- **Les chaussées semi-rigides :** Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques, disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation).
- **Les chaussées rigides :** Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide.
- **les chaussées à structure mixte :** les chaussées à structure inverse, les chaussées, bitumineuses épaisses.

Le sol support peut être en remblai, qui est un sol surélevé, ou en déblai, qui est un sol enfoncé.

La portance des sols, exprimée en KPa or MPA, varie selon leur teneur en eau.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.7. Techniques de stabilisation du sol:

Techniques de stabilisation les plus utilisées, nous pouvons citer la stabilisation mécanique, la stabilisation thermique et la stabilisation chimique par additifs.

#### 2.7.1. Stabilisation mécanique :

- **Compactage** : Une méthode mécanique très efficace et importante dans la stabilisation des sols fins, elle consiste à exercer une pression au sol par des charges qui permet de réduire les pores et augmenter la compacité.



Figure 2.4 : Compactage partiel.

- **l'humidification** :



Figure 2.5 : l'humidification.

- **Drainage** : Evacuer les eaux interstitielles ce qui accélère la consolidation.



Figure 2.6 : Drainage retires.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

- **Substitution** : Eliminer la couche de terre gonflante et de la remplacer par une terre non progressive (de meilleure qualité géotechnique).
- **2.7.2.Stabilisation thermique:**
- **Augmentation de température** : Augmenter la température du sol afin d'améliorer sa résistance
- **2.7.3.Stabilisation chimique:**
- **Ajout ou additifs** : Le mélange du sol avec des produits créent des réactions chimiques qui jouent le rôle d'un liant. Ce dernier a un effet positif sur la stabilisation des sols (amélioration de la cohésion et réduction de l'indice des vides du sol).



Figure 2.7 : Ajout ou additifs ciment et de la chaux.

### 2.8.Céramique:

#### 2.8.1.Généralités:

La céramique ou le porcelaine technique est un mot grec appelé KéramiKos, qui se compose de matériaux non métallique et inorganiques, contenant beaucoup d'argile, de silicates, d'oxydes et d'autres matériaux, la production la céramique par la chaleur utilisée dans la fabrication de verre, de brique et de sols.....etc.

Ces matériaux sont constitués d'argile et aluminium, les caractéristiques de céramique par sa résistance à l'eau et à l'humidité, elle convient donc très bien aux sol et résistance à la pression et à la rupture et est facile à utiliser, car elle est constituée de particules très complexes d'autres matériaux tels que les matériaux.

La céramique par rapport aux autres matériaux utilisés est disponible, peu couteuse et résistante aux températures élevées, car la plupart des matériaux perdent leur résistance, elle possède plusieurs propretés chimiques, thermiques, otiques et magnétiques.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique



Figure 2.8. : Utilisation de la céramique.

### 2.8.2. Définition :

La céramique est connue dans les industries modernes sous la forme de produits vitrifiés à structure partiellement cristalline ou vitreuse. En raison de ses composants de base d'argile de terre cuite pour donner une pâte plastique avec de l'eau, pour faciliter l'utilisation, après exposition à des températures élevées, elle devient solide et de forme immuable, il est isolant thermique et conducteur électrique. la structure de la céramique est constituée de particules cristallines, lorsque le pourcentage de cristaux est amorphe on parle ici de verre vitrocéramique, lorsque la totalité est amorphe, on parle du verre de cristaux.

### 2.8.3. Différents types des déchets :

Tous les déchets inertes, ultimes, ménagers et assimilés, encombrants, spéciaux, dangereux, qui par constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent sont susceptibles de nuire à la santé publique et /ou à l'environnement.

### 2.8.4. Origine de la production de déchets :

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- ✓ **Biologiques** : Tout cycle de vie produit des métabolites.
- ✓ **Chimiques** : Toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.
- ✓ **Technologiques** : Tout procédé industriel conduit à la production de déchet.
- ✓ **Economiques** : Les produits en une durée de vie limitée.
- ✓ **Ecologiques** : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres. Déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.
- ✓ **Accidentelles** : Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.8.5. Déchet de céramique et de faïence :

Les déchets de construction sont définis comme les matériaux qui restent après l'achèvement des travaux de construction des projets, il y a donc des quantités importantes et excessive de déchets qui peuvent être des matériaux à usage direct et indirect produits à partir d'un mélange de différents matériaux. Tel que des carreaux, la céramique, les fils électriques, le bois, le fer, les plastiques, les matériaux en gomme, les plaques de plâtre. Ces matériaux ont souvent des couts relativement élevés, surtout si le cout de projet est élevé, cela conduit à la demande de plus grandes quantités de matériaux utilisés dans les projets et pour réduire la quantité de déchets qui finissent dans les décharges publiques, grâce à une planification minutieuse pour réduire la quantité de déchets, de démolition, d'excavation et de criblage, il peut être utilisé dans les travaux publics sous les couches d'une route.



Figure 2.9 : Déchet de céramiques et de faïence.

### 2.9. Les liants hydrauliques (ciment et la chaux):

Les liants hydrauliques sont des produits ou des liants formés et solidifiés par une réaction chimique avec l'eau, qui dépendent tous de la chaux, avec laquelle l'argile interagit par échange cationique, rapidité et agglomération, carbonatation, au moyen de la réaction pouzzolanique. Il est également capable de le faire sous l'eau, le soi-disant hydraulique, il est utilisé dans la construction et la construction de routes pour répartir uniformément la pression sur toute la surface des particuliers, pour améliorer les propriétés mécaniques du sol et réduire la sensibilité de l'eau par mue, échange de cations, ces produits sont principalement utilisés en technique

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

routier. Le ciment et la chaux font partie des matériaux qui ont différentes réactions chimiques sont fortement similaires, pour la stabilisation du sol.



Figure 2.10 : liant hydraulique (ciment et la chaux).

### 2.9.1. Utilisés des liants hydrauliques :

#### 2.9.2. De la chaux et du ciment pour augmenter la stabilité:

La stabilisation des sols est le procédé idéal pour obtenir des sols portants de qualité, et les préparer pour les chantiers de construction routière. L'incorporation ciblée de liants permet par exemple d'abaisser la teneur en humidité d'un sol, étape indispensable avant tout traitement ultérieur. Par rapport au remplacement complet du sol, la stabilisation est une méthode rentable respectueuse des ressources. Elle permet de faire des économies, notamment en raison d'une logistique de chantier plus simple, le nombre d'allers retours des camions étant réduit et la durée des travaux s'en trouvant raccourcie. Les ressources sont elles aussi ménagées, puisque la stabilisation utilise la totalité du sol présent sur place auquel on n'ajoute qu'un liant tel que de la chaux ou du ciment – ou les deux sous forme d'un mélange chaux-ciment.

#### 2.9.3. le ciment:

La durabilité de les routes est obtenue grâce à l'étude technique optimale du sol spécifié pour le pavage, le ciment est plus dense que la chaux et cela est le résultat de sa capacité mécanique dans le sol, la poudre de ciment est constituée de clinker, de sulfate de calcium et de gypse, en plus de divers additifs issus de sa sous-industrie tels que les cendres volantes, la pouzzolane....etc. ces substances sont inertes, au contact des molécules d'eau, la phase active

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

Commence c'est-à-dire l'hydratation, la nature des différents composants du ciment est directement liée par l'hydratation, car le ciment possède plusieurs propriétés principales, C3S(silicate de calcium), C2S(silicate de calcium), CA3(aluminate tricalcique), C4AF(aluminate nitro-calcique). Ces composants se dans le sens de rompre les liaisons ioniques dans les cristaux de ciment et de disperser les ions au sein de la formation rapide d'hydrates.

La formulation de ces hydrates se poursuit dans le cycle de décanation, ce développement se forme à partir du stade dormant ou la matrice forme une pâte dans laquelle les propriétés du sol et du ciment n'ont pas changé. Malgré la réaction immédiate à l'eau, les propriétés du gypse dans le ciment le ralentissent pendant les premiers stades de la fondation, jusqu'à ce qu'il entre dans le stade inerte, la pâte ou la matrice subira une modification de sa viscosité jusqu'à ce qu'elle atteigne un stade de semi-solide à solide.

### 2.9.4. la stabilisation du sol avec du ciment:

Le ciment peut être utilisé pour stabiliser tout type de sol, cette propriété est connue sous le nom de ciment du sol. Il effectue le processus de consolidation résultant des réactions chimiques du ciment avec le sol lors de l'hydratation ou de l'interaction avec l'eau, l'un des facteurs importants affectant les sols traités ou améliorés l'utilisation de ciment dépend de la nature de la teneur du sol et des conditions de mélange, ainsi que de la pression, du compactage et du traitement avec les additifs utilisés.

### 2.9.5. La Chaux :

La chaux était historiquement utilisée dans le traitement des constructions routières, notamment à l'époque de l'empire romaine, c'est le liant préféré des sols à fort pourcentage d'humidité car la réaction pouzzolanique des hydrates provoque un séchage efficace, malgré sa nature minérale, la chaux se caractérise par plusieurs types différents :

- **La chaux vive** : elle est efficace pour précipiter les souillures plastiques et augmente la teneur optimale en eau.
- **La chaux hydratée** : c'est le résidu de la culture de la chaux vive avec de l'eau et un séchage soigneux, elle est constituée d'hydroxyde ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), caustique, égerment corrosif, peu solide dans l'eau, elle est appelée portlandie.
- **La chaux hydraulique** : en générale, elle s'apparente au ciment car elle se caractérise par une cohésion et un durcissement à l'eau, et elle contient du silicate set de l'ammoniac, elle est constituée d'argilo calcaire, elle est continue à s'hydrater et à se

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

solidifier en présence d'eau et réagit rapidement au contact de l'eau, on l'appelle donc hydraulique.

- **La chaux aérienne ou grasse :** il s'agit d'un coulis majoritairement à très faible teneur en argile, apte à se préparer en réagissant lentement avec le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de l'air.
- **La chaux magnésienne :** elle contient une grande proportion de calcaire dolomitique ou magnésite.

