

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

**Faculté :** SCIENCES DE L'INGENIORAT  
**Département :** GENIE CIVIL  
**Domaine :** SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES  
**Filière :** GENIE CIVIL  
**Spécialité :** GEOTECHNIQUE

**Mémoire**

**Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Thème :**

**INFLUENCE DE DECHETS DE PNEUS FINIS SUR LE  
COMPACTAGE D'UN SOL**

**Présenté par :**  
GASMI Sihem  
DROUAI Bouthaina

**Encadrant :** BOUKHATEM Ghania

Université Badji Mokhtar Annaba

**Jury de Soutenance :**

SBARTAI Badr eddine	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba	Président
BOUKHATEM Ghania	MCB	Université Badji Mokhtar Annaba	Encadrant
HACEN CHAUCHE Abd el Madjid	Pr	Université Badji Mokhtar Annaba	Examineur

**Année Universitaire : 2019/2020**



## *Dédicace*

*On dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans le soutien indéfectible et sans limite de nos chers parents qui ne cessent de nous donner avec amour le nécessaire pour que nous puissions réussir nos ambitions et nos vies. Que dieux vous protège et que la réussite soit toujours à notre portée pour qu'on puisse vous combler de bonheur et de réussite tout pour long de notre vie « Que Dieu vos bénisses ».*

*Et on désire aussi remercier spécialement les membres de notre famille de leurs inconditionnelles soutien et encouragement sans faille toute au long de l'élaboration de ce mémoire.*

*Enfin, on tient à témoigner toute notre gratitude à nos chers amis pour leurs confiances et leurs soutiens inestimables.*

*Sihem & Bouthaina*

## REMERCIEMENT

*Sans l'aide d'Allah ce travail n'aurait jamais vu le jour, et sans l'aide de mon encadreur madame **BOUKHATEM Ghania** à qui j'adresse mes vifs remerciements et pour qui je serai éternellement reconnaissante pour tout ce qu'elle m'a apporté durant l'accomplissement de ce travail d'avoir partagé ses connaissances et d'avoir été présente chaque seconde.*

*Je n'oublierai en aucun cas de remercier mes professeurs à **l'université Badji Mokhtar –ANNABA-** et qui sont aussi aujourd'hui membre du jury, grâce à qui j'ai eu un parfait encadrement qui m'ouvrira toutes les portes à l'avenir.*

*Je remercie l'équipe laborantine du **LTPest** d'avoir soutenu ce travail et avoir fait preuve de patience.*

*Merci à toutes les personnes de loin ou de près qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

## Résumé

Récemment en génie civil, les déchets ont été utilisés comme techniques modernes pour résoudre de nombreux problèmes liés aux sols auxquels l'ingénieur est confronté dans le domaine de géotechnique, et les déchets de pneus utilisés sont considérés comme non dégradables.

Dans l'étude, nous incorporerons le déchet des pneus poudre dans le sol à différents pourcentages de 1, 2 et 3% de la masse sèche du sol et surveillerons les changements qui se produisent dans les propriétés de résistance mécanique du sol et les comparerons avec les résultats d'une autre étude sur le déchet des pneus granulés.

Et nous avons constaté que le déchet des pneus poudre affectait positivement les propriétés de résistance mécanique du sol mieux que le déchet des pneus granulés.

L'étude est également destinée à absorber une quantité de déchets de pneus, ce qui a un impact environnemental positif.

## ملخص

في الآونة الأخيرة في الهندسة المدنية، تم استخدام النفايات كأسلوب حديث لحل العديد من المشاكل المتعلقة بالتربة التي يواجهها المهندس في المجال الجيوتقني، ويعتبر استخدام الإطارات غير قابل للتحلل.

في الدراسة، سنقوم بدمج نفايات الإطارات المسحوقة في التربة بنسب مختلفة من 1 و 2 و 3 % من الكتلة الجافة للتربة ومراقبة التغيرات التي تحدث في خواص القوة الميكانيكية للتربة ومقارنتها مع نتائج دراسة أخرى عن نفايات الإطارات الحبيبية

ووجدنا ان النفايات مسحوق الإطارات اثرت بشكل إيجابي على خصائص القوة الميكانيكية للتربة أكثر من نفايات

الإطارات المحببة

وتهدف الدراسة أيضا الى استيعاب كمية من نفايات الإطارات والتي لها تأثير بيئي إيجابي

## **Abstract**

In recent times in civil engineering, waste has been used as a modern method to solve many soil-related problems that an engineer faces in the geotechnical field, and the use of tires is considered non-degradable.

In the study, we will incorporate crushed tire waste into the soil in different proportions of 1, 2 and 3% of the soil dry mass and observe the changes that occur in the mechanical strength properties of the soil and compare it with the results of another study on granular tire waste.

We found that tire powder waste positively affected the mechanical strength properties of the soil more than the waste tire pellet.

The study also aims to absorb an amount of tire waste, which has a positive environmental impact.

## TABLE DES MATIERES

<b>Remercîment</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Table des matières</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Introduction général</b> .....	2

### Chapitre I: Etude bibliographie

<b>I. Introduction</b> .....	4
<b>I.1. Avantages technique du traitement du sol</b> .....	4
<b>I.2. le sol</b> .....	5
I.2.1. Définition du sol .....	5
I.2.2. Propriétés physiques du sol.....	5
I.2.3. Caractéristiques des sols .....	5
I.2.4. La formation d'un sol .....	6
I.2.5. Les type de sol .....	7
I.2.6. La portance d'un sol .....	7
I.2.7. Caractéristiques et propriétés physiques des sols.....	7
<b>I.3. LES ARGILES</b> .....	9
I.3.1. Introduction .....	9
I.3.2 Notions sur les argiles .....	9
I.3.2.1 Définition .....	9
I.3.2.2. Origine .....	9
I.3.2.3. Structure des argiles .....	11
I.3.2.4. Classification des minéraux argileux .....	12
I.3.2.5. Les différents types d'argile .....	13
I.3.2.6. Activité des argiles .....	15
<b>I.5 LES DECHETS DES PNEUS</b> .....	16

I.5.1. Introduction .....	16
I.5.2. Problématique des pneus usés en Algérie .....	17
I.5.3. Les déchets du pneu .....	18
1) Définition .....	18
2) les caractéristiques du déchet de pneu .....	18
3) les quantités des pneus usagés.....	18
4) Valorisation énergétique.....	19
5) Valorisation en matière première.....	20
6) Emploi en domaine génie civil.....	21
7) Autres techniques de valorisation des pneus usés dans le secteur du génie civil .....	22
8) Valorisation originale du pneu usagé .....	22
9) Étapes du cycle de vie d'un pneu .....	24
<b>I.6. QUEL TRAITEMENT CHOISIR .....</b>	<b>24</b>
I.6.1. Principe de choix d'une méthode de traitement du sol .....	25
I.6.2. Principales opérations de traitement .....	25
<b>I.7. CONCLUSION .....</b>	<b>26</b>
<b><u>Chapitre II: Techniques expérimentales</u></b>	
<b>II. INTRODUCTION .....</b>	<b>28</b>
<b>II.1. MATERIAUX UTILISES .....</b>	<b>28</b>
II.1.1 L'argile .....	28
<b>II.2 IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES MATERIAUX UTILISENT. 29</b>	
II.2.1 Caractérisation physique .....	21
A. Teneur en eau w (NF P 94-050) .....	29
B. Analyse granulométrique .....	30
C. Limite d'Atterberg (NF P94-051) .....	34
D. Essai au bleu de méthylène .....	40
II.2.2 Caractérisation mécanique .....	43
A. L'essai Proctor (NF P94-093) .....	43
<b>II.3CONCLUSION .....</b>	<b>50</b>

## **Chapitre III: Techniques expérimentales**

<b>III. INTRODUCTION .....</b>	<b>53</b>
<b>III.1. BUT DE L'ETUDE .....</b>	<b>53</b>
<b>III.2. MATERIAUX UTILISES .....</b>	<b>53</b>
III.2.1.Argile .....	53
III.2.2 Déchet de pneu .....	54
<b>III.3 PREPARATION DU MELANGE .....</b>	<b>57</b>
<b>III.4 CARACTERISATION MECANIQUE .....</b>	<b>57</b>
III.4.1 Essai Proctor .....	57
III.5 Comparison.....	63
III.6 Conclusion.....	72
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCE .....</b>	<b>74</b>

## Liste des figures

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>Figure I.1</b> Synoptique de classification des matériaux selon leur nature	<b>6</b>
<b>Figure I.2</b> Processus de formation de l'argile (Dananajet al, 2005)	<b>10</b>
<b>Figure I.3</b> Les différents types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (Tucker, 2001)	10
<b>Figure I.4</b> Schéma d'une couche octaédrique et d'une autre tétraédrique (Pedro, 1994)	12
<b>Figure I. 5</b> Structure des minéraux argileux (Duchaufour, 1988)	13
<b>Figure I.6</b> Structure de la kaolinite [Lambe, 1953]	13
<b>Figure I.7</b> Structure de la montmorillonite [Lambe, 1953]	14
<b>Figure I.8</b> Structure d'illite [Lambe, 1953]	15
<b>Figure I.9</b> Pneus grossièrement déchiqueté	17
<b>Figure I.10</b> Gisement des pneus usagés en Algérie Les statistiques montrent que des millions des tonnes des déchets	18
<b>Figure I.11</b> Valorisation du pneu	20
<b>Figure I.12</b> Aspect des déchets des pneus	21
<b>Figure I.13</b> Copeaux de pneus déchiquetés	21
<b>Figure I.14</b> Schéma d'une filière de valorisation matière (Inter state880/Dixon Landing Road, 2001)	23
<b>Figure I.15</b> Étapes du cycle de vie d'un pneu	24
<b>Figure II.1</b> échantillon type du sol à étudier	28
<b>Figure II.2</b> Détermination de la teneur en eau	30
<b>Figure II.3</b> Echantillon pesé	31
<b>Figure II.4</b> Une série de tamis	31
<b>Figure II.5</b> Courbe Granulométrique de l'échantillon	33
<b>Figure II.6</b> Matériel utilisé dans l'essai de Limites d'Atterberg	34
<b>Figure II.7</b> Préparation de L'échantillon	35
<b>Figure II.8</b> Résultats Limite de Liquidité	37
<b>Figure II.9</b> courbe de limite d'atterberg	38
<b>Figure II.10</b> détermination de la plasticité	39

<b>Figure II.11</b> Appareille	42
<b>Figure II.12</b> filtre de bleu méthylène	42
<b>Figure II.13</b> Appareille nécessaire pour Proctor	44
<b>Figure II.14</b> Courbes Proctor de sol naturel	46
<b>Figure II.15</b> Courbe tassement en fonction de pression	49
<b>Figure II.16</b> Essai CBR exécution	50
<b>Figure II.17</b> Essai CBR démoulage	50
<b>Figure III.1</b> L'argile étudiée	54
<b>Figure III.2</b> Résultat d'analyse les pneus	56
<b>Figure III.3</b> Préparation du Mélange argile + déchet de pneu.	57
<b>Figure III.4</b> les étapes de l'essai Proctor	58
<b>Figure III.5. a</b> La courbe de compactage Argile reconstituée	59
<b>Figure III.5. b</b> La courbe de compactage du mélange (Argile+ 1% déchet de pneu)	59
<b>Figure III.5. c</b> La courbe de compactage du mélange (Argile+ 2% déchet de pneu)	60
<b>Figure III.5. d</b> La courbe de compactage du mélange (Argile+ 3% déchet de pneu)	60
<b>Figure III.6</b> Comparaison entre les courbes de compactage Proctor Normal avec différents pourcentages de déchets de pneus.	63
<b>Figure III.7.</b> Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 1 % de déchet des pneus	66
<b>Figure III.8.</b> Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 1 % de déchet des pneus	67
<b>Figure III.9.</b> Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 2 % de déchet des pneus	68

<b>Figure III.10.</b> Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 2 % de déchet des pneus	69
<b>Figure III.11.</b> Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 3 % de déchet des pneus	70
<b>Figure III.12.</b> Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 3 % de déchet des pneus	71

## List des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b> L'accumulation annuelle des pneus découlant par l'UE en tonne	<b>19</b>
<b>Tableau I.2</b> Quantités des PU générées par an en Algérie (Trouzine et al, 2009)	<b>19</b>
<b>Tableau II.1</b> Localisation du site	<b>28</b>
<b>Tableau II.2</b> Propriétés des argiles	<b>29</b>
<b>Tableau II.3</b> Résultat de l'analyse granulométrie	<b>32</b>
<b>Tableau II.4</b> Détermination de la plasticité des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP	<b>36</b>
<b>Tableau II.5</b> Détermination du potentiel de gonflement des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP	<b>36</b>
<b>Tableau II.6</b> Détermination de l'indice de consistance des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP	<b>36</b>
<b>Tableau II.6</b> Tassement en fonction de pression	<b>49</b>
<b>Tableau III.1</b> Localisation de site	<b>53</b>
<b>Tableau III.2</b> Composition chimique de déchet de pneu	<b>53</b>
<b>Tableau III.3</b> Propriété mécanique de déchet de pneu	<b>55</b>
<b>Tableau III.4</b> : Influence du pourcentage de déchet de pneu sur le Proctor	<b>58</b>
<b>Tableau II.5. Résultats de Proctor</b>	<b>59</b>
<b>Tableau.III .6 : Variation de la teneur en eau, la densité sèche et le pourcentage d'augmentation en fonction de différents ajouts.</b>	<b>65</b>



## **INTRODUCTION GENERALE**

### INTRODUCTION GENERALE

Les particules minérales de dimensions comprises dans des limites bien définies forment ce qu'on appelle agrégat, cet agrégat est un matériau appelé **sol** et c'est ce terme qu'on emploie dans le génie civil.

L'argile est une des différentes particules minérales qui forment le sol, elle est utilisée depuis très longtemps en plusieurs domaines courants comme la poterie, ce qui nous intéresse par contre est sa présence en tant que matériau de construction, surtout actuellement suite au développement de son champs d'exploitation jusqu'à en arriver aux bâtiments ainsi que les travaux publics.

Des mélanges naturels complexes de minéraux dont la granulométrie et les propriétés physico-chimiques et mécaniques sont très variables et sont souvent constitués par des matériaux argileux de là on comprend que l'argile présente dans le sol joue un rôle important dans la construction.

les possibilités d'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques des sols argileux de qualité médiocre est le but de cette étude et de ce mémoire, en rajoutant à ces sols des proportions de déchets de pneus afin de rendre ces argiles plus performantes à l'exploitation dans le domaine des infrastructures routières.

Ce mémoire est structuré selon l'ordre suivant :

- **Chapitre I** : une étude bibliographique, qui nous renseigne sur les sols, caractéristiques des argiles, généralités sur les déchets de pneu, et enfin les différents méthodes de traitement des sols.
- **Chapitre II** : Techniques Expérimental, elle contient les définitions ; les objectifs, matériels utilisés, modes opératoires et principes des différents essais d'identifications : Physiques et mécaniques réalisés au niveau du Laboratoire.
- **Chapitre III** : Comportement du sol après renforcement et comparaison.

Les résultats des essais sont discutés et interprétés et aussi comparé à d'autres résultats ; afin de critiquer la faisabilité et l'adéquation de cette technique de traitement de cette argile avec les déchets de pneu en poudre .

Enfin, une conclusion générale qui résume les avantages de l'étude et présente les recommandations essentielles tirées de cette étude.

## **Chapitre I**

### **Etude bibliographie**

## **I. INTRODUCTION**

Depuis peu de temps, des fibres sont ajoutées dans le sol pour améliorer le comportement de la résistance des sols (Cai et al. 2006). L'utilisation de déchets de fibres comme renforcement a un énorme potentiel dans un matériau recyclable dans le domaine de la construction (Savastano et al, 2005). Les fibres naturelles ont été utilisées dans le domaine de la stabilisation des sols, (Nilsson, 1975 ; Gram, 1983). Récemment, ce sont des fibres artificielles qui sont ajoutées dans des sols fins pour renforcer leur résistance (Akbulut et al, 2007). De nombreuses recherches expérimentales tendent à stabiliser les sols argileux avec des matériaux naturels, fabriqués et des sous-produits (Akbulut et al, 2004 ; Kalkan, 2006 ; Al-Akhras et al, 2008 ; Viswanadham et al, 2009). Ainsi les pneus usagés, les cendres et les boues d'épuration ont montré un bon potentiel pour la stabilisation des sols (Alaa et al, 2006).

Le traitement avec déchets de pneus cherche à modifier l'état d'un sol en lui faisant acquérir des propriétés nouvelles et tend à rendre utilisable un sol sur place. Pour ce faire, on mélange le déchet de pneu avec le sol, et éventuellement de l'eau jusqu'à l'obtention d'un matériau homogène. Ce traitement a pour but l'exécution des remblais et des couches de forme, pour être ensuite aptes à supporter une assise de chaussée, de parking ou de plate-forme.

Le traitement du sol avec déchets de pneus a deux raisons d'être, en effet, il doit améliorer des sols trop humides, qu'il s'agisse du sol en place pour permettre le déroulement du chantier, ou de sols à réutiliser en remblai; ou réaliser des plates-formes rigides et stables aux intempéries, pour la gestion de chantier et la mise en œuvre de la fondation.

