



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MASTER

Filière : Génie Civil
Option : Géotechnique

THÈME :

Influencé de la teneur en eau sur les propriétés mécaniques et physiques de la couche de fondation d'une chaussée stabilisée par les déchets de plastique industriels et du ciment

Préparé par :

Khababa Anes Abderrahmene

Benchenaf Mohammed

Devant le jury composé de :

Encadreur : Dr. Deboucha Sadek

Co-Encadreur : Dr. Ziani Hocine

Président : Dr. Rokbane Abdelmadjid

Examineur : Dr. Tabet Souad

Examineur : Dr. Ben Ammar Abdelhafid

Année Universitaire : 2020 / 2021

Remerciements

Il n'est jamais facile de faire des remerciements, toujours peur d'oubli quelques noms ou des proches alors que nous vous prions de bien vouloir nous excuser si les lignes qui vont suivre vous paraissent incomplètes. Les gens qui nous entourent savent bien à quel point on les remercie.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers DIEU de nous avoir guidé dans la réalisation de ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos chers encadreurs Dr. DEBOUCHA Sadek, et Dr. Ziani Hocine pour le suivi, le soutien, les conseils et les encouragements qu'ils nous ont attribués pendant cette période du COVID-19 très délicate.

Nous adressons nos remerciements à tous les enseignants de génie civil qui ont participé à notre formation.

Merci!

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail aux deux étoiles de ma vie ceux que je vois jour et nuit, je parle

Bien sûr de ma mère Bencheikh H et mon père Toufik

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

A mes sœurs et mon frère qui m'ont soutenu et en courage pendant toutes ces années d'études. Merci pour votre présence à mes côtés pour vos encouragements permanents, seule ligne ne saurait exprimer ma gratitude envers ma famille

A mes meilleurs mes plus fidèles amis. Boudrouaz Aymen, Bennia Adem et ZERROUGUI Zakaria Je prends le temps de vous remercier tous et toutes individuellement pour votre soutien, votre aide et les services que vous m'avez rendus. Je vous en serais éternelle m'entre connaissant.

A la fin je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

A tout Person

Qui m'aime

Et qui me respecte...

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 route solide, la construction de routes a utilisé de bons matériaux comme sous-couche.

Le but de cette étude était de mélanger des déchets plastiques et du ciment dans le sol avec 2 % à 4 % d'eau en plus et de vérifier les caractéristiques mécaniques et physiques telles que la densité sèche, le CBR et l'UCS. Les résultats ont montré que la densité sèche diminue entre 3 % et 4,8 %, le CBR diminue d'environ 87

% et l'UCS diminue de 77 %.

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

Mot clé : Teneur en eau, Stabilisation de sol, déchet de plastic, ciment, construction routière

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 build a strong road construction used good materials as a sub-base layer.

The purposes of this study was to mixed plastic waste and cement into the soil with an additional 2 % to 4% more water and checks the mechanical characteristic as dry density, CBR, and UCS. The results showed that the dry density decreases between 3 % and 4.8 %, CBR decreases about 87% and UCS decreases 77%.

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

Key Word : Teneur en eau, Stabilisation de sol, déchet de plastic, ciment, construction routier.

ملخص

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 تكييف التجارب والدراسات التي تهدف إلى معالجة التربة. لبناء طريق قوي ، استخدم مواد جيدة كطبقة أساسية فرعية.

كان الغرض من هذه الدراسة هو خلط نفايات البلاستيك والأسمنت في التربة بمياه إضافية بنسبة 2% إلى 4% وفحص الخصائص الميكانيكية مثل الكثافة الجافة و CBR و UCS. أظهرت النتائج أن الكثافة الجافة تنخفض بين 3% و 4.8% ، بينما تقل نسبة CBR بحوالي 87% وتنخفض UCS بنسبة 77%.

أكدت هذه النتائج أن مخاطر المياه على الطبقة الأساسية مؤكدة لبناء الطرق.

الكلمة المفتاحية : نسبة الماء - تحسين الخصائص - مخلفات البلاستيك - الاسمنت - بناء الطرق

SOMMAIRE

Chapitre 1 : Introduction Générale

I.1 Introduction.....	1
I.2 problématique.....	1
I.3 objective.....	1
I.4 Structure de Mémoire.....	1

Chapitre 02 : Etude Bibliographique

II.1 Introduction	3
II.2 Principales caractéristiques du sol.....	3
II.2.1 Structure des sols.....	4
II.3 Constitution d'une structure déchaussée	4
II.3.1 Chaussée souple	5
II.3.2 Chaussée bitumineuse épaisse	6
II.3.3 Chaussée semi-rigide.....	6
II.3.4 Chaussée mixte.....	6
II.3.5 Chaussée a structure inverse	7
II.3.6 Chaussée rigide	7
II.4 Les dégradations des chaussées	7
II.4.1 Les dégradations d'arrachement.....	7
II.4.2 Les mouvements de matériau.....	8
II.4.3 Les dégradations de déformation	8
II.4.4 Les fissures	9
II.5 Les déchets plastiques industriels	
II.5.1 Problématiques des déchets plastiques.....	9

II.5.2 Utilisation des déchets plastiques dans le traitement du sol.....	10
II.6 Stabilisation chimique des sols.....	11
II.6.1 Les liants hydrauliques.....	11
A- Les liants hydrauliques outiers(LHR).....	12
B - Le ciment.....	12
C- Chaux.....	14
II.7. Etude de la compactibilité.....	14
II.7.1 Résistance à la compression des mélanges.....	15

Chapitre 03 Matériaux et Essais Réalisés

III.1 Introduction.....	16
III.2 Matériaux utilisés.....	16
III.2.1 Sols d'étude.....	16
III.2.2 Le ciment.....	17
III.2.3 Déchets de plastique.....	17
III .3 Essais réalisés.....	18
III .3 .1 Essais Proctor Modifié (NF P94-093).....	18
➤ Objectif.....	18
➤ But de l'essai.....	19
➤ Principe de la méthode.....	19
➤ Matériels utilisés.....	19
III .3 .2 Essais CBR.....	20
➤ But de l'essai.....	21
➤ Matériels utilisés.....	21

➤ Principe de l'essai	22
➤ Mode opératoire.....	22
➤ Portance du sol.....	23
III .3 .3 Essais UCS (ASTMD2166)...	23
➤ Mode opératoire.....	23
III .4 CONCLUSION	24

Chapitre 04 Résultats et Discussions

IV.1 - Introduction.....	25
IV.2.1 Essais mécaniques (Proctor modifié)	27
IV.2.1.1 Interprétations des résultants.....	28
IV.2.2 Essai CBR (OPT +4% Eau):	29
IV.2.2.1 Interprétation	30
IV.2.3 Essai UCS	31
* 7 JOURS	31
Interpretation	33
14 JOURS	34
Interprétation	35
28 JOURS	35
Interprétation	38
Interprétation	40
IV.3 Conclusion	40
Conclusion générale	

Listes des Figures

Chapitre 02

FigureII.1: Schéma simplifié des trois phases du sol.....	3
FigureII.2 : L'échelle granulométrique.....	4
FigureII-3 Constitution d'une structure de chaussée	5
FigureII-4 .Chaussées souples.....	5
FigureII-5 .Chaussée bitumineuse épaisse.....	6
FigureII-6 . Chaussée semi-rigide... ..	6
FigureII-7 . Chaussées à structure mixte	6
FigureII-8 . Chaussées à structure inverse... ..	7
FigureII-9 .Dégradation d'arrachement.....	8
FigureII-10 . L'orniérage	8
FigureII-11 Hiérarchie pour une gestion durable des déchets selon l'Earth Engineering Center.	10
FigureII-12: Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage en.....	13
FigureII-13: Variation des caractéristiques de compactage à l'OPM pour les différents.....	14
FigureII-14 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la.....	15

Chapitre 03

FigureIII.1. Zone de prélèvement du sol	16
FigureIII.2 Sol utilisé... ..	16
FigureIII.3 .Bouteilles en PET.....	17
FigureIII.4 . Principe de l'essai Proctor modifié	19
FigureIII.5 . Matériels utilisés – Proctor Modifiés.....	20
FigureIII.6 . L'appareil CBR.....	21
FigureIII.7 Réalisation de l'essai CBR.....	22
FigureIII.8 Mode opératoire – Essai UCS	24

Chapitre 04

Figure IV -1 :S0 S1 S2	27
Figure IV- 2 :S0 S3 S4	27
Figure IV- 3 :S0 S5 S6	28
Figure IV -4 :S0 S1 S2 S3 S4 S5 S6	28
Figure IV -5 : Effet de l'ajout de PT et ciment sur le sol naturel à l'état Humide (28J)	29
Figure IV -6 : Effet de l'ajout de PT et ciment sur le sol naturel à l'état Immergé (28J)	29
Figure IV -7 : Combinaison de l'effet des ajouts de PT et ciment sur le sol naturel à l'état Humide et Immergé (28J)	30
Figure IV -8 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (7J)	31
Figure IV -9 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (7J)	31
Figure IV -10 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immergé (7J)	32
Figure IV -11 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (7J)	32
Figure IV -12 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (14J)	34
Figure IV -13 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (14J)	34
Figure IV -14 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (14J)	35
Figure IV -15 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (14J)	35
Figure IV -16 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (28J)	36
Figure IV -17 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (28J)	36
Figure IV -18 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (28J)	37
Figure IV -19 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (28J)	37
Figure IV -20 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (28J)	38
Figure IV -21 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (28J)	39
Figure IV -22 : l'effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du mélange a l'état Humide et Immerge (28J).	39
Figure IV -23 : l'effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide et Immerge(28J).	40

Chapitre I:

Introduction

générale

I.1 Introduction

Notre travail a pour but de stabiliser la couche de forme d'une route par l'utilisation d'un déchet qui porte un grand danger sur la continuité de la vie des êtres vivants. Le matériau est associé à un taux faible de ciment, c'est le déchet plastique (PT) récupéré notamment par la transformation des bouteilles.

I.2 Problématique

Cette étude porte sur la stabilisation de la couche de fondation d'une chaussée reliant l'autoroute Est-Ouest et le port sec, situé à Tixter dans la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Ce site a fait objet de provoqué des faïençages, affaissement de rives, l'orniérage, déchirement longitudinal, gonflement.

Notre étude a consisté en l'étude de cas au la teneur en eau dépassé 2% et 4 % de la teneur en eau optimale et de proposer une stabilisation du site.

I.3 Objective

L'objective de cette recherche est l'augmentation de la durabilité de la chaussée et leur dure de vie devant la présence d'excès d'eau dans la couche de forme au dans le remblai , par l'ajout des taux de déchets de plastique (PT) de 5 % et 10% plus une quantité de 2 à 4% le ciment à + 2% et 4% de l'OPM de chaque mélange . Le but est d'amélioré les caractéristiques physique et mécanique du remblai a l'état excès d'eau.