### 2.9.6. La stabilisation du sol avec de la chaux:

La chaux hydratée est très efficace pour améliorer et traiter les sols lourds, plastiques et argileux, ce type de chaux est principalement utilisé pour stabiliser les plates-formes et le substrat, la chaux modifie la nature de la couche absorbante et apporte l'effet pouzzolanique pour réduire l'indice de plasticité dans le sol, une augmentation de la teneur en eau optimale se produit, elle est réduite à la densité comprimée maximale pour augmenter la durabilité du sol.

### 2.10. Différents cas d'application:

#### 2.10.1. Amélioration et consolidation des sols :

Dans la stabilisation de sol, on distingue deux techniques :

- Pour la production des couches des fondations routières fixées avec des liants hydrauliques, le ciment est pré-étalé par un épandeur coupé, suivi d'un camion-citerne à eau, et derrière celui-ci le rotor de broyage et de mélange du stabilisateur Wirtgen, et fabriqué, un mélange homogène de sol et le ciment est pré-étalé, en même temps l'eau est injectée par une rampe injectant dans la chambre de malaxage, en cours une fois la niveleuse fractionne les matériaux recyclés, enfin le compresseur effectue la pression d'air optimale.
- Pour améliorer durablement et de manière optimale les propriétés du sol, il est nécessaire de mettre un atelier de machines, d'épandre suivi du stabilisateur de sol Wirtgen, de rotor de fraisage, de mélanger de manière homogène le sol avec l'épandage de pré-chaux, et de régler les matériaux retraités de manière optimale, tandis que la niveleuse est responsable de l'utilisation du matériau ainsi marqué et, les rouleaux de terrassement assurent un compactage optimal.
- Le liant hydraulique à la chaux améliore la capacité à mettre à compacter le sol humide et argileux, dans ce cas on parle de consolidation et d'amélioration du sol.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.10.2. Les Avantages de la stabilisation des sols :

- ✓ Augmenter la capacité portante du sol.
- ✓ Réduire les couts en évitant les fondations profondes.
- ✓ Réduire les débarquements de plantes.
- ✓ Prévenir l'érosion du sol.
- ✓ Réduire la pénétration de l'eau et améliorer les propriétés isolantes
- ✓ augmenter la durabilité du sol.

Réduction des variations de volume causées par l'effet de la chaleur et de l'humidité.

### 2.11. Les étapes de traitement (traiter le sol en place):

#### 2.11.1. Amélioration/Modification:

Effets du traitement des sols aux liants hydrauliques :

- ✓ LHR spécifique « Prise rapide » Dosage : 2 à 3%, Amélioration différée (délai de prise) de la portance par augmentation de la rigidité.
- ✓ Sur tous les sols : augmentation des caractéristiques mécaniques à long terme.  
Utilisons dans le « Remblais, PST ».

#### 2.11.2. Stabilisation:

- ✓ Ciment, LHR Chaux + Ciment ou LHR Dosage 5 à 8% Transformation à moyen (semaines) ou long terme (années) des caractéristiques mécaniques du sol (résistance mécanique, tenue à l'eau, au gel).  
Utilisons dans le « PST, couche de forme, assises de chaussées ».

#### 2.11.3. Épandage du liant:

Le Traitement des sols aux ciments ou aux liants hydrauliques routiers :

- Permet de valoriser des matériaux aux caractéristiques inadaptées et non utilisables à l'état naturel tels que limons, argiles, sables, marnes, matériaux évolutifs, etc. pour les utiliser en ouvrages de terrassements ainsi qu'en assises de chaussées,
- Consiste à incorporer un liant dans le sol, avec éventuellement un complément en eau, et à mélanger le tout plus ou moins intimement jusqu'à l'obtention d'un matériau suffisamment homogène pour lui conférer des propriétés nouvelles.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### Sol après traitement



### Sol avant traitement



Figure 2.11 : Epannage du liant.

### 2.11.4.Malaxage

Pour assurer une bonne homogénéité du matériau et une profondeur importante du malaxage, il est judicieux de retenir un malaxeur ou un pulvimixer à rotor horizontal.

D'autre part, le malaxage foisonnant énormément les matériaux, il faut veiller lorsqu'on traite par bandes jointives – à mordre suffisamment (20 cm) dans la partie déjà foisonnée, pour ne pas laisser de matériau non malaxé en bordures de bandes. [1]



Figure 2.12 : malaxage de liant.

### 2.11.5.Réglage:

Le réglage final doit tenir compte de l'épaisseur à numériser à l'étape du traitement, tout en offrant une surépaisseur suffisante du matériau en traçant sur toute la largeur à régler et sans cas en remplissant les points bas avec du matériau provenant de bavures coupées, Ils sont évacués. Le réglage définitif doit se faire par rabotage sur toute la largeur à régler et en aucun.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.11.6. Compactage final:

Il est réalisée soit par des compresseurs fixes (à pneumatiques ou à pieds joints) agissant uniquement par leur propre poids, soit par des rouleaux vibrants (à billes lisses ou à pieds cousinés) fonctionnant par leur propre poids et les vibrations (amplitude et fréquence) qu'ils produisent, soit par les deux types de compresseurs. En fonction de la nature du matériau et de l'objectif de compactage recherché, on détermine le type de compacteur (avec sa vitesse et son nombre de passages) et l'épaisseur maximale de la couche à compacter, il est effectué immédiatement après le réglage final et avant le « temps d'ouvrabilité » du mélange sol-liant est de toute façon expiré, pour apporter le complément d'énergie nécessaire à l'obtention de la qualité de compression souhaitée en fonction de la couche considérée. [1]



Figure 2.13 : Compactage final.

### 2.11.7. Protection de surface

Cette protection superficielle (en général, un enduit gravillonné à l'émulsion de bitume) est destinée à imperméabiliser et à protéger la couche traitée des intempéries, de l'évaporation de l'eau et du trafic. Elle doit être réalisée dans les plus brefs délais après la fin du compactage final. [1]



Figure 2.14 : Protection de surface.

### 2.12. Interaction Liant – Matériau

Les travaux de construction des remblais et des couches de formes représentent une part importante du coût global de réalisation des projets routiers. Cette importance justifie une

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts. L'optimisation des solutions techniques consiste, d'abord, en un choix judicieux de tracé en plan et de profil en long des terrassements pour limiter au maximum les mouvements de terre en fonction de la qualité des matériaux exigés. Optimiser, c'est aussi déterminer le couple couche de forme/chaussée le mieux adapté. [2].

- La chaux floccule les sols fins et modifie leurs propriétés géotechniques.
- Le ciment ou le LHR confère les résistances mécaniques et les performances à long terme.

### 2.13 CBR dans le sol stabilisé avec déchets de céramique:

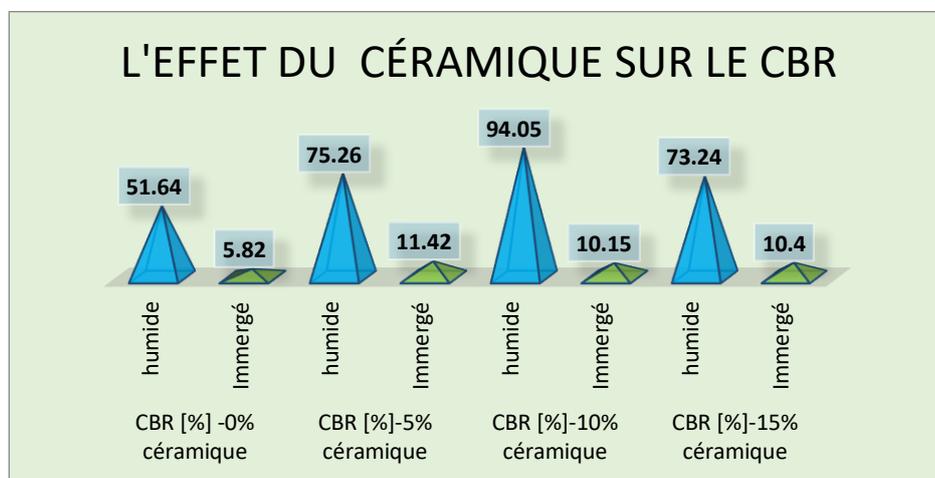
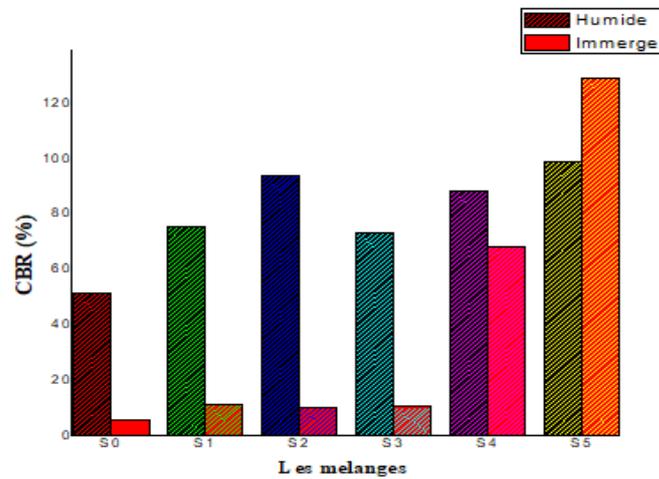


Figure 2.15 : Résultat essai CBR (Sol+ céramique). [3]

Figure 2.15. Présent l'influence de déchets de céramique dans le sol. En remarque la capacité portant entre 73% à 94% à l'état humide et 10 et 11 a l'état immergé

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

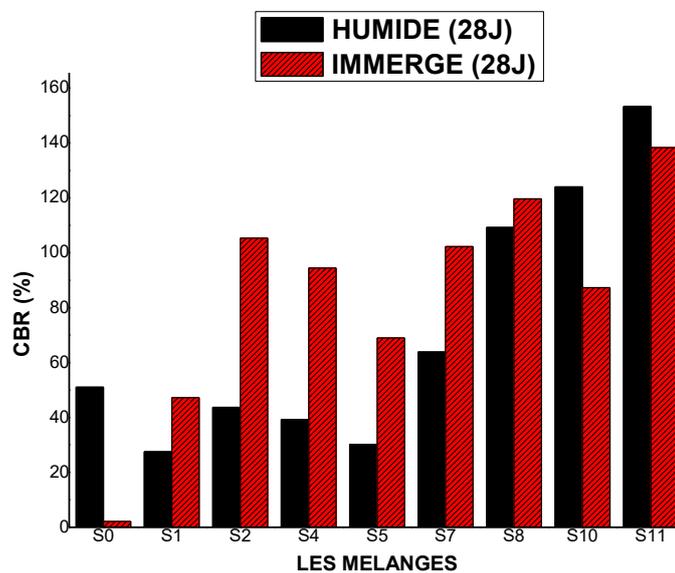
### 2.14 CBR dans le sol stabilisé avec déchets de céramiques et ciment



**Figure 2.16 :** Résultat essai CBR (déférénté pourcentage du déchet de céramique et ciment). [4]

Figure 2.16. Présentes additions de déchets de céramique et ciment améliorée la capacité portant du sol traité dont le CBR atteint 120%.