### **I.1. AVANTAGES TECHNIQUE DU TRAITEMENT DU SOL**

#### **➤ Avantages Environnementaux**

On constate une réduction de la pollution liée au transport des matériaux ainsi que la consommation d'énergie (carburant). Ensuite ça évite l'extraction des granulats qui sont des ressources naturelles non renouvelables.

### ➤ **Avantages Economiques**

L'utilisation du sol en place évite les coûts du déblaiement, de la mise en décharge et du transport. Elle est économique et encore un moyen d'être rapide afin d'accélérer les travaux.

### ➤ **Avantages Techniques**

Le traitement des sols permet la réalisation en remblais et en couches de forme présentant des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'une grave-ciment ou grave hydraulique. Cette technique assure une bonne répartition des charges sur le support, grâce à la rigidité de la nouvelle structure ainsi qu'un bon comportement vis-à-vis des cycles de gel-dégel.

## **I.2 LE SOL**

### **I.2.1 Définition du sol**

Le sol est un matériau complexe et variable. Il est hétérogène, d'origine minérale et organique et est constitué de grains et de pores.

### **I.2.2 Propriétés physiques du sol**

Les paramètres définis sont utilisés dans le cadre de la description du comportement physique du sol peuvent être déterminés en pratique par diverses techniques, consistant en une détermination in situ du paramètre concerné, et les méthodes de laboratoire, qui reposent sur les analyses d'échantillons prélevés sur le terrain.

Les déterminations effectuées en laboratoire fournissent des résultats plus précis, par comparaison avec des observations de terrain, mais leur signification et leur représentativité est plus faible, en raison du faible volume de sol prospecté et des effets du prélèvement et de la manipulation (Du chauffour, 1994).

### **I.2.3 Caractéristiques des sols**

Toutes ces caractéristiques ont permis aux experts de classer les sols, en différentes classes et sous classes (Ai, Bi, Ci, Di, et R, i indice de sous classe) résumées dans la (figure I.1), et décrites dans le fascicule 1 de la « Réalisation des remblais et des couches de formes ».

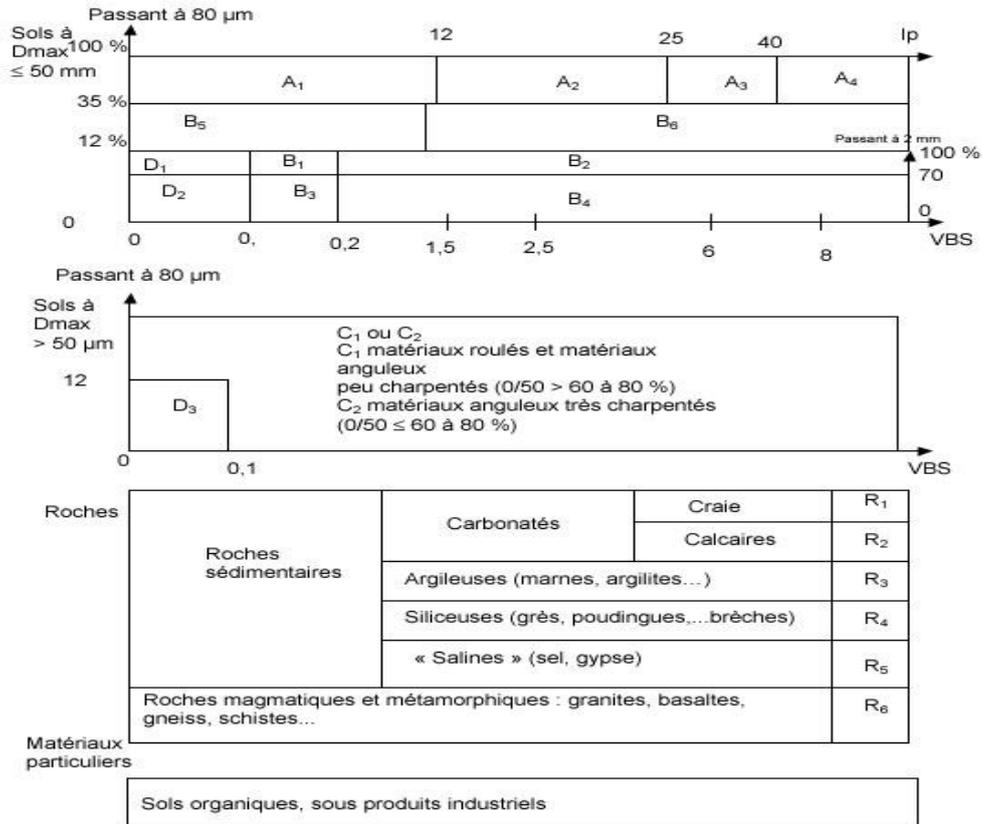


Figure I.1 : Synoptique de classification des matériaux selon leur nature

### I.2.4 La formation d'un sol

Dans la formation du sol 3 facteurs entrent en jeu :

- **la roche mère** : ses propriétés physiques ainsi que sa composition chimique ont une influence directe sur la nature et sur la rapidité de l'évolution d'un sol.
- **les végétaux** : fournisseurs essentiels de la matière organique existante dans le sol, et ils influencent aussi son évolution
- **le climat** : a un impact sur les deux facteurs précédents, engendré de un par la température en ce qui concerne l'altération de la roche mère, de deux les précipitations pour les phénomènes de migration se déroulant au niveau du sol.

La dynamique du sol dépend des divers facteurs qui constituent son milieu.

### **I.2.5 Les type de sol**

Il existe un grand nombre de types de sols, parmi lesquels les sols :

1. Ferrugineux ;
2. Sols gelés ;
3. Iso humiques ;
4. Bruns ;
5. Rouges ;
6. Ferralitiques ;
7. hydromorphes (à Gley ou pseudo-Gley).

### **I.2.6 La portance d'un sol**

C'est sa capacité à supporter une charge ce qui définit sa portance. Cette dernière est en fonction de sa nature, sa teneur en eau et aussi de son compactage.

La portance d'un sol et sa teneur en eau optimum sont déterminées, le plus souvent, par l'essai Proctor pour ce qui concerne la compacité et par l'essai CBR pour ce qui concerne la résistance au poinçonnement. Le traitement à la chaux d'un sol permet une augmentation rapide et importante de sa portance.

### **I.2.7 Caractéristiques et propriétés physiques des sols**

#### **❖ Structure**

La structure d'un sol est un ensemble de constituants solide. sa stabilité structurale est dépendante du taux de la matière organique existante. Le complexe argilo-humique joue un rôle structurale, l'importance de ce dernier est selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type de l'argile. La matière organique augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère.

Une bonne structure assure facilement la circulation de l'eau, en évacuant l'excès, ce qui garantit par la suite une bonne aération des racines, une bonne germination, une pénétration profondes jusqu'aux racines ce qui permet une bonne absorption par les ressources nutritives du sol.

❖ **Texture**

La texture du sol est à la base de toutes les propriétés, c'est elle qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine. Elle constitue un caractère fondamental du sol, parce qu'elle influe sur :

- Perméabilité du sol à (l'eau et à l'air) : La perméabilité est indépendante du taux de la matière organique. Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est celui de la vitesse de percolation de l'eau exprimée en  $\text{cm}^3/\text{h}$ . Le taux élevé de la matière organique n'implique pas forcément une bonne perméabilité. Cependant, son degré de décomposition a une influence sur cette dernière, plus la matière organique est décomposée, plus la perméabilité est faible et vice-versa.
- Rétention de l'eau : l'eau est retenue sous différentes formes : (vapeur ou liquide), l'eau occupe environ le quart du volume d'un sol, quand le sol est saturé, l'eau qui percole à travers une tranche de ce dernier agit sous l'influence de la gravité. Puis la teneur en air est complète la teneur en eau, puisque ces deux fluides se partagent l'espace poreux.

**Porosité total (% vol) = humidité (%) + teneur en air (%).**.....**E.q (I.1)**

➤ **Porosité**

La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par ses pores et son volume totale. Considérons un échantillon de matériau terreux. Soit  $V_a$  le volume total de cet échantillon qui est qualifié d'apparent puisque c'est le volume qui est directement aperçu et on a  $V_s$  le volume occupé par les particules du sol.

La porosité totale  $\theta_t$  est définie par l'équation

$$\theta_t = \frac{1 - V_s}{V_a} \dots \dots \dots \text{E.q (I.2)}$$

➤ **Connectivité**

Elle exprime l'importance des connexions entre les pores qui est un déterminant de la continuité de la phase gazeuse, donc de l'écoulement de l'air.

## **I.3 LES ARGILES**

### **I.3.1 Introduction**

L'argile est un matériau naturel utilisé depuis toujours en différents domaines comme la poterie. Son intérêt est assez important, en raison, à la fois de son abondance qui est la disponibilité et de ses propriétés en agriculture, étant donné que tous les sols cultivés en contiennent plus ou moins mais parfois en grandes quantités. Les sols argileux sont connus pour leur fertilité mais ils sont souvent difficiles à travailler en raison de leurs propriétés mécaniques. Ces mêmes propriétés font des roches argileuses des substrats difficiles pour le génie civil.

### **I.3.2 Notions sur les argiles**

#### **I.3.2.1 Définition**

Les minéraux argileux sont fondamentalement constitués de silicium, aluminium, oxygène et ions hydroxyles. Ce sont des phyllosilicates d'alumine hydratés, le préfixe «phyllo» désignant des minéraux qui prennent des formes de feuillets (Morel, 1989).

#### **I.3.2.2 Origine**

La destruction des roches engendre les minéraux argileux, alors ils peuvent soit rester sur place, soit être transportés sur de longues distances. Les argiles sont issues d'une érosion naturelle, effectuée pendant des milliers d'années (Tucker, 2001).

Les reliefs qui forment la surface de la terre sont composés de différentes roches, pour certaines magmatiques (issues directement du magma) pour d'autres, métamorphiques (seconde cristallisation de sédiments ou de roches magmatiques) (Figure I.2). En fonction des roches mères et du climat, les minéraux argileux résultant sont différents (Tucker, 2001).

En climat froid : l'altération est faible, les minéraux argileux sont identiques ou peu différents des minéraux de la roche (illite et chlorite), ils sont hérités de la roche d'origine.

En climat chaud et humide, l'hydrolyse est poussée, la kaolinite se forme en milieu drainé, les smectites en milieu confiné (Figure I.2).

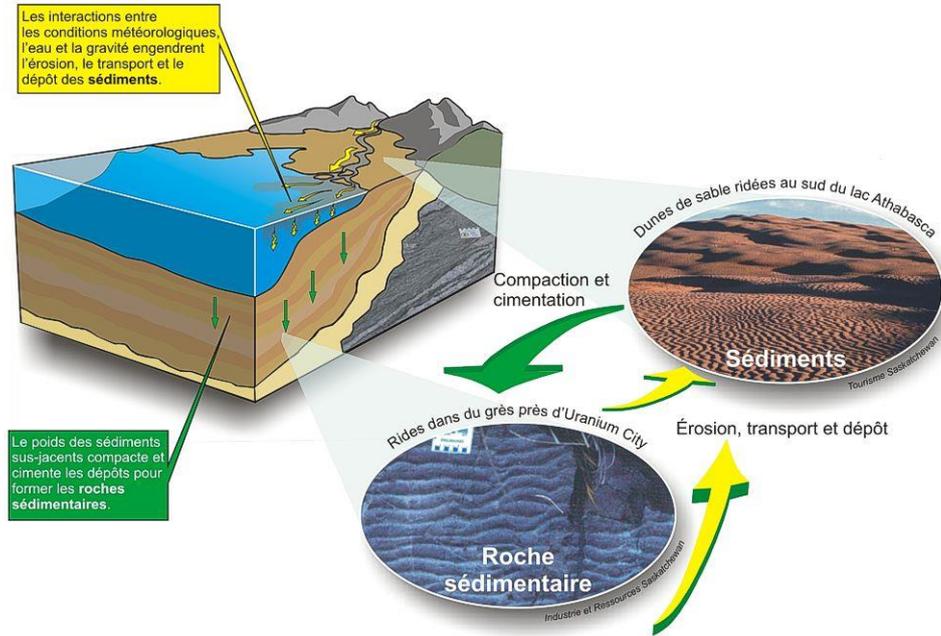


Figure I.2 Processus de formation de l'argile (Dananajet *al*, 2005)

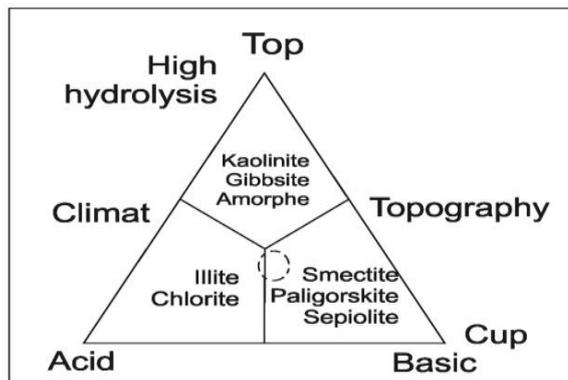


Figure I.3 Les différents types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (Tucker, 2001)

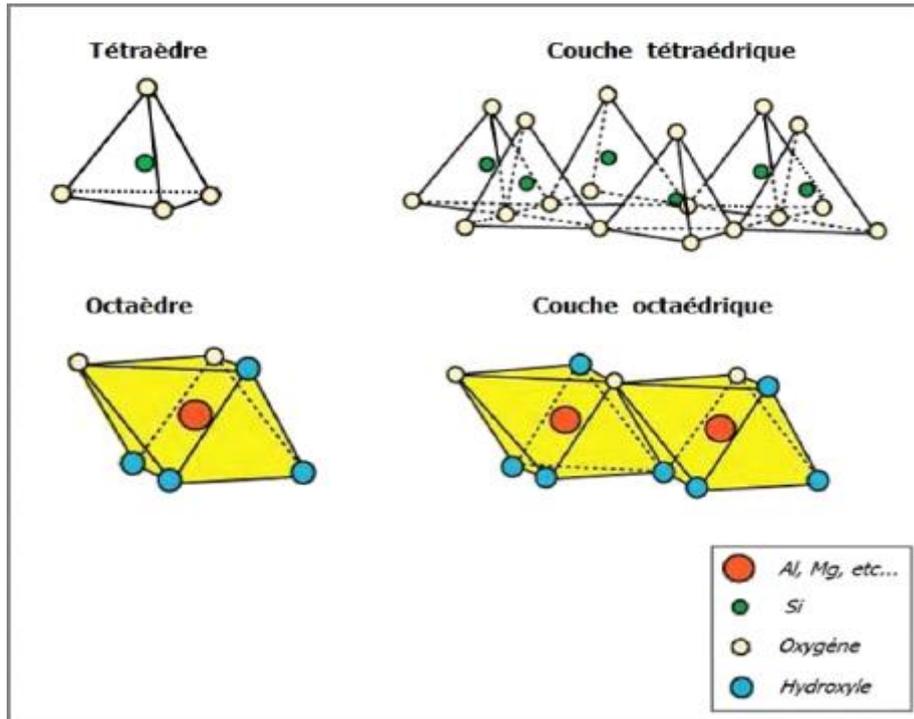
### I.3.2.3 Structure des argiles

A l'exception du groupe relativement peu important des argiles dites fibreuses, les minéraux argileux sont constitués d'un empilement de feuillets de structure bien définie, séparés par des intervalles désignés sous le nom d'espace interfoliaire (Jouenne, 1975 ; Ben Hadj-Amara *et al*, 1987 ; Duchaufour, 1988).

Chaque feuillet se présente comme une superposition de plans ioniques organisés suivant deux types précis de couches : le type tétraédrique (Te) et le type octaédrique (Oc) (Abdelouahab *et al*, 1988 ; Azouz, 1994). L'association d'un feuillet et d'un espace interfoliaire représente l'unité structurale du minéral phylliteux (Morel, 1989) (Figure I.4).

Quatre ions principaux forment la structure des feuillets : les ions  $\text{Si}^{4+}$  ;  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{O}^{2-}$  et  $\text{OH}^-$ . De plus, selon le type d'argile, d'autres ions sont également rencontrés tels que :  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (Caillère *et al*, 1982a, b). Dans le feuillet, un ion silicium  $\text{Si}^{4+}$  s'insère dans l'espace compris entre quatre ions  $\text{O}^{2-}$  disposés autour de lui ; géométriquement,  $\text{Si}^{4+}$  occupe le centre d'un tétraèdre dont les quatre sommets seraient les centres des ions  $\text{O}^{2-}$  ; le silicium est dit en position tétraédrique.

Electriquement, les quatre charges positives de l'ion silicium sont neutralisées par quatre charges négatives appartenant aux quatre ions  $\text{O}^{2-}$  qui entourent l'ion  $\text{Si}^{4+}$ , il reste quatre charges négatives libres, compensées par les charges positives de cations voisins : un dispositif tétraédrique n'est en effet pas isolé, mais fait partie d'un ensemble structural (Caillère *et al*, 1982a, b).



**Figure I.4** Schéma d'une couche octaédrique et d'une autre tétraédrique (Pedro, 1994)

L'ion aluminium  $Al^{3+}$  se trouve dans le feuillet logé dans l'espace compris entre six ions  $O^{2-}$  ou  $OH^-$ , géométriquement,  $Al^{3+}$  occupe le centre d'un octaèdre dont les six sommets seraient les centres des six ions  $O^{2-}$  ou  $OH^-$  périphériques ; l'aluminium est dit en position octaédrique.

