



*République Algérienne Démocratique Et Populaire*  
**UNIVERSITÉ MOHAMED EL-BACHIR EL-IBRAHIMI**  
**BORDJ BOU-ARRERIDJ**



**FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

## **MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

*Réalisé en vue de l'obtention du diplôme de MASTER*  
*Option : Géotechnique*

### **Thème :**

*Influence de la teneur en eau sur les caractéristiques mécaniques et physique*

*De la couche de fondation d'une chaussée stabilisée par*

*Les déchets de céramique et le ciment.*

**Présenté par :**

*Hedadcha Abdennour.*

*Gaouaoui Salim.*

**Proposé et dirigé par :**

*Dr. Sadek Deboucha.*

**Président** : *Maouas Ammar.*

**Examineur** : *-Ben Ammar Abdelhafid.*

*-Loumachi lazhar.*

**PROMOTION: 2020-2021**

## **REMERCIEMENTS**

*Nous tenons à remercier infiniment Monsieur l'encadreur de mémoire Dr. Sadek Deboucha*

*Pour tous les conseils et les idées qu'il nous a donné et également pour son soutien moral et  
Technique.*

*Nous exprimons notre profonde gratitude au chef de département pour ses encouragements et  
Son assistance qu'il n'a cessé de nous prodiguer.*

*Nous exprimons nos vifs remerciements à Monsieur le président de jury, pour l'honneur  
Qu'il nous 'a fait en présidant le jury de soutenance, nous tenons à lui exprimer notre profonde  
Reconnaissance.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère remerciement aux membres du jury pour l'honneur  
Qu'ils nous ont fait en acceptant d'être membres de jury et de bien vouloir juger ce travail.*

## *DÉDICACES*

*Nous dédions Ce modeste travail,*

*A nos chers parents, qui sont toujours derrière nous pour*

*Nous encourager ET nous pousser vers la réussite.*

*Je dédie ce travail à ma femme et ma fille **Maria***

*A nos frères, à nos chères sœurs, nos oncles, nos tantes, qui ont*

*Toujours confiance en nous Durant tout notre parcours d'études.*

*A tous nos chers Amis (es) qui nous ont aidés à la réussite de ce travail:*

*(Hamza adjir, Bouarissa abderrahim, Riad et Oualid Rahmouni*

*Yacine Hammouche).*

*Nous dédions Ce travail pour tous les membres de Laboratoire Mécanique Des*

*Sols Et Géotechnique **L.M.S.G BOUZIANE***

*Salim  
Abdenmour*

## **Résumé**

Le développement dans le monde a touché de nombreux domaines, y compris les projets de construction de routes, en raison des problèmes rencontrés par les ingénieurs dans ce domaine, leur permettant d'adapter les expérimentations et les études visant le traitement des sols. Pour construire une construction de route solide par un bon sol.

Le but de cette étude est de mélanger des déchets céramiques et du ciment dans le sol avec 2 à 3 % d'eau supplémentaires et de vérifier les caractéristiques mécaniques telles que la densité sèche, le CBR et l'UCS. Les résultats ont montré que la densité sèche diminue entre 11 % et 13 %, le CBR diminue d'environ 96 % et l'UCS diminue de 33 %.

Ces résultats ont confirmé que les risques d'eau pour la sous-couche de construction de la route.

**Mot clé** : Déchet de céramique, ciment, construction routier.

## **Abstract**

Development in the world has affected many areas, including road construction projects, because of the problems encountered by engineers in this field, allowing them to adapt experiments and studies aimed at soil treatment. To built solid road construction by good soil.

The purpose of this study is to mixed ceramic waste and cements into the soil with an additional 2 % to 3% more water and checks the mechanical characteristic as dry density, CBR, and UCS. The results showed that the dry density decreases between 11 % and 13 %, CBR decreases about 96% and UCS decreases 33%.

These results confirmed that the risks of water to the sub-base layer of road construction.

**Key Word** : Ceramic waste,Cement,Road construction.

## ملخص

لقد أثرت التنمية في العالم على العديد من المجالات ، بما في ذلك مشاريع إنشاء الطرق ، بسبب المشاكل التي يواجهها المهندسون في هذا المجال ، مما أتاح لهم تكيف التجارب والدراسات التي تهدف إلى معالجة التربة. لبناء طريق متين بشق تربة جيدة.

الغرض من هذه الدراسة هو خلط نفايات السيراميك والأسمنت في التربة بمياه إضافية بنسبة 2% إلى 3% وفحص الخصائص الميكانيكية مثل الكثافة الجافة ، UCS، CBR.

أظهرت النتائج أن الكثافة الجافة تقل بين 11% و 13% ، وتتنخفض CBR بحوالي 96% بينما تقل نسبة UCS بحوالي 33%.

وفي الأخير ، أكدت هذه النتائج على مخاطر المياه على الطبقة الأساسية الفرعية لبناء الطرق.

**الكلمات المفتاح:** نفايات السيراميك ، الأسمنت ، بناء الطرق

## SOMMAIRE

### **Chapitre I : Introduction générale**

I . 1 Introduction : .....	14
I . 2 Emplacement de site (Tixer la zone de prélèvement) : .....	15
I . 3 Géographie : .....	15
I . 4 Climat de La wilaya de Bordj Bou Arreridj: .....	16
I . 5 Objectif: .....	17
I . 6 Structure du mémoire : .....	18

### **Chapitre II : Etude bibliographique**

II . 1 Introduction : .....	20
II . 2 Les matériaux utilisés: .....	20
II . 3 Les phases de sol: .....	21
II . 4 Les types de sol : .....	21
II . 5 Les chaussées: .....	24
II . 6 Structure de la route: .....	25
II . 7 L'amélioration et stabilisation des sols: .....	27
II . 8 Conclusion: .....	32

### **Chapitre III : Méthodologie**

III . 1 Introduction :	34
III . 2 Matériaux utilisés :	34
III . 3 Les essais :	37
III . 4 Essais Proctor Modifié (NF P 94-093).....	37
III . 5 Essais CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :	41
III . 6 Essais UCS (ASTM D2166).....	46
III . 7 Conclusion :	48

### **Chapitre IV : Résultats, Analyses et leurs interprétations**

IV . 1 Introduction .....	50
IV . 2 Essais standards .....	50
IV . 3 Essais mécaniques .....	51
IV . 4 Conclusion.....	65
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>62</b>

## LISTE DES FIGURES :

Figure I. 1 Carte de Tixter (Algérie /Bordj Bou Arreridj).....	15
Figure I. 2 La carte géographique de Tixter .....	15
figure II. 1 présentation de sol .....	20
figure II. 2 Schéma simplifié des trois phases du sol. ....	21
figure II. 3 Déchet de céramiques. ....	23
figure II. 4 Ciment utilisé .....	24
figure II. 5 La terminologie de la chaussée .....	25
figure II. 6 Variation de CBR imbibée avec le pourcentage de poussière de céramique .....	31
figure II. 7 Variation de CBR imbibée avec le pourcentage de céramique .....	31
figure II. 8 L'effet de dosage de céramique sur l'indice de vide .....	32
FIGURE III. 1 Zone de Tixter .....	34
FIGURE III. 2 Le sol étudié .....	34
FIGURE III. 3 La courbe granulométrique du sol.....	35
FIGURE III. 4 Analyse granulométrique de déchets de céramique.....	36
FIGURE III. 5 Déchet de céramique.....	36
FIGURE III. 6 Ciment utilisé .....	37
FIGURE III. 7 Principe de l'essai Proctor modifié.....	39
FIGURE III. 8 Matériels utilisés – Proctor Modifiés.....	40
FIGURE III. 9 Schéma de principe de l'essai CBR.....	41
FIGURE III. 10 Matériel utilisé dans l'essai CBR. ....	43



FIGURE III. 11 CBR du sol traité en ciment et déchet de cramique au temps de cure jours (1j, 28j). .....	43
FIGURE III. 12 CBR du sol traité en ciment et déches de cramique à l'Etat immergée (à la cure).....	44
FIGURE III. 13 Déroulement de l'essai CBR. ....	45
FIGURE III. 14 Mode opératoire – Essai UCS .....	48
FIGURE IV. 1 Courbe de détermination de WL .....	50
FIGURE IV. 2 Influence de 2% teneur en eau de la densité sèche.....	52
FIGURE IV. 3 Influence de 3% teneur en eau de la densité sèche.....	52
FIGURE IV. 4 Influence of OPT +2% and 3% en densité sèche .....	53
FIGURE IV. 5 Influence de teneur en eau dans la densité sèche .....	54
FIGURE IV. 6 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (1 j) .....	57
FIGURE IV. 7 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j) .....	57
FIGURE IV. 8 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j) .....	58
FIGURE IV. 9 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j) .....	59
FIGURE IV. 10 Effet de l'ajout de déchet céramique sur la compression simple à l'état humide (1J).....	59
FIGURE IV. 11 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (7J) .....	60
FIGURE IV. 12 Effet de l'ajout de déchets céramique + ciment sur la compression simple à l'état Immergé (7J).....	61
FIGURE IV. 13 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (14J) .....	62
FIGURE IV. 14 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Immergé (14J).....	62

FIGURE IV. 15 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (28J) .....	63
FIGURE IV. 16 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Immergé (28J) .....	64
FIGURE IV. 17 Influence de teneur en eau dans UCS des mélanges .....	65

## **LISTE DES TABLEAUX :**

Tableau III . 1 Les limites et les indice tiré d'essai limite d'Atterberg (100% sol).....	35
Tableau III . 2 La classe de portance.....	46
Tableau IV. 1 Synthèse résultat de compactage (Tous les mélanges). ....	51
Tableau IV. 2 Résultat de CBR de sol traité W (Opt) + 3% en fonction du temps de la cure. ....	56

### Liste des abréviations:

**GTR** :Guide des Travaux Routiers

**Ic** : Indice de consistance

**Ip** : Indice de plasticité

**W** : Teneur en eau

**W (Opt)** :Teneur en eau Optimale

**WI** : Limite de liquidité

**WP** :Limite de plasticité

**CBR** :California Bearing Ratio

**I.CBR**: Indice CBR

**UCS** :Unconfined Compression Strength

**DC** :Déchet de Céramique.

**$\gamma_d$**  : Poids volumique sec

**$\gamma_h$**  : Poids volumique humide

**n** : La porosité

**e** : Indice des vides

**kpa** :kilo pascal.

**KN** :kilo Newton

**Mpa** :Méga pascal

*CHAPITRE 01 :*  
***CHAPITRE 01 :***

*INTRODUCTION GENERALE*  
**INTRODUCTION GENERALE**

## **I. 1 INTRODUCTION GENERALE :**

Le réseau routier moderne est l'un des éléments de développement les plus importants en raison de son rôle dans la réalisation de la communication entre les régions et les provinces, les villes et les villages les uns aux autres, en plus de son rôle dans la croissance économique, car elle contribue à la prospérité du commerce et les activités économiques et faciliter la circulation entre les communautés urbaines et entre les zones des zones de production et de distribution, et parce que ce réseau est l'infrastructure utilisée par les moyens de transport et la quantité et la qualité de l'efficience et l'efficacité de ce réseau est l'infrastructure et compétitivité la du pays pour attirer le niveau d'investissement, où nous ne pouvons pas réaliser tout plan de développement sans être servi par des moyens de profiter de réseau de qualité. [1]

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[2].

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. [3]

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 pour l'utilisation dans le sol comme solution pour exploiter ces déchets.

## I. 2 Emplacement de site (Tixter la zone de prélèvement):

En ce qui concerne cette étude. Nous avons choisi le lieu entre la commune de Tixter et celle d'Ein Taghrout. Exactement près du port sec de la zone Tixter. Afin d'exploiter le sol de la région pour mener l'ensemble d'expériences proposé.



Figure I. 1 Carte de Tixter (Algérie /Bordj Bou Arreridj)

## I. 3Géographie:

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 1 100 m. 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'Ain Taghrout avec une superficie totale de 64 km<sup>2</sup>.

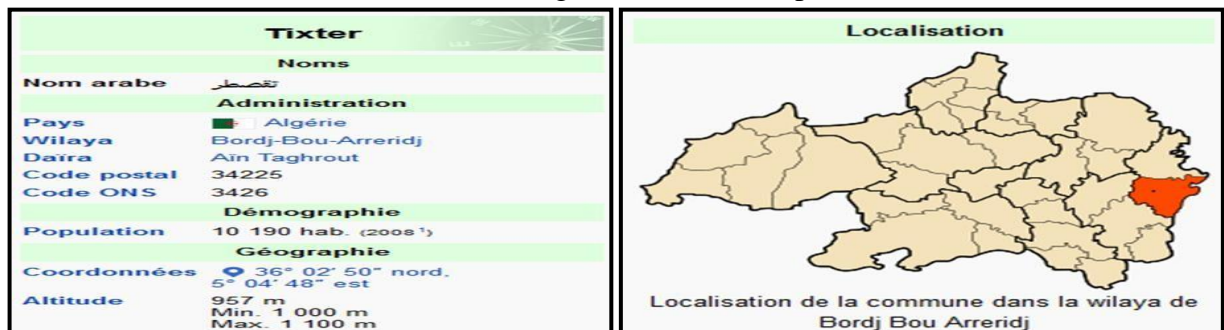


figure I. 2 La carte géographique de Tixter

#### **I. 4 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.

#### **problématique:**

En Algérie, nous observons que la plupart des routes ont une durée de vie courte. Cela est dû à plusieurs raisons: compris la qualité du sol et la méthode de construction et la quantité de précipitations tombant ..... Etc. À titre d'exemple de ces dommages, nous notons les documents suivants, 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 et le ciment.