I.4 Structure de Mémoire

Le manuscrit comportant une partie bibliographique sur les sols à risque, les chaussées et les déchets de plastique et une autre expérimentale, qui comporte des essais préliminaires sur les matériaux : le Proctor modifié ; les essais de CBR (Californian-Bearing-Ratio) et Essai de Compression Uni-axiale (UCS) sur des échantillons de sol avant et après traitement.

Le mémoire est organisé en quatre (04) chapitres

Le chapitre 1, s'intéresse à une introduction générale et à la problématique et à l'objectif visé.

Le chapitre 2, une synthèse bibliographique concernant l'identification des chaussées, leurs types et les dégradations qui sont dues à plusieurs facteurs. Aussi la détermination des déchets de plastique et leur impact sur le sol.

Le chapitre 3, donne un aperçu sur les matériaux utilisés, les ajouts de traitement (déchets de plastique) et le ciment ainsi que les différents essais standards et mécaniques effectués en laboratoire de génie civil de l'université de BBA et leur mode opératoire.

Le chapitre 4, englobe et analyse les résultats des essais préliminaires et les essais mécaniques pour le sol traité aux déchets de plastique (PT) et le ciment et l'influence de la teneur en eau sur les caractéristiques mécaniques de chaque mélange.

Enfin comme toute recherche expérimentale, ce mémoire nous permet de faire le point sur les résultats obtenus et de tirer les conclusions nécessaires sur la stabilisation de sol traité par les déchets de plastique et le ciment et d'envisager quelques perspectives pour la valorisation de notre travail.

Chapitre II:

Etude

Bibliographique

II . 1 Introduction

La route reste la seule infrastructure qui permet de desservir l'ensemble des utilisateurs. La réalisation des projets routiers fait appel à un ensemble d'activités de plus en plus nombreuses et complexes qui demandent des efforts importants et soutenus en matière de gestion de projet. En effet tout projet, dans quelque domaine qu'il intervienne, nécessite des études successives dont les portées et les objectifs seront différents et adaptés aux problématiques propres à chaque niveau de définition.

L'amélioration des sols par l'utilisation des fibres plastiques c'est une technique qui a été utilisée avec succès pour une variété d'applications telles que la stabilisation des pentes, plateforme de la route etc. C'est une technique relativement simple pour l'amélioration du sol et dispose d'un énorme potentiel en tant qu'une solution efficace a de nombreux problèmes géotechniques.

II . 2 Principales caractéristiques du sol

Le sol est un matériau hétérogène et anisotrope comportant des minéraux et des matériaux organiques. La présence de l'air et de l'eau font du sol un matériau complexe à effet du temps. Son comportement est non linéaire et irréversible d'où la nécessité de combiner essais en laboratoire et en place, analyse théorique et modélisation, expérience cumulée et bon jugement pour la réussite d'une étude géotechnique.

Nous schématiserons les sols comme étant composés de trois phases. Une phase solide composée de particules minérales solides setorganiques . Une phase liquide sous différentes formes appelées: eau libre, eau interstitielle et pour finir une phase gazeuse.

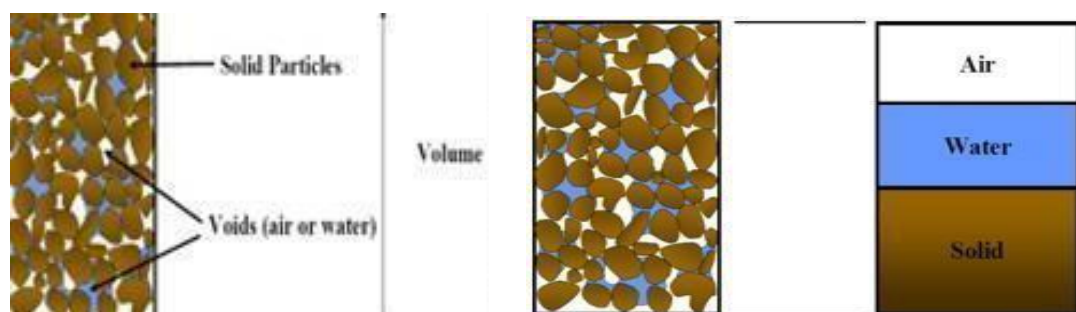


Figure II.1:Schéma simplifié des trois phases du sol.

II.2.1 Structure des sols

Le sol est un matériau constitué de particules. Les dimensions de ces particules peuvent être uniformes ou variées allant des cailloux de 10 cm et s'étendant jusqu'aux particules fines de moins du micron. Outre que la grosseur des grains, les particules possèdent d'autres caractéristiques telles que forme, texture et structure élémentaire.



Figure II.2 : L'échelle granulométrique.

II-3 Constitution d'une structure déchaussée

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini. Tout d'abord le sol terrassé ou sol-support est surmonté généralement d'une couche de forme. L'ensemble sol-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux, elle assure la protection du sol-support, permet la qualité du nivellement ainsi que la circulation des engins. En service, elle permet d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et d'améliorer la portance à long terme. Puis viennent la couche de base et la couche de fondation formant ainsi les couches d'assise. Les couches d'assise apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic être partissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible.

Enfin, la couche de surface se compose de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assise. Elle a deux fonctions. D'une part, elle assure la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau. D'autre part elle confère aux usagers un confort de conduite d'autant plus satisfaisant que les caractéristiques de surface sont bonnes.

Selon les matériaux granulaires liés (enrobés, béton...) ou non liés composants les couches des chaussées, nous distinguons plusieurs types de structures. Dans la suite, nous allons présenter les classifications des chaussées françaises.

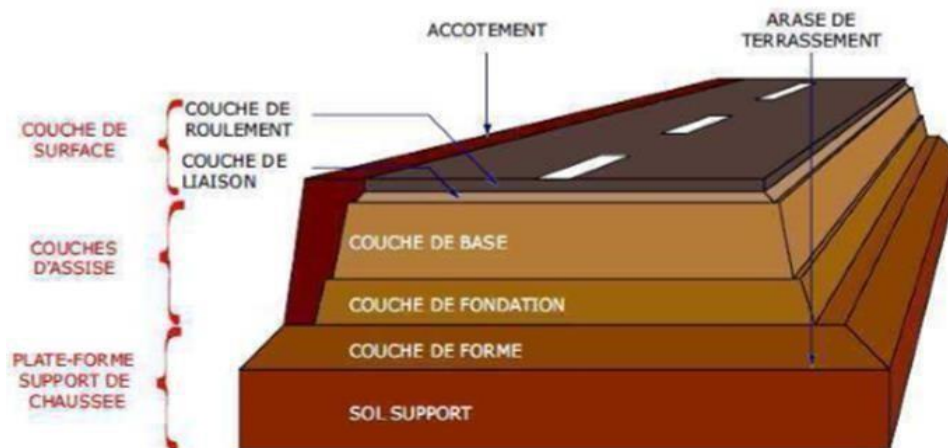


Figure II-3 Constitution d'une structure de chaussée.

L'une des caractéristiques du réseau routier français est l'existence d'une grande diversité des structures de chaussées, que l'on classe dans les familles ci-dessous.

II.3.1 Chaussée souple

Elle comporte une couverture bitumineuse mince (moins de 15cm), parfois réduite à un simple enduit superficiel, reposant sur ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traitée (30 à 60cm).

L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 à 60 cm.



Figure II-4 .Chaussées souples.

II.3. 2 Chaussée bitumineuse épaisse

Elle comporte une couche de roulement bitumineuse (4 à 8cm) d'épaisseur, sur un corps de chaussée en matériau traité aux liants hydrocarbonés (15 à 40cm), fait d'une ou deux couches (Base et fondation). L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 20 et 50cm.



Figure II-5 .Chaussée bitumineuse épaisse.

II.3. 3 Chaussée semi-rigide

Elle comporte une couche de roulement bitumineuse (6 à 12cm), sur une assise en matériau traité aux liants hydrauliques disposée en une ou deux couches (15 à 50cm) d'épaisseur. Dont l'épaisseur totale est l'ordre de 20 à 60cm.

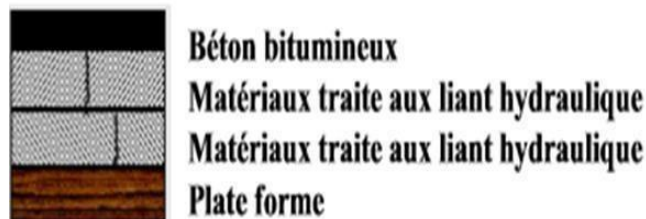


Figure II-6 . Chaussée semi-rigide.

II.3. 4 Chaussée mixte

Elle comporte une couche de roulement et de base (10 à 20cm) en matériaux bitumineux, sur une fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 30cm). Le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale doit être de l'ordre de $\frac{1}{2}$.



Figure II-7. Chaussées à structure mixte.

II .3. 5 Chaussée a structure inverse

La structure inverse se distingue de la chaussée mixte, par la présence, d'une couche de matériaux granulaire d'environ 12cm entre la couverture bitumineuse, et la fondation en matériaux traités aux liants hydraulique.

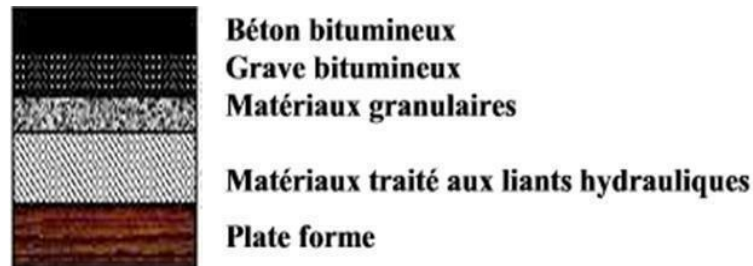


Figure II-8. Chaussées à structure inverse.

II.3. 6 Chaussée rigide

Elle comporte une couche de béton de ciment de 15cm à 40cm d'épaisseur, éventuellement recouverte par un béton bitumineux très mince elles reposent : Soit sur une fondation en béton maigre ou en grave ciment soit sur une couche de réglage fin en béton bitumineux ou grave bitume Soit sur une couche drainante (dalle épaisse).

II . 4 Les dégradations des chaussées

Les dégradations des chaussées, selon le catalogue des dégradations de surface des chaussées, peuvent être divisées en quatre familles : les arrachements et les mouvements de matériaux, les dégradations de déformation, les fissures.