### 2.15 CBR dans le sol stabilisé avec déchets de céramiques et chaux

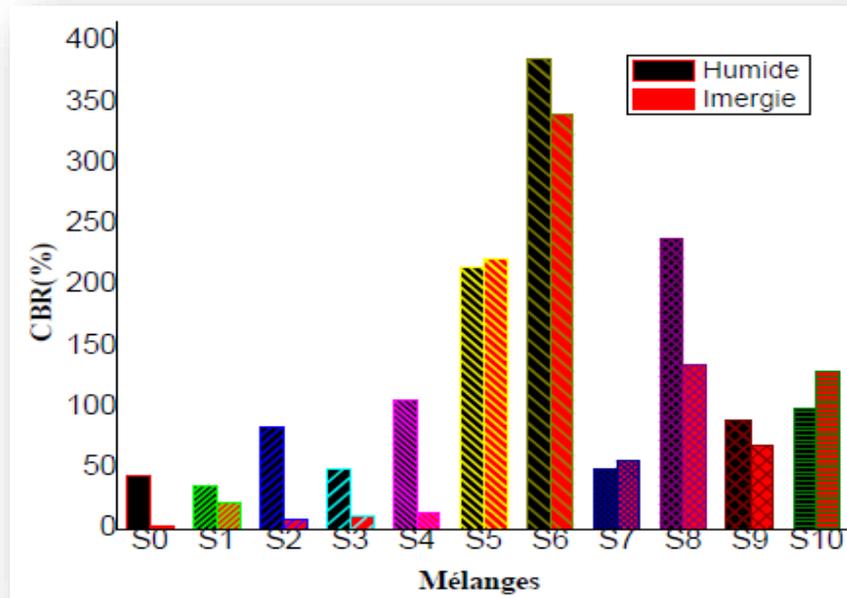


**Figure 2.17 :** Résultats de CBR pour les mélanges à l'état humide et immergé sur CBR au 28 jours. [5]

Figure 2.17. Présentes additions de déchets de céramique et chaux améliorée la capacité portant du sol traité dont le CBR atteint 160%.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.16 CBR de sol stabilisé avec le déchet plastique et ciment:

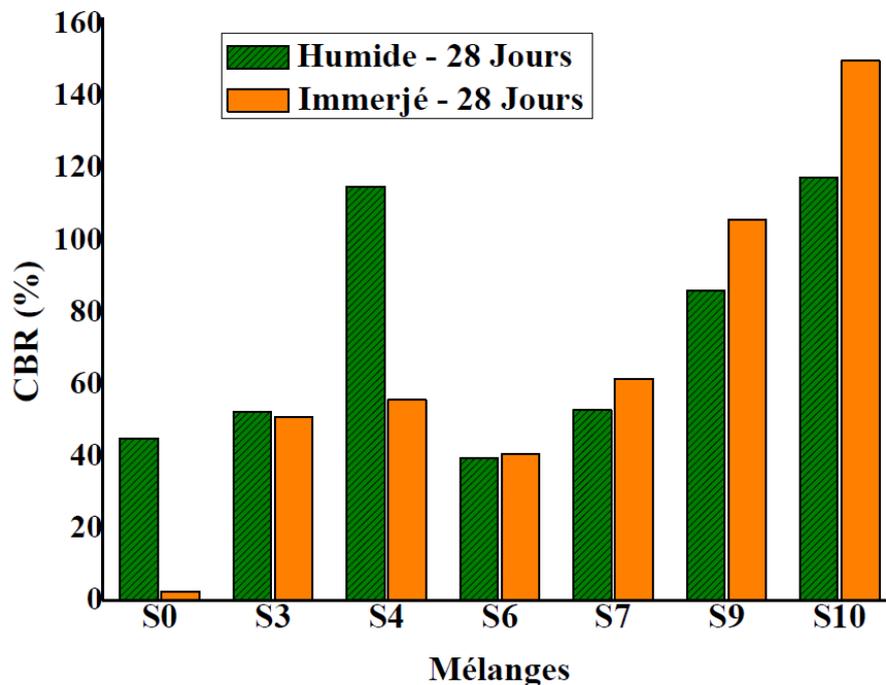


**Figure 2. 18 :** Combinaison de l'effet des ajouts de plastique PET et PT et ciment sur S0 à l'état Humide et Immergé (28J) [6].

Dans le Figure 2.18, on observe que l'ajout du ciment uniquement induit une augmentation de la capacité portante du mélange dont le CBR atteint 364%.

## Chapitre 2 : Etude Bibliographique

### 2.17 CBR de sol stabilisent avec le déchet plastique et chaux:



**Figure 2.19 :** Combinaison de l'effet des ajouts de plastique PT et la chaux dans le sol à l'état Humide et Immergé (28J). [7]

Addition déchets de plastique et chaux augmente la capacité portant du sol traite a plus de 150%.

### 2.18. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'identifier les sols, les déchets de céramiques et les chaussées, mais concentrés sur la stabilisation des sols et en particulier la stabilisation chimique (chaux et ciment) où nous avons donné un exemple des étapes de stabilisation du sol avec la chaux.

En guise de conclusion, Les travaux de construction des couches de forme 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.

On a donc intérêt à privilégier les performances de la couche de forme des structures routières, en sol de qualité médiocre par la technique de traitement des sols avec des matériaux économique et efficace.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.1. Introduction :

Le but de ce recherche est de faire une étude de stabilisation du sol, nous commençons donc par une brève présentation des méthodes d'évaluation utilisées dans ces rapports afin de mieux les comprendre pour une bonne exploitation par présentation des matériaux de traitement (déchet de céramique ; la chaux et le ciment). et ensuite procédera l'étude ou les différents essais effectué d'identification en laboratoire : Analyse granulométrique et les différents essais mécaniques (Limite Atterberg, Proctor Modifier, CBR) ainsi nous allons site le mode opératoire de chaque essai effectué en se référant à la norme en vigueur.

### 3.2. Matériaux utilisés:

Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Prélèvement le sol dans la zone TIXTER une commune de la région Ain Taghrout wilaya de Bordj Bou Arreridj.
- ✓ Le ciment CPJ – CEM II/B 42,5R NA 442.
- ✓ L'eau potable du Laboratoire de LTP- EST de Bordj Bou Arreridj.
- ✓ Les adjuvants utilisés : déchet de céramique et le liant hydraulique ciment et la chaux.



Figure 3.1 : Zone de prélèvement de sol.

#### 3.2.1. Le Sol étudié:



Figure 3.2 : Photo du sol utilisé.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.2.2.Céramique:

- ✓ La céramique utilisée pour les expériences effectuées au niveau de laboratoire ; se présente se forme d'un déchet qui nous allons broyer et tamiser par le tamis numéro 5 mm.



Figure 3.3 : Concassage de céramique utilisé.

### 3.2.3.La chaux:

- ✓ Matériau ajouté au sol pendant les essais.



Figure 3.4 : La chaux.

### 3.2.4.Ciment:

- ✓ Le ciment portland composé (Mâtine) obtenu par un mélange finement broyé de clinker et d'ajouts, Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. Le produit a comme identification **CPJ-CEMII/A 42, 5.R NA 442**.



Figure 3.5 : le ciment.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.3. Essai d'Analyse Granulométrique :

#### 3.3.1. Généralité:

L'essai granulométrique est une ensemble de grains minière aux, de dimensions comprises entre 5 et 0.08 mm, de Provence naturelle ou artificielle, destinés à la confection :

- ✓ des mortiers, des bétons.
- ✓ des couches de fondation, des couches de basse et de roulement des chaussées.
- ✓ et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Les grains passent à travers les mailles et sont arrêtés par une maille plus petite que leur taille. La quantité passée s'appelle "**tamisât**". La quantité retenue s'appelle "**refus**". Puis on pèse chaque refus (Cet essai sera prochainement vu en laboratoire). Ces données sont traitées pour obtenir une courbe.

#### 3.3.2. Objectif:

C'est un essai qui a pour objet de consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissants, ainsi les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

La forme de la courbe granulométrique obtenue les dimensions des tamis correspondant à **d10**, **d30** et **d60** sont interpolées graphiquement sur la courbe. à partir de ces résultat en peut calculer Le facteur de courbure **Cc** et le facteur d'uniformité (coefficient de Hazen) **Cu**

#### 3.3.3. Principe de l'essai:

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

#### 3.3.4. But de l'essai:

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages Pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.3.5.Appareillage:

- ✓ Une série de tamis normalisés avec couvercle et fond pesés préalablement
- ✓ Une balance
- ✓ Un Tamiseur électrique
- ✓ Un Etuve.



Figure 3.6 : Appareillage – essai granulométrique.