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

- Certains types de sols ont de mauvaises propriétés et une faible résistance, 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 avant poser la route.

L'un des problèmes qui se posent directement à la surface de la route à travers les fissures et les déformations est le problème de tassement lié principalement à la structure du sol et à la proportion des vides qu'il contient. L'amélioration du sol devrait être faite pour réduire ce problème.

L'accumulation de déchets de céramique dans l'espace agriculture et autre sensible zones, si nous constatons de grand efforts en vue de la réutilisation dans les différents domaines comment pourrait être utilisé pour améliorer les caractéristiques du sol et comment cela contribue à réduire le coût de la construction, qui est aussi un facteur très important doit être soigneusement observé.



### **I. 5 Objectif:**

Compte tenu du rôle important joué par le réseau routier dans les transports et l'économie et à travers de cette étude nous visons principalement:

-Éliminer le problème des dommages routiers et assurer l'établissement de routes de haute qualité et une durée de vie plus longue.

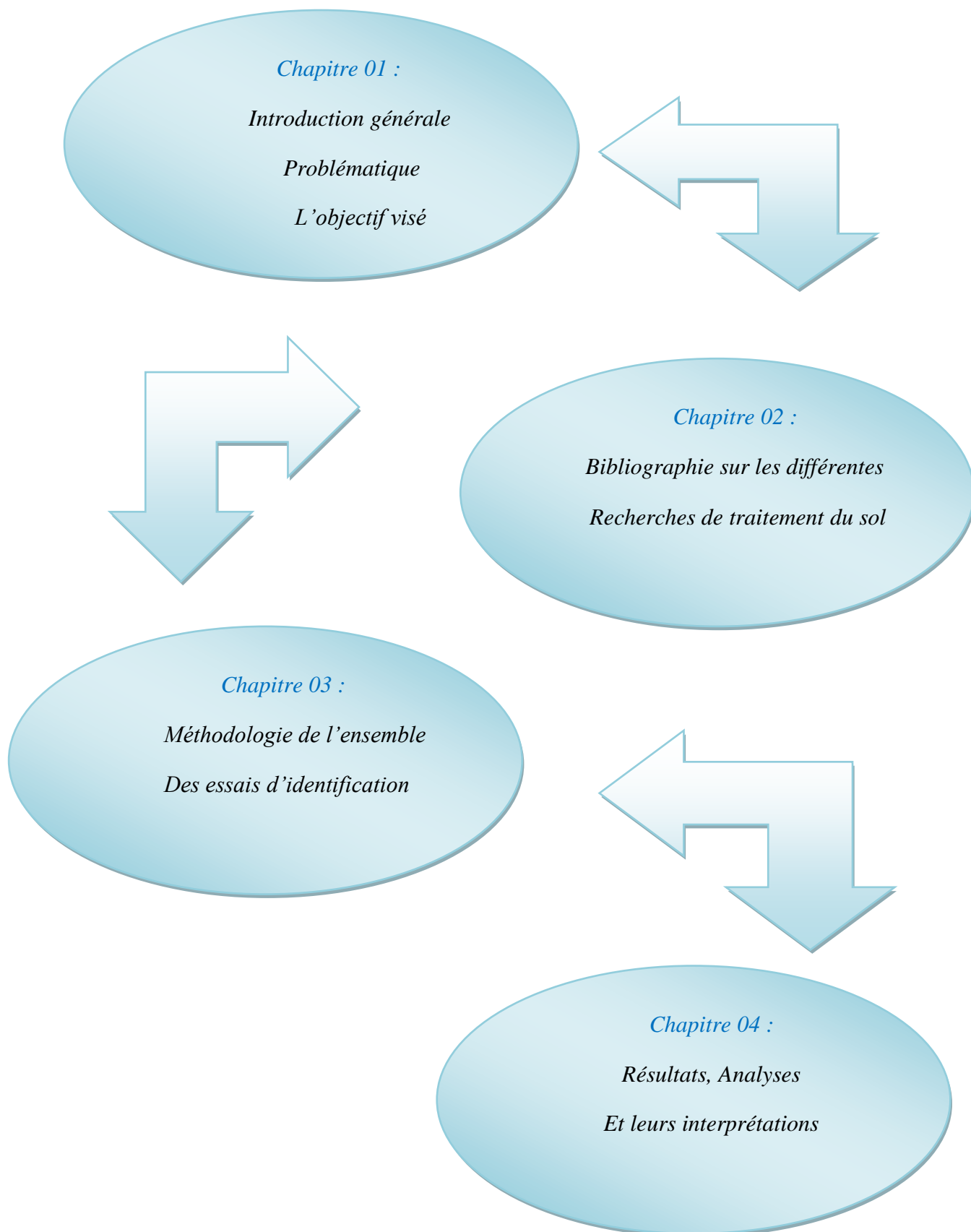
-Utiliser autant de déchets que possible, en particulier les déchets de céramiques.

-Éliminer la pollution dans l'espace d'agriculture et zone côtier.

-Réduire les coûts par l'utilisation des déchets et minimiser la maintenance après l'utilisation de la route.

-Augmentation de la capacité portante du sol, la rigidité, imperméabilité, homogénéité, vieillissement, durabilité, prédiction de la résistance fonction du type de sol, par introduisant des déchets de céramique et de ciment dans l'amélioration du sol.

## I. 6 Structure du mémoire :



*CHAPITRE 02 :*  
***CHAPITRE 02 :***

*ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **II. 1 Introduction :**

L'expansion et développement extensifs dans le domaine du génie civil. Ceci est dû à la demande croissante de ressources matérielles ainsi qu'à la préservation de l'environnement d'une part et à l'apport d'une nouvelle vision pour le développement durable d'autre part.

L'un des domaines de l'utilisation des déchets dans le génie civil est ce qu'on appelle le traitement des sols est souvent opéré pour augmenter leur résistance, pour réduire ou 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.

## **II . 2 Les matériaux utilisés:**

### **le sol:**

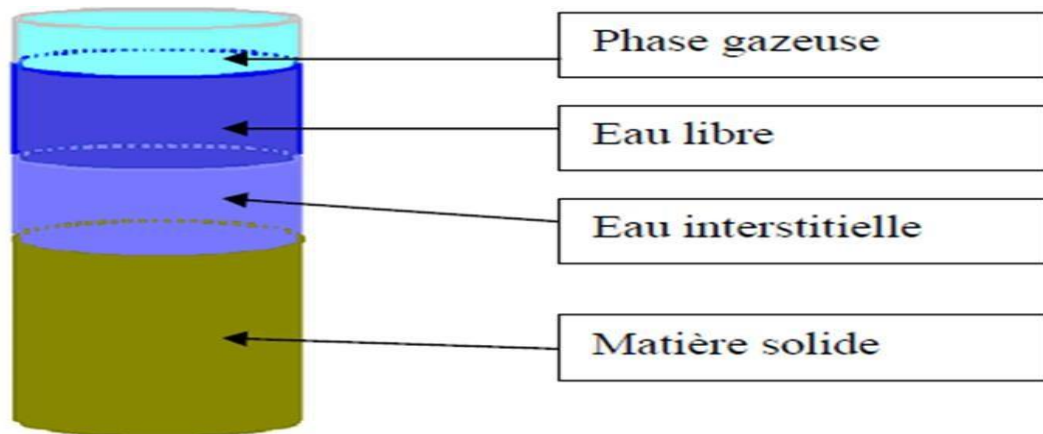
Le sol fait partie intégrante des écosystèmes terrestres et constitue l'interface entre la surface de la terre et le socle rocheux. Il se subdivise en couches horizontales successives aux caractéristiques physiques, chimiques et biologiques spécifiques. Il a également différentes fonctions. Du point de vue de l'histoire et de l'utilisation des sols ainsi que d'une perspective écologique et environnementale, le concept de sols embrasse également les roches poreuses sédimentaires, les autres matériaux perméables, en plus de l'eau qu'ils contiennent et des réserves d'eau souterraine. » Conseil de l'Europe [4]. Pour les ingénieurs routiers et les géotechniciens: les « sols » sont des matériaux naturels, constitués de grains faciles à séparer par simple trituration ou par l'action d'un courant d'eau. Ces grains, ou éléments, peuvent être de dimensions extrêmement variables, allant des particules d'argile aux blocs rocheux [5].



*figure II. 1 présentation de sol*

### **II. 3 Les phases de sol:**

Nous schématiserons les sols comme étant composé de trois phases. Une phase solide composée de particules minérales solides et organiques. Une phase liquide sous différentes formes appelé : eau libre, eau interstitielle et pour finir une phase gazeuse. [3]



*figure II. 2 Schéma simplifié des trois phases du sol. [3]*

### **II. 4 Les types de sol :**

Trois type de sols ressortent comme étant les plus souvent rencontrés sur un chantier :

- Sols grenus
- Sols fins
- Sols organiques. [3]

### **Les céramiques:**

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. Elles sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée qui est agglomérée. Dans une deuxième étape la densification et la consolidation de cet agglomérat sont obtenues par un

traitement thermique appelé frittage. A la différence des verres les céramiques, en tous cas dans les matériaux les plus anciens, sont constituée de 2 phases distinctes : une phase vitreuse, la matrice (désordonnée) et une phase cristalline (ordonnée). [7]

### **Quelques types des céramiques:**

**A / La poterie :** On désigne généralement sous ce terme les terres cuites simples d'usage courant. Peu onéreuse elle est généralement fabriquée à proximité du lieu de consommation. Objet utilitaire, son usage définit sa forme. Parfois une glaçure peut venir le recouvrir afin de favoriser les caractéristiques du vase (étanchéité, décoration...).

**B / La sigillée :** céramique fine produite à grande échelle par quelques ateliers gallo- romains. Il s'agit d'une terre cuite moulée richement décorée puis trempée dans de la barbotine (argile liquide) qui va lui conférer à la cuisson une couleur rouge-orangée d'aspect vernissé typique. Lorsqu'elles sont de bonne qualité, les sigillées sont solides et difficilement rayables. Très populaire aubier et IIe siècle de notre ère, elles disparaissent avec la chute de l'Empire romain.

**C / La faïence :** La faïence naît de la volonté de copier la coûteuse porcelaine chinoise. Les procédés sont connus depuis longtemps au Moyen-Orient et sont réellement mis en valeur en Italie et en Espagne au XVe siècle. En France, il faut attendre la venue d'artistes italiens dans le sillage de François 1er pour découvrir les techniques de cet art. La faïence est une terre cuite qui, après une première cuisson, est recouverte d'un émail opaque généralement blanc. Après un temps de séchage, on peut décorer les objets selon une palette limitée dans un premier temps à cinq couleurs (bleu, jaune, rouge, vert et violet) avant de leur faire subir une nouvelle cuisson qui leur donnera un aspect brillant et parfaitement étanche.

**D / La porcelaine :** La porcelaine fait l'objet de toutes les attentions en Europe. Légère et translucide, solide et fine, ce type de céramique restera un monopole chinois jusqu'au XVIIIe s. avant qu'un Allemand perce le mystère de cette pâte. Utilisant une argile blanche spécifique appelé kaolin, la porcelaine se vitrifie naturellement lors d'une cuisson à haute température. [8].

### **Déchet de céramique et de faïence :**

Une partie des déchets du secteur du bâtiment et des travaux publics peut être recyclée sous forme de granulats. L'Est Var 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 [10].



*figure II. 3 Déchet de céramiques.*

### **Le ciment:**

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées :

silicate tricalcique, ou  $C_3S$  ( $3 CaO, SiO_2$ ),

- silicate bicalcique, ou  $C_2S$  ( $2 CaO, SiO_2$ ),
- aluminate tricalcique, ou  $C_3A$  ( $3 CaO, Al_2O_3$ ),
- aluminoferrite tricalcique, ou  $C_4AF$  ( $4 CaO, Al_2O_3, Fe_3O_3$ ).

Les matières premières essentielles sont la roche calcaire et l'argile. Elles sont broyées et éventuellement additionnées de produits secondaires. Le mélange obtenu s'appelle le cru et est composé d'environ 80 % de calcaire et d'environ 20 % d'argile [11].