Les deux premières familles reflètent la qualité de la couche de surface. Les deux dernières familles concernent la détérioration mécanique de la structure.

II.4-1 Les dégradations d'arrachement

Ces dégradations concernent plutôt la qualité de la couche de surface et en ce sens des problèmes de sécurité routière en rapport avec l'adhérence et l'uni des chaussées. Ces phénomènes sont dus soit à l'usure de la couche de surface, l'arrachement des gravillons du revêtement, le départ localisé de matériau de la couche de surface, le départ de gravillons de la couche de surface ou bien le départ du liant autour des granulats dans la couche de surface.



Figure II-9 .Dégradation d'arrachement.

II.4-2 Les mouvements de matériau

Ces dégradations sont causées par des remontées du liant à la surface de la chaussée, par l'enfoncement de gravillons dans l'enrobé en période chaude, les remontées des éléments fins à la surface de chaussée ou par l'éjection de l'eau à la surface lors du passage des véhicules lourds par suite de l'existence de cavités sous la couche de surface.

II.4-3 Les dégradations de déformation

Les dégradations de déformation sont en général celles qui donnent des déformations visibles en surface, comme les phénomènes irréversibles suivants : l'ornièrre, l'affaissement, le gonflement, le bourrelet, le décalage de joint de dalle ou de bord de fissure, le flambement, les déformations de forme de tôle ondulée



Figure II-10. L'ornièrage.

Ces dégradations ont plusieurs raisons, parmi lesquelles nous pouvons citer le sous-dimensionnement ou une mauvaise qualité de l'assise entraînant des contraintes verticales excessives à la surface du sol support ou des couches non traitées ; une réduction de portance du sol support par défaut de drainage ou conséquence du dégel ; un drainage ou assainissement localement défectueux ; un retrait hydrique du sol support ; des réactions physico-chimiques ponctuelles entre des constituants de la structure et l'eau formant des composés gonflants.

Pour évaluer la situation de ces problèmes, les comportements élastiques linéaires des modèles de mécanique des chaussées ne sont pas adaptés. Aussi des recherches sont en cours depuis plusieurs années pour prendre en compte les déformations permanentes et la variable de temps.

II . 4 .4 Les fissures

Avec le problème de l'orniérage, les fissures sont considérées comme un des plus grands modes de dégradation de chaussées. En effet leur présence associée ou non à l'eau met en péril la durabilité à terme de la structure sous le passage répété de véhicules lourds. Le problème de fissuration peut être regardé du côté de l'endommagement des matériaux et de leur rupture comme le mettent en évidence par exemple les essais sur le comportement à la fatigue et à la rupture des matériaux bitumineux, Sur la structure de chaussée, pour un calcul de durée de vie, il est primordial de prévoir les évolutions de ces fissures. Par exemple il est nécessaire de savoir évaluer les remontées des fissures comme dans, de comprendre la fissuration par le haut ou de calculer la durabilité d'un collage entre couche .

II-5 : Les déchets plastiques industriels

II.5 .1 Problématiques des déchets plastiques

Depuis la synthèse du premier plastique au début des années 1900, les plastiques se sont substitués à de nombreux autres matériaux comme le bois, les métaux et la céramique, grâce à leur légèreté, leur durabilité, leur résistance à la corrosion, leur facilité de production, leur faible coût et leur diversité d'applications. Les plastiques sont majoritairement utilisés pour l'emballage mais sont aussi largement présents dans les objets durables comme les meubles, les outils, les appareils électroménagers ou encore les batteries. Les emballages représentent 37,2% de la consommation de plastique en Europe ; cette proportion étant de 35% dans le monde. Les thermoplastiques représentent 80% de la consommation totale de plastiques ; on les retrouve dans les emballages mais aussi dans les fibres textiles et les revêtements. Le polychlorure de vinyle (PVC) est le plastique le plus utilisé au monde devant le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP) . En 2013, 299 millions de tonnes de plastiques ont été produites dans le monde, dont 20% en Europe . La majorité des plastiques consommés, en particulier les emballages, ont une durée d'utilisation plutôt courte en comparaison avec celle des autres matériaux.

Ainsi, environ 40%des plastiques ont une durée d'utilisation inférieure à un an. La combinaison de la production croissante de plastiques et de leur courte durée d'utilisation résulte en une

quantité toujours plus importante de déchets plastiques à gérer chaque année. à titre d'exemple, en 2010, 35 millions de tonnes de déchets plastiques ont été produits en Europe . Pendant longtemps, le devenir des déchets plastiques, comme le reste des déchets ménagers, était majoritairement la mise en décharge (ou centre d'enfouissement technique, CET). Cependant, la mise en décharge des déchets municipaux pose différents problèmes environnementaux tels que la pollution des eaux et des sols ou encore la libération de gaz à effet de serre comme le méthane. De plus, les décharges sont sources de nuisances pour les riverains. Certains pays connaissent aussi des limitations en termes de territoire ; le coût de la mise en décharge est alors d'autant plus élevé .



Figure II-11 Hiérarchie pour une gestion durable des déchets selon l'Earth Engineering Center.

Les voies de valorisation présentes au sommet de la pyramide sont à privilégier par rapport à celles se trouvant à sa base.

II.5 .2 Utilisation des déchets plastiques dans le traitement du sol.

La bouteille plastique d'eau est la plus forte croissance de l'industrie des boissons dans le monde. Au cours de la dernière décennie 1,5 millions de tonnes de plastique sont utilisées pour la mise en bouteille de l'eau chaque année. Les études montrent que 1500 bouteilles sont sous-évaluées comme déchets chaque seconde. D'autre part, le nombre de bouteilles recyclées ou retourne est très faible. La fibre plastique, est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moule, façonne, en général à chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. La matière de base (la résine) est un polymère. Les résines, matières plastiques sont issues de produits intermédiaires (éthylène, propylène, acétylène, benzène, etc.) dont les matières premières sont le pétrole. Le type de ce matériel est en polyéthylène, les fibres plastiques sont coupées en morceaux formes 1mm de diamètre et 20

mm d'épaisseur.

II .6 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.

Ils sont deux types:

- Les liants organiques (goudrons ,bitume, résine naturelle, polymère)
- Les liants hydrauliques (ciment, chaux, Les liants hydrauliques routiers (LHR) , cendres volantes, pouzzolane)

De nombreux chercheurs ont travaillé sur ce genre de traitement:

- Vessely et al (2002), ont montré que les inclusions de géosynthétiques sont efficaces sur la réduction du potentiel de gonflement des sols expansifs
- Ikizler et al 2008, ont reporté que la réduction du potentiel et la pression de gonflement est le résultat de l'inclusion de polystyrène placé entre un sol expansif et un mur rigide.
- Tang et al (2007), montrent que le renforcement par les fibres augmente la résistance à la compression et permet de réduire le potentiel de gonflement des argiles expansives.
- Cai et al (2006), reportent que l'augmentation de contenu en fibre implique une réduction dans le potentiel de gonflement des argiles stabilisées à la chaux.
- Viswanadham et al (2006), ont montré que les mélanges renforcés par les fibres engendrent une grande réduction du gonflement avec des faibles pourcentages (0.25%) et des petites ratios de 15 et 30.

II.6. 1 Les liants hydrauliques

Ce sont des produits d'origine minérale qui par réaction avec l'eau donnent des réseaux cristallins enchevêtrés ayant une bonne cohésion et pouvant aboutir à des jonctions avec le squelette minéral. Ils sont tous à base de la chaux qui va réagir avec l'argile par échange cationique, floculation et agglomération, carbonatation et par réaction pouzzolanique. Ces réactions se traduisent par une amélioration immédiate des propriétés mécaniques du sol et une diminution de la sensibilité à l'eau par floculation et échange cationique. Les liants hydrauliques les plus utilisés pour stabiliser les sols pour en forcer 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.

A. 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).

B. Le ciment

Le traitement au ciment convient plus particulièrement aux sols peu plastiques, qui sont à priori inadaptés au traitement à la chaux du fait de leur faible teneur en argiles, aux quel si la porte cohésion, résistance mécanique et stabilité à l'eau et au gel.

Le ciment rigidifie rapidement le sol de manière irréversible mais s'il y a rupture de l'horizon

traité (action mécanique) il n'y a pas de nouvelle prise. Les constituants hydratés du ciment relient les grains de sable entre eux en formant des sortes de ponts nombreux et solides, d'où l'augmentation de la portance, de la résistance mécanique et de la résistance au gel. Les doses varient de 3,5 à 5 % du poids de sols à traiter.

Dans les sols argileux, la réaction chimique sol-ciment est le responsable de son amélioration. Le processus d'hydratation du ciment produit les deux majeurs produits : les CSH et la chaux, l'interaction de cette chaux avec les minéraux argileux du sol joue un rôle essentiel en termes de processus de stabilisation sol-ciment.

- D'après Haofeng et al (2009), la résistance à la compression à 7, 14 et 28 jours, augmente au fur et à mesure que l'augmentation du pourcentage en ciment (figure II.9)

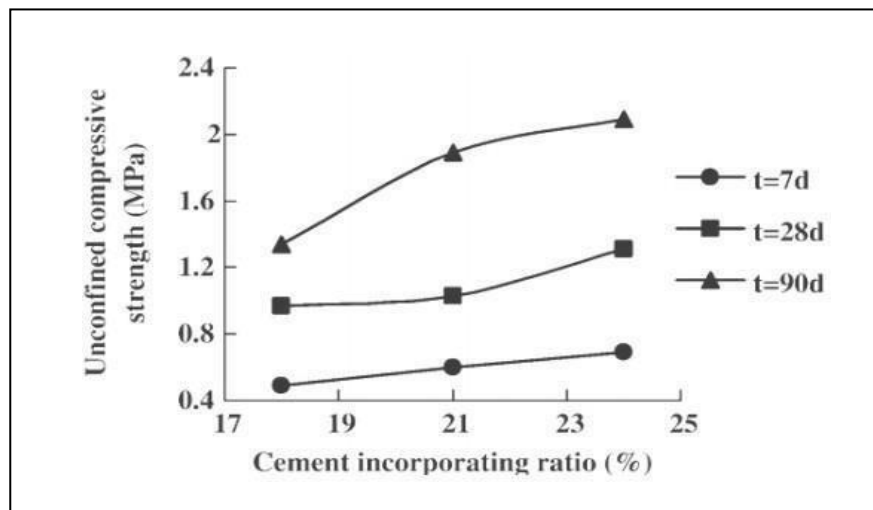


Figure II-12: Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage en ciment à différentes durées de cure.