Electriquement, les trois charges positives de l'ion aluminium sont neutralisées par trois des charges négatives des anions de l'octaèdre ; pour utiliser complètement leurs charges négatives, les ions  $O^{2-}$  et  $OH^-$  compensent des charges positives appartenant soit à des octaèdres voisins soit, à des tétraèdres voisins.

Dans les feuillets, les dispositifs octaédriques apparaissent disposés les uns à côté des autres, constituant la couche octaédrique. La juxtaposition de couches tétraédriques et octaédriques forme le feuillet. Chaque feuillet est séparé du suivant par un espace interfoliaire (Jones, 1988 ; Tessier, 1989 ; Dyer and Gallardo, 1990).

#### **I.3.2.4 Classification des minéraux argileux**

On distingue parmi les minéraux argileux trois grands groupes (1/1, 2/1 et 2/1/1), leur distinction a été établie en fonction de la composition chimique, de l'épaisseur des feuillets, de

la grandeur de l'espace interfoliaire et de la valeur de la capacité d'échange de cations (c.e.c.) (Duchaufour, 1988 ; Chevalier et al, 1994) (Figure I.5).

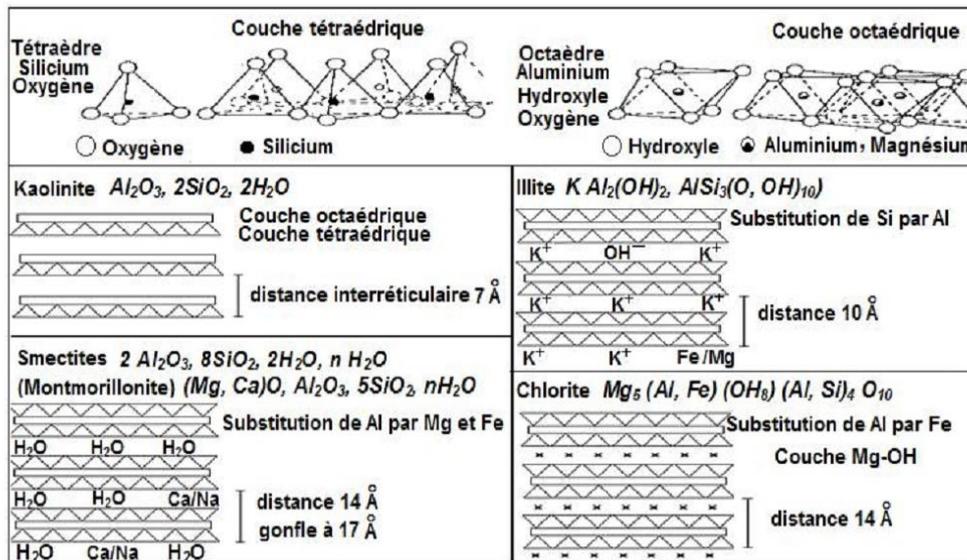


Figure I. 5 Structure des minéraux argileux (Duchaufour, 1988)

### I.3.2.5 Les différents types d'argile

Les types d'argiles les plus fréquents sont :

- **Kaolinite** : une succession alternée de feuillets en tétraèdre (silice) et de feuillets en octaèdre (aluminium ou gibbsite) constitue la kaolinite.

Les deux feuillets sont liés de telle manière que les sommets du feuillet de silice et ceux d'une des couches du feuillet en octaèdre ne forment qu'une seule et même couche (Figure I.6).

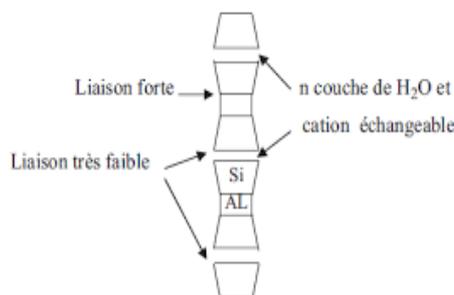
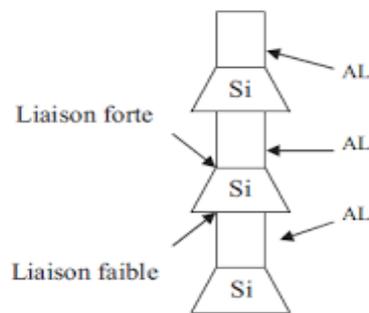


Figure I.6 Structure de la kaolinite [Lambe, 1953]

- **Montmorillonite** : La montmorillonite, parfois appelée Smectite, est un minéral argileux important composé de deux feuillets de Silice et d'un feuillet d'Alumine (Gibbsite).

Les feuillets en octaèdres se trouvent entre deux feuillets de Silice et les sommets des tétraèdres se confondent avec les hydroxyles du feuillet en octaèdre pour ne former qu'une seule couche. La présence ou la contenance de la montmorillonite fait que les sols peuvent être gonflants lorsque leur teneur en eau augmente, les pressions de gonflements qui en résultent peuvent facilement causer des dommages aux structures légères et pavages (Figure I.7).



**Figure I.7** Structure de la montmorillonite [Lambe, 1953]

- **Illite** : L'illite est aussi une composante importante des sols argileux, dotée d'une structure analogue à la montmorillonite mais on trouve des ions de potassium intercalés entre les feuillets tétraédriques. Grâce à ces ions la liaison est relativement forte, ce qui fait que les molécules d'eau ne peuvent pratiquement plus s'intercaler. Aux extrémités de la particule d'argile, il y a également des déséquilibres électriques, et une adsorption de cations. Ces cations dits échangeables jouent un rôle important dans le comportement des argiles (Figure.8)

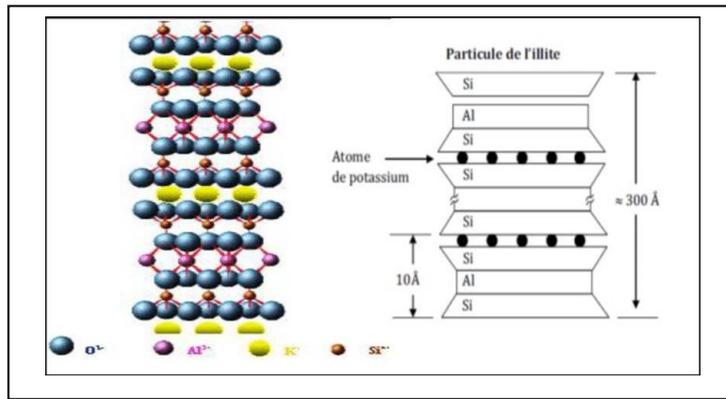


Figure I.8 Structure d'illite [Lambe, 1953]

### I.3.2.6 Activité des argiles

Skempton (1953), a considéré que les valeurs de l'essai des limites d'Atterberg sont liées à la quantité d'eau retenue à la surface des particules et donc à la quantité d'argile présente dans le sol. Cet auteur a défini l'activité d'une argile par le rapport de l'indice de plasticité ( $I_p$ ) et du pourcentage des éléments inférieurs à deux microns ( $C_2 < 2 \mu m$ ).

$$A1 = \frac{I_p}{C_2} \dots \dots \dots \text{E.q (I.3)}$$

Skempton a proposé la nomenclature suivante :

- **Argile inactives** : les argiles qui ont une activité inférieure à 0,75. Ces argiles sont à base de Kaolinite, ou des argiles contenant peu de minéraux argileux.
- **Argile normale** : qui ont une activité comprise entre 0,75 et 1,25.
- **Argile active** : qui ont une activité comprise entre 1,25 et 2.
- **Argile très actives** : qui a une activité supérieure à 2.

En ce qui concerne les argiles compactées, Seed et al (1962), ont modifié la définition de Skempton en aboutissant à la forme suivante :

$$A2 = \frac{I_p}{(C_2 - n)} \dots \dots \dots \text{E.q (I.4)}$$

Sachant que :

- $n = 5$  cas des sols naturels.
- $n = 10$  cas des sols reconstitués

## **I.5 LES DECHETS DES PNEUS**

### **I.5.1 Introduction**

Les déchets de pneumatiques classés comme des déchets non dangereux, ils représentent quand même un danger pour l'environnement et la santé publique pour cause en cas d'incendies (il en résulte des émissions de gaz toxiques) ou de dépôts sauvages (refuges pour les moustiques potentiellement porteurs de virus...).

Il est strictement interdit de mettre des pneumatiques en décharge, de les abandonner dans le milieu naturel ou de les brûler.

Depuis 2003 La gestion des déchets de pneumatiques est encadrée sur la base du principe de responsabilité élargie des producteurs (REP). La réglementation a été renforcée en 2015 afin de préparer l'échéance de l'année 2020 qui verra l'agrément des organismes collectifs et l'approbation des systèmes individuels en matière de gestion des déchets.

Le fonctionnement de la filière est aujourd'hui performant puisque quasiment tous les déchets de pneumatiques issus de pneus neufs mis sur le marché sont collectés, puis traités principalement sous la forme de valorisation énergétique (en cimenterie), matière (granulats pour des usages divers) et par la réutilisation (pneus d'occasion).

On estime à 504 000 tonnes environ de pneumatiques (soit 52 millions de pneumatiques toutes catégories confondus) qui sont mis sur le marché par an en France.

Par ailleurs, les pouvoirs publics, associés aux acteurs de la filière de gestion des déchets de pneumatiques, ont organisé la résorption des stocks de déchets de pneumatiques dits "historiques" (constitués avant 2003) à travers l'association Recyvalor. Cette association, issue d'un accord interprofessionnel de 2008, a achevé dix ans après sa création sa mission : plus d'une cinquantaine de sites représentant 55 000 tonnes de déchets de pneumatiques (soit plus de 7 millions de pneus) ont ainsi pu être traités.



**Figure I.9** Pneus grossièrement déchiqueté

### **I.5.2 Problématique du pneus usées en Algérie**

Il est très important de prendre ses responsabilités et préserver l'environnement. Le problème des pneus usés est mondial.

Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie a pris conscience de ce problème et a donné naissance à des stratégies locales ou en coopérations internationales qui font face à la pollution. Sur le plan réglementaire, plusieurs textes et lois ont été promulgués pour définir, gérer et éliminer les déchets. (Journal officiel de la République Algérienne n°77 du 15/12/2001). L'annexe III du décret exécutif n°06-104 classe les pneus hors d'usages comme des déchets spéciaux (classe S) sous le code (16.1.1) sans aucun critère de dangerosité. (Journal officiel de la République Algérienne n°13 du 05/03/2006).



**Figure I.10** Gisement des pneus usagés en Algérie Les statistiques montrent que des millions des tonnes des déchets

### I.5.3 Les déchets du pneu

#### 1) Définition

**Déchets du pneu** : sont des produits issus du processus de granulation, un 2<sup>ème</sup> broyage fin de pneus en fin de vie, où le caoutchouc est séparé des fibres textiles et des fil métalliques que l'on trouve également dans les pneus. La seule différence entre la poudre et les granulats est la granulométrie.

#### 2) les caractéristiques du déchet de pneu

Généralement, la caractérisation des déchets de pneu est possible par un certain nombre de propriétés :

- Taille de la particule.
- Distribution de taille des particules.
- Morphologie des particules.
- Composition chimique des particules.
- Energie de surface des particules

#### 3) les quantités des pneus usagés

Les chiffres des déchets pneumatiques montrent que des millions de tonnes sont jetées, chaque année, dans le monde (Etats-Unis, Canada, Union Européen (EU), Algérie...).

- Le tableau 1 donne l'accumulation annuelle des PU dans l'UE en tonne ([www.etra-eu.org](http://www.etra-eu.org)).
- Le tableau 2 estime les quantités des PU par an en Algérie, selon une étude statistique estimative du gisement des PU (Trouzine *et al*2, 2008).

**Tableau I.1** L'accumulation annuelle des pneus découlant par l'UE en tonne

Etat membre	Pneu découlant en tonne	population
France	401000	58.265.400
Allemagne	640000	81.845.000
Italie	434500	57.330.500
Espagne	280000	39.241.900
Ukraine	435000	58.684.000
<b>Union Européen</b>	<b>2659100</b>	<b>37.266.2100</b>

**Tableau I.2** Quantités des PU générées par an en Algérie (Trouzine et al, 2009)

TYPES DE PNEU	Pneu / an	Tonne / an	Pneu /personne / an
Véhicule léger VL	1107410	7967	-
Poids lourd PL	332104	17951	-
<b>Total</b>	<b>1439514</b>	<b>25918</b>	<b>0.0413</b>

#### 4) Valorisation énergétique

Les pneus possèdent un pouvoir calorifique important : **3** tonnes de pneus se substituent à environ **2** tonnes de fioul. L'industrie principale consommatrice des PU est l'industrie cimentière. Les PU sont introduits déchiquetés au niveau de la tour de pré-calcination, ou entières au niveau du four ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).

Ces procédés ne sont pas sans inconvénients, leurs points négatifs sont dus à l'utilisation d'installations fixes, le transport des PU et des conditions d'émissions dans l'air. En Algérie cette valorisation est absente vue que l'utilisation du gaz naturel en industrie cimentaire est préférée.

### 5) Valorisation en matière première

Les pneumatiques usagés peuvent être broyés en 2 sortes :

- Poudrettes : particules inférieures à 2mm
- granulés de caoutchouc.

Ces produits sont utilisés en combinaison avec d'autres matériaux.

Son coût d'obtention dépend de sa finesse, de son origine chimique et de l'absence ou non de corps étrangers.

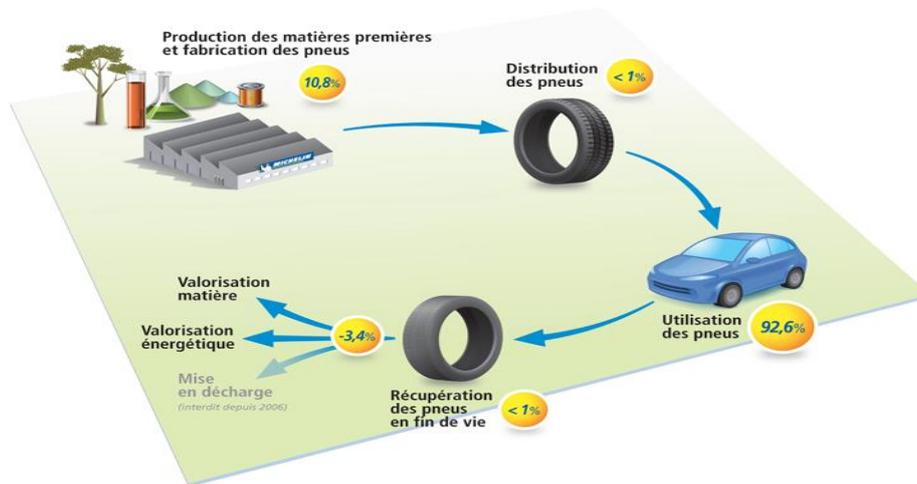


Figure I.11 Valorisation du pneu

**Les poudrettes** sont utilisées comme charges dans des mélanges destinés à produire des pièces, n'allant pas subir de grandes contraintes mécaniques ou dynamiques. Comme exemple d'utilisation, la fabrication de bandages et de roues pleines (caddie, poubelles, tondeuses, brouettes...), la modification des revêtements routiers (diminution du bruit et de l'aquaplaning du fait d'un drainage en Surface)...etc.



**Figure I.12** Aspect des déchets des pneus

**Granulés** : il s'agit de particules de caoutchouc d'une taille supérieure à celle des poudrettes (2mm). Les granulés peuvent être agglomérés par des résines, colorés ou non, et permettent, par moulage, de réaliser facilement des feuilles ou des plaques. Comme exemple d'utilisation, on a les aires de jeux, les pavés antidérapants, les revêtements pour terrains de sport (surfaces souples, diminution des nuisances sonores...).

D'autres types de valorisation de matière, par transformation chimique, sont possibles, telle que la régénération (par combinaison d'actions chimique, mécanique et thermiques), ou la Pyrolyse – Thermolyse. Les produits issus de cette décomposition, sont des huiles combustibles de carbone ou autres.. Elles peuvent être lourdes et légères,

Le développement industriel de ces types de valorisation, est cependant freiné par le coût de mise en œuvre.



**Figure I.13** Copeaux de pneus déchiquetés

#### **6) Emploi en domaine génie civil**

Les pneus ont de multiples propriétés qui leur donnent un intérêt dans l'ingénierie civil et géotechnique : ductilité, faible conductivité thermique.

Plusieurs techniques utilisant les PU en génie civil sont connues dans le monde : la technique Pneu-sol et ses dérivées « Pneurésil, Pneutex et l'Arma-Pneusol », la technique TDA « Tires Derived Aggregate », la technique Tires Balles et la technique Tirecel. (Trouzine *et al*, 2008).

Le Pneu sol est l'association des pneus usés entiers, partiellement ou entièrement découpés à des sols pulvérulents ou cohérents.

Les domaines d'application sont variés « Ouvrages de soutènements, remblai léger, répartiteur des contraintes, protection des pentes... ». Plus de 2000 ouvrages valorisant les PU, selon les différentes techniques sont connues dans le monde, dont environ une vingtaine en Algérie (Long, 1993 ; Trouzine *et al*, 2008 ; Belabdelouahab et Djidjli, 2009).