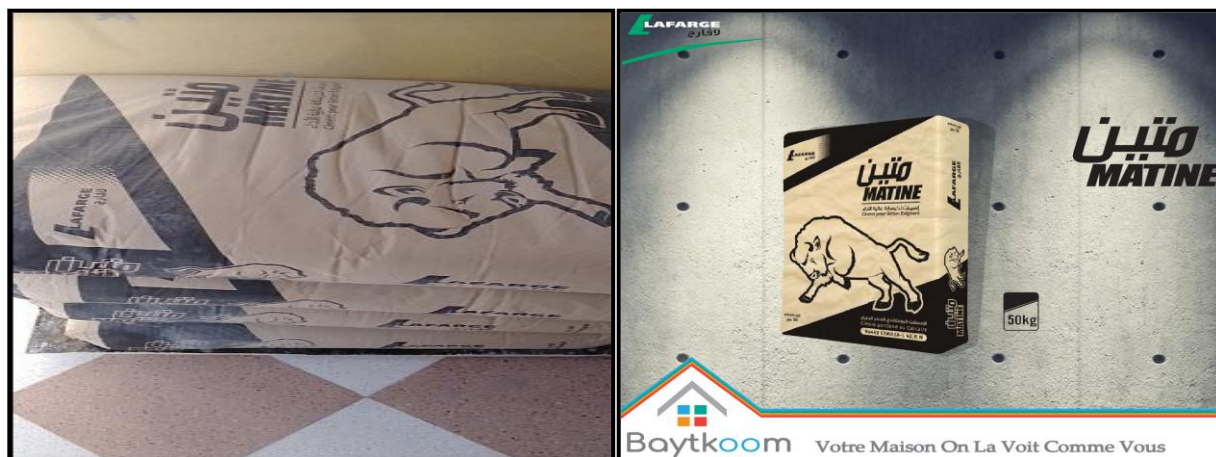


figure II. 4 Ciment utilisé

### **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 [11].

### **II. 5 Les chaussées:**

Il est vrai qu'on circulait aisément sur des pistes bien nivelées quand les conditions climatiques étaient favorables, mais en période de pluie, les sols mouillés devenaient glissants ou se transformaient en borbiers. On entreprit alors d'étaler, aux endroits les plus mauvais, des lits de pierres dont le mérite était d'être moins sensible à l'eau.

L'idée du matelas de pierres a duré de nombreux siècles. Elle s'est développée à l'époque des Romains pour donner naissance à la chaussée Romaine: le dallage. Plus tard, la route empierrée (macadam) a fait son apparition et avec elle, les premières spécifications pour l'exécution d'une bonne route [16].



À cet égard, les termes suivants devraient être définis:

Le terme «route» désigne toute l'emprise de tout chemin ou rue ouvert à la circulation publique.

Le terme «chaussée» désigne la partie de la route normalement utilisée pour la circulation des véhicules; une route peut comporter plusieurs chaussées nettement séparées l'une de l'autre, notamment par un terre-plein central ou une différence de niveau [20].

## **II . 6 Structure de la route:**

- 1 / **La chaussée**, au sens structural, est l'ensemble des couches de matériaux disposées pour supporter la circulation des véhicules sur le terrain préparé. La chaussée est dite rigide si elle comporte une dalle en béton de ciment ; elle est dite souple dans le cas contraire.
- 2 / **La forme**: est la surface du terrain préparé sur laquelle est édifiée la chaussée et parfois les accotements quand ils sont rapportés. Elle peut être encaissée ou dérasée[21].

### **2.3.2/Les grandes familles de chaussée :**

Suivant leur mode de fonctionnement, on distingue 6 grandes familles de chaussée: Les chaussées souples ; Les chaussées semi-rigides ; Les chaussées rigides ; Les chaussées à structure mixtes ; Les chaussées à structure inverse ; Les chaussées bitumineuses épaisses [15].

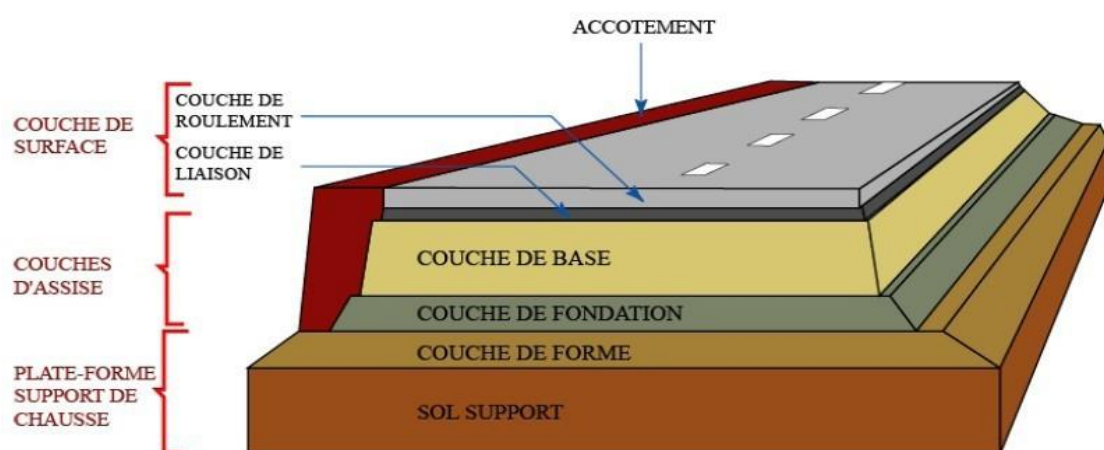


figure II. 5 La terminologie de la chaussée

### **Support de chaussée:**

Les structures de chaussées routières ou de voies ferroviaires sont construites sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée ou de voie ,elle se compose de:

- de sols en place ou matériaux rapportés (environ 1,00 m) pour former la partie supérieure des terrassements (PST) des fonds de déblais et des remblais, sa surface représente l'arase terrassement.
- de matériaux souvent élaborés sus-jacents à cette partie, pour constituer la couche de forme.

Les dimensionnements de la couche de forme et de la structure de chaussée ou de voie sont conditionnés par la caractérisation mécanique des sols constituant la PST. La norme de classification des sols (NF P 11-300) permet cette caractérisation, elle est fondée sur :

l'état hydrique à la mise en œuvre.

Le comportement mécanique.

À partir de ces éléments, différents cas de PST sont définis et décrits dans le guide des terrassements routiers (GTR), cette description est complétée par la portance à long terme sur l'arase terrassement et pour laquelle quatre classes d'arase sont distinguées.

La couche de forme est un élément de transition permettant d'adapter les caractéristiques des matériaux de remblai ou de sols en place aux fonctions essentielles d'une plate-forme support de chaussée ou de voie. Elle doit donc répondre à la fois des objectifs de court terme pour la réalisation de la chaussée ou de la voie (nivellement, portance, protection du sol support et traficabilité) et de long terme vis à vis de l'utilisation de l'ouvrage (homogénéisation, garantie d'une portance minimale, contribution au drainage de la plate-forme.

Les matériaux de couche de forme pourront être utilisés dans leur état naturel ou être rendus aptes moyennant une modification de leur nature ou de leur état (traitement aux liants ou élaboration) afin de satisfaire à des critères concernant :

- l'insensibilité à l'eau.
- la dimension des plus gros éléments.
- la résistance sous circulation des engins de chantier.
- l'insensibilité au gel.

Le couple PST - couche de forme détermine la portance à long terme de la plate-forme support de chaussée. [22]

### **II . 7 L'amélioration et stabilisation des sols:**

En raison du rôle important joué par le réseau de routes dans divers domaines, la recherche et le développement sont en cours pour trouver des moyens efficaces, Afin de créer des routes de haute qualité et une plus grande durabilité, Parmi ceux-ci sont nos méthodes L'amélioration et stabilisation des sols.

#### **Avantages d'amélioration:**

-Empêcher le tassement excessif des terres renflouées quand elles sont utilisées pour la construction (routes, aéroports, ponts et autres fondations).

-Augmenter la rigidité du sol afin d'empêcher la liquéfaction et les dommages consécutifs aux structures dans des régions sismiques.

Augmenter la résistance au cisaillement du sol afin d'empêcher les glissements de terrain.

Augmenter la portance du sol ; Immobiliser ou stabiliser les contaminants dans le sol dragué afin d'éliminer des incidences sur l'environnement.

Quelques méthodes d'amélioration peuvent également fournir des moyens rentables pour réduire la contamination des sols. L'assèchement des sols contaminés a un double effet. Une partie du sol amélioré peut être réutilisée pour des projets de construction,

Éliminant la nécessité d'extraire de nouveau du sable de mine. Les quantités de sédiment inutilisable sont réduites, ce qui diminue l'espace requis pour le stockage, qui est toujours coûteux et problématique en termes d'environnement. En outre, quand des additifs tels que le ciment sont employés pendant l'amélioration du sol [15].

### **L'amélioration des sols:**

Amélioration est une opération quasi instantanée qui consiste à améliorer les propriétés géotechniques du sol avec un ajout de liant pour des teneurs variant de 1 à 3 % (augmentation de la portance, de la résistance à la pénétration, amélioration de l'aptitude du sol au compactage), alors que la nature du sol reste la même. Cette opération permet d'assurer la mise en œuvre du sol avec les ateliers traditionnels de terrassement. [12]

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. 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. [13]

Les méthodes d'amélioration des sols décrites dans le présent article ont été classées par type de sols à traiter : sols fins, sols grenus et sols particuliers. On passe en revue dans chaque cas les principaux types de problèmes que l'on rencontre en pratique, puis on décrit sommairement les méthodes d'amélioration les plus couramment utilisées, les méthodes de calcul et de contrôle correspondantes, ainsi que les domaines d'application

De chaque méthode. Les méthodes de renforcement des sols par géotextiles ou par clouage, ainsi que les techniques d'injection ne sont pas décrites ici. [13]

### **La stabilisation de sol :**

La stabilisation est une opération à moyen ou à long terme consistant à augmenter très sensiblement les caractéristiques mécaniques d'un sol avec un ajout de liant pour des teneurs variant de 4 à 8 %, de manière à conférer durablement au matériau un état définitif de stabilité à

l'eau et au gel. Elle se traduit, entre autres par un durcissement graduel du mélange au cours des semaines et des mois qui suivent le compactage. Ces effets pourraient être mis à profit dans le dimensionnement de certaines chaussées, mais n'interviennent pas au niveau des travaux de terrassement. [12]

Les techniques de stabilisation les plus utilisées qu'elles soient chimiques ou autres dans le domaine routier sont : La stabilisation mécanique et La stabilisation chimique. (Par ajout de matériaux). [15]

Le choix de l'une ou de l'autre de ces méthodes fait appel à plusieurs facteurs tels que la nature du sol, la disponibilité du matériau ou du produit stabilisant, les délais de

Réalisation du projet, les considérations économiques et les conditions environnementales et de mise en œuvre. [15]

### **Techniques de stabilisation de sol:**

**1. Stabilisation par ajout des matériaux inertes:** De nombreuses études scientifiques ont montré qu'on peut stabiliser les sols par ajout de matériaux inertes tels que les sables. Cependant, des cas pratiques de projets de stabilisation par ajout de sable rapportés dans la littérature sont plutôt rares. [16]

**2. Stabilisation chimique des sols:** Elle se base sur l'utilisation de produits chimiques ou de liants afin d'augmenter la concentration ionique de l'eau libre et de réduire les phénomènes d'échange indésirables. [16]

### **Les liants hydrauliques Utilisés dans la stabilisation :**

Les liants hydrauliques les plus utilisés pour stabiliser les sols ou renforcer les matériaux sont, le ciment, la chaux, liants hydrauliques routiers (LHR) et les cendres volantes. Leur action résulte essentiellement de l'effet de prise et de la cristallisation de leurs constituants par hydratation. L'emploi de ces techniques s'est développé principalement en technique routière. Ces liants ont des réactions quelque peu différentes

et exigent des conditions différentes pour se réaliser, cependant les effets de leur réaction sont fortement similaires. [16]

**A. *Ciment*:** Le ciment est le plus vieux liant depuis l'invention de la technologie de stabilisation des sols dans les années 1960. Il peut être considéré comme un stabilisant primaire ou un liant hydraulique car il peut être utilisé seul pour provoquer l'action stabilisante nécessaire. La réaction du ciment ne dépend pas des minéraux du sol, et le rôle clé est sa réaction avec l'eau qui peut être disponible dans n'importe quel sol.

**B. *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.

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). [15]

D'après les figure II.8 et II.9 nous notons que chacun des Bachir, Abdelkrim et Mohamed a trouvé dans leur recherche que, le CBR augmentent linéairement avec une proportion croissante de ciment et de chaux, avec une grande efficacité du ciment à long terme que la chaux.