Les quatre mécanismes contribuant à la stabilisation au ciment des sols argileux sont résumés et classés selon leur importance comme suit :

Hydratation par ciment : les fortes interactions se développent entre les particules de sol. Le plus haut squelette continu des formes matérielles dure et fortes et enferme une matrice de sol inchangé, renforçant le matériel traité et en remplissant des vides

Echange cationique : l'échange cationique change la charge électrique, réduit la plasticité et a pour résultat la floculation et l'agrégation des particules de sol.

Carbocation : la chaux libre produite pendant l'hydratation du ciment réagit avec de l'anhydride carbonique en air aux agents de cimentages de forme.

Réaction pouzzolanique: la chaux libre libérée pendant l'hydratation réagit avec la silice ou l'alumine des particules d'argiles en présence de l'humidité pour former les sels de cimentation.

C. Chaux

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

- D'éviter des volumes de terrassement importants dans le cas de substitution des sols médiocres.
- De donner aux sols argileux d'une manière assez rapide une bonne consistance pour des dosages compris entre 1% et 2%. Ceci montre aussi l'intérêt économique de ce procédé.
- De modifier les propriétés du sol.

Sachant qu'il y a deux types de chaux, vive et éteinte, le choix s'effectue en se basant sur les essais de laboratoire, les essais de chantier et sur le prix de revient.

II.7 Etude de la compactibilité

La sensibilité à l'eau des mélanges se traduit par des formes de courbes variées, selon la figure 1, on remarque que pour l'état naturel, la courbe de compactage soit à l'OPM présente une forme accentuée, ce qui explique la grande sensibilité du sol.

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

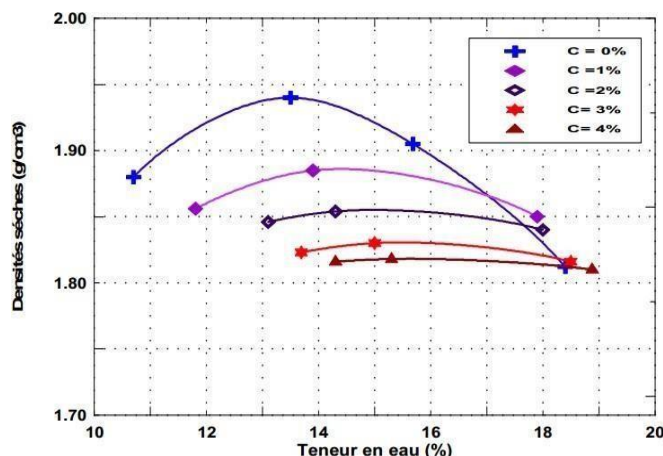


Figure II-13: Variation des caractéristiques de compactage à l'OPM pour les différents pourcentages de l'eau.

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

II.7.1 Résistance à la compression des mélanges

La résistance à la compression de la marne à l'état naturel et très faible, elle est de l'ordre de 0.644 MPa. La figure II.12, représente le développement de la résistance à la compression en fonction des différentes conditions de cure pour les mélanges traités et non traités. On remarque que pour une durée de cure nulle (l'écrasement immédiat), la résistance à la compression garde sa valeur faible pour les différents mélanges.

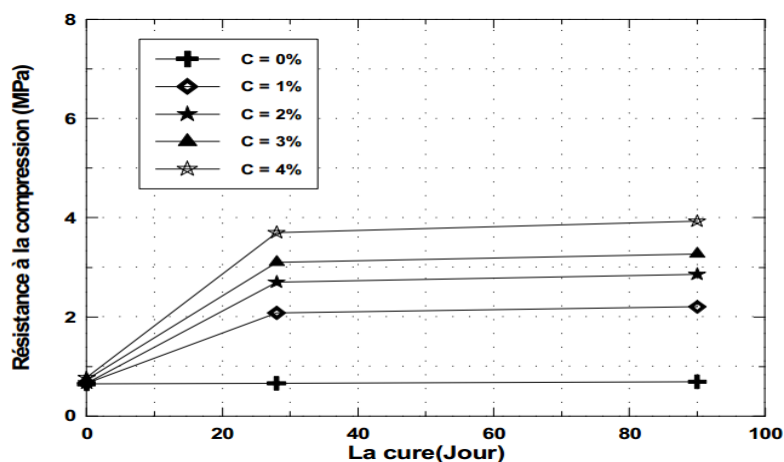


Figure II-14 : Variation de la résistance à la compression en fonction de la durée de cure et le pourcentage en chaux additionné.

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

**Chapitre III:
Matériaux et
Essais Réalisés**

III.1 Introduction

La caractérisation des matériaux utilisés dans la stabilisation du sol joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances ultérieures.

De ce fait, la normalisation des modes d'essais sur les sols étudiés, selon les normes en vigueur, devient une condition nécessaire pour l'obtention des sols avec des résultats expérimentaux comparables avec ceux donnés dans la littérature.

Dans ce chapitre, on présente les différents matériaux à utiliser, la représentation du mode opératoire et la norme des essais d'identification effectués sur les échantillons de sol en provenance du site, avant et après la stabilisation (Proctor modifiés, CBR, UCS).

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, nous avons effectué des essais expérimentaux qui concernent leurs caractéristiques au laboratoire de génie civil à l'université EL BACHIR EL IBRAHIMI Bordj Bou Arreridj.

III.2 Matériaux utilisés

III.2.1 Sols d'étudié

Le sol utilisé est en le support de la route reliant le port sec dans la commune de TIXTER ; daïra de AïnTaghrout- Bordj Bou Arreridj. Qui se situe à environ 40 Km de la ville de BBA.



Figure III.1. Zone de prélèvement du sol



Figure III.2 Sol utilisé.

III.2.2 Le ciment

Le liant hydraulique utilisé dans notre étude est un ciment Matine CPJ-CEM II / B 42.5 N (NA 442) ; ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des ouvrages d'art, d'infrastructure et superstructure pour bâtiments.

Tous les résultats mentionnés ci-après sont tirés à partir de la fiche technique du ciment MATINE(Producteur).

III.2.3 Déchets de plastique

Le PET est le thermoplastique le plus communément utilisé. C'est un produit de polycondensation⁵ de l'acide téréphtalique ($C_8H_6O_4$) avec l'éthylène glycol ($C_2H_6O_2$) . C'est un polyester transparent avec une bonne stabilité et de bonnes propriétés mécaniques et chimiques. Léger, il est aussi fortement inerte et permet donc son utilisation en secteur alimentaire. Cependant, la stabilité de PET recyclé est plus discutée et les produits faits de PET recyclés semblent être de qualité moindre. Leur broyage engendre aussi la production de nombreuses paillettes.



Figure III.3 .Bouteilles en PET.

Trois flux principaux sont distingués. Tout d'abord celui des bouteilles sachant que celles-ci représentent la plus grande part du plastique en circulation et qu'elles sont principalement faites de PET.

Tableau III-1. Caractéristiques et usage de Thermoplastique.

Déchets plastique utilisés		
polyesters et polyéthylène téréphtalate (PET)	mou à moyenne température.	fabrication de fils textiles, de films et de bouteilles d'eau et de sodas. Usage limité par la température.
polyacétals ou polyoxyméthylène (POM)	Solides et avec des qualités de métaux. Résistant à la plupart des agents chimiques, faible coefficient de frottement. Densité élevée. Assez faible résistance thermique.	pièces à fortes exigences mécaniques : engrenages, poulies. La recherche vise à augmenter leur résistance au choc pour permettre la réalisation de plus grosses pièces.
polychlorure de vinyle (PCV)	Rigide ou souple selon les ingrédients qu'on lui incorpore. PVC rigide : aspect lisse et dur	Dans l'industrie de l'ameublement, bâtiment, le génie civil et dans l'alimentaire : pots de margarine, blisters, bouteilles d'eau, emballage alimentaire ... PVC rigide : utilisé pour les tuyaux de canalisation. PVC souple: recouvre certains manches de pinces...
polyamides (PA)	Différents types de PA (selon la longueur des chaînes) distingués par des chiffres. Bon compromis entre qualités mécaniques, thermiques et chimiques. Hydrophiles.	Pièces moulées dans l'appareillage ménager et automobile, tapis et moquettes, pièces de robinetterie, de serrurerie, engrenages, ... Textiles (lingerie et voilages)...
polyméthacrylate de méthyle (PMMA)	Transparent, même avec une très grande épaisseur (jusqu'à 33 cm d'épaisseur); à la différence du verre L'ajout de PMMA dissout permet aux huiles lubrifiantes et fluides hydrauliques de conserver leur liquidité au froid (jusqu'à -100°C !)	Nom commercial <i>Plexiglas, Lucite, Altuglas, ...</i> Utilisé pour remplacer le verre pour des vitres incassables, les surfaces des baignoires et des éviers, pour les vitres de grands aquariums résistantes à la pression de l'eau... feux arrière et clignotants, hublots d'avion, fibres optiques, enseignes lumineuses...

III .3 Essais réalisés

III.3.1 Essais Proctor Modifié (NF P94-093)

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.

➤ 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)

➤ **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.

➤ **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 fin 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 ceux calculés auparavant. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe (γ_d ; ω), 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.4 . Principe de l'essai Proctor modifié.

➤ **Matériels utilisés**

- Moule CBR (éventuellement Proctor),
- 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 20kg
- Balance de précision
- Etuve 105°C ± 5°C
- Burette à huile.

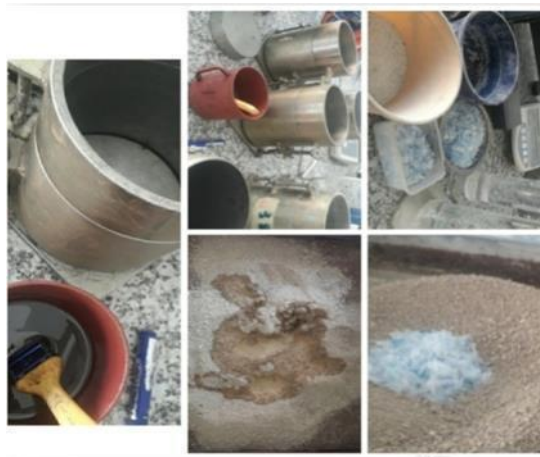


Figure III.5. Matériels utilisés – Proctor Modifiés.

III.3.2 Essais CBR

L'essai CBR est un essai qui caractérise la portance d'un sol du point de vue routier. Il s'agit d'un essai totalement empirique et qui n'est pas relié aux caractéristiques intrinsèques (\emptyset , c) du matériau étudié. L'échantillon de sol étudié est compacté dans un moule (moule CBR $\emptyset = 15,2$ cm, hauteur : 15,2 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.6. L'appareil CBR.

• **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 :

- Etablir une classification des sols (GTR)
- Evaluer la traficabilité des engins de terrassement
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augment \Rightarrow épaisseur diminue).