### 3.3.6. Mode opératoire :

- ✓ Préparer les tamis d'ouvertures nécessaire.
- ✓ Peser ces tamis vide.
- ✓ Dresser la colonne des tamis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. le fond étanche et le couvercle sont disposés respectivement en bas en haut de la colonne.
- ✓ Peser deux kilogramme de sol.
- ✓ Verser le sol en haut de colonne de tamis puis fermer le couvercle.
- ✓ Procéder manuellement puis automatiquement à l'agitation de la colonne pendant environ  
5 min.
- ✓ Peser les tamis avec les refus partiels en commençant par le tamis supérieur (lamasse perdue lors du tamisage ne doit pas dépasser 1% de la masse de la prise).

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.4. Essai Limites d'Atterberg :

#### 3.4.1. Généralités :

Cet essai a été établi par l'agronome suédois, des teneurs en eau limites d'un sol peuvent en effet beaucoup varier au cours des opérations de terrassements, pour la fraction fine qui séparent le passage du sable d'un état de consistance à un autre. Ces teneurs en eau particulière sont appelées limites de consistance ou limites d'Atterberg, et Cassagnarde a repris plus tard ce lesquelles la transition s'effectue.

#### 3.4.2. Définition :

La consistance d'un sol fin varie avec sa teneur en eau, la limite de liquidité WL (teneur en eau pondérale) sépare l'état liquide de l'état plastique, la limite de plasticité WP (teneur en eau pondérale) sépare l'état plastique de l'état solide. La limite de retrait WS ou (Wr) est la teneur en eau pondérale au-dessous de laquelle le volume de L'échantillon ne varient plus. Les limites d'Atterberg sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (fraction passant au tamis de 0,4 mm), car ce sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol.

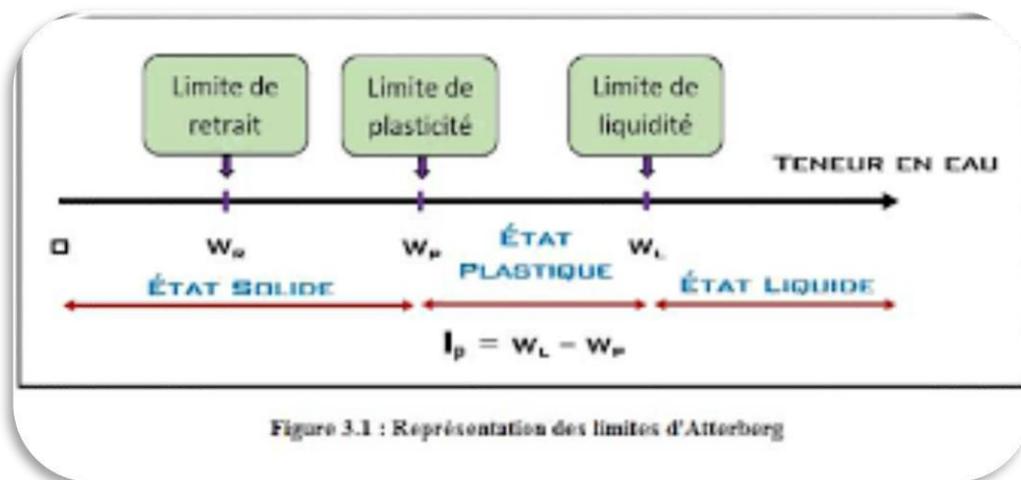


Figure 3.7 : Symbole des limites d'Atterberg.

#### 3.4.3. But de l'essai :

Déterminer les teneurs en eau remarquables situées à la frontière entre ces différents états est les « Limite d'Atterberg », limites de liquidité WL et la limite de plasticité WP qui sont des

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

teneuses en eau pondérales, caractéristiques du sol. Ces résultats permettent de prévoir le comportement des sols sous l'action des variations de teneur en eau.

### 3.4.4. Principe de l'essai :

Pour la détermination de **WL** et **WP** nous donnent une idée approximative des propriétés du matériau étudié, elle permet de le classer grâce à l'abaque de plasticité de Casagrande.

### 3.4.5.Appareillage:

### 3.4.6.Pour la préparation du sol:

- ✓ Tamis à mailles carrées de 0.4mm d'ouverture ;
- ✓ Récipient.



Figure 3.8 : Appareil de Casagrande.

## 3.5. Essai Proctor Modifié (NF P 94-093) :

### 3.5.1.Définition du compactage:

L'essai de Proctor suit la norme NF P 94-093, lorsqu'un sol était inadéquat pour supporter une route (corps de remblai, des couches de formes et d'assise de chaussées), il existe plusieurs méthodes de stabilisation des sols, elle représente parfois la solution la plus économique, particulièrement dans le cas des routes. Ainsi que pour détermination des références de

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

compactage d'un matériau, 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 détenir 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.

### 3.5.2.L'objet de l'essai:

Déterminer la masse volumique optimale sèche d'un matériau ( $\gamma_d$  ; OPN) et sa teneur en eau correspondante, 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.

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale (W) pour un sol de remblai donné à laquelle doit être compactée cette sol pour obtenir la densité sèche maximum ( $\gamma_d$ ) et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

### 3.5.3.Principe de la méthode:

L'essai consiste à humidifier un matériau à au moins cinq teneur en eau et à le 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.

### 3.5.4.Appareillage nécessaire:

- ✓ Moule CBR (éventuellement Proctor),
- ✓ Compacteur électrique

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

- ✓ 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  $\pm 5$  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 3.9 : Appareillage – essai Proctor.

### 3.5.5.Mode opératoire:

- ✓ Peser l'ensemble du moule vide + embase (soit  $P_m$ ).Mettre en place la hausse.
- ✓ Prendre 5 Kg de sol passé au tamis de 5 mm
- ✓ Ajouter 8% d'eau à cette quantité, l'homogénéiser et partager en Cinq.
- ✓ Introduire la 1<sup>ère</sup> couche de sol et la compacter en 62 coups. Scarifier la surface compactée.
- ✓ Procéder de manière identique pour les quatre couches suivantes.
- ✓ Enlever délicatement la hausse et araser soigneusement le moule, le nettoyer puis le peser (Soit  $P_h$ ).

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

- ✓ 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).



Figure 3.10 : Déroulement de l'essai – Proctor.

### 3.6.Essais CBR (California Bearing Ratio):

#### 3.6.1.Définition:

Cet essai CBR est utilisé partout dans le monde pour déterminer l'épaisseur des couches de fondation et pour établir une classification des sols, souvent, l'un des facteurs clés des essais géotechniques de pré construction n'est pas respecté.

L'essai CBR est caractérisé par la caractérisation mécanique des sols naturels, des sols compactés, des barrages et des couches des sous fondations des routes et des aéroports. Il existe différents types de l'essai de CBR qui doit être effectués en fonction du type et de la qualité du sol. Des échantillons du sol avec un piston de démenions nominale, étudié sont pressés dans un éprouvette **CBR  $\varnothing= 15.2$  cm**, après avoir été immergés dans l'eau pendant quatre (04) jours pour mesurer la résistance au cisaillement du sol et de son gonflement cet essai permet de calculer la capacité portante du sol, en estimant sa résistance à la perforation.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais



Figure 3.11 : Appareil de l'essai CBR.

### 3.6.2. But de l'essai:

L'essai CBR a pour objectif de déterminer la capacité portante du sol (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers, estimant leur résistance à la perforation, en fonction de leur état, de leur densité et de leur humidité.

### 3.6.3. Principe de l'essai:

L'essai CBR est effectué sur des échantillons comprimés avec une teneur en humidité optimale obtenue à partir de l'essai de pression Proctor, et pour mesurer les forces appliquées à l'éprouvette cylindrique, au déterminer la résistance à la pénétration, au moins trois échantillons sont fabriqués et différentes énergies de pression leur sont appliquées, dans chaque cas, sélectionner les nouvelles CBR sera différent.

### 3.6.4. Préparation des échantillons:

Il faut prendre deux ou plusieurs échantillons de sol avec un poids de **4.5 Kg**, dans le cas de sol fin et **5.5Kg** dans le cas sols granulaire, si les échantillons doivent être si les

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

échantillons ne sont pas destinés à être soumis à l'immersion, l'échantillon pour la détermination de l'humidité est obtenu des faces de l'éprouvette, après la réalisation de pénétration de l'éprouvette et supprimer ainsi l'humidité de la couche supérieure à une épaisseur de **25 mm** une fois que la densité de l'échantillon est déterminée de la même manière que dans le Proctor modifié, l'échantillon est placé sur le moule.

Dans un premier temps, les moules doivent être remplis de plusieurs couches de 1 pouce d'épaisseur après compactage. Dans le premier moule, seront appliqués 62 coups pour la compaction de chaque couche, pour le deuxième 62 coups et pour la troisième 62 coups, immédiatement après, les trois moules du CBR doivent être pesées avec les plaques de support du moule, ensuite, le collier est enlevé du moule et est pesés avec l'échantillon compacté, le disque d'écartement et la plaque du support, enfin, un papier filtre est placé sur la plaque du support et le moule est retourné et placé sur la plaque du support.

### 3.6.5.Appareillage nécessaire:

- ✓ moules standard CBR
- ✓ Disques d'espacement de 151mm de diamètre et 25,5mm d'épaisseur
- ✓ 1 dame Proctor modifié constituée par un mouton de 4,530kg et la hauteur de chute de 457mm actionnée manuellement ou mécaniquement.
- ✓ Des disques de surcharge annulaire en plomb de 2,265kg en deux parties de diamètre extérieur de 150mm de diamètre inférieur de 27mm.
- ✓ 1 appareil de mesure de gonflement comprenant un trépied pouvant s'adapter sur la face supérieur de moule comparateur à 0,01mm et de 25mm de course ; un disque plat et perforé de diamètre légèrement inférieur à celui du moule et muni en son centre une tige à touche réglable.
- ✓ 1 piston cylindrique ayant une section de 19,6cm<sup>2</sup> et approximativement 200mm de long.
- ✓ 1 presse hydraulique de 60kN pouvant assurer une vitesse de poinçonnement de 1,27 mm / minute.
- ✓ Des bacs de contenance de 35kg environ
- ✓ Pelle à main, truelles, mains métalliques, pinceau
- ✓ des disques de papier filtre correspondant aux côtés moule CBR.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.6.6. Trois types d'indices CBR sont à distinguer:

- **CBR immédiat** : mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté généralement à l'énergie Proctor modifiée à sa teneur en eau à l'optimum Proctor (WOPN).