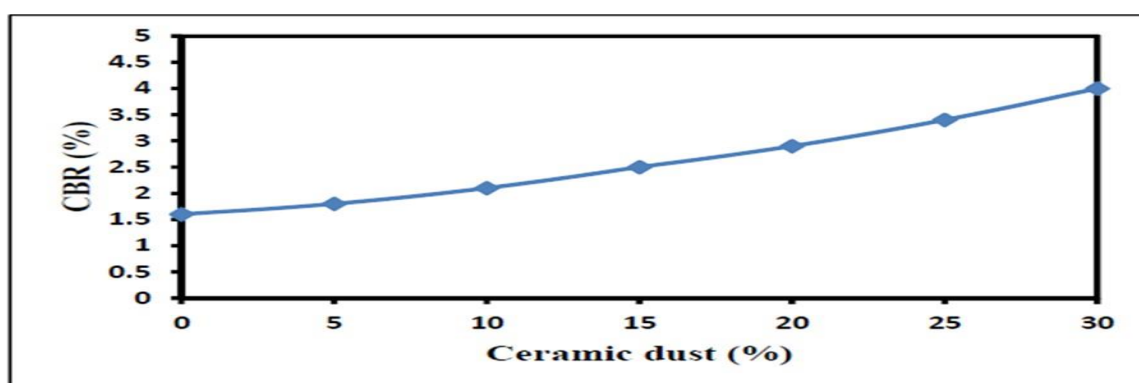


figure II. 6 Variation de CBR imbibée avec le pourcentage de poussière de céramique [15]

A partir de la figure II.10, nous notons que Akshaya Kumar Sabat a trouvé dans sa recherches que le CBR augmentent linéairement avec une proportion croissante de céramique recyclée jusqu'à 4%.

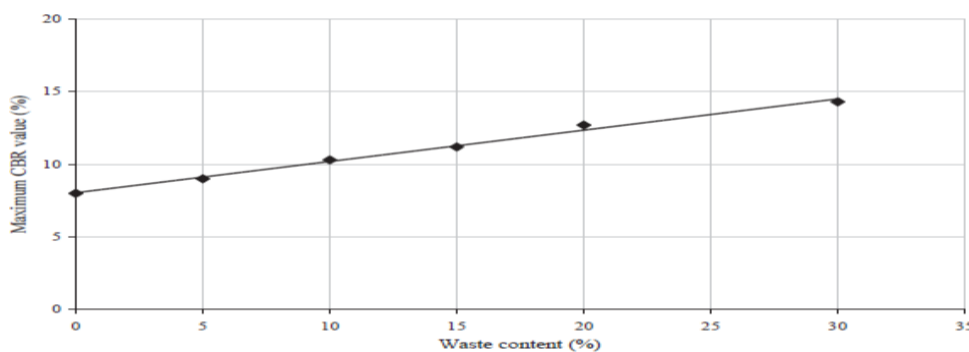


figure II. 7 Variation de CBR imbibée avec le pourcentage de céramique[32]

A partir de la figure II.11, nous notons que Thafer a trouvé dans sa recherches que le CBR augmentent linéairement avec une proportion croissante de céramique recyclée jusqu'à 15%. [23]

***L'indice de vide de sol stabilisé avec céramique :***

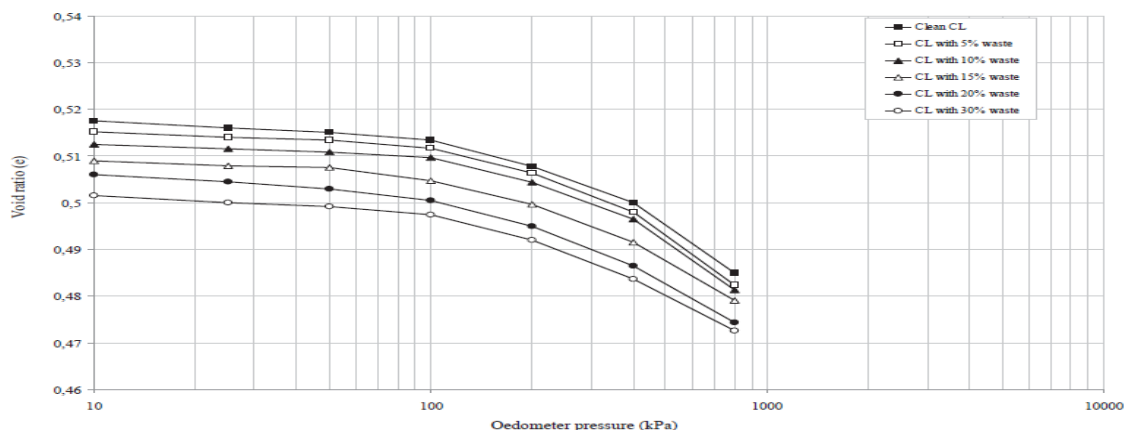


figure II. 8 L'effet de dosage de céramique sur l'indice de vide[32]

D'après la Figures II.15, nous notons que parmi les résultats obtenus par Thafer l'indice de vide diminue à 0.4720 avec l'augmentation de dosage de céramique entre 0% et 30%.

**II. 8 Conclusion:**

Grâce aux résultats obtenus du développement des processus et des mécanismes d'amélioration et de traitement des sols, il est devenu possible de travailler et de construire des structures routières sur n'importe quel type de sol, quelles que soient ses caractéristiques et les problèmes qui les entourent. Ce procédé a également permis l'exploitation d'une gamme de matériaux (types de déchets et types de stabilisants), et a également contribué à la réduction du coût élevé qui devait se faire sans recourir au traitement des sols.

Il est aussi à travers la connaissance du processus d'amélioration du sol est devenu les détails, que nous pouvons travailler sur l'introduction de certains matériaux (déchets de céramique et le ciment), afin d'améliorer et d'améliorer les résultats et les déchets aussi l'utilisation de disponibles locale



*CHAPITRE 03 :*  
**CHAPITRE 03 :**

*METHODOLOGIE*  
**METHODOLOGIE**

### **III . 1 Introduction :**

Pour obtenir un bon résultat dans la stabilité de la route, on a étudié le sol à traiter avec des ajouts :(déchet de céramique, ciment CEM / II .42.5 MPA). Et fait l'ajout les matériaux traités avec pourcentage volumique.

Il existe plusieurs des essais pour faire l'étude de stabilité de sol, parmi eux (essai CBR; essai Proctor ; essai UCS).

### **III . 2 Matériaux utilisés :**

*Le sol étudié :*

On a choisit le sol de cette étude la route traversant la zone logistique de Tixter, région de Ain Taghrout Wilaya de bordj Bou Arreridj.



FIGURE III. 1 Zone de Tixter[16]



FIGURE III. 2 Le sol étudié.

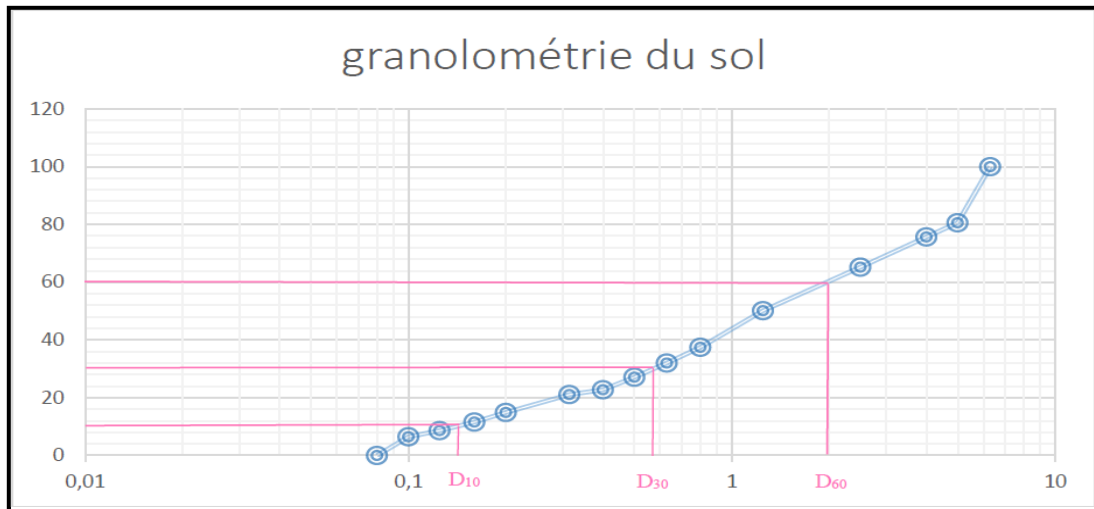


FIGURE III. 3 La courbe granulométrique du sol

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

Limite de liquidité ( $W_L$ )	Limite de plasticité ( $W_P$ )	Teneur en eau	Indice de plasticité ( $I_p$ )	Indice de consistance ( $I_c$ )
30.37	24.05	6.38	6.32	3.80

Tableau III . 1 Les limites et les indice tiré d'essai limite d'Atterberg (100% sol).

### 3.2.2/Déchet de céramique :

Le déchet de céramique est concassé manuellement, et il est tamisé en utilisant un tamis de 5 mm.

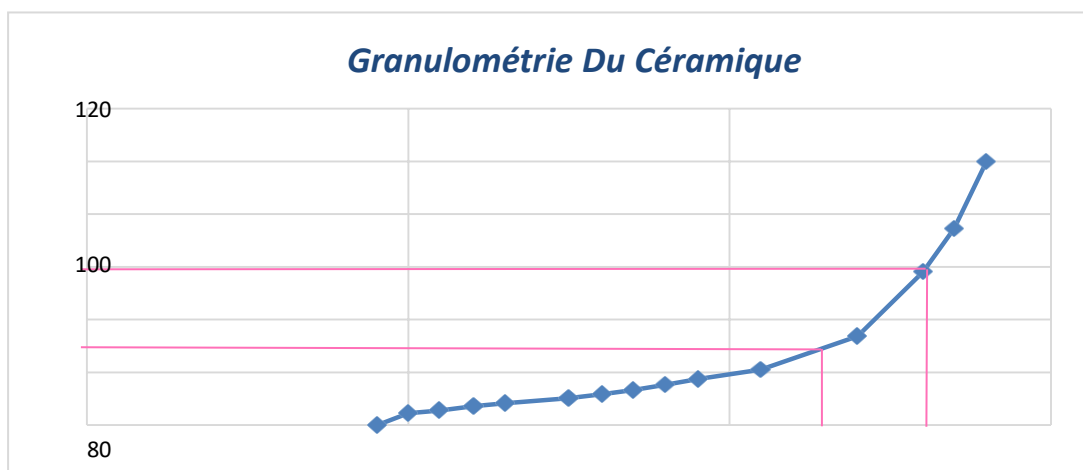


FIGURE III. 4 Analyse granulométrique de déchets de céramique



FIGURE III. 5 Déchet de céramique[16].

### 3.3.3/ Le ciment :

Le ciment portland est une liant hydraulique composé par clinker et gypse pour régulier la prise, le site de la fabrication de ciment portland(MATINE) c'est l'usine de LAFARGE-de la WILAYA de M'sila. Le produit a comme identification CPJ-CEMII/B-L 42,5 N.



FIGURE III. 6 Ciment utilisé

### III . 3Les essais :

#### *Essais mécaniques*

#### *III . 4Essais Proctor Modifié (NF P 94-093)*

Le sol une fois compacté 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 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.

#### ***3.4.2.1/Objectif :***

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)

#### ***3.4.2.2/But de l'essai***

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.

#### ***3.4.2.3/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 un échantillon de sol afin de déterminer 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 jusqu'à obtention d'une densité sèche faible par rapport à

auparavant. 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.



FIGURE III. 7 Principe de l'essai Proctor modifié.

#### ***Matériels utilisés***

- *Moule CBR (éventuellement Proctor),*
- *Compacteur électrique*
- *Dame Proctor modifiée,*
- *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

➤ Balance de précision

tuve  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$



**FIGURE III. 8 Matériels utilisés – Proctor Modifié.**



### III . 5Essais CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :

#### 3.4.3.1/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.

#### 3.4.3.2/Définition :

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 Ø = 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.