• **Matériels utilisés**

- Moules standard BR
 - Disques d'espacement de 151mm de diamètre et 25,5mm d'épaisseur
 - 1 dame Proctor modifiée 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 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 piston cylindrique ayant une section de 19,6cm² 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
- Couteau maillet, burin, marteau, plane à araser.

• 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.

• Mode opératoire

- Peser l'ensemble du moule vide + embase (soit P_m)
- Prendre 5Kg de sol sec passé au tamis 5mm
- Ajouter W_{opt} de l'essai de Proctor.
- Introduire la 1^{ère} couche de sol et compacter en 56 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 (On prendra la moyenne des deux valeurs)
- Placer l'ensemble dans la machine et lire la force et **déplacement** .



Figure III.7 Réalisation de l'essai CBR.

• Portance du sol

La portance d'un sol est la caractéristique qui définit sa capacité à supporter les charges qui lui sont appliquées. La portance dépend de la nature du sol, du pourcentage d'eau et du degré de compactage. Quel que soit le sol, sa résistance mécanique augmente avec sa densité en faisant passer plusieurs fois des engins lourds qui assurent le compactage. La portance du sol et sa teneur en eau optimum sont déterminées par l'essai Proctor. Les paramètres de portance obtenus suite à l'essai de poinçonnement immédiat et après quatre jours d'immersion.

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

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

$$I.CBR = \max (I.CBR_{2,5} ; I.CBR_5)$$

Tableau III-2 .Différentes classes de portances

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

III.3.3 Essais UCS (ASTMD2166)

L'essai de compression uni axial est effectué sur une éprouvette de dimensions : 7cm de Ø et 14cm de hauteur, 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.

➤ Mode opératoire

- Tamiser 5.5kg du sol sec à 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.8 Mode opératoire – Essai UCS

III.4 CONCLUSION :

L'analyse du comportement du support-sols in situ, repose sur des essais de laboratoire ou sur site, qui permettent sa reconnaissance par la détermination de ces caractéristiques physiques et mécaniques ce qui nous permet d'avoir une idée sur son comportement à court, moyen et long terme sous l'effet de teneur en eau dans les caractéristiques mécaniques.

Chapitre IV

Résultats et

Discussions

IV.1 Introduction

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 plastique (PT) et le ciment .

Le présent chapitre présente et interprète les différents résultats obtenus lors des essais conduits en laboratoire de GC, les premiers essais mécaniques Proctor modifié pour déterminer la densité sèche du différent mélange avec une teneur en eau du +2% et +4 % de l'OPM de chaque mélange , 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 avec 4% teneur en eau.

Tableau IV -1. Désignations des mélanges.

N°	Notation	Mélanges
01	S ₀	Sol Non Traité
02	S ₁	Sol + 5 % PT
03	S ₂	Sol +10 % PT
04	S ₃	Sol +5% PT + 2% ciment
05	S ₄	Sol +5% PT + 4% ciment
06	S ₅	Sol + 10% PT +2% ciment
07	S ₆	Sol + 10% PT +4% ciment

IV.2 Les essais et résultats

IV.2.1 Essai Proctor

-Mélanges (S0, S1, S2)

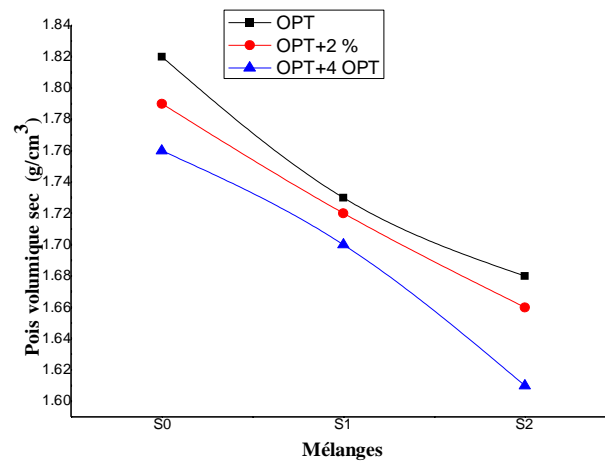


Figure IV.1: Influence de teneur en eau dans le compactage de sol avec PT

-Mélanges (S0, S3, S4)

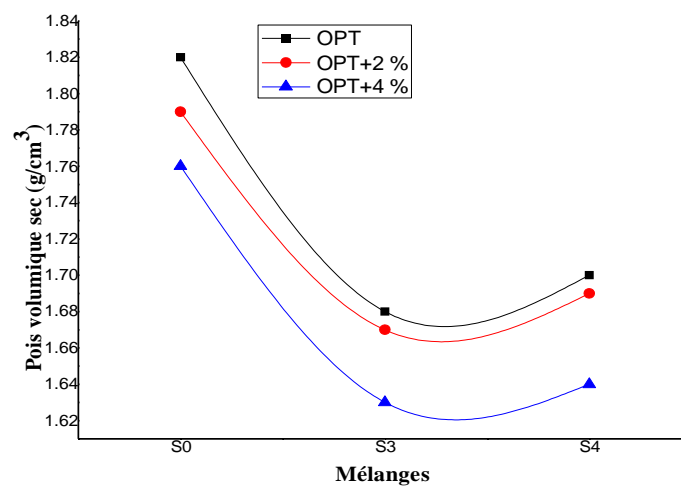


Figure IV.2 : Influence de teneur en eau dans le compactage de sol avec 5 % PT et ciment

-Mélanges (S0, S5, S6)

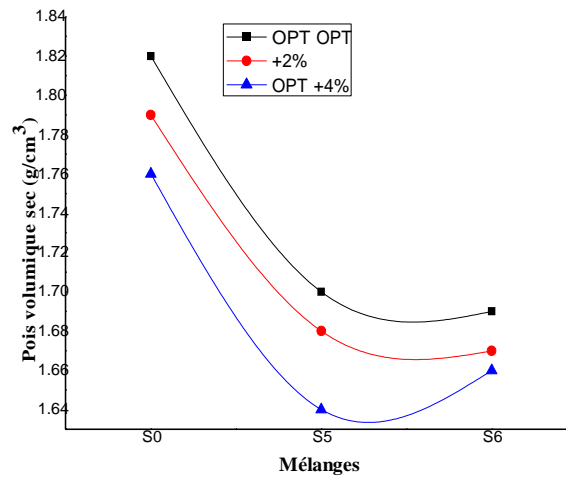


Figure IV.3 Influence de teneur en eau dans compactage de sol avec 10% PT et ciment

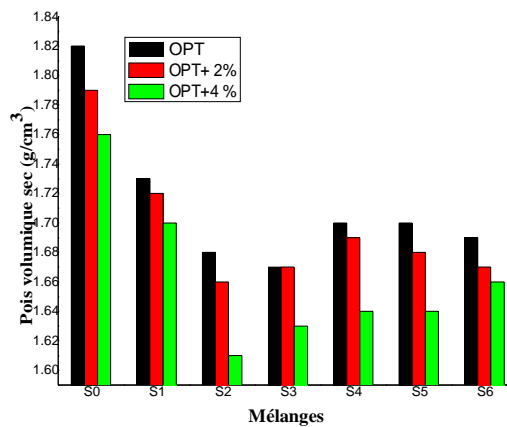


Figure IV -4 : Influence de teneur en eau dans le compactage de sol avec 5, 10% PT et ciment

IV.2.1.1 Interprétations des résultats :

D'après les Figures IV 1, IV 2, IV3 et IV.4 on observe que l'influence de l'eau ajoutée aux mélanges est significativement négative sur la plupart des mélanges ce qui, diminue la densité sèche d'environ 4,8% pour les sols naturels et varie entre 0,6 à 3% pour les mélanges de sol stabilisé avec les déchets de plastique et de ciment. Cela diminue l'influence de plastique plus léger.

IV.2.2 Essai CBR (OPT +4% Eau):

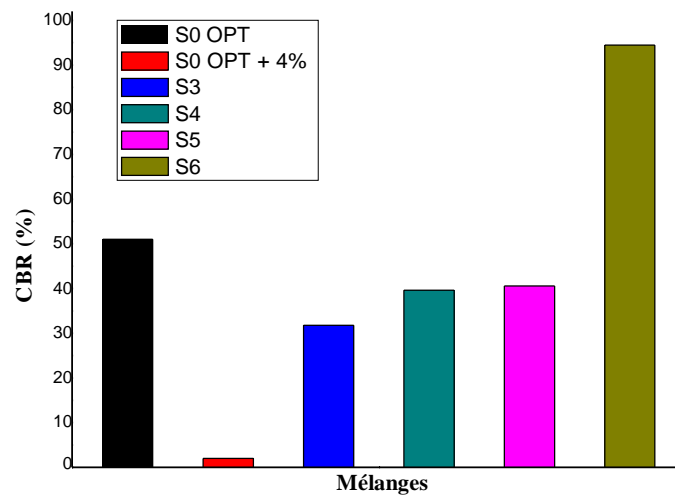


Figure IV -5 : Effet de l’ajout de PT et ciment sur le CBR du sol traité à l’état Humide (28J)

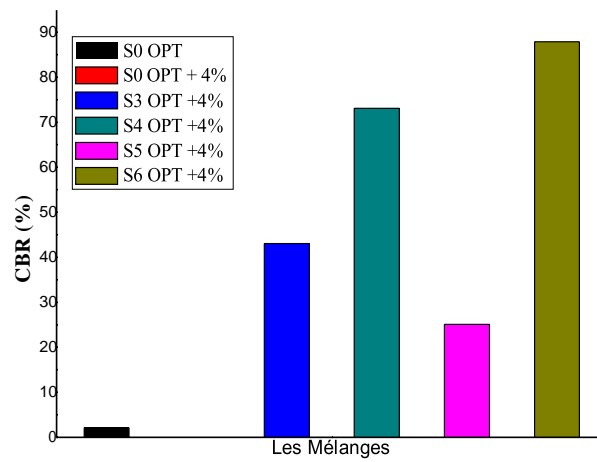


Figure IV -6 : Effet de l’ajout de PT et ciment dans le sol naturel et traite à l’état Immergé (28J)

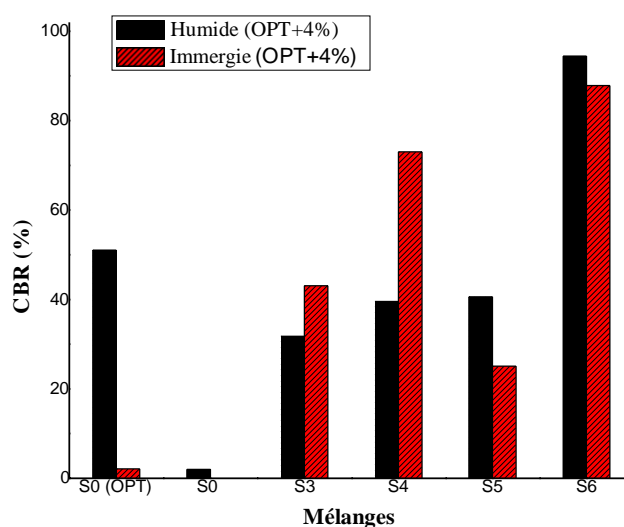


Figure IV -7 : Influence d teneur en eau sur CBR de sol traité avec PT et ciment à l'état Humide et Immergé (28J).