### 7) **Autres techniques de valorisation des pneus usés dans le secteur du génie civil**

Les TDA ou Agrégats dérivés des pneus, sont des pneus usés déchiquetés de différentes formes, dont les tailles varient de 50 et 300mm.

Les copeaux sont mélangés à du sable avec des proportions volumiques souvent égales. L'utilisation du TDA en Génie Civil, fait l'objet de la norme ASTM 6270-98.

La technique Tires balle, utilise des pneus usés, généralement de véhicules légers (approximativement une centaine de pneus). Les balles de pneus ayant des formes Pratiquement parallélépipédiques sont confectionnées à l'aide d'une presse et attachées par des câbles galvanisés ou en acier inoxydable.

Pour la technique Tirecel, les deux flancs de pneus, souvent de véhicules légers, sont enlevés. La bande de roulement ainsi obtenue, est attachée afin de former des cellules en forme du chiffre arabe 8. Les cellules de pneus sont associées au sable.

Ce matériau peut être utilisé pour les mêmes applications que le Geocell commercialisé.

### 8) **Valorisation originale du pneu usagé**

Lors du processus de valorisation de la matière, le pneu usagé est employé sous différentes formes :

#### **A. Pneu entiers**

- **Pneu sol** : qui consiste à superposer des couches de pneus liées entre elles et remplies de matériaux de remblai. Cette technique permet la réalisation d'ouvrages de soutènement, de remblais légers, d'ouvrages absorbant l'énergie comme protection contre les chutes de blocs, et les répartiteurs de contraintes au-dessus des conduites enterrées.

- **Arma pneu sol** : associer les pneus, remblai et armatures en nappes de treillis soudés.
- **Pneu tex** : associer les pneus et membranes en géotextile.
- **Pneu résil** : consiste à empiler des pneus de poids lourds en colonnes et à empêcher le sol courant de remplir les vides créés à l'intérieur et entre les pneus , cette structure a une masse volumique très faible et peut être utilisée comme soubassement de routes ou comme remblai derrière les culées de pont ou les murs de soutènement.
- **Drainage** : l'utilisation de pneus ligaturés entre eux et mis en place sous forme de tube, permet le drainage de fossés et de parcelles.
- **Protection de quai** : des pneus entiers sont souvent utilisés comme absorbeurs de chocs le long des quais et des jetées.
- **Ensilage** : certaines techniques agricoles utilisent des pneus pour le maintien des bâches d'ensilage.

**B. Pneu découpés**

La bande de roulement peut être utilisée comme tapis support de voie ferrée pour réduire les bruits et les vibrations.

**C. Pneu déchiquetés**

Les propriétés drainantes ainsi que la compressibilité et la masse volumique faible du produit permettent aux déchiquetés de pneus d'être utilisé comme remblai léger dans la construction de routes ou comme sous couches drainantes de centres d'enfouissement technique.



**Figure I.14** Schéma d'une filière de valorisation matière (Inter state 880/Dixon Landing Road, 2001)

### 9) Étapes du cycle de vie d'un pneu

La figure I.15 montre les différentes phases du cycle de vie d'un pneu, depuis l'acquisition des matières premières et la fabrication jusqu'à l'utilisation et à l'élimination définitive. Elle fait ressortir particulièrement le rechapage, puisqu'il permet de réutiliser les pneus, ce qui augmente leur durée de vie, il peut intervenir aussi bien dans la phase de prévention de la production que dans celle de récupération et d'élimination des déchets, où les pneus mis au rebut peuvent soit subir ce traitement, soit faire l'objet d'autres opérations d'élimination écologiquement rationnelle.

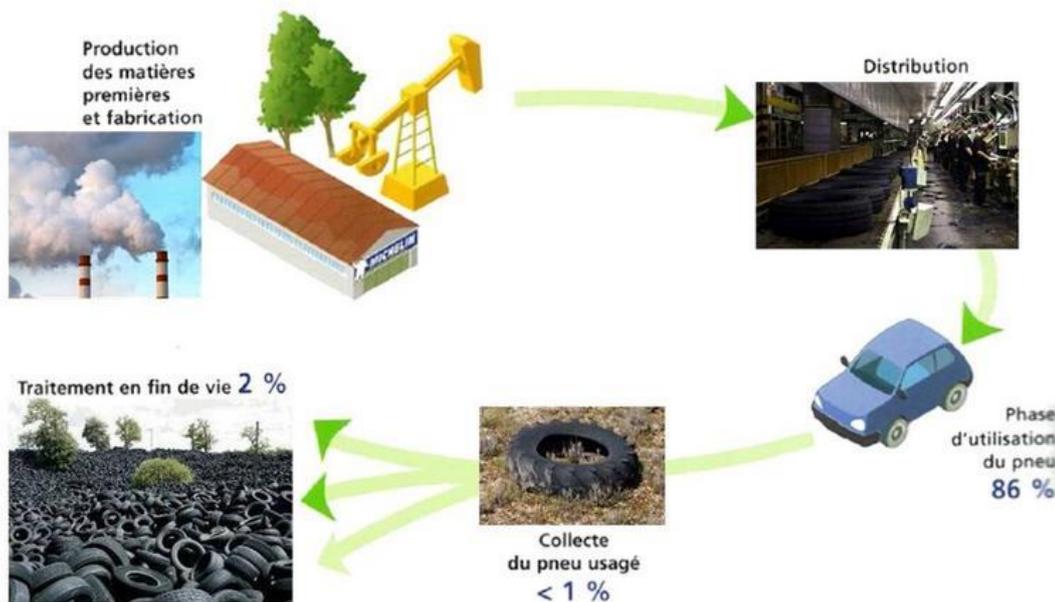


Figure I.15 Étapes du cycle de vie d'un pneu

### I.6 QUEL TRAITEMENT CHOISIR

Le choix d'une technique de traitement de sol dépend des objectifs de modification du comportement et/ou d'état du sol visé en fonction du type d'ouvrage réalisé.

En dehors des considérations économiques (qui restent le facteur prépondérant mais in fine), tout choix de solution devra tenir compte des facteurs suivants :

- le type d'ouvrage réalisé (ou les types d'efforts à reprendre) ;
- le type de sol concerné ;
- la profondeur de sol concerné ;
- les impacts sur l'environnement et les constructions avoisinantes.

Les traitements de sols peuvent concerner une épaisseur de sol plus ou moins importante.

On considérera qu'il s'agit d'un traitement :

- ✓ en profondeur : si l'épaisseur du sol est supérieure à un mètre.
- ✓ en surface : si l'épaisseur est inférieure à un mètre.

### **I.6.1 Principe de choix d'une méthode de traitement du sol**

#### Principes de choix d'une Solution

Le choix d'une technique de traitement de sols en profondeur repose sur ces trois critères principaux :

- La granulométrie du sol.
- La profondeur du traitement.
- Le type d'ouvrage réalisé sur la zone traitée.

### **I.6.2 Principales opérations de traitement**

La réalisation du traitement d'un sol en place suit en générale le processus suivant :

- la préparation du sol à traiter (élimination des éléments bloc cailloux, homogénéisation, humidification éventuelle).
- l'épandage des matériaux de traitement.
- le malaxage des matériaux avec le sol.
- l'ajustement de l'état hydrique (soit humidifier le sol par arrosage, soit l'assécher par aération).
- Le réglage du mélange.
- Le compactage.
- L'application de la protection superficielle du sol traité (cas d'une couche de forme).

**I.7 CONCLUSION**

Le développement de L'utilisation des déchets du pneu dans le domaine du génie civil a été rapide durant les dernières années. Au point où Ils ont carrément remplacé les matériaux de construction traditionnels.

Puis il a été prouvé que l'utilisation d'un déchet de pneu peut augmenter le facteur de sécurité, et réduire les coûts en comparaison avec les matériaux classiques de construction.

## **Chapitre II**

# **TECHNIQUES EXPERIMENTALES**

## II INTRODUCTION

Pour connaître les caractéristiques géotechniques d'un sol, il faut le soumettre à un certain nombre d'essais au laboratoire. L'objectif ou le but de ces essais est l'identification du sol, et la détermination de ses 3 paramètres essentiels : nature, comportement mécanique et état hydrique.

Le sol utilisé, dans cette recherche, est un sol provenant d'un nouveau site situé à el Bouni. (Figure II.1).



**Figure II.1** échantillon type du sol à étudier

Nous aurons à présenter les résultats des essais d'identification de ce sol (teneur en eau, Analyse granulométrique, limites d'Atterberg, bleu de méthylène) ainsi que les résultats d'essais de portance (Proctor normal) et CBR.

### II.1 MATERIAUX UTILISES

#### **II.1.1 L'argile**

##### **Origine :**

L'argile de glissement d'el Bouni, est Le matériau essentiellement utilisé.

Elle provient du glissement de la commune d'el Bouni, situé à la Daïra d'el Bouni à 7km d'Annaba.

**Tableau II.1** Localisation du site

Lieu-dit	Commune	Daïra	Wilaya
El bouni	El bouni	El bouni	Annaba

**Tableau II.2** Propriétés des argiles

<b>Limites de liquidité (%)</b>	<b>56</b>
<b>Indice de plasticité (%)</b>	30
<b>Limite de plasticité (%)</b>	26
<b>Teneur en eau(%)</b>	13.83

## **I.2 IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES MATERIAUX UTILISEES**

Les différents matériaux utilisés pendant ce travail ont été identifiés et caractérisés par une série d'essais géotechniques, et ils sont divisés en :

- Caractérisation physique
  - La teneur en eau.
  - Analyse granulométrique.
  - Limites d'Atterberg.
  - Bleu de méthylène.
- Caractérisation mécanique
  - Proctor.
  - CBR
  - On n'a pas eu le temps d'effectuer d'autres essais de portance suite au covid-19.

### **II.2.1Caractérisation physique**

#### **A. Teneur en eau w (NF P 94-050)**

- **Définition :**

La teneur en eau est un paramètre qui permet d'estimer la consistance d'un sol fin et permet d'approcher certaines caractéristiques mécaniques.

- **But de l'essai :**

Le but de cet essai est de caractériser le sol et prévoir son comportement par la détermination des différentes densités au laboratoire.

- **Principe de l'essai :**

L'échantillon du matériau est séché par étuvage, ce qui lui fera perdre son eau, les masses initiales et finales sont mesurées par pesage, ce qui détermine après la quantité d'eau évaporée lors de l'étuvage, on procède par soustraction lors des calculs.

- **Appareillage :**

- Une balance électronique.
- Une étuve électrique.
- Des tares.



Figure II.2 Détermination de la teneur en eau

• **Mode opératoire :**

- prendre trois tares et les peser vide.
- peser les échantillons avec les tares.
- noter le poids humide.
- Mettre l'échantillon à l'étuve. Après étuvage, on note le poids sec de l'échantillon.
- La différence entre le poids humide et le poids sec donne le poids de l'eau.

La teneur en eau est déterminée par la formule suivante :

$$\text{➤ } w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 \dots \dots \dots \text{E.q (II.1)}$$

$$\text{➤ } w = \frac{(m_1+m)-(m_2+m)}{m_2} * 100 \dots \dots \dots \text{E.q (II.2)}$$

Masse des tares = **46.4 g**,      Masse de l'échantillon humide + tares = **399.364 g**

Masse de l'échantillon sec + tare = **359.9 g**

$$W = ((399.364 - 46.4) - (359.9 - 46.4)) / (359.9 - 46.4) = (352.964 - 310.5) / 310.5 = 0.1383 = 13.83\%$$

**B. Analyse granulométrique**

• **Définition :**

L'analyse granulométrique est fondamentale pour la classification d'un sol. Cette analyse a pour but de déterminer les proportions de grains de différentes tailles dans le sol.

Elle s'obtient par deux opérations successives et complémentaires :

- Le tamisage sous l'eau (par voie humide) pour les particules de dimensions  $\geq 80\mu\text{m}$  (0.08mm), l'essai est effectué selon la norme NF P94-056.
- La sédimentométrie pour les particules de dimensions  $< 80\mu\text{m}$  qui complète la première, elle est effectuée selon la norme (NF P94-056).

Le principe de cet essai est fondé sur la loi de Stokes, ou la vitesse de sédimentation des particules en suspension dépend de leurs diamètres.

- **Principe de l'essai :**

Le processus du déroulement de l'essai est comme suit :

- Fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- Les masses des différents refus et tamisât sont rapportées à la masse initiale du matériau.
- Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

- **Appareillage :**

- Série de tamis.
- Pinceau.
- Récipient.
- Balance.
- Des cylindres de sédimentation



**Figure II.3** échantillon pesé



**Figure II.4** Une série de tamis

- **Mode opératoire :**

- Détermination de la masse sèche de l'échantillon (de 1 à 4h étuvage à 105°C).
- Diviser en une ou plusieurs quantités le matériau à analyser sur une colonne de tamis d'ouvertures croissantes de bas en haut et procéder au lavage.

- Séparer par brassage manuel combiné à un arrosage, l'élément retenu sur le tamis est de diamètre plus grand que la maille, lorsque le refus sur le tamis est propre, nous pouvons donc le retirer, et l'opération se poursuit pour les tamis inférieurs.
- Lorsque malgré le brassage et le brossage, des particules fines adhèrent aux grains, un trempage est nécessaire.
- Verser le contenu de chaque tamis dans un récipient.
- Placer les récipients dans l'étuve, et voir si toutes deux pesées successives ne varient pas de plus de 2/1000.
- Peser le récipient contenant le refus sur le tamis d'ouverture la plus grande.
- Peser le refus cumulés successifs.

**Tableau II.3** Résultat de l'analyse granulométrie

Paramètre Tamis	16	14	10	5	2	1	0.4	0.2	0.08
Refus cumulés (%)	-	-	0.115	5.75	11.875	15.55	19.175	24.2	34.45
Passant (%)	-	-	98.85	94.25	88.125	84.85	80.885	75.8	65.55

Nous traçons la courbe Granulométrique à la fin de cet essai, puis la figure II.3 nous montre déjà cette courbe :

La courbe granulométrique de l'argile d'el Bouni montre que :

- ✓ Le pourcentage des fines inférieures à 80µm est de 65.55%
- ✓ La courbe granulométrique est étalée et continue.

Norme Française [NFP 18-540] Le module de finesse est égal au :

$Mf = 1/100 \sum$  des refus cumulés en pourcentages des tamis de la série suivante

(0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 mm)

$Mf = 1/100 \sum (0.115+5.75+11.875+15.55+19.175+24.2+34.45) = 1.1111$

Quand le Mf est entre :

- 1.8 et 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.
- 2.2 et 2.8 : on est en présence d'un sable préférentiel.
- 2.8 et 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniables.

LeMf de notre sol est à peu près égale à 1.1 qui est inférieur à 1.8 (première valeur de classement) ceci indique que notre sol est plus fin qu'un sable ce qui fait du limon ou une argile.

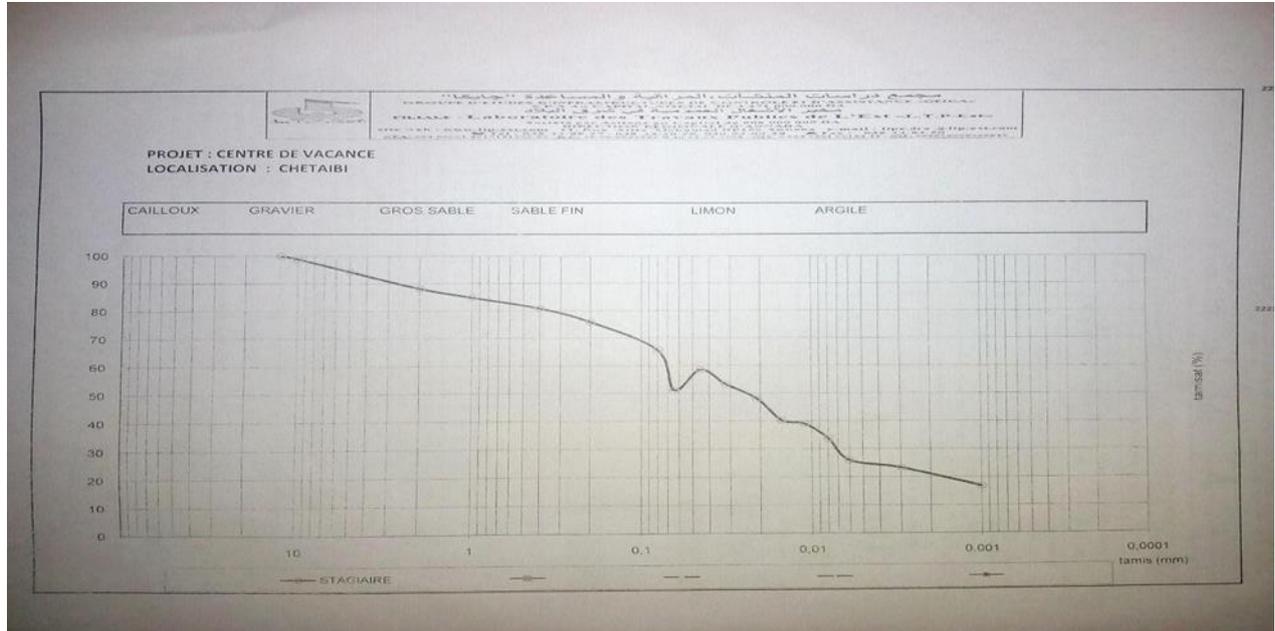


Figure II.5 Courbe Granulométrique de l'échantillon

### C. Limite d'Atterberg(NF P94-051)

- **Définition :**

Les limites d'atterberg sont des tests qui permettent la définition des indicateurs de plasticité et de liquidité d'un sol, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

L'objectif de ces essais est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide.