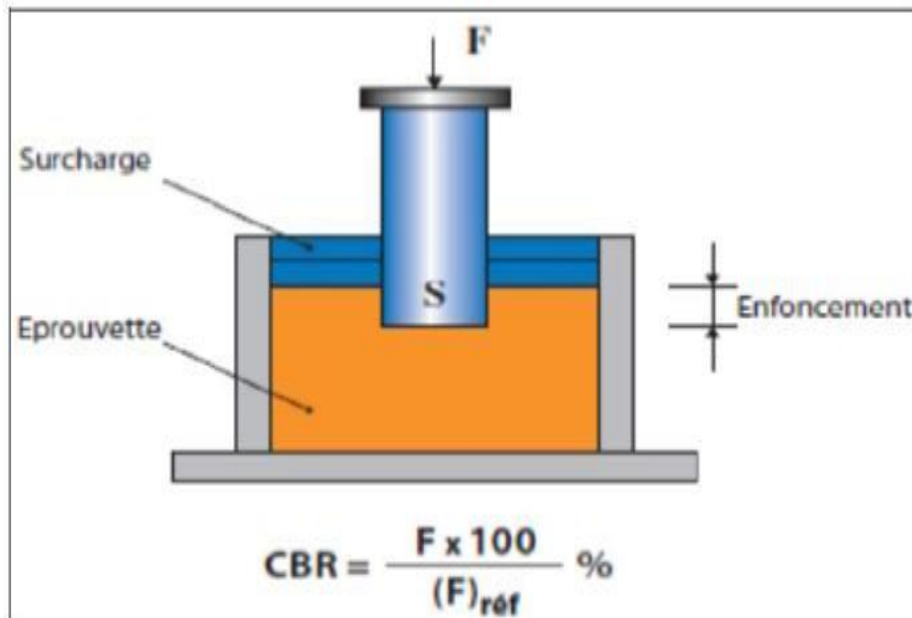


FIGURE III. 9 Schéma de principe de l'essai CBR.

### 3.4.3.3/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  $\Rightarrow$  augmente épaisseur diminue).

### 3.4.3.4/Appareillage nécessaire :

- moules standard CBR.
- Disque d'espacement de 151mm de diamètre et 25,5mm d'épaisseur.
- Compacteur électrique. (NF P094 R 093).
- 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 supérieure 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 presse hydraulique de 60kn pouvant assurer une vitesse de poinçonnement de 1,27 mm / minute.
- Des bacs d'eau, chambre humide, balance, étuve à 105C.
- Pelle à main, truelles, mains métalliques, pinceau.

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

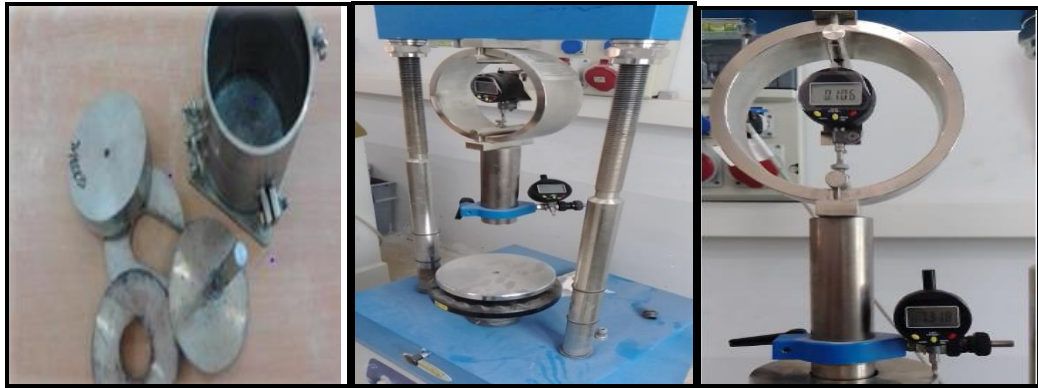


FIGURE III. 10 Matériel utilisé dans l'essai CBR.

#### 3.4.3.5/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.

Deux types d'indices CBR sont à distinguer :

**A / CBR à l'état Humide** (1 ou 28 jours selon l'application) :



FIGURE III. 11 CBR du sol traité en ciment et déchet de cramique au temps de cure jours (1j, 28j).

### **B / CBR à l'état immergé :**

Après avoir préparé l'échantillon CBR avec du ciment et de la céramique, laisser 24 heures, puis plonger dans l'eau pendant 28 jours.



**FIGURE III. 12 CBR du sol traité en ciment et déchets de cramique à l'Etat immergée (à la cure)**

#### **3.4.3.6/Mode opératoire :**

- Peser le moule de CBR vide.
- Prendre 5,5Kg de sol sec passé au tamis 5 mm
- Prendre 5% ; 10% ; 15% ; de cramique passée au tamis 5mm.
- Prendre 4% ; 3% de ciment.
- Mette chaque ensemble de l'échantillon de sol, avec le pourcentage de cramique et ciment nécessaire dans un plat métallique.
- Mélangé manuellement les composent :( sol + cramique +ciment).
- Ajouté la teneur en eau optimale W opté de l'essai de Proctor.

- Malaxé manuellement le mélange pendant 8 à 15 min.
- Placer le moule dans le compacteur électrique, et introduit la première couche de l'échantillon.
- La même manier avec le couche 2 et 3.
- Surfacé les moules CBR, avec un règle a rasé.
- Introduit les moules de CBR a l'état immerger dans un réservoir d'eau (28j).
- Placer un disque de papier filtre dans la partie supérieure de moule CBR à l'état humide, est emballé les moules avec un sac plastique, est introduit dans un chambre humide à (1j ; 28j).
- Placer les moules CBR dans la machine et lire la force et déplacement.



FIGURE III. 13 Déroulement de l'essai CBR.

### 3.4.3.7/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 :

$$I_1 = \frac{\text{effort de pénétration a 2,5 ( KN )} \times 100}{13.35(KN)}$$

$$I_2 = \frac{\text{effort de pénétration a 5 ( KN )} \times 100}{19.93(KN)}$$

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

Classes de portance	CBR [%]
S0 portance très faible	CBR < 3
S1 portance faible	3 < CBR < 6
S2 portance moyenne	6 < CBR < 12
S3 portance élevée	12 < CBR < 25
S4 portance très élevée	25 < CBR

Tableau III . 2 La classe de portance.

### ***III . 6Essais UCS (ASTM D2166)***

L'essai de compression uni axial est effectué sur une éprouvette de dimensions : 7cm de Ø et 14cm de hauteurs, avec une vitesse de déformation constante de 1.27 mm/min jusqu'à la rupture.

Pendant l'essai la déformation axiale est mesurée avec un capteur de déplacement type LVDT placés sur le piston. La force appliquée sur l'échantillon est mesurée avec un capteur de force fixé placé entre le vérin et le piston.

#### ***3.4.4.1/Mode opératoire***

- Tamiser 5.5kg du sol sec a 5mm de diamètre.
- Ajouter la teneur en eau optimum qui a été déjà déduite dans l'essai Proctor.
- Homogénéiser les constituants qui composent l'échantillon
- Appliquer une force de 90 KN (méthode statique).
- Extraire l'échantillon de sol du moule Proctor vers le moule triaxial via l'extracteur manuel.
- Laisser reposer l'échantillon pendant 24 h à l'intérieur d'un sac fermé.
- Mettre l'échantillon dans un bac d'eau pour l'état immergé
- Pour l'état humide, garder les échantillons à l'intérieur des sacs pour préserver leur teneur en eau.
- Réaliser l'essai.



FIGURE III. 14 Mode opératoire – Essai UCS

### **III . 7 Conclusion :**

L'étude géotechnique du sol vise à connaître ses propriétés physiques et mécaniques, à déterminer sa résistance et  $\phi$ ,  $c$  et sa capacité portante, mettant ainsi de prédire tous les problèmes affectant le sol et son traitement.

Et tout cela afin d'établir des projets au niveau de ces sols conformément aux normes internationales.

Comme nous l'avons fait à travers notre étude universitaire qui était au niveau du sol TXTER. Ce que nous avons traité avec des déchets de céramique et de ciment. Qui sont menées dans le laboratoire de génie civil, toutes les expériences sont décrites dans ce chapitre.



*CHAPITRE 04 :*  
R é s u l t a t s ,  
A n a l y s e s  
e t l e u r s  
i n t e r p r é t a t i o n s

## IV . 1Introduction :

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

Le présent chapitre présente et interprète les différents résultats obtenus lors des essais conduits en laboratoire de GC, les premiers essais étaient les limites de consistance du sol. Les autres essais étaient les essais mécaniques Proctor modifié pour déterminer la teneur en eau optimale et la densité max relatives à chaque traitement avec teneur en eau optimal + 2% et #% eau, CBR pour déterminer la capacité portante de chaque mélange et le dernier essai est la compression simple UCS avec l'influence de la période de conservation

## *IV . 2Essais standards*

### *4.2.1- Limites d'Atterberg*

- Limite de liquidité (WL)
- Limite de plasticité (WP)

a)

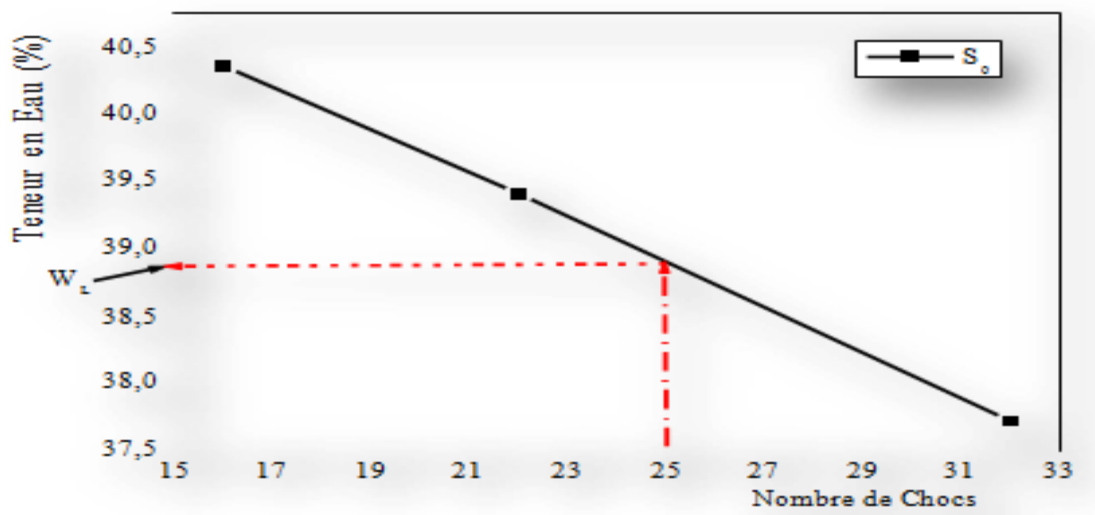


FIGURE IV. 1 Courbe de détermination de WL.

Indice de plasticité

L'indice de plasticité est déterminé comme suit :  $I_P = W_L - W_P$

Dans notre cas :  $I_P = 13.10$

On confronté à un sol limoneux peu plastique.

#### IV . 3Essais mécaniques

##### 4.3.1- Proctor modifié :

mélange sans ciment (S0, S1, S2, S3 )

<i>Simple</i>	Ajout (%)	W (opt)
		<b><math>\gamma_d \max</math></b> (g /cm <sup>3</sup> )
<b>S0</b>	Sol naturel	1.82
<b>S1</b>	5 % céramique	1.95
<b>S2</b>	10 % céramique	1.99
<b>S3</b>	15 % céramique	1.95
<b>S4</b>	5 % céramique + 3 % Ciment	1.94
<b>S5</b>	5 % céramique + 4 % Ciment	1.97
<b>S6</b>	10 % céramique + 3 % Ciment	1.97
<b>S7</b>	10 % céramique + 4 % Ciment	1.98
<b>S8</b>	15 % céramique + 3 % Ciment	1.96
<b>S9</b>	15 % céramique + 4 % Ciment	1.96
<b>S10</b>	3 % Ciment	1.96
<b>S11</b>	4 % Ciment	1.96

Tableau IV. 1 Synthèse résultat de compactage (Tous les mélanges).

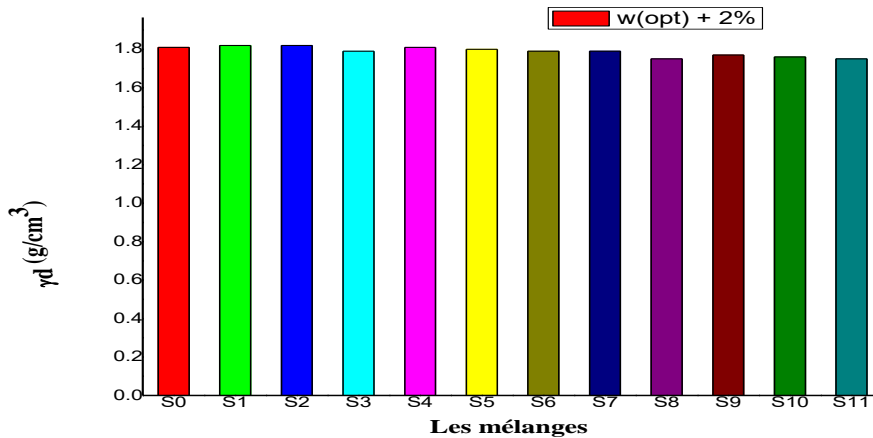


FIGURE IV. 2 Influence de 2% teneur en eau de la densité sèche

**Interprétation :**

Dans la Figure 4.2 on observe que les résultats de la densité sèche diminuent quand on ajoute 2% d'eau 6 à 11 % par rapport aux valeurs optimales de tous les mélanges. La diminution de la densité sèche confirme le problème de ce type de sol au contact de l'eau. Seule addition de 2% de plus que l'optimum la densité sèche chute d'environ 11%. Ces résultats ont montré que notre route peut être endommagée quand la saison des pluies.