IV.2.2 .1 Interprétation :

Les Figures IV.5, IV.6 et IV.7 présentent l'influence d'un ajout de 4 % d'eau à l'OMC pour les résultats du CBR. Le CBR de différents mélanges a montré un CBR élevé pour les échantillons avec du ciment. De plus, on a comparé ces résultats aux mélanges avec une teneur en eau optimale trouvée dans la thèse de Hayat et Iness 2020. Il a trouvé que le CBR atteignait 385%. Addition de 4% d'eau jusqu'à une diminution optimale du CBR d'environ 4 fois, dont des valeurs plus élevées de CBR 94%. Ces résultats confirment le problème de l'eau aux différents mélanges lors de l'exécution ou lors de la session hivernale dont les fortes pluies.

IV.2.3 Essai UCS (OPT +4% eau) :

* 7 JOURS :

-Mélanges (S0, S3, S4)7j Humide

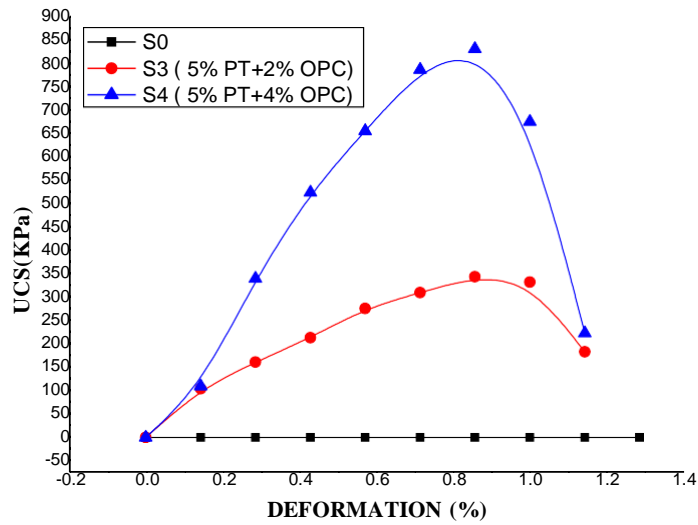


Figure IV -8 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (7J).

-Mélanges (S0, S5, S6) 7j Humide

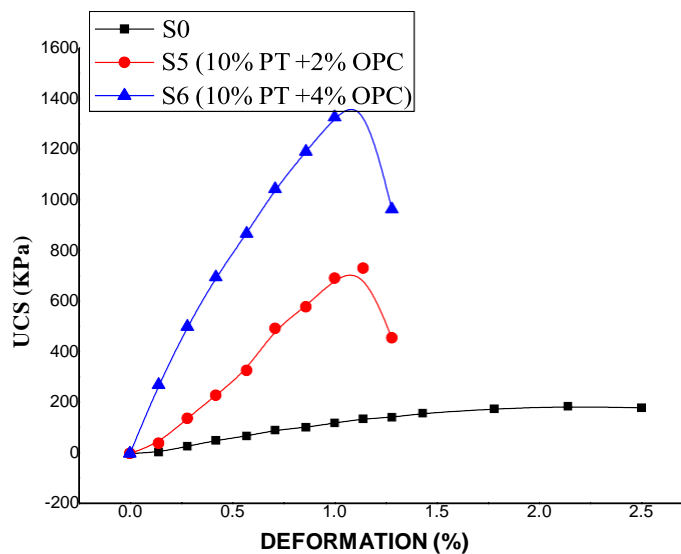


Figure IV -9 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (7J).

-Mélanges (S0, S3, S4) 7j Immergé

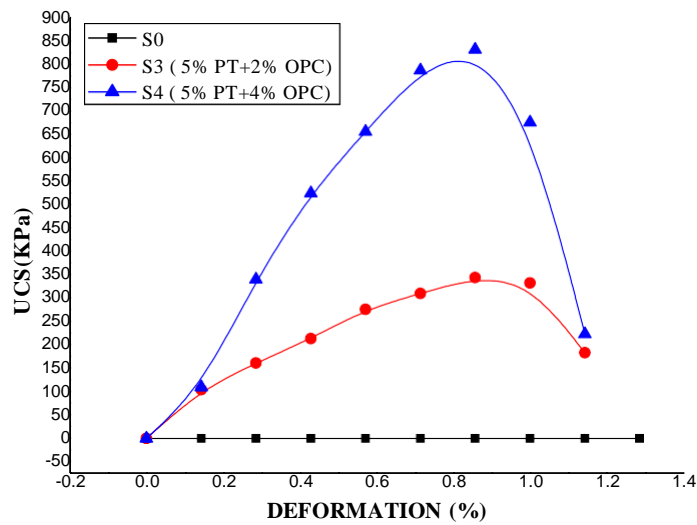


Figure IV -10 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol à l'état Immergé (7J).

-Mélanges (S0, S5, S6) 7j Immergé

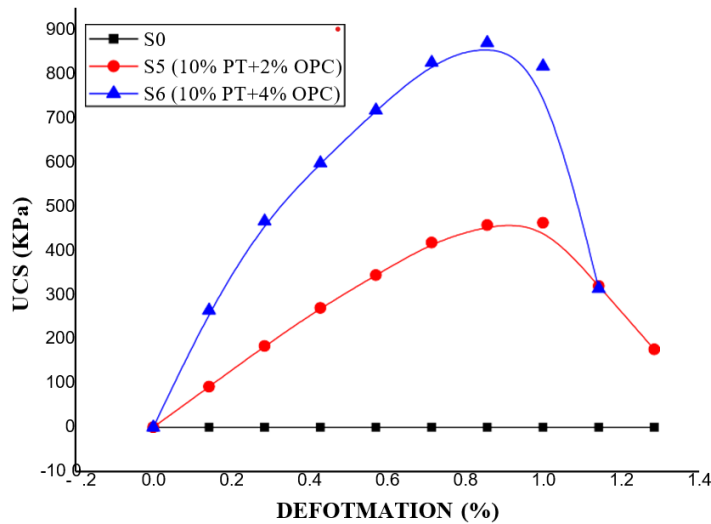


Figure IV -11 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol à l'état Immergé (7J).

Interprétation:

La Figure IV.8 a présenté les résultats de l'UCS à 7 jours pour des conditions humides, on peut voir que l'UCS a atteint 1106 KPa. En raison de la réaction du ciment lors de l'ajout de plus d'eau, mais les résultats de l'UCS pour le sol naturel sont très faibles lors de l'ajout 4% d'eau jusqu'à OPT. Mêmes remarques que l'on peut observer sur la figure IV.9 dont l'UCS atteint 1410 KPa.

Nous pouvons observer à partir des Figures IV.10 et IV.11 l'UCS dans des conditions immergées inférieures à l'UCS dans des conditions humides, dont les valeurs plus élevées de l'UCS ont atteint 870 KPa. L'eau sépare les particules du mélange et arrête la réaction du liant.

14 JOURS :

-Mélanges (S0, S3, S4)

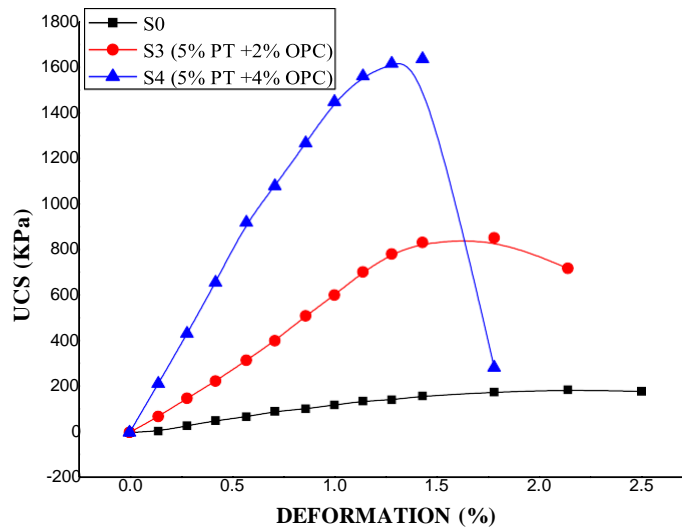


Figure IV -12 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (14J).

-Mélanges (S0, S5, S6)

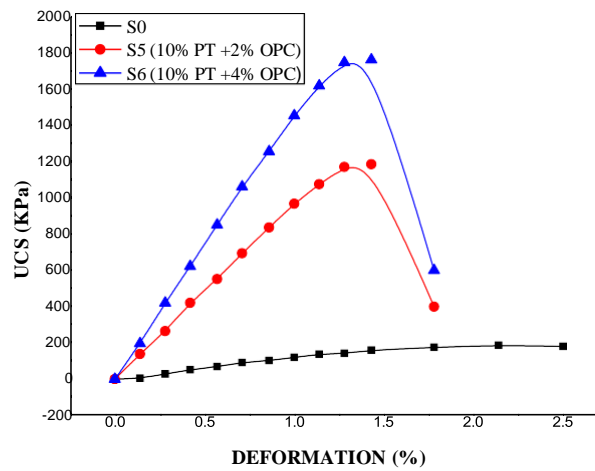


Figure IV -13 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (14J).

-Mélanges (S0, S3, S4)

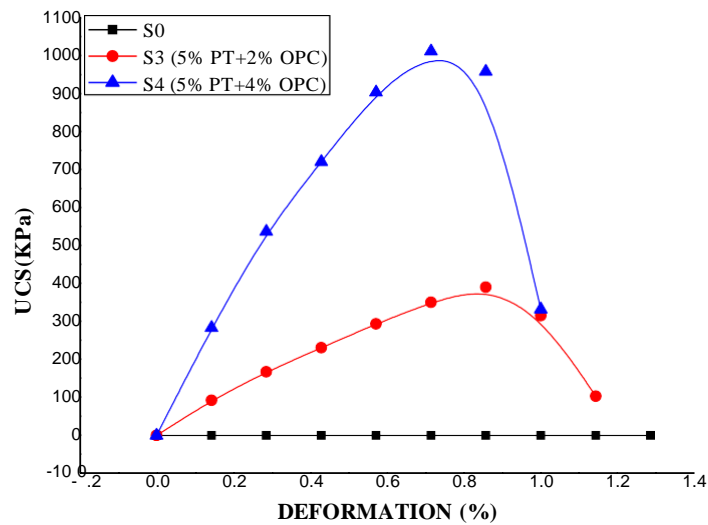


Figure IV -14 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (14J).