Figure 3.12 : CBR immédiat.

- **CBR après plusieurs jours** (4, 28 jours selon l'application) :



Figure 3.13 : CBR du sol traité en liant hydraulique après plusieurs jours.

- **CBR après immersion** : L'indice CBR immersion (I.CBR) est mesuré après 4 jours d'immersion dans l'eau, dans ce cas, l'éprouvette est recouverte de surcharges permettant de frotter la surface de l'échantillon et l'on mesure le gonflement linéaire de l'éprouvette,

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais



Figure 3.14 : CBR après immersion.

### 3.6.7.Mode opératoire:

- ✓ peser l'ensemble du moule vide + embase (soit **Pm**)
- ✓ -Prendre **5Kg** de sol sec passé au tamis 5 mm
- ✓ Ajouter **W (Opt)** de l'essai de Proctor.
- ✓ Introduire la 1<sup>er</sup> couche de sol et compacter en **62** coups. Scarifier la surface compactée.
- ✓ Procéder de manière identique pour les couches suivantes.
- ✓ 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.
- ✓ Placer l'ensemble dans la machine et lire la force et déplacements.

## Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais

### 3.6.8. 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 : [12]

$$I_1 = \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 (KN)}}{13.35 \text{ KN}} * 100$$

$$I_2 = \frac{\text{Effort de pénétration à 5 (KN)}}{19.93 \text{ KN}} * 100$$

$$\text{I.CBR} = \max (\text{I.CBR } 2, 5; \text{ I.CBR } 5)$$

Tableaux 1 : La classe de portance.

Classes de portance	CBR [%]
<b>S<sub>0</sub></b> Portance très faible	CBR < <b>3</b>
<b>S<sub>1</sub></b> Portance faible	<b>3</b> < CBR < <b>6</b>
<b>S<sub>2</sub></b> Portance Moyenne	<b>6</b> < CBR < <b>12</b>
<b>S<sub>3</sub></b> Portance élevée	<b>12</b> < CBR < <b>25</b>
<b>S<sub>4</sub></b> Portance très élevée	CBR > <b>25</b>

### 3.8. Conclusion:

L'objectifs de cette étude géotechnique, sont envisagés de traiter le sol en place, il est de règle d'effectuer initialement l'identification des sols concernés. Cette procédure permet d'orienter les analyses géotechniques ultérieures et surtout d'effectuer une classification des matériaux rencontrés. Les paramètres nécessaires pour cette classification sont aussi bien de natures physico-chimiques et mécaniques. Ainsi l'analyse du comportement mécanique des sols repose sur des essais de laboratoire ou sur site. Cette discipline permet de déterminer la résistance du

### **Chapitre 3 : Méthodologie de L'ensemble des essais**

sol et sa capacité portante, ainsi que cette méthode est moins chère que les techniques traditionnelles, et son impact sur l'environnement est très faible, et par conséquent, elle permet de prévoir de façon quantitative la déformation ou tassement. Cette étude a été consacrée à l'identification des matériaux désirés pour cette recherche qui sont : le sol, le déchet céramique, et les liants hydrauliques de ciment et de la chaux.

Il contient tous les essais effectués au niveau de laboratoire de l'état LTP/EST de BBA -Sétif et laboratoire à Ain Taghrouit et faire quelque écrasement d'essai dans l'université de BBA.

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

### 4.1 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 de déchet de céramique, la chaux et ciment.

Le présent chapitre présente et interprète les différents résultats obtenus lors des essais conduits en laboratoire de GC, Les essais sont agencés comme suit : Proctor modifié pour déterminer la teneur en eau optimale et le poids volumique maximal à chaque traitement, CBR pour déterminer la capacité portante de chaque mélange.

### 4.2. Constitution des mélanges :

Tableaux 2 : Désignations des mélanges.

N°	Notation	Mélanges
01	S0	Sol Non Traité
02	S1	Sol+20% déchets de céramique +4% chaux
03	S2	Sol+20% déchets de céramique +6% chaux
04	S3	Sol+20% déchets de céramique +8% chaux
05	S4	Sol+25% déchets de céramique +4% chaux
06	S5	Sol+25% déchets de céramique +6% chaux
07	S6	Sol+25% déchets de céramique +8% chaux
08	S7	Sol+15% déchets de céramique +2% chaux +2% ciment
09	S8	Sol+20% déchets de céramique +2% chaux +2% ciment
10	S9	Sol+ 15% déchets de céramique
11	S10	Sol+ 25% déchets de céramique

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

### 4.3. Essais Analyse granulométrique

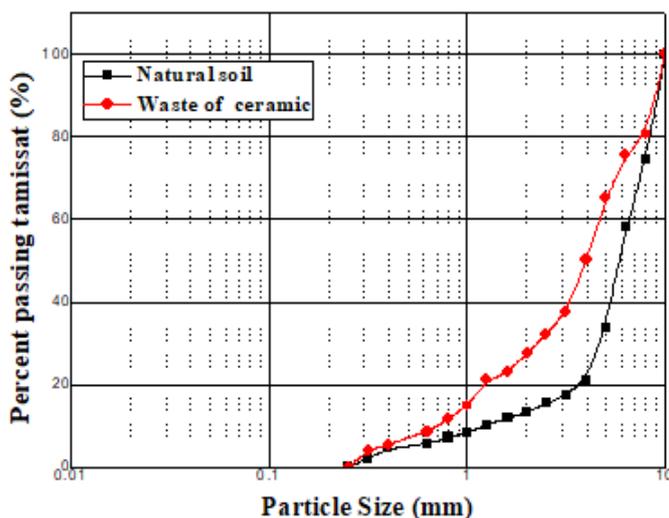


Figure 4. 1 : Distribution granulométrique des sols et des déchets céramiques

La Figure 4.1 représente la distribution granulométrique des sols et des déchets céramiques, qui montrent que les matériaux utilisés dans cette étude vont aux matériaux grossiers.

#### 4.4: Essai Limite Atterberg:

Selon les résultats d'analyse limite de plasticité effectuée sur le sol sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : limite Atterberg préparation

N° d'essais	1 <sup>er</sup> essai	2 <sup>eme</sup> essai	3 <sup>eme</sup> essai
Numéro de la tare	<b>B 25</b>	<b>T 30</b>	<b>B 31</b>
Masse de l'ensemble (échantillon Humide + tare) m <sub>2</sub> (g)	5.42	6.78	5.84
Tare m <sub>2</sub>	5.17	4.99	6.91
Masse échantillon humide m = m <sub>2</sub> - m <sub>1</sub> (g)	8.11	6.47	6.11
Masse de l'échantillon sec m <sub>w</sub> = m <sub>3</sub> - m <sub>1</sub> (g)	0.31	0.31	0.35
Masse de l'eau m <sub>w</sub> = m <sub>2</sub> - m <sub>3</sub> (g)	1.51	1.48	1.67
Teneur en eau w = m <sub>w</sub> /m <sub>d</sub> x 100 = m <sub>2</sub> -m <sub>3</sub> /m <sub>3</sub> -m <sub>1</sub> %	20.52	20.94	20.95
Moyenne		20.73	20.95
Limite Atterberg	<b>W<sub>L</sub> = 29.59</b>	<b>W<sub>P</sub> = 20.84</b>	
Indice de plasticité : IP = WL - WP		<b>IP = 9 %</b>	

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

**Tableau 4** : Analyse limite de plasticité

	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3
$W_P$	20.53	20.95	20.96

Selon les résultats d'analyse limite de liquidité effectuée sur le mélange sont présentés dans le Tableau suivant :

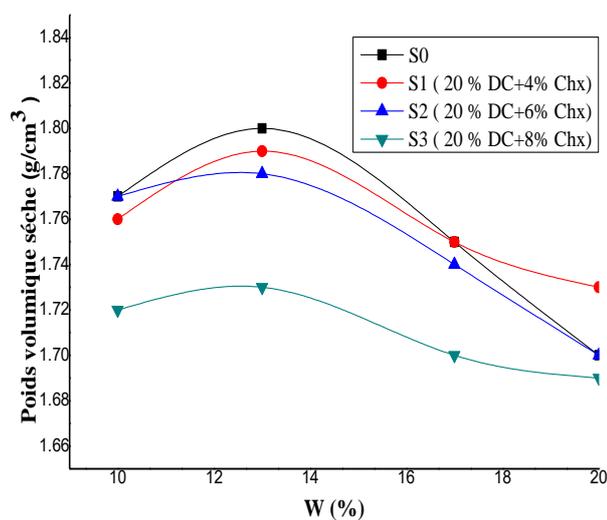
**Tableau 5** : Analyse limite de liquidité

	Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3
N	15	25	35
$W_L$	30.41	29.65	28.76

### 4.5. Essais Proctor modifié :

Dans cette section, nous avons analysé l'impact des déchets céramiques et de la chaux sur la relation entre la densité sèche maximale et la teneur en eau.

#### 4.5.1. Mélange (S0, S1, S2 et S3):



**Figure 4 2** : Compactage courbe de sol avec 20 % déchets de céramique (Humide)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

### Interprétation :

Les pourcentages de déchets de céramique étaient de 20 % et de chaux de 4, 6 et 8 % présentés dans la Figure 4.2, dont les résultats de la densité sèche maximale et de la teneur en eau pour les sols non traités et traités. les résultats ont montré que l'influence des déchets de céramique et de chaux n'a pas d'impact positif dans la plupart des mélanges, car la chaux a besoin de temps pour commencer à réagir avec les particules de sol dans notre cas la céramique et la chaux soumises comme charge. La Figure 4.2 montre que la densité sèche maximale des mélanges stabilisés diminue un peu (1.8%) et que la teneur en eau s'est déplacée vers la droite. Dans notre travail, nous effectuons ce test pour trouver la teneur en eau optimale à utiliser pour le test CBR.