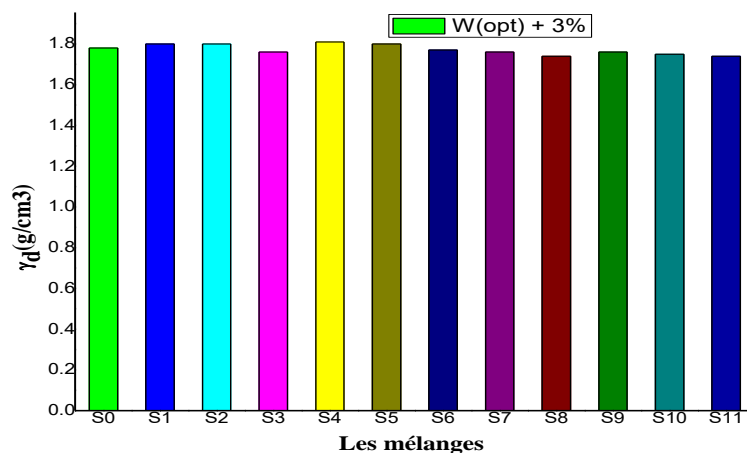


FIGURE IV. 3 Influence de 3% teneur en eau de la densité sèche.

**Interprétation :**

Dans la Figure 4.3 on observe que les résultats de la densité sèche diminuent quand on ajoute 3% d'eau 9 à 13 % par rapport aux valeurs optimales de tous les mélanges. La diminution de la densité sèche confirme le problème de ce type de sol au contact de l'eau. Seule addition de 3% de plus que l'optimum la densité sèche chute d'environ 13%.

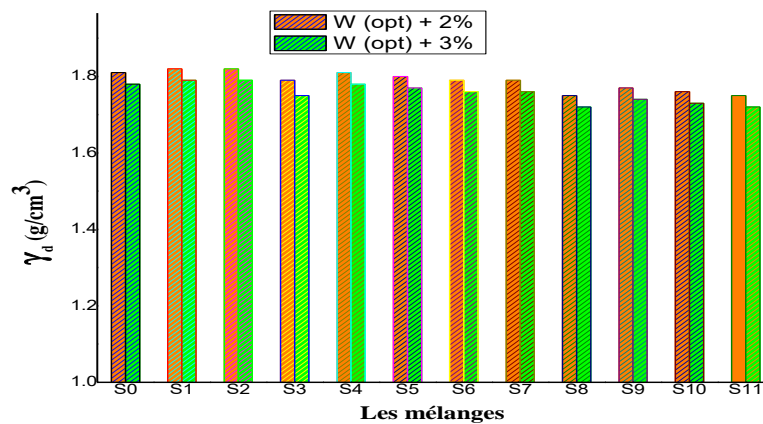


FIGURE IV. 4 Influence of OPT +2% and 3% en densité sèche

**Interprétation :**

Il ressort de la Figure 4.4 plus d'eau dans les mélanges que la densité sèche diminue, ce qui confirme ce type de sol très sensible à l'eau. Certains mélanges avec du ciment mais la densité sèche diminue car le temps de préparation du compactage n'est pas suffisant pour terminer la réaction chimique. À partir de la Figure 4.5, nous pouvons voir l'influence de l'augmentation de l'eau dans les mélanges sur la densité sèche, dont la densité diminue lorsque l'augmentation de l'eau.

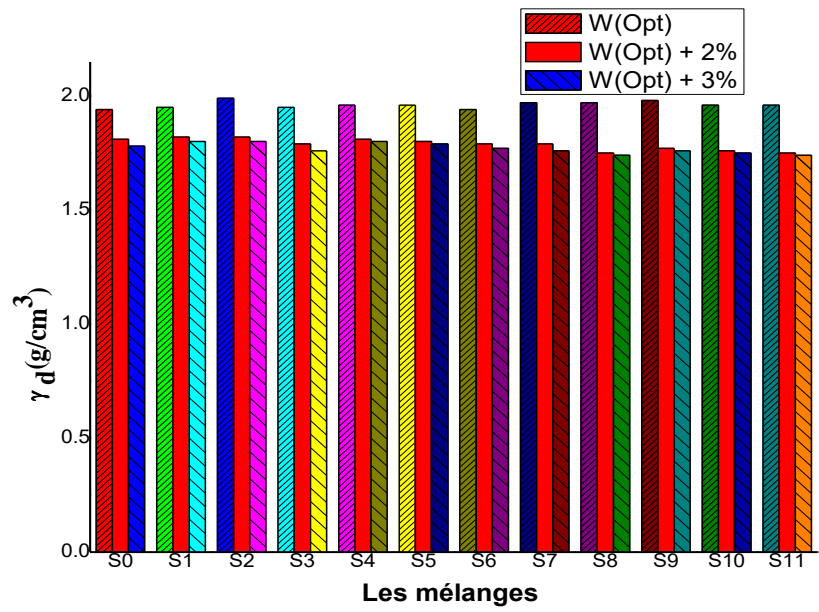


FIGURE IV. 5 Influence de teneur en eau dans la densité sèche.

**CBR( Californian Bearing Ratio ) :**

Déplacement (mm)	Force (KN)											
	1jours Humide				28jours Humide				28 jours Immergé			
Mélange	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S4	S5	S6	S7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.25	0.001	0.002	0.004	0	0.005	0.011	0.102	0.161	0.045	0.056	0.006	0.019
0.5	0.001	0.005	0.007	0.002	0.013	0.024	0.194	0.273	0.072	0.106	0.013	0.034
0.75	0.001	0.008	0.010	0.002	0.019	0.042	0.251	0.349	0.097	0.137	0.018	0.049
1	0.004	0.010	0.013	0.005	0.027	0.058	0.310	0.428	0.120	0.160	0.024	0.070
1.25	0.00	0.012	0.019	0.005	0.036	0.078	0.372	0.499	0.145	0.182	0.029	0.090
1.5	0.00	0.012	0.022	0.007	0.049	0.101	0.431	0.583	0.169	0.204	0.038	0.113
1.75	0.00	0.015	0.025	0.007	0.059	0.130	0.472	0.654	0.198	0.228	0.046	0.139
2	0.00	0.018	0.031	0.010	0.073	0.158	0.524	0.699	0.230	0.253	0.054	0.171
2.25	0.00	0.018	0.035	0.012	0.089	0.190	0.586	0.743	0.265	0.281	0.073	0.206
2.5	0.00	0.020	0.041	0.012	0.106	0.226	0.646	0.794	0.300	0.312	0.097	0.243
2.75	0.01	0.023	0.043	0.015	0.124	0.259	0.708	0.842	0.343	0.346	0.123	0.284
3	0.01	0.025	0.050	0.017	0.149	0.297	0.769	0.903	0.384	0.378	0.149	0.337
3.25	0.01	0.025	0.053	0.020	0.182	0.341	0.828	0.964	0.430	0.414	0.178	0.397
3.5	0.01	0.028	0.056	0.022	0.219	0.384	0.883	1.023	0.481	0.450	0.210	0.459
3.75	0.01	0.031	0.061	0.024	0.263	0.428	0.933	1.089	0.530	0.486	0.242	0.525

4	3	0.01	0.031	0.065	0.027	0.313	0.472	0.977	1.157	0.583	0.520	0.279	0.584
4.25	3	0.01	0.034	0.065	0.030	0.368	0.517	1.017	1.223	0.632	0.560	0.321	0.638
4.5	5	0.01	0.036	0.069	0.032	0.423	0.565	1.058	1.283	0.679	0.602	0.360	0.700
4.75	5	0.01	0.039	0.071	0.035	0.477	0.614	1.098	1.338	0.727	0.643	0.397	0.762
5	8	0.01	0.042	0.084	0.038	0.527	0.659	1.135	1.389	0.769	0.682	0.440	0.832
5.25	8	0.01	0.044	0.087	0.041	0.579	0.702	1.174	1.439	0.814	0.724	0.483	0.898
5.5	8	0.02	0.047	0.091	0.043	0.626	0.743	1.212	1.482	0.863	0.766	0.528	0.969
5.75	0	0.02	0.051	0.096	0.043	0.671	0.784	1.247	1.526	0.905	0.806	0.574	1.030
6	0	0.02	0.053	0.100	0.047	0.718	0.824	1.278	1.570	0.946	0.848	0.618	1.091
6.25	1	0.02	0.056	0.103	0.050	0.758	0.862	1.307	1.617	0.984	0.890	0.664	1.145
6.5	1	0.02	0.058	0.108	0.067	0.798	0.902	1.358	1.652	1.020	0.933	0.708	1.197
6.75	3	0.02	0.060	0.112	0.069	0.837	0.944	1.396	1.684	1.059	0.978	0.748	1.246
7	3	0.02	0.063	0.115	0.076	0.870	0.985	1.420	1.710	1.094	1.017	0.789	1.296
7.25	5	0.02	0.067	0.119	0.079	0.902	1.023	1.461	1.734	1.124	1.055	0.829	1.342
	5												

Tableau IV. 2 Résultat de CBR de sol traité W (Opt) + 3% en fonction du temps de la cure.



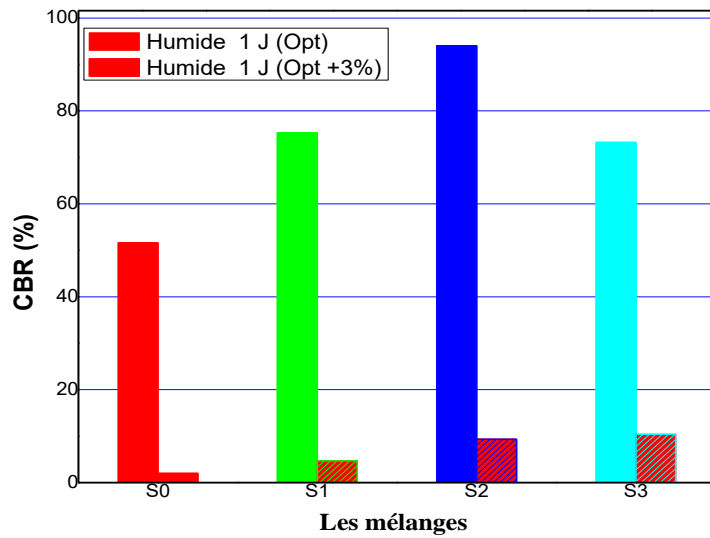


FIGURE IV. 6 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (1 j)

**Interprétation**

From Figure 4.6 we can observe that, the influence of water on the mixtures, which CBR decreases, ranged from 85% to 96 %.

L'importante procédure de réalisation, qui plus d'ajout d'eau a une signification négative à tous les mélanges. Plus d'eau dans les mélanges entraîne une capacité portante inférieure que nos tiges endommagent rapidement.

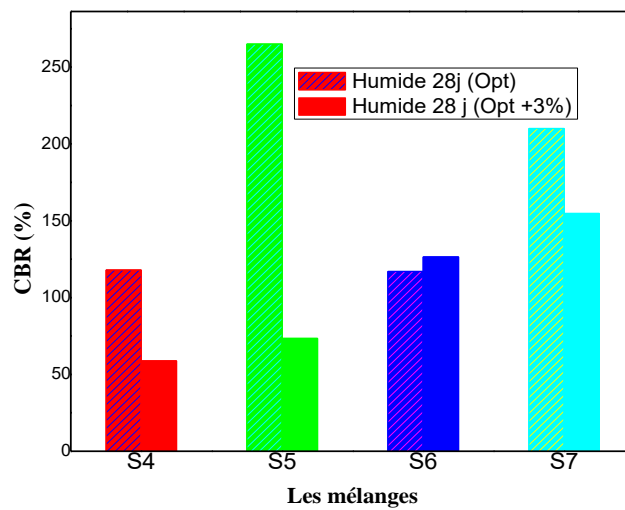


FIGURE IV. 7 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j)

### Interprétation

La Figure 4.7 a obtenu que l'augmentation de la teneur en eau diminue les valeurs du CBR pour les mélanges avec des déchets de céramique et du ciment. Diminution du CBR entre 26 % et 72 % uniquement pour les mélanges à plus forte teneur en ciment, augmentation d'environ 8 % en raison du processus cimentaire.