-Mélanges (S0, S5, S6)

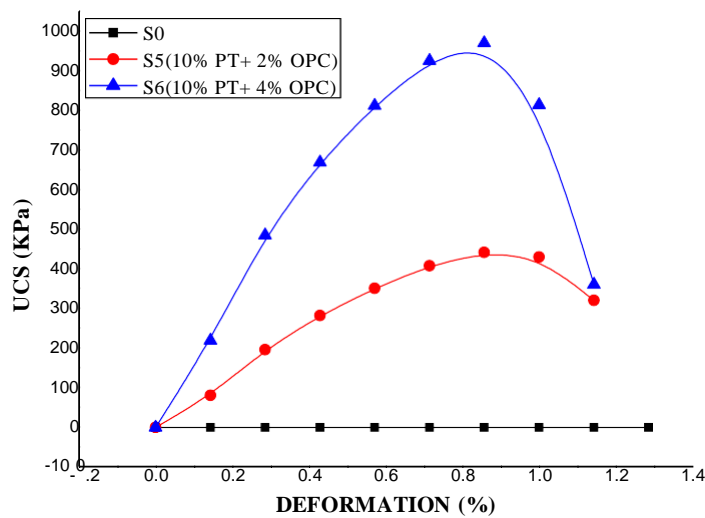


Figure IV -15 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (14J).

Interprétation :

Dans les figures IV 13 à IV 15, la valeur UCS du sol naturel dans des conditions humides ne dépasse pas 186 KPa comme valeur maximale. De plus, lorsque nous ajoutons 5% de plastique avec 2% de ciment, la valeur UCS augmente à 718 KPa, cependant, lors de l'ajout de

4% de ciment, l'UCS augmente à 1634 KPa,

lors de l'ajout de 10 % de plastique avec 2 % et 4 % de ciment, la valeur UCS augmente à 1184 KPa et 1759 KPa respectivement.

En revanche, en conditions immergées, l'UCS du sol naturel est proche de 0 et très faible lorsque l'on utilise du ciment comme liant.

28 JOURS :

-Mélanges (S0, S3, S4)

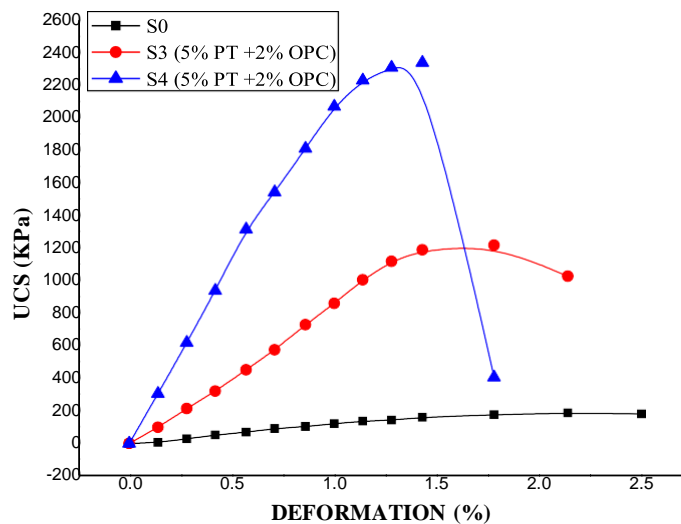


Figure IV -16 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol à l'état Humide (28J).

-Mélanges (S0, S5, S6)

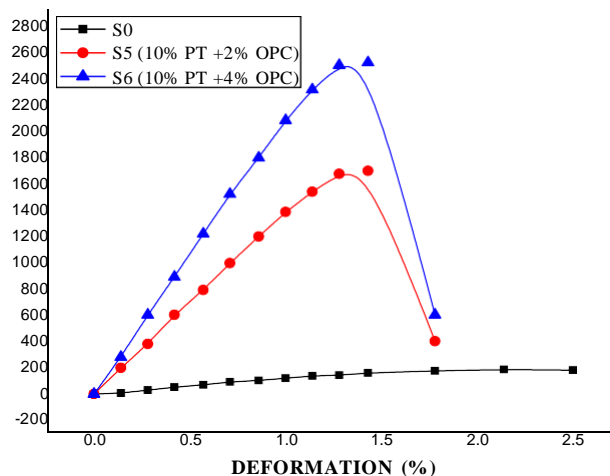


Figure IV -17 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol à l'état Humide (28J).

-Mélanges (S0, S3, S4)

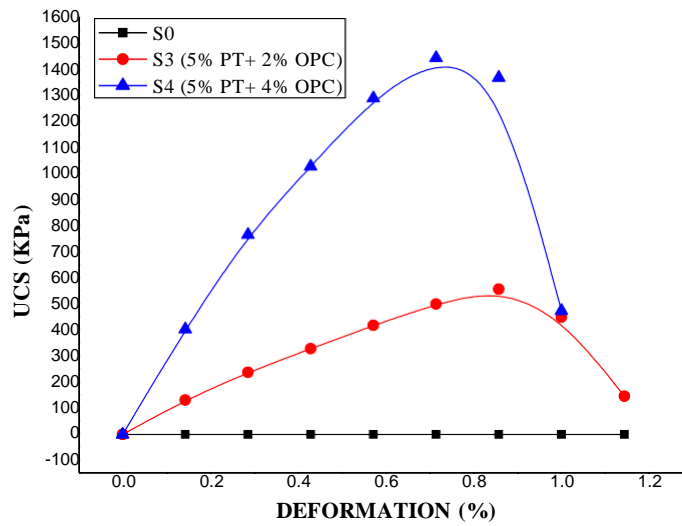


Figure IV -18 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (28J).

-Mélanges (S0, S5, S6)

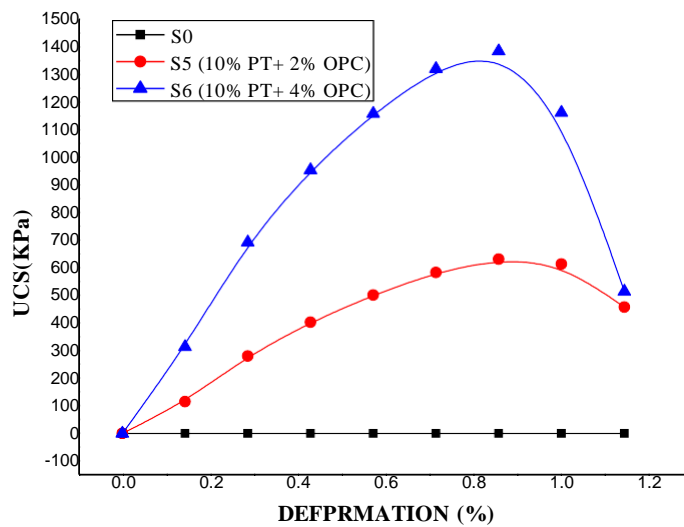


Figure IV -19 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Immerge (28J).

Interprétation :

D'après les figures IV.16 à IV.19, la valeur UCS dans le sol naturel à l'état humide ne dépasse pas 186 KPa , mais lorsque nous ajoutons 5% de plastique avec 2% de ciment, la valeur UCS augmente à 1215 KPa et pour un ajout de 4 % de ciment l'UCS augmente jusqu'à 2335 KPa , même en ajoutant 10% de plastique avec 2% et 4% de ciment la valeur UCS augmente à 1692 KPa et 2514 KPa respectivement

.D'autre part, dans des conditions immergées, le sol naturel donne 0 valeurs de UCS, mais lorsque nous ajoutons 5% de plastique avec 2% de ciment, la valeur UCS augmente à 556 KPa et pour l'ajout de 4% de ciment, l'UCS augmente jusqu'à 1442 KPa. L'ajout de 10% de plastique avec 2% et 4% de ciment augmente la valeur UCS jusqu'à 630 KPa et 1382 KPa respectivement. La plupart des résultats de l'UCS dans les deux conditions montrent que l'UCS a augmenté jusqu'à 1 MPa lorsqu'il est ajouté à 2 % ou 4 % aux mélanges. Ces résultats d'UCS comparés à la thèse de Hayet et Iness 2020 montrent que l'UCS avec OPT est supérieur à l'UCS avec OPT +4% eau, ce qui confirme le problème de l'eau aux mélanges avec plus d'eau lors de la préparation ou dans le site en hiver

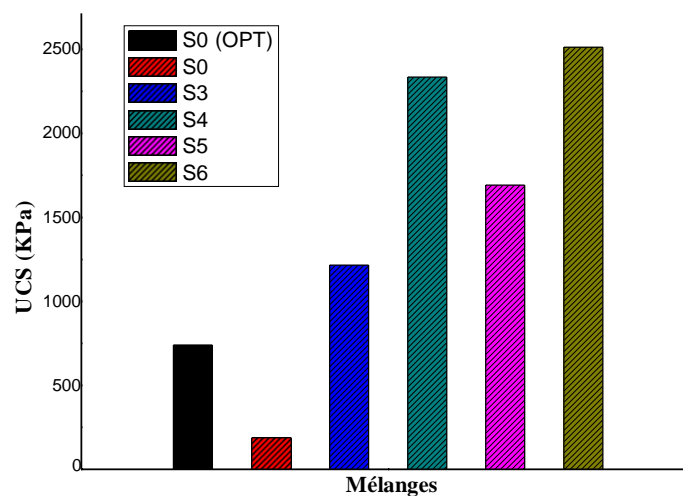


Figure IV -20 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide (28J).

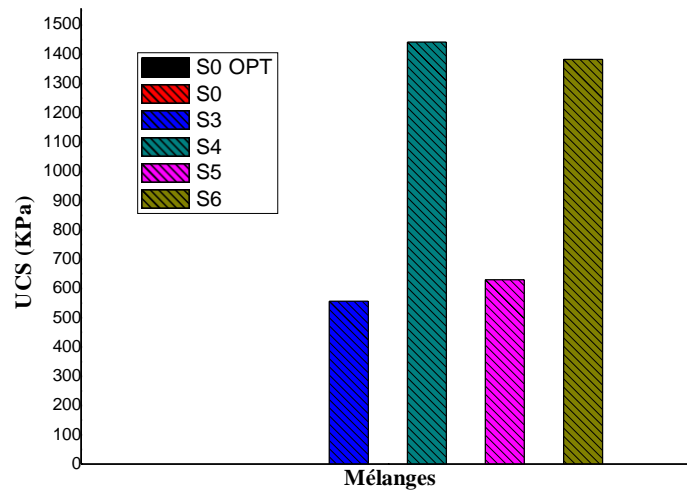


Figure IV -21 : Effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol à l'état Immerge (28J).