### 4.5.2. Mélange (S0, S4, S5 et S6):

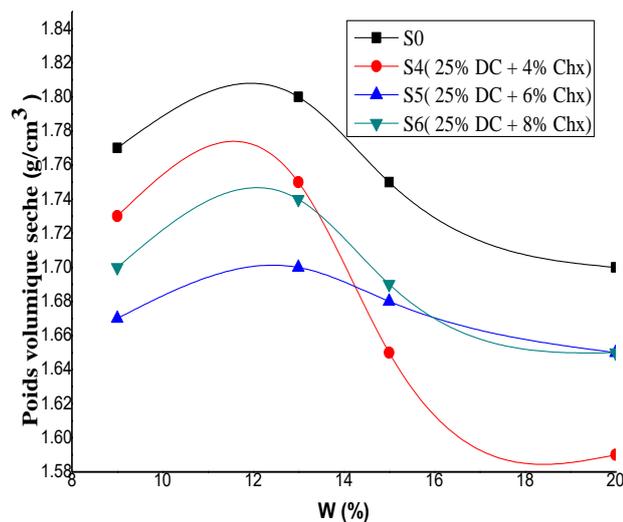


Figure 4.3 : Compactage courbe de sol avec 25% déchets de céramique

### Interprétation :

Les pourcentages de déchets céramiques étaient de 25 % et de chaux de 4, 6 et 8 % présentés dans la Figure 4.3, qui présente les résultats de la densité sèche maximale et de la teneur en eau pour les sols non traités et traités. les résultats ont montré que l'influence des déchets de céramique et de chaux n'a pas d'impact positif dans la plupart des mélanges, car la chaux a besoin de temps pour commencer à réagir avec les particules de sol dans notre cas la céramique et la chaux soumises comme charge. La Figure 4.3 illustre que la densité sèche maximale des mélanges stabilisés diminue un peu (2,77 %) et que la teneur en eau s'est déplacée vers la droite.

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

### 4.5.3 Mélange (S0, S7, S8) :

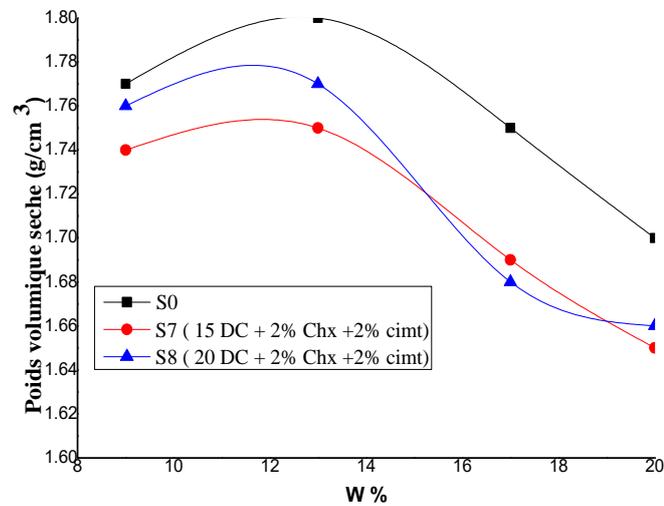


Figure 4. 4 : Compactage courbe de sol avec 15-20% déchets de céramique

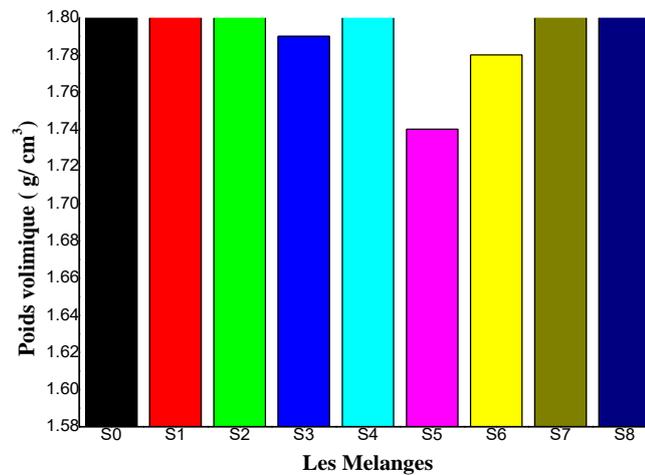
### Interprétation :

La Figure 4.4 illustre l'influence des déchets de céramique et de ciment et de chaux comme liant sur le sol, dont les résultats montrent que la densité sèche maximale reste la même ou diminue un peu.

Normalement, l'ajout de chaux au sol diminue un peu la densité sèche maximale et augmente la teneur en eau. Dans notre cas l'addition de 15% et 20% de déchets de céramique et les 2% de chaux avec 2% de ciment diminuent la densité sèche maximale d'environ 1,66%.

La stabilisation du sol avec de la chaux et du ciment nécessite plus de temps pour commencer l'hydratation.

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations



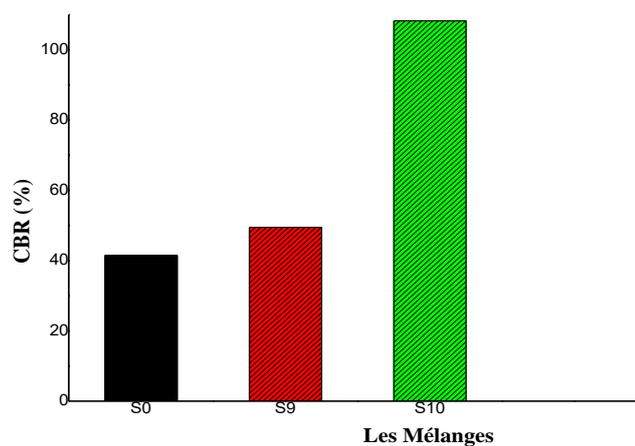
**Figure 4.5 :** Influence de déchets de céramique et chaux dans le compactage du sol avec 20-25% déchets de céramique et 4% , 8% de chaux.

### Interprétation :

De la Figure 4.5, nous pouvons conclure que l'effet des déchets de céramique et de chaux sur le sol maintient la densité sèche presque stable lorsqu'il est ajouté 20% ou 25% avec une variation de chaux de 4% à 8%.

### 4.6. Essais CBR (Californian Bearing Ratio):

#### 4.6.1 Mélanges Sol (S0, S9, S10) (Humide):

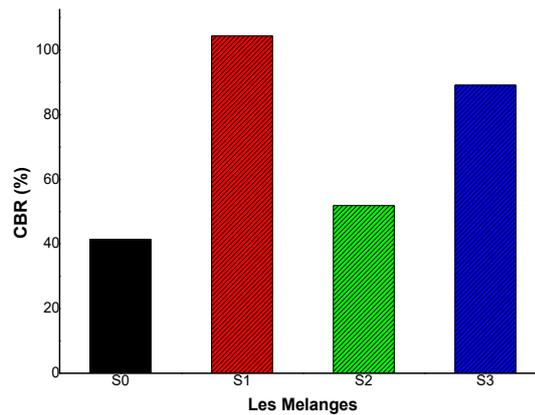


**Figure 4 :6 :** Effet de 20% et 25 % de déchets de céramique on CBR

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

Figure 4.6 présente l'ajout de 20 et 25 % de déchets de céramique au sol, qui augmente le CBR d'environ 42 % et 143 % a ajouté respectivement 20 et 25 % de déchets de céramique à l'état humide. Ainsi, des valeurs positives de CBR, support positivement à utiliser dans la -couche de forme la chaussée.

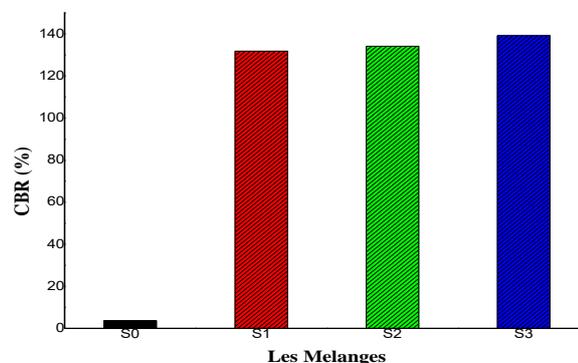
### 4.6.2 Mélange (S0, S1, S2 et S3) (Humide):



**Figure 4.7 :** Effet de 20% déchets de céramique avec 4 à 6% chaux on CBR (Humide)

La Figure 4.7 présente l'ajout de 20 % de déchets de céramique au sol et de 4% à 8 % de chaux, ce qui augmente le CBR d'environ 152 %. Ainsi les valeurs de CBR confirment l'influence positive des déchets de céramique et de chaux. Les nouveaux matériaux deviennent une masse dure, qui peut supporter de lourdes charges et nous pouvons conclure que la nouvelle matrice peut être utilisée pour les couches de chaussée.

### 4.6.3 Mélange (S0, S1, S2 et S3) (Immergé):

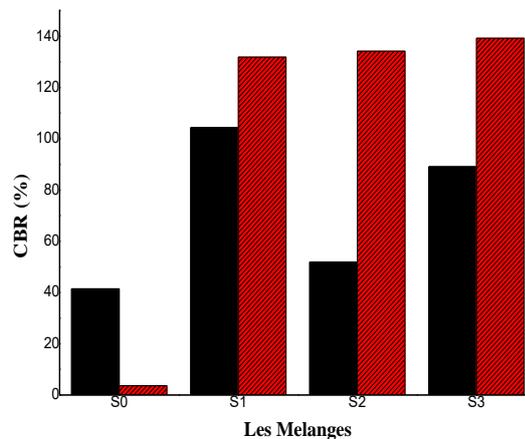


**Figure 4.8 :** Effet de 20% déchets de céramique avec 4 à 8% chaux on CBR (Immergé)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

La Figure 4 .8 présente l'ajout de 20 % de déchets de céramique au sol et de 4% à 8 % de chaux à l'état immergé, ce qui augmente le CBR d'environ 138 fois. Lequel notre sol a une faible capacité portante à l'état immergé (très sensible à l'eau). 20% de déchets de céramique et 4 à 8% de matériaux solides fabriqués par matrice pouzzolane. Dans ce cas, le CBR atteint 140% lorsqu'il est ajouté 20% de déchets de céramique et 8% de chaux.