Il est important de savoir que ces tests s'appliquent uniquement pour les sols fins comme les argiles, définis comme ayant des grains de diamètres inférieurs à 0.06 [mm].

- **Appareillage :**

Le matériel nécessaire à la préparation du sol est le suivant :

- ✓ **Matériel pour la préparation du sol :**

- Un récipient.
- Un bac de dimension minimales en centimètres 30x20x8.
- Un tamis à mailles de 400  $\mu\text{m}$  d'ouverture.

- ✓ **Matériel pour la détermination de la limite de liquidité :**

Un appareil de casagrande, se compose

- D'un socle.



- D'un support métallique.
- D'une coupelle : la surface interne de la coupelle est (soit lisse, soit rugueuse).
- D'un outil à rainurer.
- D'une cale de 10 mm d'épaisseur.
- Une étuve dessiccation.
- Une balance.
- Des capsules ou boîtes de pétri, spatules, truelles.



**Figure II.6** Matériel utilisé dans l'essai de Limites d'Atterberg

- **Préparation du sol :**

**Figure II.7** Préparation de L'échantillon

- 1- Après échantillonnage du sol et homogénéisation par brassage, une masse de matériau (m) est mise à imbiber dans un récipient d'eau à une température ambiante, pendant 24 heures.

- 2- Cette masse  $m$ , elle doit être supérieure à 200 fois la dimension des plus gros éléments du sol.
  - 3- Une fois la masse imbibée, le matériau est tamisé par voie humide au tamis de 400  $\mu\text{m}$ .
  - 4- Après une durée de décantation d'au moins 12 h, l'eau claire du bac est siphonnée sans entrainer de particules solides.
  - 5- L'eau excédentaire est évaporée à une température ne dépassant pas 50<sup>0</sup> C.
  - 6- La totalité du tamisât est malaxée afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- **Mode opératoire :**
    - a) Détermination de la limite de liquidité :

On utilise la coupelle de Casagrande, pour cet essai donc il faut :

- Humidifier l'échantillon de sol fin et l'homogénéiser.
  - Etaler l'échantillon dans le bol, de manière à avoir une épaisseur constante, de 1cm avec une surface horizontale.
  - Appliquer une rainure au milieu, séparant l'échantillon en deux parties distinctes et égales, de façon à voir le fond du bol.
  - Tourner la manivelle en comptant le nombre de fois où le bol s'est élevé puis rabattu jusqu'à ce que la fente se referme.
  - Prendre un peu de cet échantillon ou la fente s'est refermée, le peser, et calculer sa teneur en eau.
- b) Détermination de la limite de plasticité :
    - Prendre un échantillon séché du sol fin.
    - Y ajouter un peu d'eau.
    - Former trois files de 3 mm de diamètre et de 10 cm de longueur sur le modèle d'une petite barre de fer.
    - Rouler les files sur une planche de bois, servant à l'assécher au fur et à mesure, jusqu'aux premières fissurations.
    - les rétrécir si nécessaire pour maintenir la même longueur de 10cm.
    - Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.

**Tableau II.4** Détermination de la plasticité des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP

IP	Degré de plasticité
$0 < IP < 5$	Non plastique
$5 < IP < 15$	Moyennement plastique
$15 < IP < 40$	Plastique
$40 < IP$	Très plastique

**Tableau II.5** Détermination du potentiel de gonflement des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP

% IP	Potentiel de gonflement
0-15 %	Faible
10-25 %	Moyen
25-55 %	Elevé
> 55 %	Très élevé

**Tableau II.6** Détermination de l'indice de consistance des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP

I <sub>c</sub>	L'indice de consistance
0 %	Liquide
0.25%	Très molle
0.5%	Molle
0.85%	Mi- consistante
1%	Consistante
1 <	Très consistante

• **Résultats :**

Les limites d'Atterberg ont été effectuées à partir d'un échantillon de sol et les résultats sont les suivants :

**Tableau II.7** Résultat de limite d'atterberg

<i>Paramètres</i>	<i>W<sub>L</sub>(%)</i>	<i>W<sub>P</sub>(%)</i>	<i>I<sub>p</sub>(%)</i>
<i>Sols</i>			
<i>Argile</i>	56	26	30

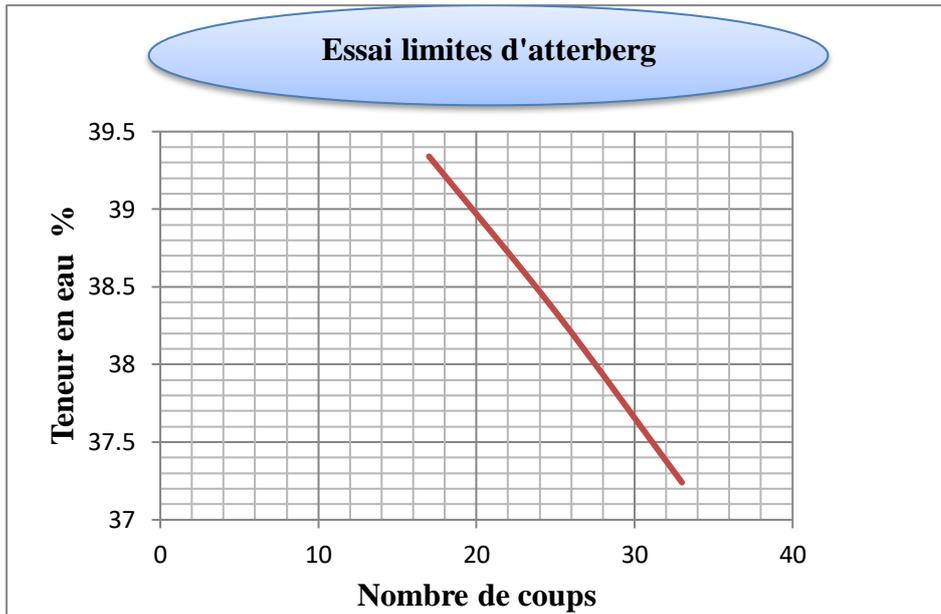


Figure II.8 Résultats Limite de Liquidité

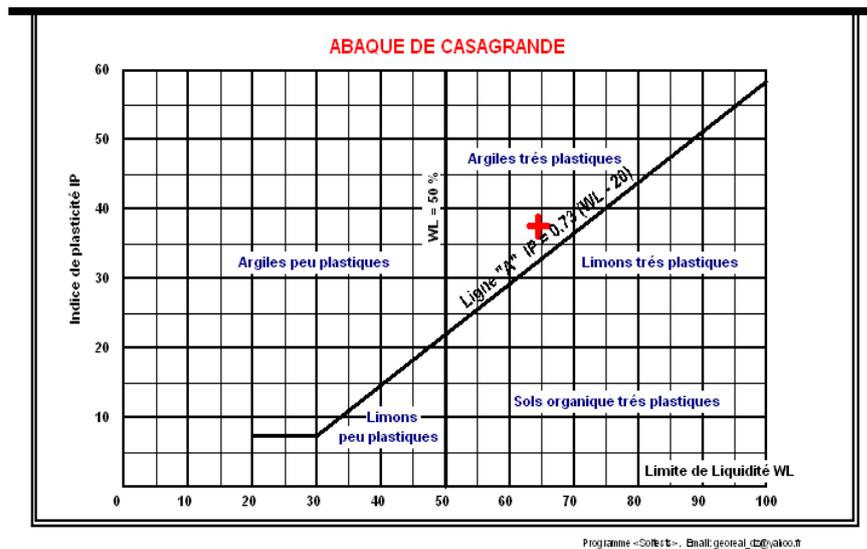


Figure II.9 courbe de limite d'atterberg

➤ L'indice de plasticité:

$$I_p = W_l - W_p = 56 - 26 = 30\% \dots \dots \dots E.q (II.3)$$

$W_l$  = limite de liquidité = 56.

$W_p$  = limite de plasticité=26.

$I_p$ = indice de plasticité.

$15 < I_p < 40$  sol reconstitué de classement : plastique à potentiel de gonflement élevé.

Cette argile a un Potentiel de gonflement élevé et est d'une consistance molle d'après les tableaux du dessus.



**Figure II.10** détermination de la plasticité

### ➤ Conclusion :

L'essai des limites d'Atterberg, est facile à effectuer, ce dernier nous permettra de calculer la limite de plasticité et de liquidité de manière assez précise, de déterminer le potentiel de gonflement ainsi que la consistance, ces données sont très importantes pour la détermination du type du sol.

Pour la courbe granulométrique, la granulométrie et la sédimentométrie nous fournissent la répartition des fractions du sol selon le diamètre des grains. D'où la classification du sol d'El bouni a été faite selon la classification NF P94-051, NF P94-056.

Le pourcentage des éléments passant à travers le tamis ( $80\mu\text{m}$ ) est de 65.55%, ceci est supérieur à 50%, ce qui indique que **le sol est fin**.

La limite de liquidité et l'indice de plasticité du sol d'el bouni portés sur le diagramme de Casagrande se rencontrent en un point situé au-dessus de la ligne A. Ce qui signifie que le sol est classé comme *argile limoneuse très plastique*.

**D. Essai au bleu de méthylène :****• Définition :**

Cet essai est utilisé afin de déterminer la propreté d'un sol (sable, granulat, ...) et voir la quantité d'argile qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé # absorbé, préférentiellement par les argiles du type montmorillonites (argiles gonflantes) et les matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu.

L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par une fraction granulaire analysée.

**Principe :**

- L'essai au bleu de méthylène est pratiqué sur la fraction granulaire allant de 0 à 2mm des sols courants ou sur les fillers (0 à 0,125 mm) contenus dans un sol. Il a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration.
  - On appelle valeur de bleu des fillers, (filler : granulat utilisé en BTP) VBF la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0 à 0,125 mm d'un granulat.
  - On appelle valeur de bleu sols VBS la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fraction 0/50mm d'un sol.
  - Une solution de bleu de méthylène est ajoutée de façon croissante et progressive à une suspension de l'échantillon de granulats dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par l'échantillon est vérifiée après chaque ajout de solution en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.
  - Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB ou MBF) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.
- 
- Mode opératoire :**
    - Un échantillon de granulat est préparé de façon à ce qu'il contienne au moins 200 g de la fraction 0/2mm.
    - Ensuite séché à 110 °C, puis refroidi à la température ambiante.
    - Après le passer au tamis de 2 mm et toutes les particules retenues au tamis de 2 sont éliminées.
    - L'échantillon résiduel est ensuite pesé (en grammes) (M1).
    - Pour préparer la suspension, il convient de verser 500 ml d'eau distillée ou d'eau déminéralisée dans le bécher et ajouter l'échantillon séché en remuant bien avec la spatule.

**Exécution de l'essai :**

• **Appareillage 1 :**

- Agiter la solution à la vitesse de 600 tours/min pendant 5 min, puis agiter continuellement à 400 tr/min pendant la poursuite de l'essai.
- Après chaque injection de colorant à l'aide de la burette (5ml toutes les minutes), le test à la tâche consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre disposé au fond du bécher.
- La tâche qui se forme est composée d'un dépôt central de matériau, en général d'une couleur bleu foncé, entouré d'une zone humide incolore).
- La quantité de suspension prélevée par la goutte doit permettre d'obtenir un dépôt dont le diamètre est compris entre 8 mm et 12 mm. Le test est considéré comme positif si, dans la zone humide, une auréole bleu clair persistante d'environ 1 mm apparaît autour du dépôt central. Le point final doit être confirmé en répétant le test à la tâche toutes les minutes pendant 5 min sans ajout de solution de colorant.

• **Appareillage 2 :**

Après avoir préparé l'échantillon, le cycle se déroule en 3 étapes :

- Nettoyage du circuit de circulation et étalonnage
- Installation du bécher sous l'agitateur et pose du support tuyaux et introduction de la masse de l'échantillon
- lancement du cycle d'essai.
- L'essai est alors automatique et s'arrêtera lorsque l'argile sera saturée.

**Lecture des résultats**

• **Appareillage 1 :**

La valeur de bleu de méthylène, MB, exprimée en grammes de colorant par kilogramme de fraction 0/2mm est obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$MB = 10 \frac{V1}{M1} \dots \dots \dots \text{Eq (II.4)}$$

Où :

- M1 : est la masse de l'échantillon, en grammes.
- V1 est le volume total de solution de colorant injectée, en millilitres.

Pour les granulats employés en construction routière, la valeur au bleu de méthylène (MB) doit être inférieure à 2,5 g de fine par kg (les fines étant comprises entre 0 et 2 mm),



Figure II.11 Appareille



Figure II.12 filtre de bleu méthylène

## II.2.2 Caractérisation mécanique

### A. L'essai Proctor (NF P94-093)

#### ➤ But de l'essai :

Cet essai a pour objectif, la détermination de la **teneur en eau optimale ( $w$ )**, pour un sol de remblai, une donnée à laquelle ce sol doit être compacté afin d'obtenir la **densité sèche maximum ( $\gamma_d$ )** d'après les conditions de compactage fixées en premier lieu, qui conduiront à un meilleur compactage ou encore à la capacité portante maximale.

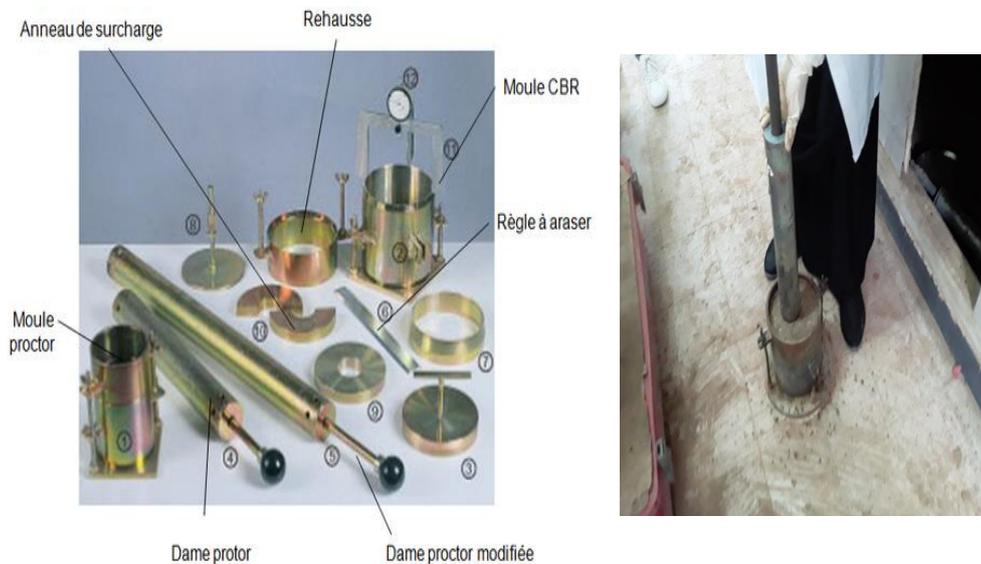
Les caractéristiques du compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

#### ➤ Principe de l'essai :

La consistance de cet essai est de mesurer le poids volumique d'un sol (argile limoneuse) disposé en trois couches dans un moule Proctor de volume connu, chaque couches est compactée avec la dame Proctor en recevant 25 coups.

➤ **Appareillage :**

- Dame Proctor normal.
- Moule Proctor avec embase et hausse.
- 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 et burette d'eau pour humidifier le sol.
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau).
- Four.
- Balance de portée supérieure à 6 kg.
  - Balance de précision 200 g, précision  $\pm 0,1$  g.



**Figure II.13** Appareille nécessaire pour Proctor

• **Mode opératoire :**

- 1- Préparation du matériau en premier.
- 2- Assembler moule + embase + disque de papier au fond du moule (facilite le démoulage) ; puis peser l'ensemble.
- 3- Introduire la 1er couche et la compacter, placer le moule sur un socle en béton d'au moins 100kg, ou sur un plancher en béton de 25 cm d'épaisseur.
- 4- Recommencer l'opération pour chaque couche (3 fois pour le compactage normal).

- 5- Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser le moule de 1 cm environ .si non recommencer l'essai.
- 6- Araser soigneusement à partir du centre ; on veillera au cours de l'écrasement à ne pas créer de trous sur la surface arasée.
- 7- Peser l'ensemble juste arasé.
- 8- Enlever l'embase et prélever 2 prises sur l'échantillon, l'une du haut et l'autre du bas, en déterminer par la suite la teneur en eau  $w$  et prendre la moyenne des valeurs obtenues.

- **Présentation des résultats :**

On détermine la masse volumique sèche du matériau pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, et on trace la courbe des variations de cette masse en fonction de cette dernière. Chaque point tracé sur la courbe représente un essai de compactage. La détermination complète de la courbe requiert généralement 5 points.