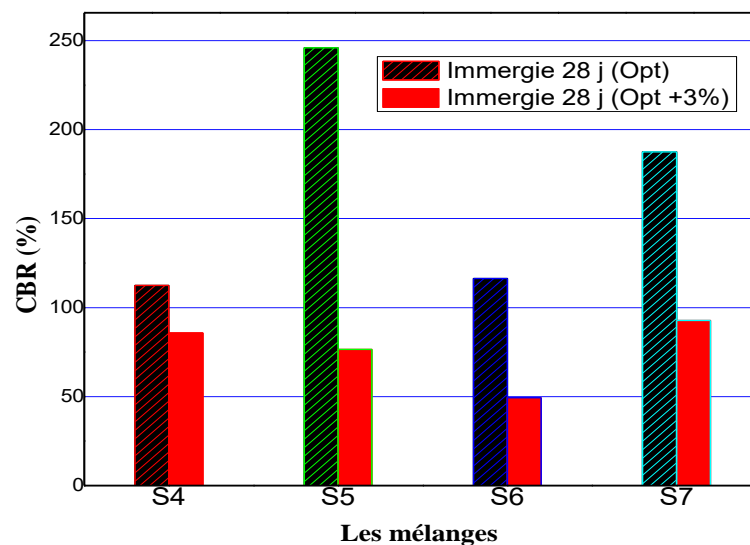


FIGURE IV. 8 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j)

### Interprétation :

Des remarques saines peuvent être observées en condition immergée. Le CBR a diminué d'environ 24 % à 69 %.obtenu sur la Figure 4. 8.

La Figure 4.9 illustre les diminutions du CBR pour les deux conditions, ce qui signifie que le CBR dans des conditions humides diminue beaucoup plus que dans des conditions immergées. Les mélanges à l'intérieur de l'eau font l'hydratation du ciment lentement.

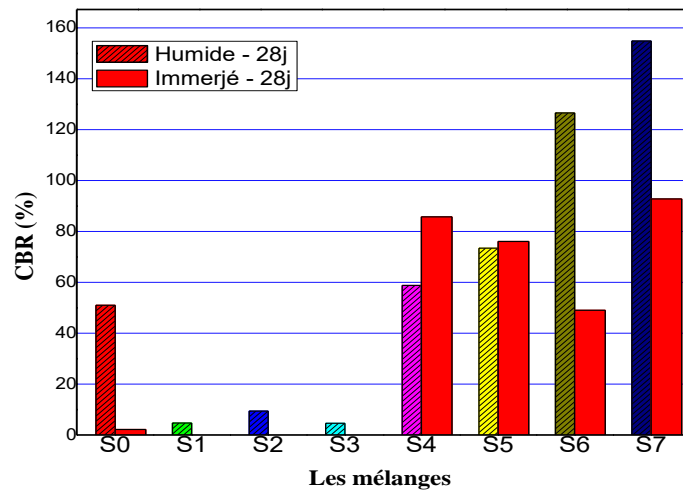


FIGURE IV. 9 Effet de teneur en eau dans CBR des mélanges a l'état humide (28 j)

### 4.3.3 UCS (Unconfined Compression Strength) :

#### 4.3.1 UCS humide (Opt +3% eau) 1 jour

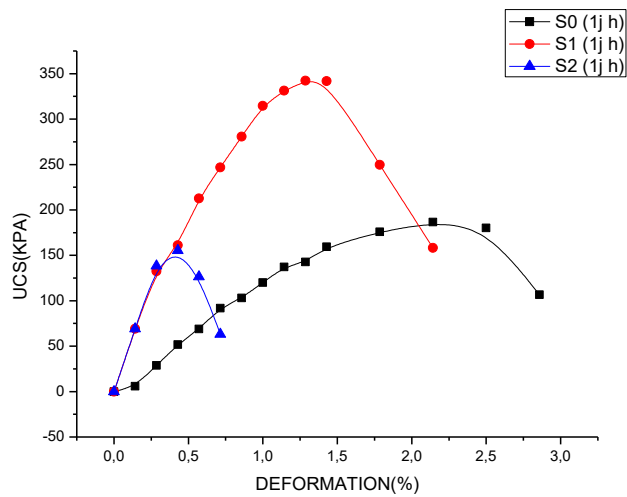


FIGURE IV. 10 Effet de l'ajout de déchet céramique sur la compression simple à l'état humide (1J).

### Interprétation

Après 24h de conservation, La Figure 4.10 montre que la compression simple du sol traité continue à s'améliorer une fois ajoutée 5% et 10% de déchets céramique. De même, on observe une variation de la déformation axiale à la rupture en fonction du type et du pourcentage de déchets après 1 jour de conservation. Mais en comparant ces résultats aux mélanges mélangés avec Opt, confirment que l'eau diminue l'UCS d'environ 4 fois pour S0 et 2,5 fois pour S1 et S2.

#### 4.3.2 UCS humide (Opt +3% eau) 7 jours

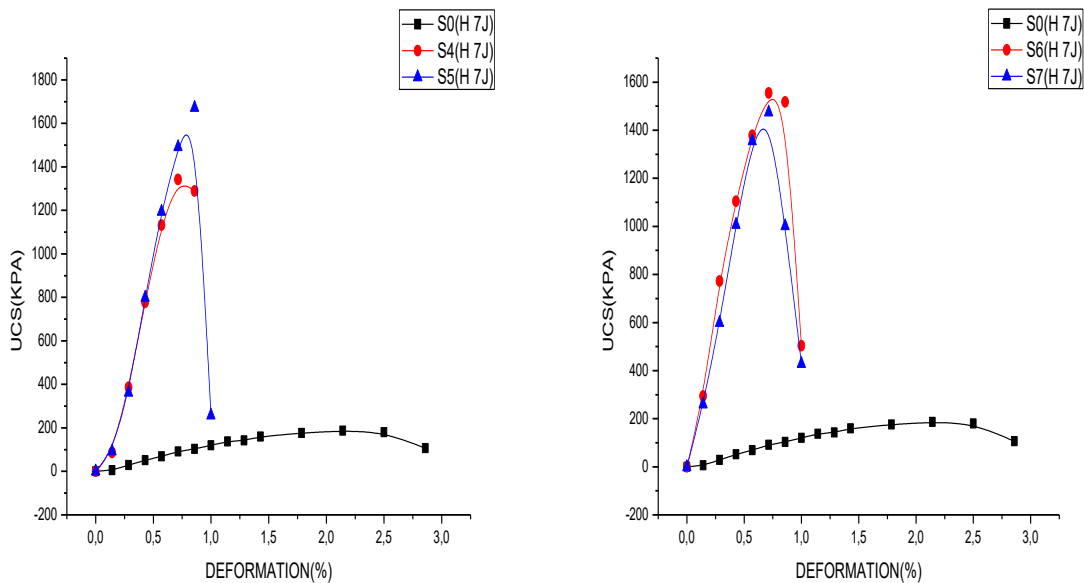


FIGURE IV. 11 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (7J)

### Interprétation

A 7 jours de conservation à l'état humide (Figure 4.11), les résultats montrent que la compression simple du sol traité continue à s'améliorer pour les mélanges S4, S5. Augmentation d'environ 7 fois pour S4 et 9 fois pour S5. Figure 11, montre une amélioration de la cohésion non drainée de la nouvelle matière lorsque celle-ci est avec

déchets de céramique. La cohésion pour S6 et S7 augment d'environ 8 fois. Mais en comparant ces résultats aux mélanges mélangés avec Opt, confirment que l'eau diminue l'UCS d'environ 24% pour S4 et d'environ 8% pour S5.

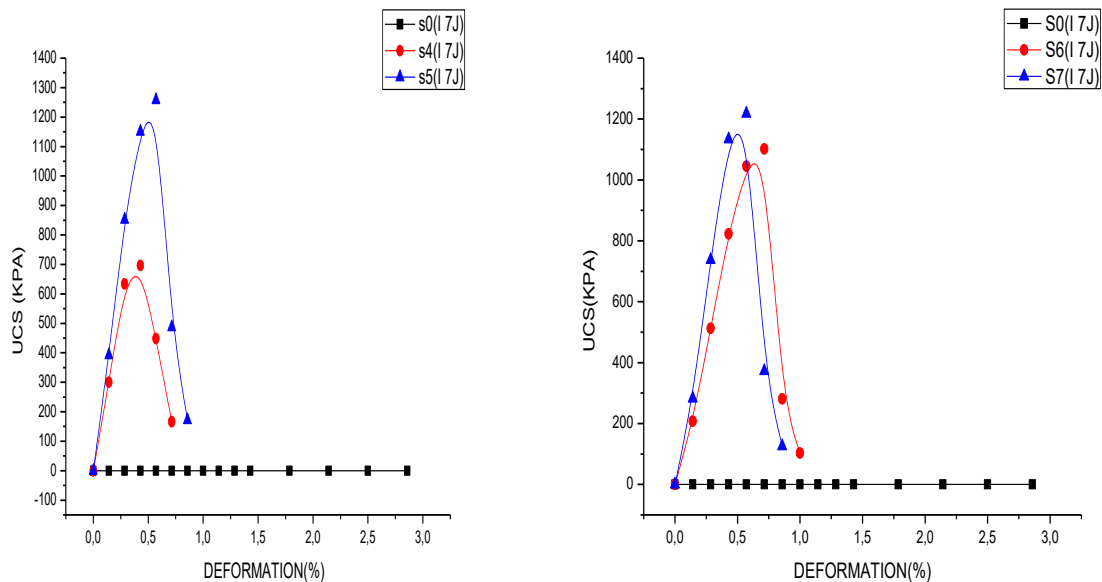


FIGURE IV. 12 Effet de l'ajout de déchets céramique + ciment sur la compression simple à l'état Immergé (7J)

**Interprétation**

A l'état immergé à 7 jours observe les mêmes conclusions que celles de l'état humide. La variation de la déformation axiale à la rupture en fonction du pourcentage de DC et ciment est représentée par la Figure 4.12 .Cependant, les déformations augmentent d'environ 44% tout en augmentant les pourcentages du DC et ciment. De même il a été remarqué une nette amélioration de la cohésion non drainé. Cette cohésion non mesurée dû à l'état de l'échantillon (détérioration) passe à 308 KPa, 468 KPa et 631 KPa dans les mélanges S5, S6 et S7 respectivement.

### 4.3.3 UCS humide (Opt +3% eau) 14 jours

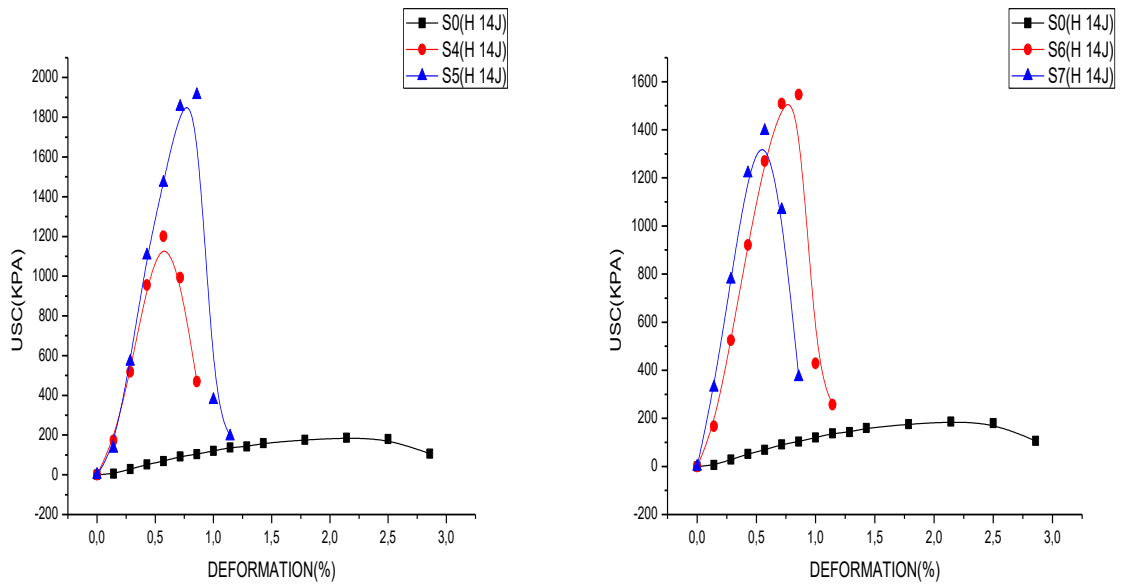


FIGURE IV. 13 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (14J)