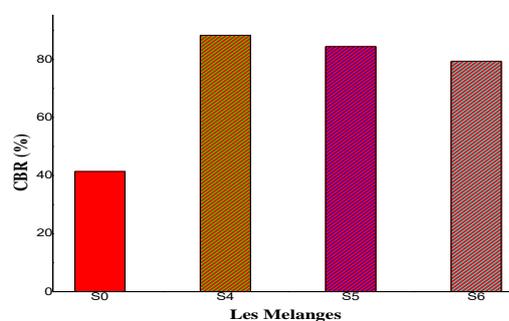
### 4.6.4 Mélanges (S0, S1, S2, S3) (Humide et Immergé) :



**Figure 4.9 :** Effet de 20% déchets de céramique avec 4 à 8% chaux on CBR (Humide et Immergé)

La Figure 4 .9 présente l'ajout de 20 % de déchets de céramique au sol et de 4 % à 8 % de chaux à l'état humide et immergé, ce que les résultats du CBR clarifient à l'état immergée, car l'eau aide à l'hydratation effectuée. 20% de déchets de céramique avec 4% à 8% de chaux donnent les valeurs les plus élevées de CBR.

### 4.6.5. Mélange (S0, S4, S5, S6) (Humide):



**Figure 4.10 :** Effet de 25% déchets de céramique avec 4 à 6% chaux on CBR (Humide)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

C'est clair à partir de la Figure 4. 10 Le CBR Les augmentations de CBR ont varié entre 91% et 113,2%, à l'état humide, ce qui confirme que les déchets de céramique et de chaux font une réaction pouzzolanique en réduisant les vides et la liaison entre les particules de sol. La composition de ces matériaux devient alors une masse dure.

### 4.6.6 Mélange (S0, S4, S5, et S6) à l'état immergé :

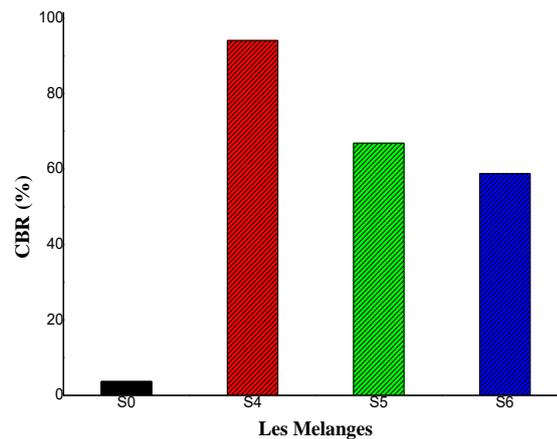


Figure 4.11 : Effet de 25% déchets de céramique avec 4 à 6% chaux on CBR (Immergé)

C'est clair à partir de la figure 4. 11 Le CBR augmente de CBR environ 16 à 26 fois, ce qui fournit les influences de 25 % de déchets de céramique avec 4 à 6 % de chaux à l'état immergé. Notre sol naturel très sensible à l'eau qui a une capacité portante très faible et l'ajout de déchets de céramique et de chaux augmentent la capacité portante à un niveau élevé.

### 4.6.7 Mélange (S0, S4, S5 et S6) à l'état humide et immergé :

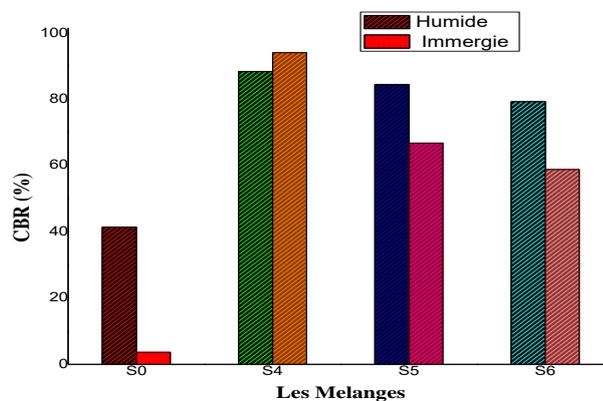
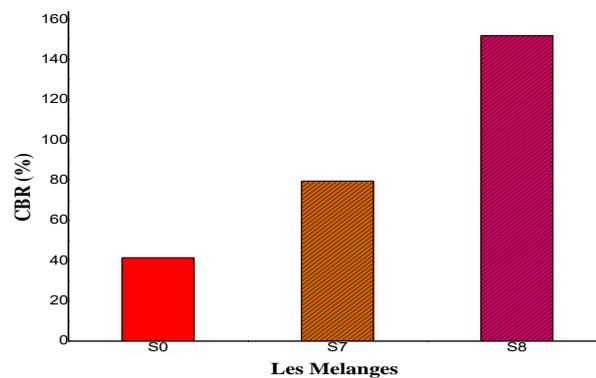


Figure 4.12 : Effet de 25% déchets de céramique avec 4 à 6% chaux on CBR (Humide et Immergé)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

C'est clair à partir de la figure 4. 12 Le CBR entre conditions humides et immergées, dont l'ajout de 4 % de chaux et de 25 % de déchets de céramique donne les valeurs les plus élevées de CBR à l'état immergé. Condition immergé cas favorable à notre recherche, quel notre sol lorsqu'on ajoute plus d'eau.

### 4.6.8. Mélange (S0, S7, S8) à l'état humide :



**Figure 4.13 :** Effet de 15% et 20% déchets de céramique avec 2% ciment et 2% chaux on CBR (Humide)

C'est clair à partir de la figure 4. 13 à l'état humide l'ajout de 20% de déchets de céramique avec 2% de chaux et 2% de ciment Le CBR a atteint 151%, ce que le ciment et la chaux comme liant avec 20% de déchets de céramique donne des valeurs de CBR plus élevées par rapport au mélange en utilisant uniquement déchets de céramique avec chaux. Un tel comportement a été observé avec des mélanges ciment-sol par [8]. Cependant, les résultats du CBR pour le sol à l'état immergé sont bien supérieur au CBR minimum requis de 25 % et 60 à 80 % pour les couches de matériaux de couche d'essai fondation et de couche fondation, respectivement [9].

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

### 4.7. Résilient Module :

#### 4.7.1 à l'Etat humide :

##### ✓ Formule de calcul

Selon Ayres 1997  $M_{r1} = 21 (\text{CBR})^{0.65}$

Selon Powell et al (1984)  $M_{r2} = 17.58 (\text{CBR})^{0.64}$

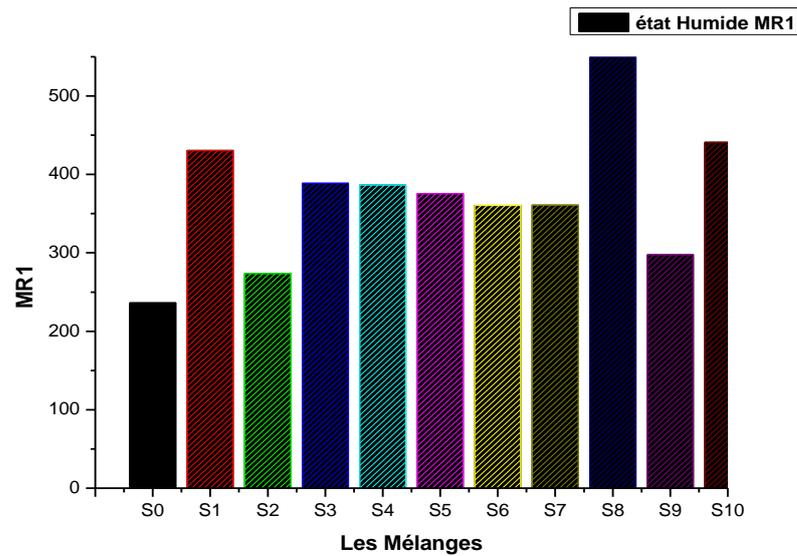


Figure 4.14 : Résilient module en fonction de mélanges à l'état humide (Reference 1)

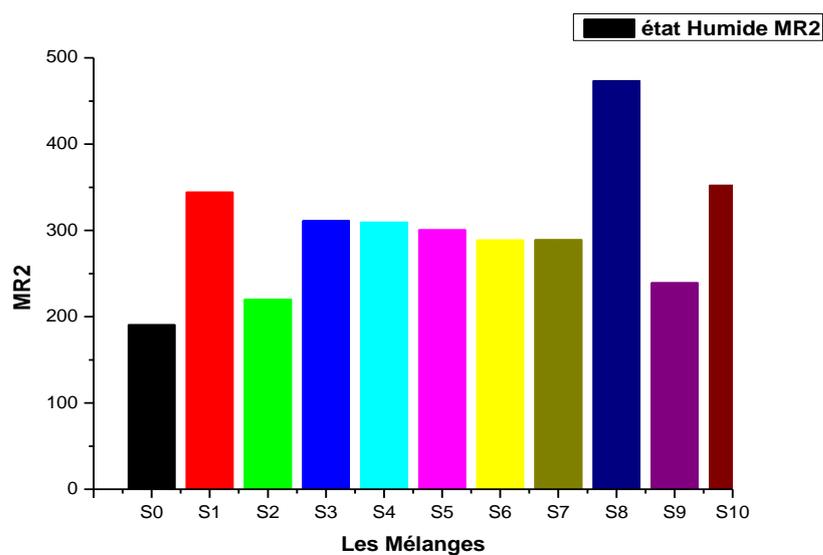


Figure 4.15 : Résilient module en fonction de mélanges à l'état humide (Reference 2)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

Nous avons calculé le Mr à partir des équations proposées dans la littérature. Les Figures 4.14 et 4.15 présentent les résultats des calculs de Mr de différents mélanges. La valeur de Mr pour sol no traite et compris entre 190 et 230 MPA à l'état humide. Ces valeurs de Mr pour un sol non traité sont inférieures à la valeur requise à l'état immergé, qui est de 300 MPA minimum. Un sol traité avec des déchets de céramique et de chaux augmente les valeurs de Mr, qui atteignent 549 MPA pour la référence 1 et 437 MPA pour la référence 2. La plupart des Mr de mélanges stabilisés à l'état humide jusqu'à 300 MPA. Ces résultats confirment l'influence positive des déchets céramiques et de la chaux sur le sol.