**Tableau II.7** Résultats de l'essai Proctor

Essai 1: sol sans rien	
Teneur en eau $W$ (%)	$\gamma$ dry ( $\gamma_d$ ) en ( $T/m^3$ )
8	1.52
10	1.54
12	1.58
14	1.69
16	1.66

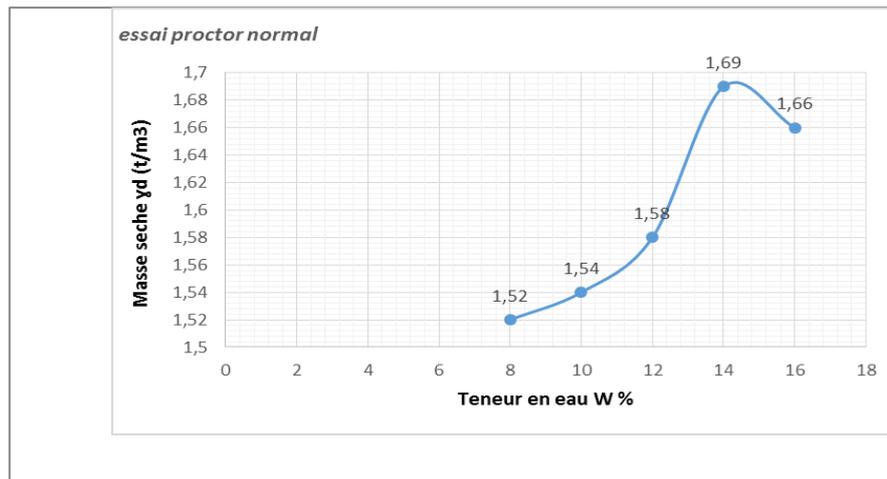


Figure II.14 Courbes Proctor de sol naturel

- **Conclusion :**

La courbe  $\gamma_d = f(W)$  permet de connaître mieux le comportement au compactage du matériau en fonction de la teneur en eau.

On peut aussi caractériser l'état hydrique d'un matériau par l'écart relatif entre sa teneur en eau et celle de son optimum Proctor normal OPN ( $W/W_{OPN}$ ).

L'utilisation des références de compactage du matériau ( $\gamma_{dOPN}$  et  $W_{OPN}$ ) n'est pas possible que lorsque la proportion d'élément supérieur à 20mm et inférieur à 30%.

### II.3 CONCLUSION ET COMPARAISON

On a une teneur en eau de 14% ou plutôt précisément 13.83%

La courbe granulométrique de l'argile de el Bouni montre que : Le pourcentage des éléments passant à travers le tamis (80 $\mu$ m) est de 65.55%, supérieur à 50% indique que le sol est fin. La granulométrie est étalée et continue.

Les limites de plasticité et de liquidité, sont très importantes à la détermination du type de sol,  $W_L = 56$  ;  $W_p = 26$  et  $I_p = 30$

d'où le classement de notre sol est plastique à potentiel de gonflement élevé.

Le filtre de l'essai du bleu de méthylène démontre que c'est une argile avec une forte contenance en fines.

La courbe  $\gamma_d = f(W)$  permet d'apprécier le comportement au compactage du matériau en fonction de la teneur en eau.  $W = 14\%$  ;  $\gamma_d = 1.62 \text{ T/m}^3$

## **Chapitre III**

### **Comportement du sol après renforcement**

### **III. INTRODUCTION**

Afin d'éviter les terrassements on a toujours recours au traitement des sols qui est une technique très ancienne, il est appliqué en routes ainsi qu'en pistes d'accès, qui connaît actuellement un essor très important au niveau international. Le recours massif à cette technique valorise les matériaux en place ce qui entraîne une diminution notable des coûts, qui est dû principalement à la raréfaction des gisements naturels de matériaux de bonne qualité, le souci écologique croissant impose la préservation des ressources naturelles existantes d'une part en optimisant leur utilisation et en limitant la mise en dépôt des matériaux impropres à la réutilisation en remblais ou en couches de forme d'autre part et enfin le renchérissement des matériaux de substitution et des transports.

Ce chapitre examinera l'impact du déchet de pneu sur certaines propriétés mécaniques des sols argileux telles que le compactage.

#### **III.1 BUT DE L'ETUDE**

L'observation du comportement des argiles lors de l'ajout des déchets de pneus et voir l'influence de ces derniers est l'objectif de cette étude, ce traitement est appliqué dans le but d'une amélioration des caractéristiques des argiles lors de leurs exploitations dans les différents domaines des travaux publics en particulier les travaux routiers.

N.B : Les essais précédents ont été réalisés au niveau du laboratoire des travaux publics est (LTPest).

#### **III.2 MATERIAUX UTILISES**

##### **III.2.1 Argile :**

L'échantillon prélevé est un matériau argileux qui provient d'un nouveau site à El Bouni, à une profondeur de 2 m. Ce matériau est une argile de couleur marron.

**Tableau III.1 : Localisation de site**

Lieu-dit	El Bouni
Commune	El Bouni
Daira	El Bouni
Wilaya	Annaba



**Figure III.1** L'argile étudiée

### III.2.2 Déchet de pneu :

Le déchet du pneu utilisé est manufacturé à AIN MLILA wilaya de BATNA. La composition de ce produit est montrée sur les tableaux en dessous.

**Tableau III.2** : composition chimique de déchet de pneu

Composition chimique	Valeur
Hydrocarbure polymérisés	49.2%
Caoutchouc synthétique	28.3%
Noir de carbone	19.6%
Acier	0.06%
Tissu	1.4%
Oxyde de zinc	1.8%
Soufre	47 mg/kg
Cadmium	11mg/kg
Chrome	92mg/kg
Nickel	82mg/kg
Plomb	48mg/kg

**Tableau III.3** : propriété mécanique de déchet de pneu

Propriétés mécaniques	Valeur
Résistance a la traction (MPA)	11.8
Résistance a la rupture Kg/mm <sup>2</sup>	3.1
Elasticité ( % )	42
Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	3.43
Résistance au rayonnement (UV)	Excellente
Perméabilité à l'eau	0
Perméabilité au méthane	0.00251
Angle de frottement interne	26.3

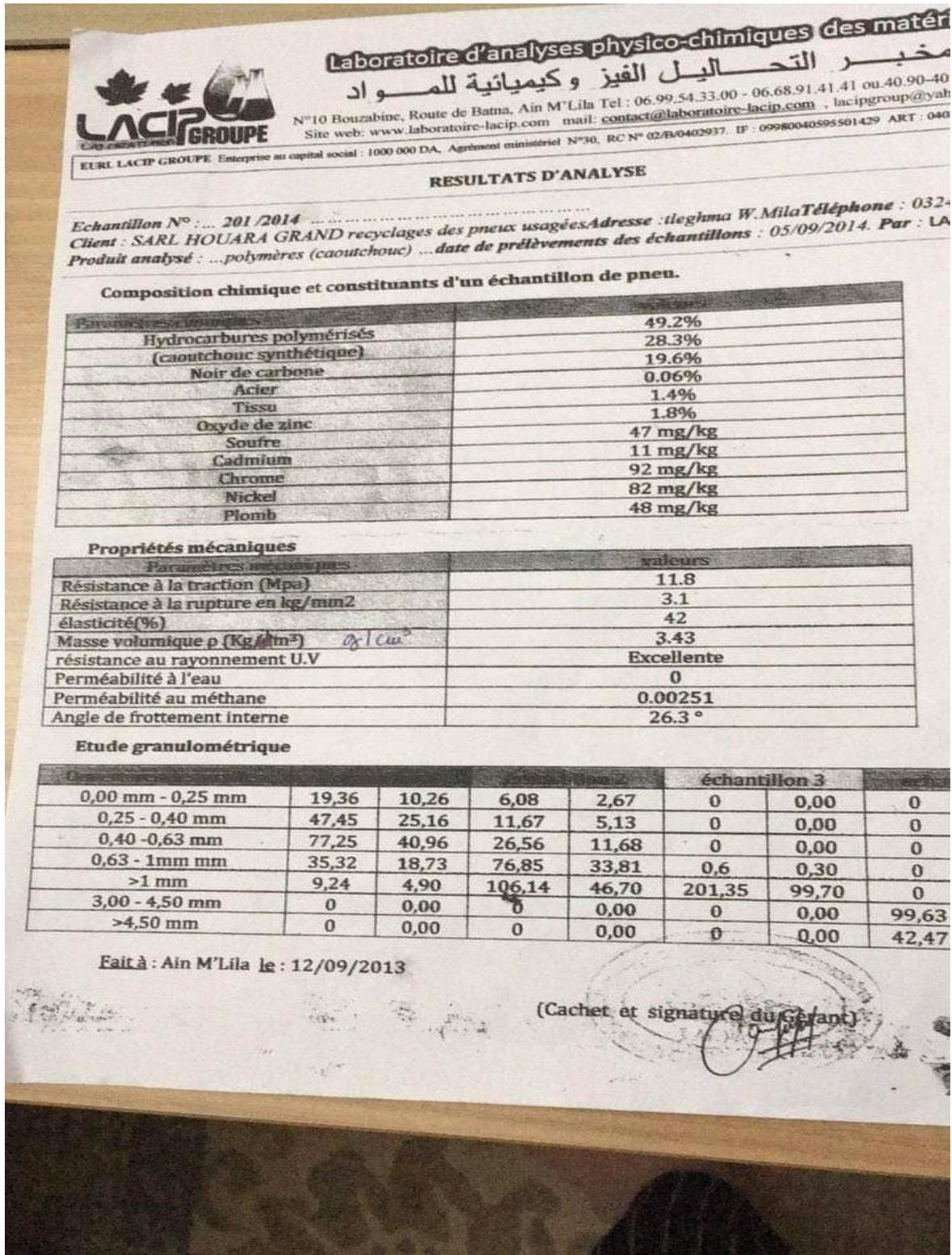


Figure III.2 résultat d'analyse des pneus

### III.3 PREPARATION DU MELANGE

La méthode utilisée pour la préparation des mélanges (**Argile + déchet du pneu**) est simple ; elle nécessite un matériel de laboratoire approprié (Bacs, petites pelles, étuve, balance électrique, tamis...).

Nous prenons à plusieurs reprises une quantité d'argile tamisée à différentes granulométries selon la spécificité de chaque essai puis on rajoute des quantités croissantes de déchet du pneu selon le pourcentage désigné (1,2 et 3%).



**Figure III.3** Préparation du Mélange argile + déchet de pneu.

### III.4 CARACTERISATION MECANIQUE

#### **III.4.1 Essai Proctor**

- **Influence du pourcentage de déchet du pneu sur le compactage :**

Cet essai tend à réaliser un essai Proctor Normal (NF P 94- 093) sur une quantité d'argile, puis après la substitution d'une quantité croissante de déchet de pneus en particules fines, et enfin mesurer les éventuelles variations de la consistance du matériau composé.

Afin de distinguer l'influence des différents pourcentages d'ajout sur les paramètres de compactage de l'argile traitée aux déchets de pneus, une série de 3 essais de compactage Proctor Normal a été effectuée au niveau du laboratoire LTPest ANNABA.



Figure III.4 les étapes de l'essai Proctor.

Tableau III.4 : Influence du pourcentage de déchet de pneu sur le Proctor

Sols \ Paramètres	$W_{OPN}$ (%)	$\gamma_d$ sèche OPN (t/m <sup>3</sup> )
Argile	14	1.69
Argile + 01 % déchet de pneu	16	1.73
Argile + 02% déchet de pneu	18	1.69
Argile + 03% déchet de pneu	18	1.68

Les variations de la densité sèche en fonction de la teneur en eau sont représentées dans les figures suivantes :

- **Présentation des résultats :**

On détermine la masse volumique sèche du matériau pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, et on trace la courbe des variations de cette masse en fonction de cette dernière. Chaque point tracé sur la courbe représente un essai de compactage. La détermination complète de la courbe requiert généralement 5 points.

**Tableau II.5.** Résultats de Proctor

Essai 1 : sol sans rien	
Teneur en eau W (%)	$\gamma$ dry ( $\gamma_d$ ) en ( $T/m^3$ )
8	1.52
10	1.54
12	1.58
14	1.69
16	1.66

Essai 2: sol + 1% de déchet	
Teneur en eau W (%)	$\gamma$ dry ( $\gamma_d$ ) en ( $T/m^3$ )
10	1.62
12	1.63
14	1.66
16	1.73
18	1.68

Essai 3: sol + 2% de déchet	
Teneur en eau W (%)	$\gamma_{dry}$ ( $\gamma_d$ ) en $(T/m^3)$
14	1.62
16	1.68
18	1.69
20	1.65
22	1.61

Essai 1 : sol + 3 % de déchet	
Teneur en eau W (%)	$\gamma_{dry}$ ( $\gamma_d$ ) en $(T/m^3)$
14	1.61
16	1.63
18	1.68
20	1.64
22	1.62

Figure III.5 Courbes de compactage.

- A l'état naturel (sol reconstitué):

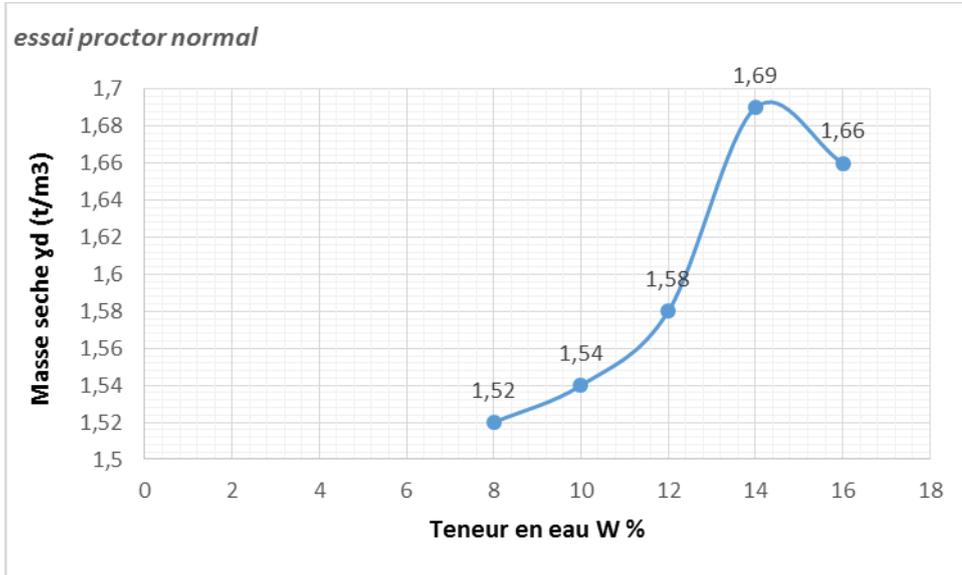


Figure III.5. a La courbe de compactage Argile reconstituée.

- Après ajout de 1% de déchets de pneus:

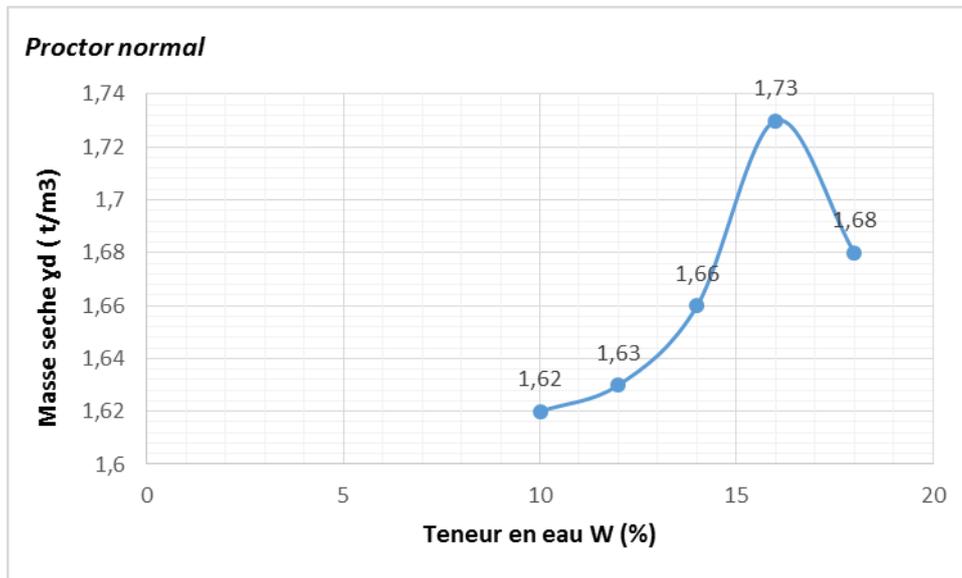


Figure III.5. b La courbe de compactage du mélange (Argile+ 1% déchet de pneu)