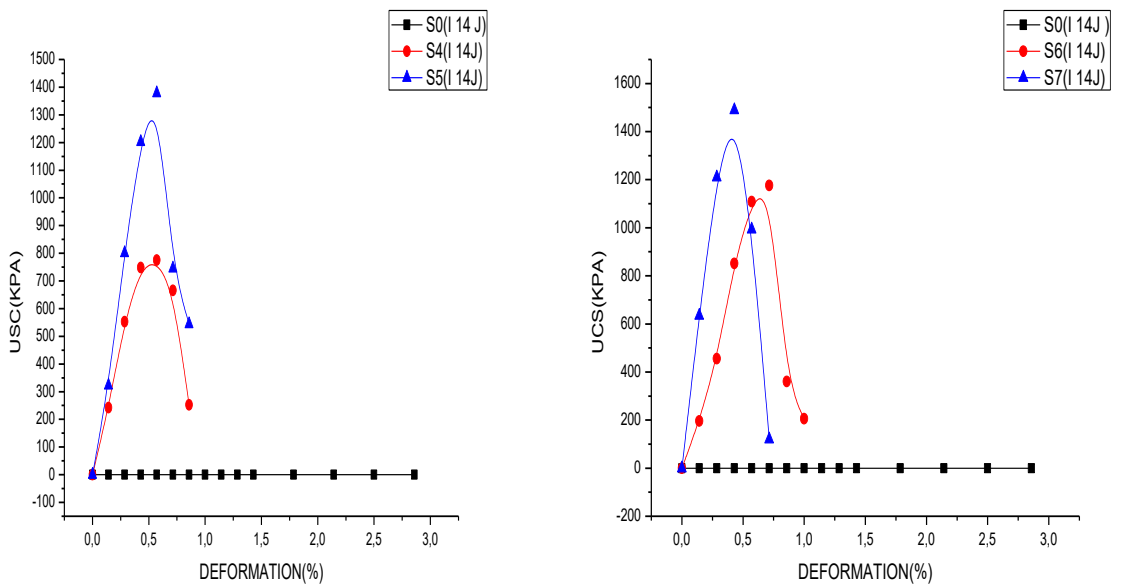
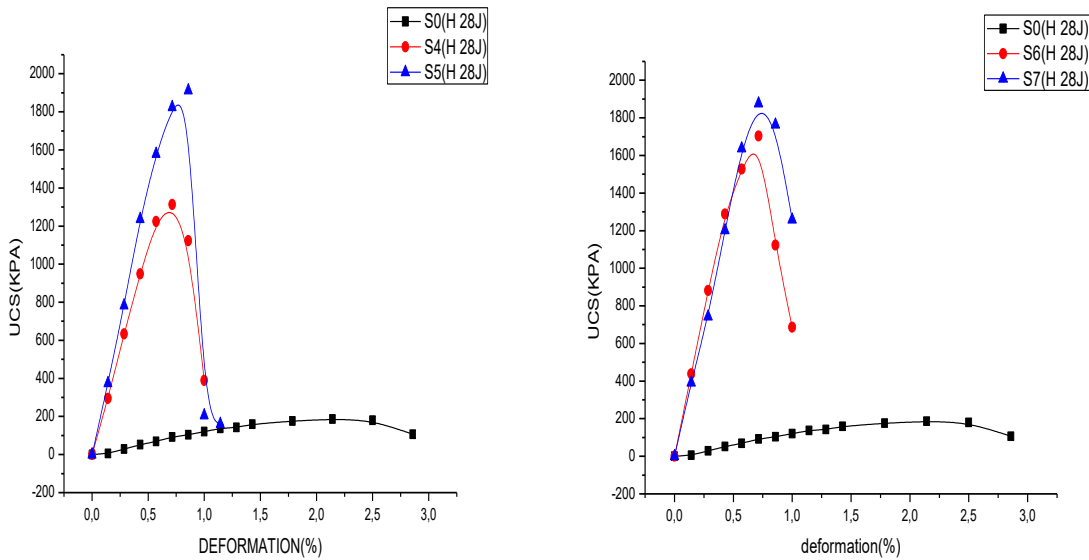


FIGURE IV. 14 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Immergé (14J).

### Interprétation

Après 14 jours de conservation à l'état humide et immergé, les Figures 4.13 et 4.14, montrent que le DC et le ciment modifient les caractéristiques mécaniques des sols traités. On observe une amélioration de la cohésion non drainée. Cette cohésion passe de 374 KPa pour S0 à 670 KPa pour S5, puis à 890 KPa pour S6 et à 558 KPa pour S7. Mais en comparant ces résultats aux mélanges mélangés avec Opt, confirment que l'eau diminue l'UCS d'environ 36% pour S5 et 44% pour S6



**FIGURE IV. 15 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compression simple à l'état Humide (28J).**

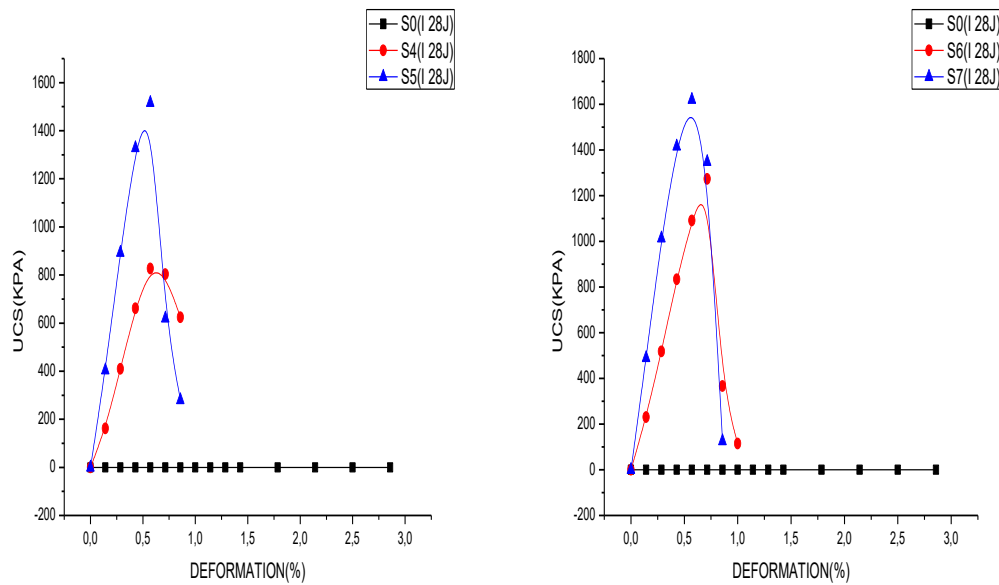


FIGURE IV. 16 Effet de l'ajout de déchets céramique + Ciment sur la compressionsimple à l'état Immergé (28J)

### Interprétation

La conservation des échantillons à l'état humide pendant 28 jours, la Figure 4.15 montre que DC et le ciment modifient les caractéristiques mécaniques du sol stabilisé, surtout la cohésion non drainée. Cette cohésion passe de **374** KPa pour S0, à **719** KPa pour S5, puis à **1060** KPa pour S6 et enfin à **801** KPa pour S7. Il a été observé que l'ajout de DC et le ciment améliorent la compression du sol traité à l'état humide d'environ 3 fois par rapport à S0. Cependant, dans les échantillons immergés (Figure 4.16), on observe les mêmes conclusions que ceux de l'état humide. Les résultats de la cohésion passent à **644** KPa pour S5, à **752** KPa pour S6 et à 514 KPa pour S7. Même observation à 28 jours les résultats de l'UCS ont diminué de 7 % à 30 % pour les conditions humides et de 17 % à 33 %. Qui confirment le problème de plus d'eau dans les mélanges.



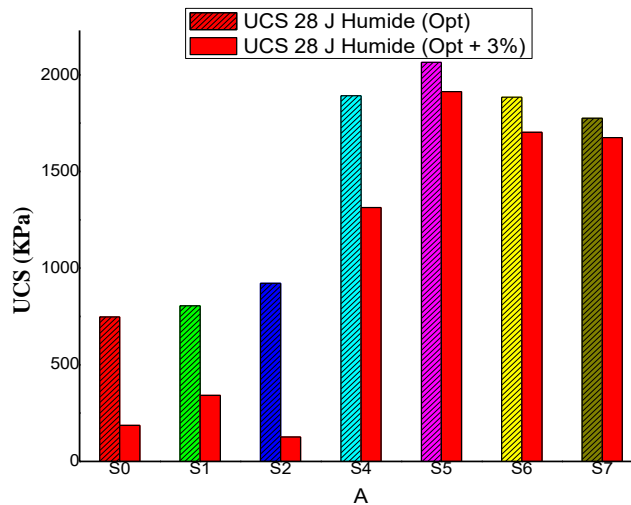


FIGURE IV. 17 Influence de teneur en eau dans UCS des mélanges.

**Interprétation :**

Il ressort clairement de la Figure 4 .17 que l'UCS diminue lors de l'ajout de 3 % d'eau aux mélanges. Les fortes baisses concernaient les mélanges sans liant

**IV . 4Conclusion**

Nous concluons dans ce chapitre que l'ajout de 2% à 3% d'eau est plus que l'optimum significatif négatif pour la mécanique caractéristique comme la densité sèche, la capacité portante et l'UCS, qui ont énormément diminué dans toutes les caractéristiques. Cette enquête confirme le risque de pluie en hiver également lors de la préparation des matés.

### **Conclusion générale :**

L'étude géotechnique des couches de terrassement de la route nous a permis de connaître les failles de cette couche, il est donc utile de se focaliser sur leur performance et leur dureté grâce aux technologies de traitement des sols qui ouvrent la porte à la recherche de solutions pour améliorer la qualité des routes locales et national, Pour l'exploitation des déchets céramiques dispersés dans la nature.

Dans l'étude expérimentale sur le sol traité de la route Tixter située dans les zones Ain Taghrout de Bordj Bou Arreridj ,Par déchets de céramiques et liant hydraulique (ciment), que nous avons réalisés au laboratoire de génie civil de l'Université El-Bachir Ibrahim et sr site pour étudier le l'influence de teneur en eau dans le comportement mécanique de la couche de forme de la route, et comment les additifs de teneur en eau affectent négative dans les caractéristiques du sol. Cette étude nous permet de connaître les acaractéristiques initiales du sol utilisé :

- ❖ La masse volumique sec 1940 kg/m<sup>3</sup>.
- ❖ CBR 51 % à l'Etat humide et 2.12 % à l'Etat immergé

Le traitement du sol avec 5%, 10 % et 15 % de déchets céramiques et 2%, 4% de ciment avec 5% et 10% dèches de céramique mélanges avec Opt + 2% et Opt + 3% permet diminué tous les caractéristiques comme densité sèche, capacité portante et UCS du sol.

- La densité sèche diminue 11% a Opt +2% eau et 13% a Opt +3% eau
- CBR diminue 85% à 96% pour les mélanges avec déches de céramique
- CBR diminue 26% a 72% a l'état humide pour les mélanges avec déches de céramique et ciment.
- CBR diminue 24% a 69% pour les mélanges avec déches des cramique et ciment a l'état immergé.
- UCS diminue 7% a 33% a 28 jours cure.

Nous pouvons conclure qu'un supplément de 2% et 3% d'eau aux échantillons diminue les propriétés mécaniques du sol, similaire à la saison des pluies ou à la préparation de la couche de fondation. Ces résultats endommagent nos routes en peu de temps.

**Références**

**Bibliographiques**

- [1] [www.sharkiaalaan.com](http://www.sharkiaalaan.com).
- [2] M. Bouassida. Amélioration des sols en place. « Introduction à la géotechnique ». Université Tunis El Manar Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis 2018.
- [3] Natacha Sertier, Jean Charles Bourdeau, Alain Assina. Amélioration des sols cours. Université de la réunion. 2006.
- [4] J.-P. Camuzard. Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité. Engref Paris.
- [5] [www.leparisien.fr](http://www.leparisien.fr)
- [6] Jean-François Baumard. Les céramiques industrielles Propriétés, mise en forme et applications. Dunod, Paris, 2013.
- [7] J. Dejou. Les céramiques Société Francophone de Biomatériaux Dentaires. 2010.
- [8] L'Office du Tourisme Seine-Eure. Dossier pédagogique Musée de Louviers  
musees  
-haute. 2006.
- [9] [www.castorama.fr](http://www.castorama.fr)
- [10] [Paysdefayence.free.fr](http://Paysdefayence.free.fr)
- [11] [www.futura-sciences.com](http://www.futura-sciences.com)
- [12] [www.brrc.be](http://www.brrc.be)
- [13] [www.techniques-ingenieur](http://www.techniques-ingenieur)
- [14] [www.soletanche-bachy.com](http://www.soletanche-bachy.com)
- [15] Hamla Wafa. Amélioration de la stabilité de sol dans les constructions routières les déchets de marbre, les déchets de céramique et les liants hydrauliques. Mémoire : université de bordj Bou Arreridj 2017.
- [16] Bensalem Ahmed. Caractérisation Et Exploitation De L'argile de benazzouz Dans La Construction Routière . Mémoire Magister. Université Badji Mokhtar-Annaba 2010.
- [17] Gregory Paul Makusa. Soil stabilization methods and materials. Mémoire Luleå Université of Technologie, Sweden 2012.
- [18] Bachir melbouci. Etude comparative du traitement du sol marneux à la chaux et au ciment dans les couches de forme des chaussées. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 2017.

[19] Abdelkrim Mahamedi et Mohamed Khemissa. Stabilization of expansive over consolidated clay using hydraulic. HBRC Journal . (11) 80-92 2015

[20] [www.unece.org](http://www.unece.org)

[21] Terminologie routière (Circulaire ministérielle n° 64), "Nomenclature routière".  
Ministère des travaux publics, des transports et du tourisme. 1957