### 4.7.2 à l'Etat immergé :

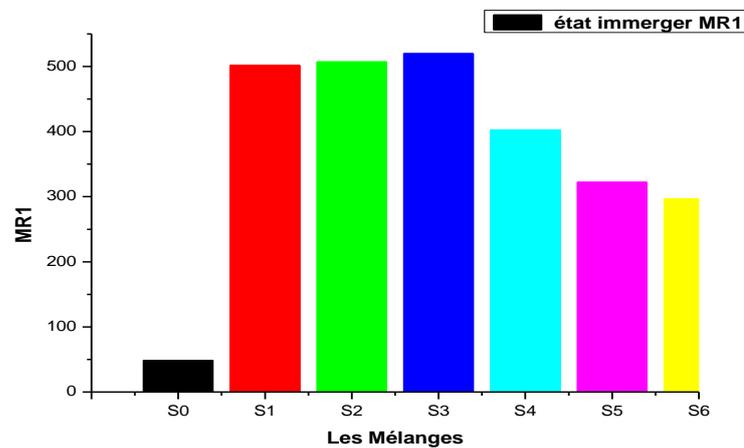


Figure 4.16 : Résilient module en fonction de mélanges à l'état immergé (Reference 1)

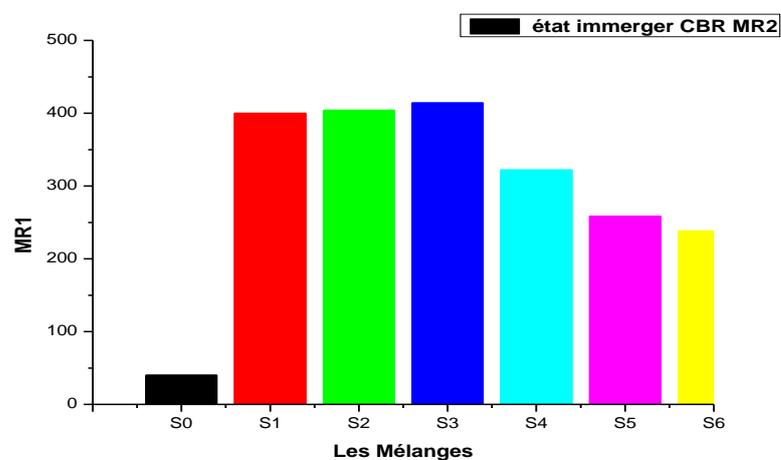


Figure 4.17 : Résilient module en fonction de mélanges à l'état immergé (Reference 2)

## Chapitre 4 : Analyse des Résultats et leurs Interprétations

Dans cette enquête utilisant des déchets de céramique et de chaux au sol montrent que, le sol non traité à l'état immergé donne un  $M_r$  inférieur à 50 MPA, ce qui confirme la sensibilité de ce type de sol à l'eau. Mais la plupart des mélanges lorsqu'on y ajoute des déchets céramiques et de la chaux augmentent  $M_r$  d'environ 968 % et 932 % pour les références 1 et 2 respectivement. Cela se traduit à condition immergé jusqu'au minimum requis par [10]. [11-12].

L'utilisation de 20 et 25 % de déchets céramiques avec de la chaux pour stabiliser le sol de la sous-couche de la chaussée peut améliorer la capacité portante du sol, ce qui réduit le coût de la construction de routes en réduisant l'épaisseur des couches, gaz à l'atmosphère et la consommation d'énergie lors de la production de céramiques.

### 4.8. Conclusion :

La stabilisation du sol avec de déchet céramique et la chaux ne changes pas son état, mais l'ajout de chaux et ciment amélioré les caractéristique mécanique de sol, augmenté la capacité portant du sol dans les deux cas humide et immergé.

L'ajout à différents taux de déchets de céramique, chaux et le ciment permet corriger les désordres causés à la couche de forme du tronçon reliant l'autoroute Est-Ouest et le Port Sec de Tixter-BBA. Et pour l'économie, Nous conseillons d'utiliser les mélanges S3 et S8.

## Conclusion Générale

### Conclusion Générale :

Dans l'étude expérimentale sur le sol traité de la route Texter située dans les zones Ain Taghrout de Bordj Bou Arreridj, Par déchets de céramique et liant hydraulique (chaux), que nous avons réalisés au laboratoire de génie civil de l'Université El-Bachir Ibrahim et LTPE pour analyser le comportement mécanique de la couche de forme de la route et suivit l'évolution de sa portance tout en augmentant les taux de déchets additionnés à des faibles quantités de chaux. Cette étude nous permet de connaître les caractéristiques initiales du sol utilisé :

- ✓ La masse volumique sèche  $1982 \text{ kg/m}^3$  - La masse volumique humide  $2000 \text{ kg/m}^3$
- ✓ CBR 44% à l'état humide et 3, 64% à l'état immergé

L'addition au sol  $S_0$  d'un taux de 20% et 25 % de déchets de céramique, avec 4% 6% et 8% de chaux a l'état humide et immergé, ces dosages permettent d'améliorer les propriétés de sol naturel par l'augmentation de la valeur du CBR de 266% à l'état humide en utilisant 20% de déchets de céramique 2% chaux et 2% ciment , 152.% en cas d'utilisation de 20% déchets de céramique et 4% chaux.

Le CBR augmente de 38 fois à l'état immergé lorsque vous ajoutez 20 % de déchets de céramique avec 4 % de chaux.

Les faibles résultats du CBR à l'état immergé pour le sol non traité, et sol traité avec déchets de céramique indiquent que ce type de sol est très sensible à l'eau, ce qui justifie notre choix. L'effet des déchets de céramique c'est de remplir les vides dans le sol alors que la chaux joue le rôle de colle particules-particules ce qui augmente sa résistance au fil du temps.

Il nous a permis de traiter les sols avec des déchets de céramiques et la chaux. Nous avons développé une feuille de route de spécifications internationales et de bonnes propriétés mécaniques pour l'aider à vivre longtemps sans déformations et glissements.

Cette nouvelle technique dans le traitement du sol a de nombreux avantages parmi eux :

- ✓ Augmente la capacité portant de sol. - Augmenté la durée de vie de la route.
- ✓ Exploitation de l'énorme masse de déchets plastiques dans la nature.
- ✓ Protéger l'environnement de la pollution et lui donner une belle vue

## **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.

### **Recommandation :**

Pour comparer nos résultats à la situation réelle sur le site, nous devrions faire les tests avec perméabilité et UCS pour confirmer les résultats de CBR.

**REFERENCES**

**BIBLIOGRAPHIQUES**

## **Références Bibliographiques**

- [1]. Hedadcha Abdennour. Gaouaoui Salim Influence de la teneur en eau sur les caractéristiques macromécaniques et physique De la Couche de fondation d'une chaussée stabilisée par les déchets de céramique et le ciment 2020-2021
- [2]. Herizi Boudjmaa- Achour Mohamed Effet combiné des déchets de brique et de céramique sur le comportement du mortier 2019/2020
- [3] Chatbani et Hamla. Déchets de céramique et liant hydraulique pour améliorer la stabilité du sol dans les projets de construction routière. (2017) Mémoire Master2 Département de génie civil Université de BBA.
- [4] Benzartiha et Gouichiche. Amélioration de la stabilité du sol dans les projets de construction routière par les déchets de céramique et les liants hydraulique. (2018) Mémoire Master2 Département de génie civil Université de BBA.
- [5] Bouderouz et Hadjab. Effet de déchets céramiques et de la chaux sur le compactage et CBR dans la couche de fondation d'une chaussée. 2021 Mémoire Master2 Département de génie civil Université de BBA.
- [6] Touati Hayat Kebaili Inès, Stabilisation de la couche de fondation d'une chaussée par l'ajout de ciment et de déchets plastiques industriels. 2020 Mémoire Master2 Département de génie
- [8]. Abdullah A. Al-Homidy, Mohamed H, Dahim, Ahmed K. Abd El Aal (2016) Improvement of geotechnical properties of sabkha soil utilizing cement kiln dust. J of Roc Mec & Geot Eng. 9(4):749-760.
- [7] Zerrougui Zakaria. Amélioration des caractéristiques mécaniques d'une couche de fondation d'une chaussée par les déchets plastiques industriels et la chaux. 2020 Mémoire Master2 Département de génie civil Université de BBA.
- [8]. Abdullah A. Al-Homidy, Mohamed H, Dahim, Ahmed K. Abd El Aal (2016) Improvement of geotechnical properties of sabkha soil utilizing cement kiln dust. J of Roc Mec & Geot Eng. (2016) 9(4): 749-760.
- [9]. Ramzi T, Zahran A K, Khalifa A J, Mahad B, Khalid AS Recycling of waste spent catalyst in road construction and masonry blocks. J of Hazardous Mate. (2012) 229(230): 122-127.
- [10]. Aust Stab (2015). Pavement recycling and stabilization guide. 2<sup>nd</sup> ed. Aust Stab. P159.
- [11]. DTPI (department of transport, energy and infrastructure), Part 215. Pavement materials. Master specification, division 2, road works. (2011)
- [12]. Mousa E, Azam A M, EL shabrawy M, El- Badawy S Laboratory characterization of reclaimed asphalt pavement for road construction in Egypt. CJCE. (2017) 44 6 417-425