- Après ajout de 2% de déchets de pneus

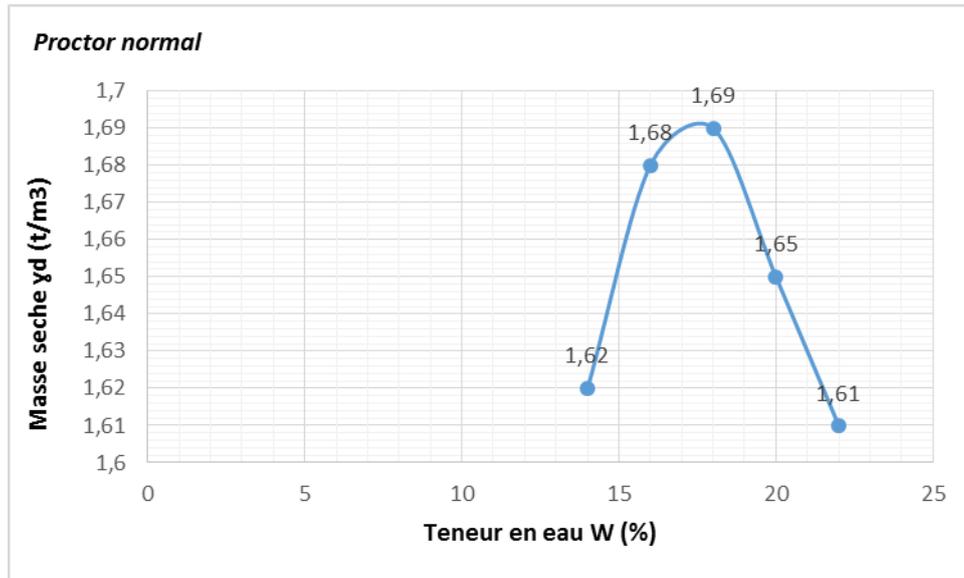
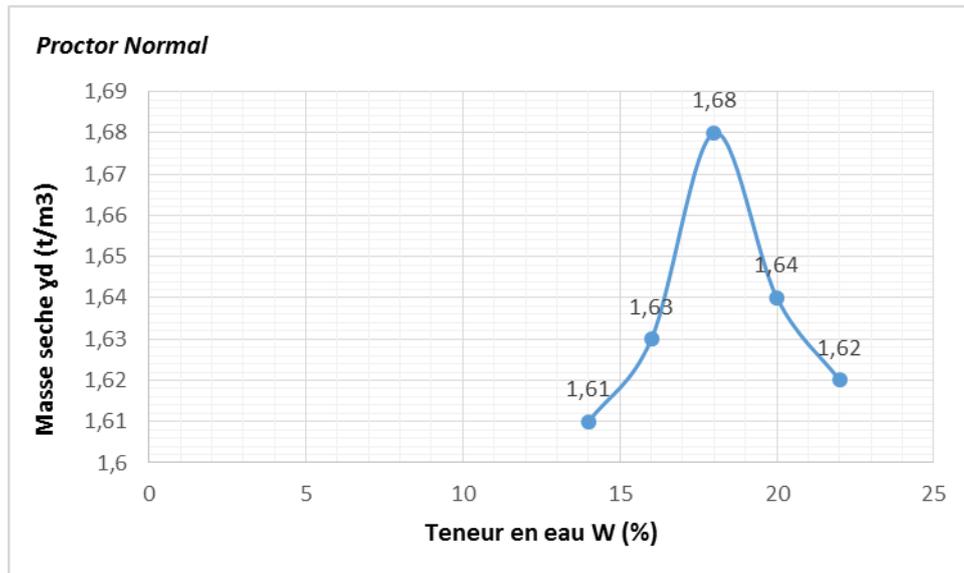
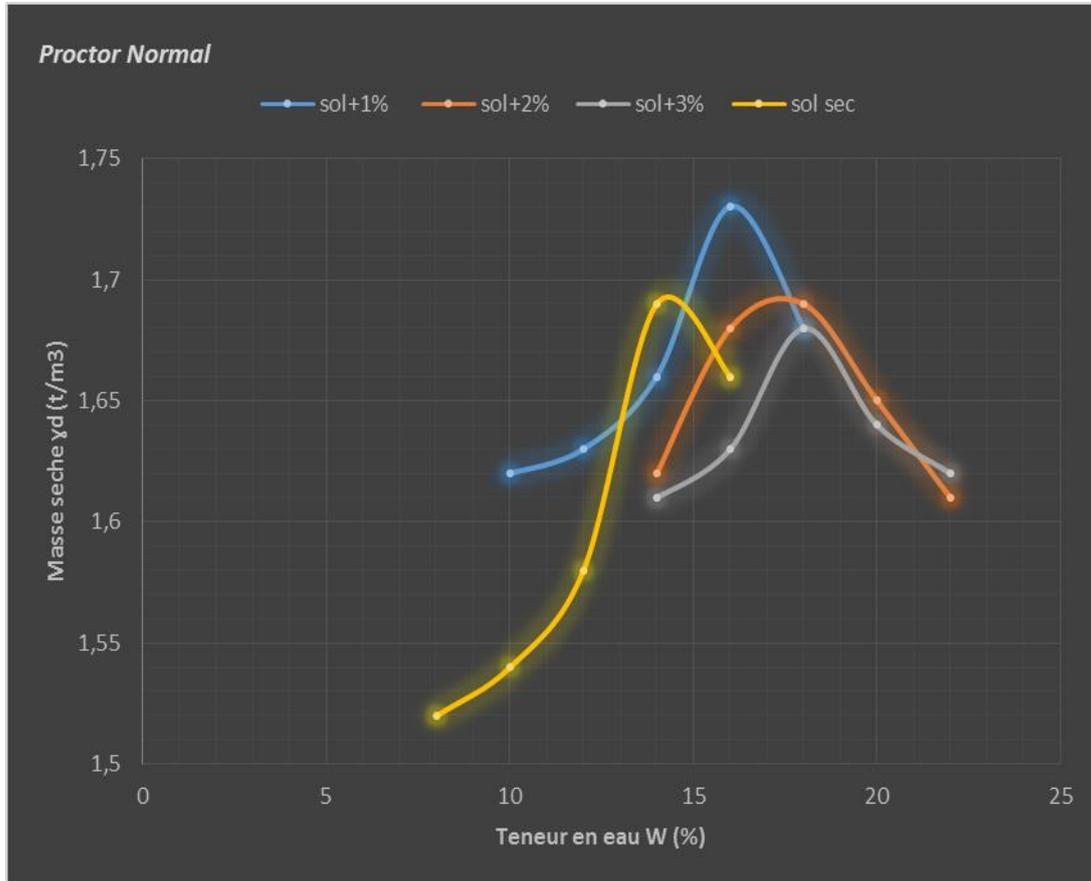


Figure III.5.c La courbe de compactage du mélange (Argile+ 2% déchet de pneu).

- Après ajout de 3% de déchets de pneus



**Figure III.5.** d La courbe de compactage du mélange (Argile+ 3% déchet de pneu). La variation de la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale sont représentées dans les figures suivantes :



**Figure III.6** Comparaison entre les courbes de compactage Proctor Normal avec différents pourcentages de déchets de pneus.

Ces figures nous font constater que les valeurs des teneurs en eau optimales augmentent et les densités sèches maximales diminuent avec l'augmentation du dosage en déchets de pneus.

- **Interprétation :**

Nous remarquons que la densité sèche optimale est en baisse tandis que la teneur en eau optimale augmente graduellement en fonction de l'augmentation de la teneur en matériau rajouté (déchets de pneus), un comportement similaire a été observé par Kaval.A2007, khatab S.A. A 2008, qui ont réalisés le même essai avec d'autres ajouts.

Cela est interprété par l'agglomération des particules d'argile qui provoque la visualisation des vides donc teneur en eau optimum a augmenté pour les remplir, et par cela il ne fera qu'accroître la portance du sol en diminuant les pores.

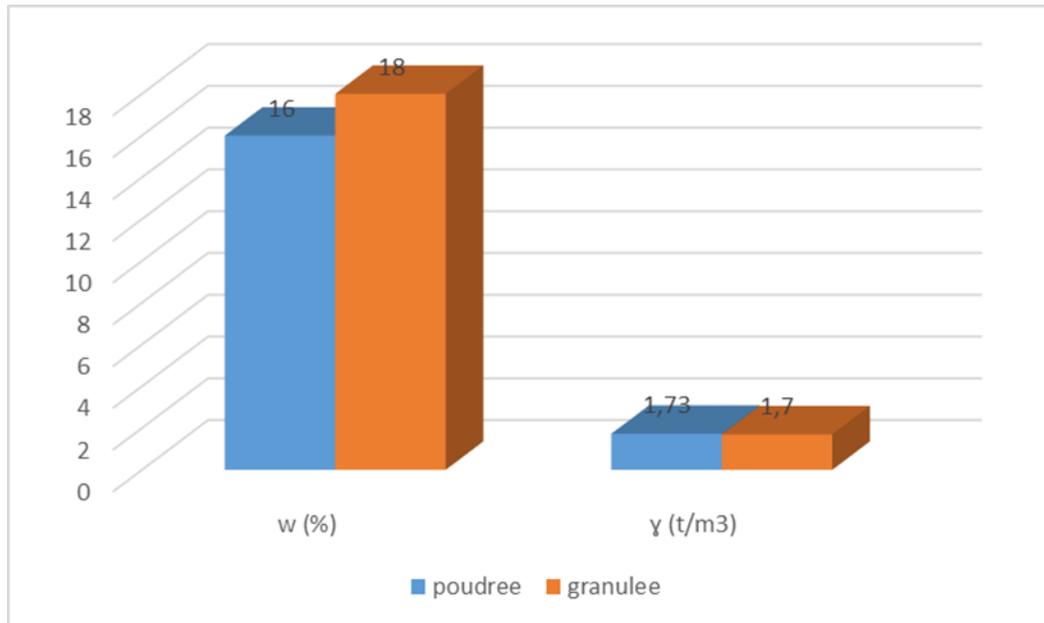
- ✓ Il en résulte de l'irrégularité des grains dans les déchets de pneus une augmentation de la stabilité du sol.
- ✓ le risque de tassement est réduit suite à l'augmentation de la densité sèche, ainsi que la variation de volume ce qui est favorable en période de sécheresse ou de pluie.

### III.5.Comparaison

**Tableau. III .6.** Variation de la teneur en eau, la densité sèche et le pourcentage d'augmentation en fonction de différents ajouts.

**Tableau. III .6.1.** Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 1 % de déchet

Déchet des pneus	% de déchet	w %		$\gamma_d$ t/m <sup>3</sup>	
		Sans déchet	Avec déchet	Sans déchet	Avec déchet
Poudrée Drouai e gasmi 2020 Algérie	1%	14	18	1,69	1,73
Granulée Hemila et Bacha 2020 Algérie	1%	14	18	1,69	1,7

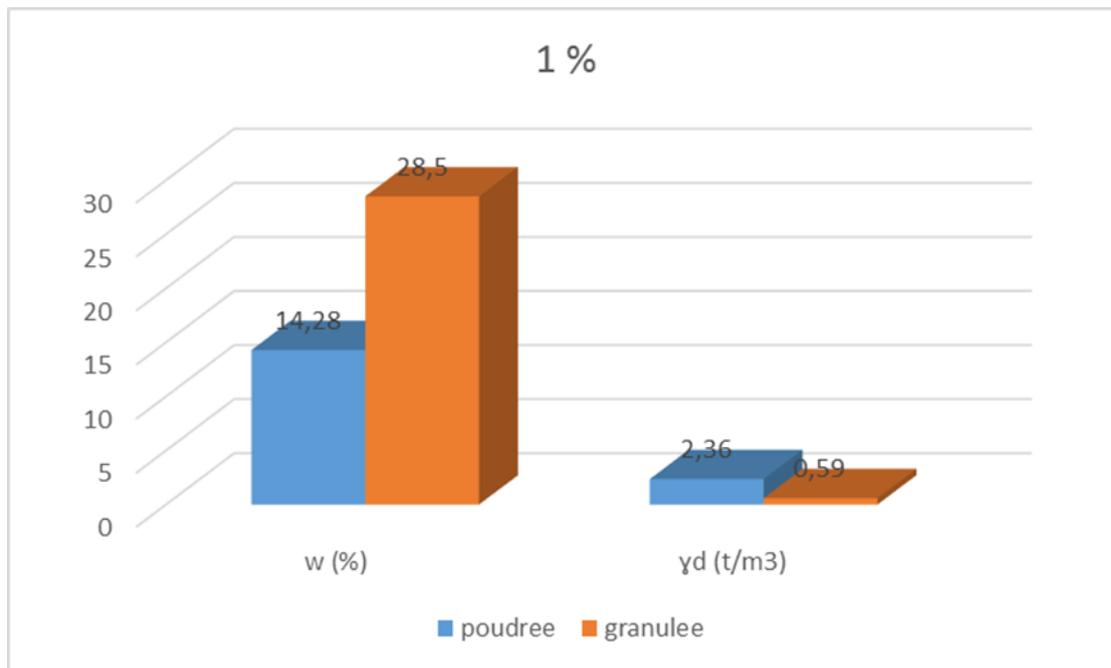


**Figure III .7.** Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 1 % de déchet des pneus

**Tableau. III .6.2.** Variation de pourcentage d'augmentation pour 1 % de déchet

Déchet des pneus	% de déchet	Augmentation	
		W (%)	γd (%)
Poudrée	1 %	14,28	2,36

Drouai e gasmi 2020 Algérie			
Granulée Hemila et Bacha 2020 Algérie	1 %	28,5	0,59



**Figure III.8.** Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 1 % de déchet des pneus

**Tableau. III .6.3.** Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 2 % de déchet

Déchet des pneus	% de déchet	w %		γd t/m3	
		Sans déchet	Avec déchet	Sans déchet	Avec déchet

Poudrée Drouai e gasmi 2020 Algérie	2%	14	18	1,69	1,69
Granulée Hemila et Bacha 2020 Algérie	2%	14	20	1,69	1,68

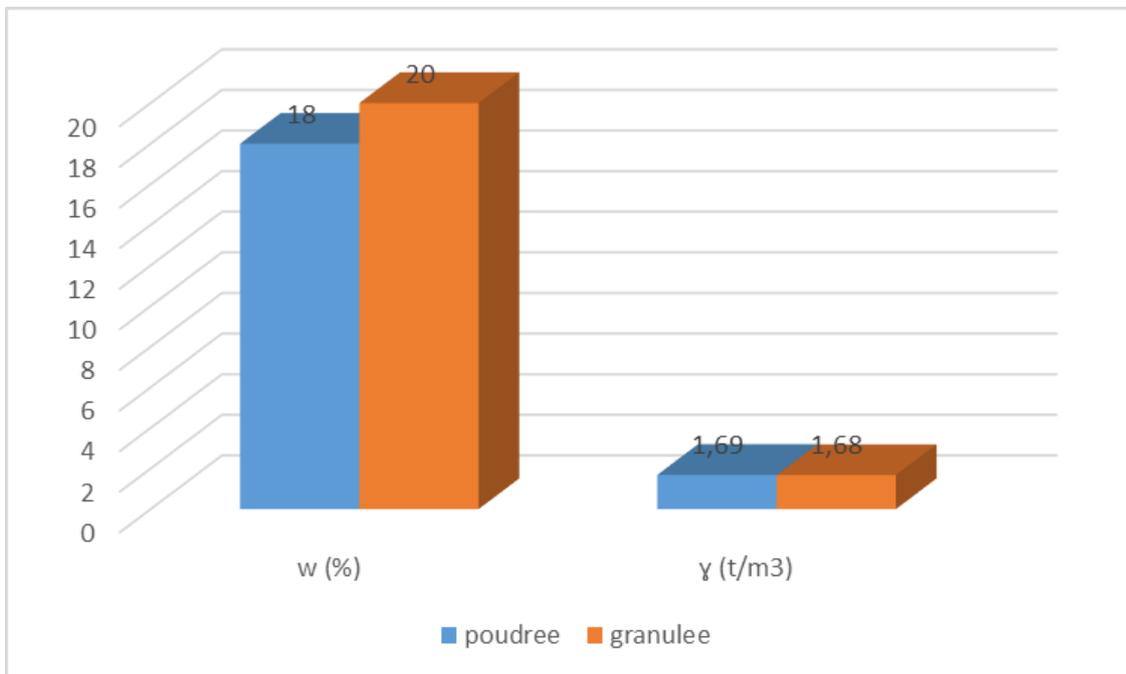
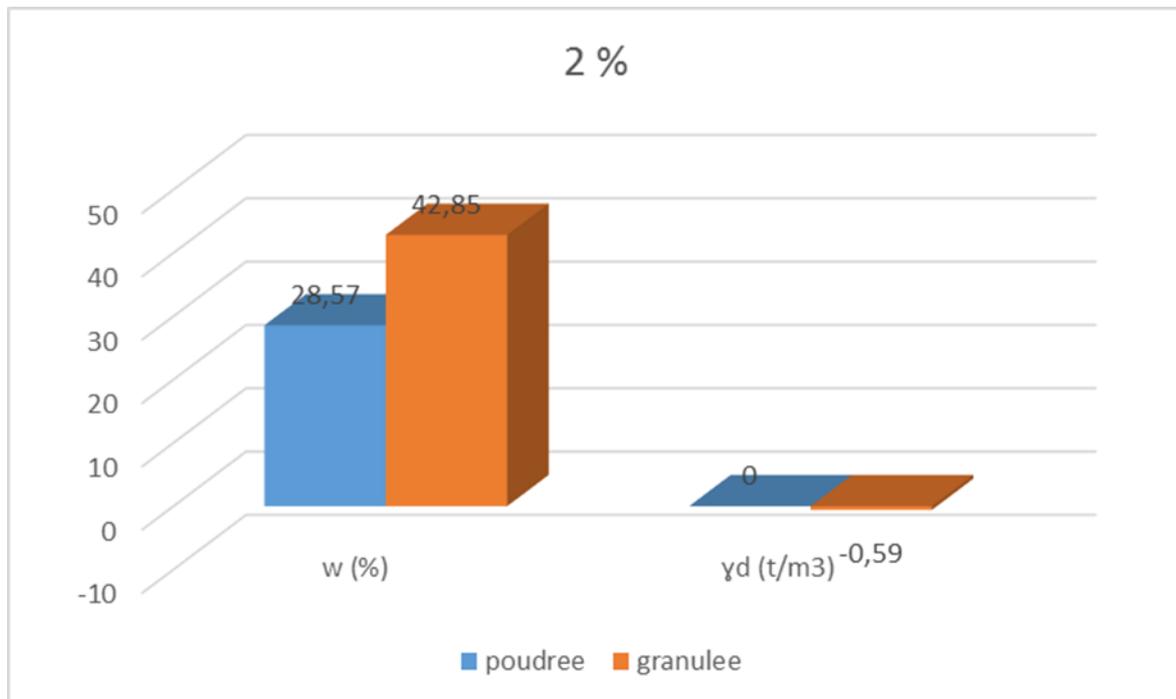