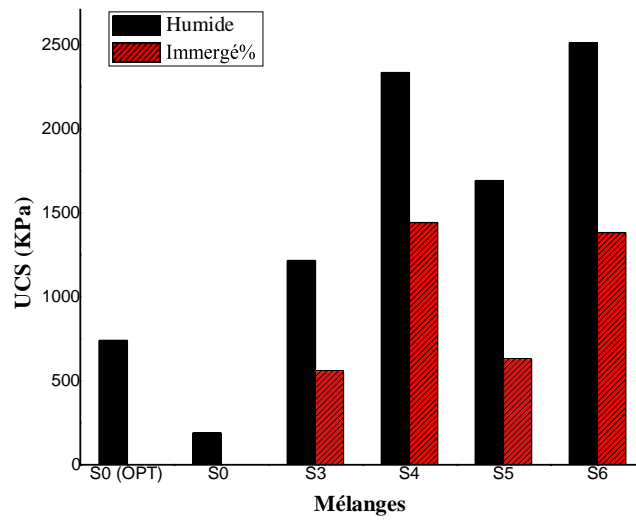


Figure IV -22: l'effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du mélange a l'état Humide et Immerge (28J).

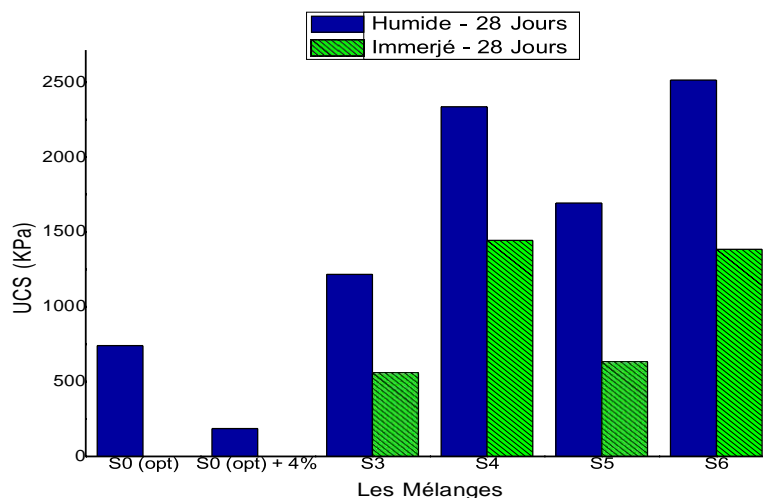


Figure IV -23 : l'effet de l'ajout de PT et ciment dans UCS du sol a l'état Humide et Immergé(28J).

Interpretation :

D'après les Figures.20 A IV .22 l'effet de l'ajout de PT et de ciment dans l'UCS des mélanges dans les conditions Humide et Immergé (28J). C'est ainsi que sont résumés tous les résultats de l'UCS en fonction de l'ajout de ciment et de plastique. En conditions immergées et humides. Notez que la valeur de l'UCS en condition humide est toujours supérieure à la condition immergée. Est que le pourcentage de ciment a un effet positif sur l'amélioration de l'UCS.

IV.3 Conclusion

L'utilisation de déchets de plastic combinés à un faible taux de ciment avec 2% et 4% teneur en eau jusqu'à OPT pour stabiliser la couche de fondation du tronçon routier reliant l'autoroute est-ouest et le port sec de Tixter-BBA a permis d'obtenir de l'influence de teneur en eau dans les caractéristique mécanique comme la densité sèche, CBR et UCS en diminuant ses valeurs .

Les résultats confirment la problématique de l'excès d'eau dans les mélanges jusqu'à l'OPT. Ces résultats mentionnent que plus d'eau lors de la réalisation ou en période hivernale devient un problème pour notre cahier des charges des routes.

- Conclusion générale

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 nationales, Pour l'exploitation des déchets de plastique 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 plastic 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 fondation 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 a caractéristiques initiales du sol utilisé :

- ❖ La masse volumique sec 1940 kg/m³.
- ❖ CBR 51 % à l'Etat humide et 2.12 % à l'Etat immergé

Le traitement du sol avec 5% et 10 % de déchets plastique et 2%, 4% de ciment avec 5% et 10% dèches de plastic mélanges avec OPT + 2% et OPT + 4% permet diminuer tous les caractéristiques comme densité sèche, capacité portante et UCS du sol.

- La densité sèche diminue 3% à OPT +2% eau et 4.8% à OPT +4% eau
- CBR diminue 85% à 96% pour les mélanges avec déchets de plastique
- CBR diminue 19% à 74% à l'état humide pour les mélanges avec déches decéramique et ciment.
- CBR diminue 15% à 87% pour les mélanges avec déchets du plastique et ciment al'état immergé.
- UCS diminue 11% à 77% à 28 jours cure.

Nous pouvons conclure qu'un supplément de 2% et 4% d'eau aux échantillons diminue les propriétés mécaniques du sol, similaire à la saison des pluies ou à la préparation de la couche defondation.

❖ *Références bibliographiques*

- Achilias, D.S., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A.A. & Antonakou, E.V. 2007 Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials* 149 (3), 536–542.
- Al-Salem, S.M., Lettieri, P. & Baeyens, J. 2009 Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management* 29 (10), 2625–2643.
- Beghin A. Etude de la rupture des bitumes à basse température : influences des facteurs de composition et de la rhéologie des liants. Thèse : Université Paris VI, 2003.
- Bodin D., Pijaudier-Cabot G., de La Roche C., Piau J.M. et Chabot A. A continuum damage approach to asphalt concrete modeling. *Journal of Engineering Mechanics*
- Buyck, Gestion des déchets plastiques et détection de micro-déchets plastiques en station d'épuration en Wallonie.
- Clark, J.H. & Hardy, J.J.E. 2004 *Towards Sustainable Chemical Manufacturing: Polylactic Acid, A Sustainable Polymer: Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists*, first ed. Wiley.
- Douailia Saousene et Bahloulmarwa. Etude des sols affaissables. 2019
- Florence C., Foret G., Tamagny P., Sener J.Y. et Ehrlacher A. Design of a new laboratory test simulating the reflective cracking in pavements with cement treated bases. *Cracking in pavement, 5th International RILEM Conference, Liège, France. 2004.*
- Garforth, A.A., Ali, S., Hernández-Martínez, J. & Akah, A. 2004 Feedstock recycling of polymer wastes. *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 8 (6), 419–425.
- Génie Hippique (2004). « Traitement des sols à la chaux ou au ciment ». Librairie des Haras Nationaux, France
- Grosso, M., Motta, A. & Rigamonti, L. 2010 Efficiency of energy recovery from waste incineration, in the light of the new Waste Framework Directive. *Waste Management* 30 (7), 1238–1243.
- Houben H, Guillaud H. *Traité de construction en terre*. CRA Terre, Edition Parenthèse, Marseille, France, 355 p, 2006.
- Kumar, S., Panda, A.K. & Singh, R.K. 2011 A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (11), 893–910
- Laveissière D. Modélisation de la remontée de fissure en fatigue dans les structures routières par endommagement et macro-fissuration. Thèse : Université de Limoges, 2001.
- LCPC. Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1994.
- LCPC. Méthode d'essai n°52. Catalogue des dosages de surface des chaussées. 1998.
- Liège université INRS, 2017. Polyéthylène téréphtalate 1–4.

Linda K. & Nait-Ali, 2008. Le PET recyclé en emballages alimentaires : approche expérimentale et modélisation.

Maillard S., d. Roche C., Hammoum F., Gaillet L., E.Daouben et SuchC.Comportement à la rupture du bitume en film mince sous chargement répété - approches par des méthodes de control non destructif. Journées des Sciences de l'Ingénieur.2003.

Panda, A.K., Singh, R.K. & Mishra, D.K. 2010 Thermolysis of waste plastics to liquid fuel, a suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products: A world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (1), 233–248.

Paradela, F., Pinto, F., Gulyurtlu, I., Cabrita, I. & Lapa, N. 2009 Study of the co- pyrolysis of biomass and plastic wastes. *Clean Technologies and Environmental Policy* 11 (1), 115–122.

PlasticsEurope & EPRO 2015 Plastics - the Facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data. <http://www.plasticseurope.org>, consulté le 09/06/2016

Pouteau B., Balay J.M., Chabot A. et Larrard F. De. Fatigue test and mechanical study of adhesion between concrete and asphalt. 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, Turkey. 2004.

Quaghebeur, M., Laenen, B., Geysen, D., Nielsen, P., Pontikes, Y., VanGerven, T. & Spooren, J. 2013 Characterization of landfilled materials : screening of the enhanced landfill mining potential. *Journal of Cleaner Production* 55, 72–83.

Ramadevi M.K. & Manju M.R., 2012. Experimental Investigation on the Properties of Concrete with Plastic PET (Bottle) Fibres as Fine Aggregates *2*(6), 42–46.

Singhabhandhu, A. & Tezuka, T. 2010 The waste-to-energy framework for integrated multi-waste utilization: Waste cooking oil, waste lubricating oil, and waste plastics. *Energy* 35 (6), 2544–2551.

Sulyman

Symons WG. Properties of Australian soils stabilised with cementitious binders. Structural Materials and Assemblies Group, University of South Australia, The Levels, South Australia, 1999.

Tamagny P., Wendling L. et Piau J.M. A new explanation of pavement cracking from top o bottom: The visco-elasticity of asphalt matherials ? Cracking in pavement, 5th International RILEM Conference, Liège, France. 2004.

Themelis, N.J., Castaldi, M.J., Bhatti, J. & Arsova, L. 2011 Energy and economic value of non-recycled plastics (NRP) and municipal solid wastes (MSW) that are currently landfilled in the fifty states. New York, NY : Columbia University.

United Nations. Earth Construction Technology. United Nations Centre for Human Settlements, Nairobi, Kenya, 200 p, 1992.

Welle F., 2011. Resources, Conservation and Recycling Twenty years of PET bottle to bottle

recycling — An overview. *Resources, Conserv. Recycl.* **55**(11), 865–875.

Winterkorn HF. Soil stabilization, Chapter 8 in "Foundation Engineering Handbook",

Winterkorn, H.F. & Fang, H.-Y., Van Nostrand Reinhold Company, 750 pp, 1975.

Wong, S.L., Ngadi, N., Abdullah, T.A.T. & Inuwa, I.M. 2015 Current state and future prospects of plastic waste as source of fuel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 1167–1180