Figure III .9.Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 2 % de déchet des pneus

Tableau. III .6.4. Variation de pourcentage d'augmentation pour 2 % de déchet

--	--	--

Déchet des pneus	% de déchet	Augmentation	
		W (%)	$\gamma_d$ (%)
Poudrée Drouai e gasmi 2020 Algérie	2 %	28,57	0
Granulée Hemila et Bacha 2020 Algérie	2 %	42,85	-0,59



**Figure III .10.** Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 2 % de déchet des pneus

**Tableau.III .6.5.** Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 3 % de déchet

Déchet des pneus	% de déchet	w %		$\gamma_d$ t/m <sup>3</sup>	
		Sans déchet	Avec déchet	Sans déchet	Avec déchet
Poudrée Drouai e gasmi 2020 Algérie	3%	14	18	1,69	1,68
Granulée Hemila et Bacha 2020 Algérie	3%	14	18	1,69	1,68

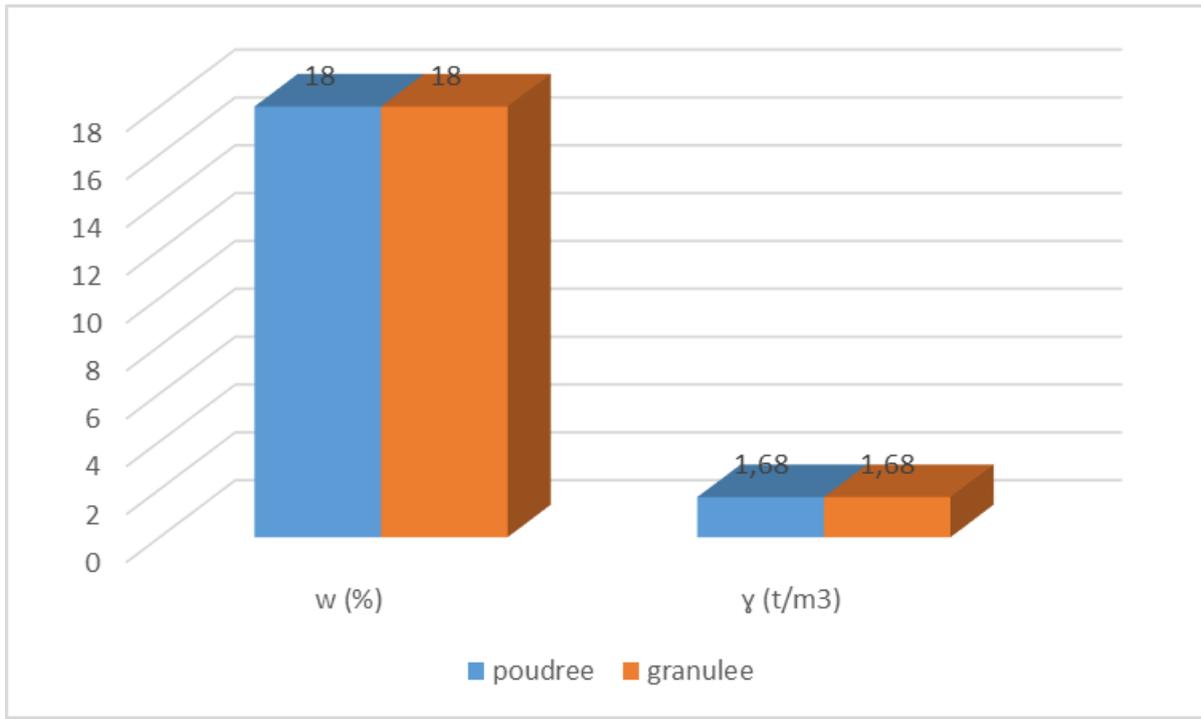
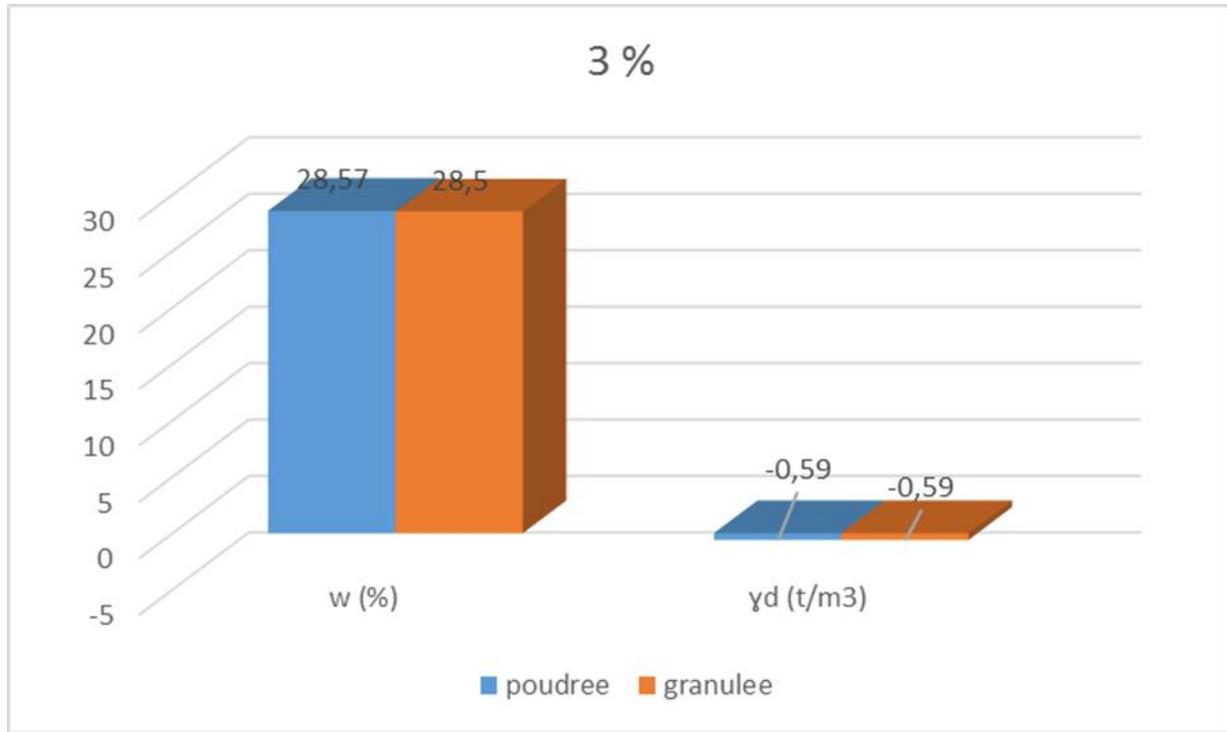


Figure III.11. Variation de la teneur en eau et la densité sèche pour 3 % de déchet des pneus

Tableau. III .6.6. Variation de pourcentage d'augmentation pour 3 % de déchet

Déchet des pneus	% de déchet	Augmentation	
		W (%)	γd (%)
Poudrée Drouai e gasmi 2020 Algérie	3 %	28,57	-0,59
Granulée	3 %	28,57	-0,59

Hemila et Bacha 2020 Algérie			
---------------------------------	--	--	--



**Figure III.12.** .Variation d'augmentation de la teneur en eau et la densité sèche pour 3%

Après avoir ajouté la quantité d'eau nécessaire à chaque fois, nous remarquons un changement dans les caractéristiques mécaniques de notre sol.

Pour le sol + **déchets de pneus poudrés**, nous constatons une faible absorption d'eau ( $W \searrow$ ) mais en même temps une hausse au niveau de la résistance (masse volumique augmente  $\gamma_d \nearrow$ )

Alors que pendant l'essai : sol + **déchets de pneus granulés**, il s'est avéré l'inverse, une forte absorption d'eau ( $W \nearrow$ ) accompagnée d'une faible résistance, la masse volumique était en baisse ( $\gamma_d \searrow$ )

Déduction, l'utilisation des déchets de pneus poudrés lors des renforcements de sols est plus pratique et plus sûre (assure une sécurité) que si l'on utilisait les déchets en grains, qui nous entrainerait peut être à des pertes.

### **III.6. CONCLUSION :**

Plusieurs conclusions ont été tirées de ce dernier chapitre :

- ✓ des figures de ce chapitre, nous avons constaté que les valeurs des teneurs en eau optimales augmentaient alors que les densités sèches maximales diminuaient avec un dosage en déchets de pneus qui accroît de manière constante, et ceci se fait graduellement en fonction de l'augmentation de la teneur en matériau rajouté (déchets de pneus).
- ✓ On ne peut interpréter ce phénomène que par l'agglomération des particules d'argile qui engendre la visualisation des vides, donc la teneur en eau optimum augmente pour les remplir ces derniers, et par cela il est permis d'accroître la portance du sol en diminuant les pores.
- ✓ Il en résulte de l'irrégularité des grains dans les déchets de pneus une augmentation de la stabilité du sol.
- ✓ le risque de tassement est réduit suite à l'augmentation de la densité sèche, ainsi que la variation de volume ce qui est favorable en période de sécheresse ou de pluie.

## **CONCLUSION GENERALE**

### CONCLUSION GENERALE

Plusieurs conclusions ont été tirées de ce dernier chapitre :

- ✓ A travers ces figures, nous avons constaté que les valeurs des teneurs en eau optimales augmentent et les densités sèches maximales diminuent avec l'augmentation du dosage en déchets de pneus, et ceci se fait graduellement en fonction de l'augmentation de la teneur en matériau rajouté (déchets de pneus).
- ✓ Cela est interprété par l'agglomération des particules d'argile qui provoque la visualisation des vides, donc teneur en eau optimum augmente pour les remplir, et par cela il est permis d'accroître la portance du sol en diminuant les pores.
- ✓ Les déchets de pneus provoquent une irrégularité des grains, d'où une augmentation de la stabilité du sol.
- ✓ L'augmentation de la densité sèche minimise le risque de tassement ou la variation de volume ce qui est favorable en période de sécheresse ou de pluie.
- ✓ Aussi la diminution de l'indice de compressibilité ainsi que l'indice de gonflement minimise le désordre dans les constructions ou dans les réseaux et voiries
- ✓ Donc finalement on peut juger que cette technique de mélanger l'argile avec déchets de pneus améliore le sol et aide à éviter le déblaiement, le transport, la mise en décharge, et une bonne gestion du chantier.
- ✓ Après comparaison d'ajouts on a trouvé qu'à 1 % le déchet de pneus poudre améliore les caractéristiques de compactage de l'argile mieux que le déchet de pneus granulé.
- ✓ On peut proposer prochainement d'utiliser des combinaisons de différents ajouts et à faible pourcentage, visant à étudier le comportement des sols.

## REFERENCES

1. Alaa, A., Rory, M., Delfin C., Fikret, A., Stabilization of marginal soils using recycled materials, Florida department of transportation, (2006).
2. Al-Akhras, N.M., Attom, M. F., Al-Akhras, K. M., Malkawi, A. I. H., Influence of fibres on swelling properties of clayey soil. *Geosynthetics International*, 15, No. 4(2008), 304–309.
3. Akbulut, S., Arasan, S., Kalkan, E., Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers, *Applied Clay Science* 38(2007). pp. 23–32.
4. Akbulut, S., Hasiloglu, A.S., Pamukcu, Data generation for shear modulus and damping ratio in reinforced sands using adaptive Journée d'Étude Scientifique et Technique sur les Produits Géosynthétiques 11 Ouargla le, 10/ 03/ 2016 neuro-fuzzy inference system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, No. 11(2004), 805–814.
5. Bledzki, A. K., Gassan, J., Composites reinforced with cellulose based fibers, Elsevier, *Progress in polymer science*, volume 24, pp.221-274, 1999.
6. Cai , Y., Shi, B., Charles, W.W., Tang, C., Effect of polypropylene fibre and lime admixture on engineering properties of clayey soil, *Engineering Geology*, 87(2006) , pp. 230-240. Caltrans, Asphalt rubber usage guide. Caltrans, State of California Department of Transportation, Sacramento, CA, USA (2006), 71 pp.
7. Cetin, H., Fener, M., Gunaydin, O., Geotechnical properties of tire-cohesive clayey soil mixtures as fill material. *Engineering Geology*, 88, No. 1–2 (2006), 110 – 120.
8. Consoli, N. C., Moraes, R. R., Festugato, L., Split tensile strength of monofilament polypropylene fiber-reinforced cemented sand soils. *Geosynthetics International*, 18, No. 2(2011), 57–62.
9. Gram, H.E., Durability of natural fibres in concrete, CBI Research No. 1-83, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1983, 255p.

10. Hussain, F., Hojjati, M., Okamoto, M., Gorga, R.E., Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview. *J Compos Mater* 40(2006): 1511–1565.
11. Ikizler, S. B., Aytekina, M., Nas, E., Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofabric used with expansive soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 26 (2007) 189–195.
12. Izawa, J., Ito, H., Saito, T., Ueno, M., Kuwano, J., Development of rational seismic design method for geogrid-reinforced soil wall combined with fibre-mixed soil-cement and its applications. *Geosynthetics International*, 16, No. 4 (2009), 286–300.
13. Kalkan, E., Utilization of red mud as a stabilization material for preparation of clay liners. *Engineering Geology*, 87, No. 3–4 (2006), 220–229.
14. Khorrami, M., Vafai, A., Khalilatabas, A. A., Desai, C. S., Ardakani, M. H., Experimental investigation on mechanical characteristics and environmental effects on rubber concrete. *Journée d'Étude Scientifique et Technique sur les Produits Géosynthétiques* 12 Ouargla le, 10/03/2016
15. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 4, No. 1 (2010), 17–23.
16. Nilsson, L.H., Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres, Swedish Council for Building Research, Document DIY, Stockholm, Sweden, 1975, 68p.
17. Park, S.S., Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber reinforced cemented sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 27, No. 2 (2009), 162–166.
18. Satyanarayana, B., Behavior of expansive soil treated or cushioned with sand, In *Proceedings of Second International Conference on Expansive Clay Soils*, Texas A&M University, College Station, 1969, TX, p. 308–316.
19. Savastano, H., Warden, Jr. P.G., Coutts, R.S.P., “Microstructure and mechanical properties of waste fibre-cement composites”. *Cement & Concrete Composites*. (2005), pp. 583–592.

20. Trouzine, H., Asroun, A., Long, N. T., Pneus usés et sols gonflants, Actes du ORGAGEC'08 Third European Symposium. Organic materials for construction: Technical and environmental performances, Paris, Marne-la-Vallée, 2008.
21. Trouzine, H., Bekhiti, M., Asroun, N., Effects of scrap tire rubber fibre on swelling behaviour of two clayey soils in Algeria, *Geosynthetics International*, 19, N°. 2(2012), January 2012.
22. Viswanadham, B. V. S., Phanikumar, B.R., Mukherjee, R.V., Swelling behavior of geofiber-reinforced expansive soil, *Geotextiles and Geomembranes*, doi: 10.1016/j.geotexmem. 2008.06.002.
23. Viswanadham, B. V. S., Phanikumar, B.R., Mukherjee, R.V., Effect of polypropylene tape fibre reinforcement on swelling behavior of an expansive soil. *Geosynthetics International*, 16 No. 5 (2009) 393–401.
24. Belabdelouhab F., Djidjli Z., « Recherche-Valorisation pneumatiques usagés dans la protection de l'environnement » 19<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique, Marseille, 2009.
25. Bonaparte R., Schmertmann G.R., Williams N.D., « Seismic design of slopes reinforced with geogrids and geotextiles ». In: *Proceedings of the Third International Conference on Geotextiles*, Vienna, 1986.
26. ETRA, The European Tyre Recycling Association, <http://www.etra-eu.org/> , consulté le 20 décembre 2010.
27. Journal officiel de la République Algérienne n°13 du 05/03/2006 & n°77 du 15/12/2001.
28. Long N T., *Le Pneusol : recherches-réalisations-perspectives*, Thèse de doctorat du LCPC, INSA Lyon, 1993.
29. Quang T. S., Ghazi H., De Buhan P., « Modélisation multiphasique appliquée à l'analyse de stabilité d'ouvrages en sols renforcés avec prise en compte d'une condition d'adhérence sol-armatures » *Studiageotechnica et mechanica*, Vol. 30, n°1-2, 2008, p. 51-56.

- 30.** Trouzine H., Asroun A., Long N. T., « Pneus usés et sols gonflants» Actes Orgagec'08 Organic Materials for Construction: Technical and Environmental Performances. Paris, le 27, 28 et 29 Aout 2008.