

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : Science de l'Ingénierat  
Département : Génie Civil  
Domaine : Science et Technologie  
Filière : Génie Civil  
Spécialité : Géotechnique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**INFLUENCE DE DECHETS DE PNEUS GRANULES SUR LES  
CARACTERISTIQUES D'UN SOL**

Présenté par : *HEMILA Ines*  
*BACHA Ghania*

Encadrant : *BOUKHATEM Ghania MCB* *UBM ANNABA*

**Jury de Soutenance :**

SBARTAI. B	Pr	Université	Président
BOUKHATEM. G	MCB	Université	Encadrant
Nom et prénom	Grade	Université	Co-encadrant
HACEN CHAOUCH. A	Pr	Université	Examineur
Nom et prénom	Grade	Université	Deuxième examinateur / Membre invité

## **REMERCIEMENT :**

Dieu merci pour nous avoir donnée la santé, la volonté et le courage avec lesquels ce travail a été réalisé.

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au L'laboratoire des travaux publique Est L.T.P.E

J'offre mes sincères remerciements à mon encadreur **Dr. BOUKHATEM GHANIA** afin de suivre le travail et ses efforts pour nous aider.

Nous remercions profondément les membres des jurys, qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Nous remercions également toute l'équipe du laboratoire.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions nos chers parents.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin afin de réaliser ce travail.

## **RESUME**

Dans le génie civil, il existe de nombreuses techniques qui relient les déchets au sol dans le monde entier. Les déchets de pneus sont contaminés et non dégradables. Dans la spécialisation géotechnique, l'ingénieur est confronté à de nombreux problèmes, donc le traitement du sol avec ces déchets peut conduire à des matériaux efficaces.

Dans cette étude, le mélange des déchets - sol est réalisé dans différentes proportions 1, 2 et 3%. Ces pourcentages sont exprimés en termes de densité sèche. L'étude expérimentale présente l'effet des déchets de pneumatiques sur les propriétés mécaniques du sol. En outre, la création d'une nouvelle application qui permet d'absorber la quantité de déchets de pneus dans les intérêts environnementaux.

**Mots clés** : argile, déchet de pneu, mélange, essai géotechnique.

## ملخص

في الهندسة المدنية، هناك العديد من التقنيات التي تربط النفايات بالأرض في جميع أنحاء العالم. نفايات الإطارات ملوثة وغير قابلة للتحلل. في التخصص الجيوتقني، يواجه المهندسون العديد من المشاكل، لذا فإن معالجة التربة بهذه النفايات يمكن أن يؤدي إلى مواد فعالة.

في هذه الدراسة، يتم مزج النفايات -التربة بنسب مختلفة 1 و2 و3%. يتم التعبير عن هذه النسب من حيث الكثافة الجافة. تقدم الدراسة التجريبية تأثير نفايات الإطارات على الخواص الميكانيكية للتربة. بالإضافة إلى ذلك، إنشاء تطبيق جديد يمكن أن يمتص كمية نفايات الإطارات في المصالح البيئية.

**الكلمات المفتاحية:** الطين، نفايات الإطارات، الخليط، الاختبار الجيوتقني.

## **Abstract**

In civil engineering, many techniques link waste to the ground worldwide. Tire waste is contaminated and not degradable. In geotechnical specialization, the engineer faces many problems, so treating the soil with this waste can lead to efficient materials.

In this study, the mixing of waste - soil is carried out in different proportions 1, 2 and 3%. These percentages expressed in terms of dry density. The experimental study presents the effect of tire waste on the mechanical properties of the soil. In addition, the creation of a new application that can absorb the amount of tire waste in environmental interests.

**Key words:** clay, tire waste, mixture, geotechnical test.

## **SOMMAIRE :**

**REMERCIEMENT**

**RESUME**

**LISTE DES FIGURES**

**LISTE DES TABLEAUX**

**INTRODUCTION GENERALE.**

**CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>I.INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>I.1 AVANTAGES TECHNIQUE DU TRAITEMENT DU SOL.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2 LE SOL.....</b>	<b>1</b>
<b>I.2.1 Définition .....</b>	<b>1</b>
<b>I.2.2 Propriétés physiques de sol.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.3 La formation d'un sol .....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.4 La portance d'un sol .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2.5 Caractéristiques et propriétés physiques des sols .....</b>	<b>3</b>
<b>I.3 LES ARGILES .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.1 Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.2 Notions sur les argiles.....</b>	<b>4</b>
<b>I.3.2.1 Définition.....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.2.2 Origine.....</b>	<b>6</b>
<b>I.3.2.3 Structure des argiles.....</b>	<b>7</b>
<b>I.3.2.4 Classification des minéraux argileux .....</b>	<b>8</b>
<b>I.3.2.5 Les différents types d'argile.....</b>	<b>9</b>
<b>I.3.2.6 Activité des argiles.....</b>	<b>10</b>
<b>I.5 LES DECHETS DES PNEU.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.1 Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2 Problématique de pneu.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2 Les déchets des pneus.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.1 Définition.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.2 Les caractéristiques de déchet du pneu .....</b>	<b>11</b>
<b>I.5.2.3 Les quantités des pneus usagés.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5.2.4 Valorisation énergétique.....</b>	<b>13</b>
<b>I.5.2.5 Valorisation en matière première.....</b>	<b>13</b>

I.5.2.6	Emploi en domaine génie civil.....	14
I.5.2.7	Autres techniques de valorisation des pneus usés dans le secteur du génie civil.....	15
I.5.2.8	Valorisation originale du pneu usagé.....	15
I.5.2.9	Étapes du cycle de vie d'un pneu.....	16
I.6	LE CHOIX DU TRAITEMENT.....	16
I.6.1	Principe de choix d'une méthode de traitement du sol.....	17
I.6.2	Principales opérations de traitement.....	17
I.7	CONCLUSION.....	17

## CHAPITRE 2 : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

II	INTRODUCTION.....	20
II.1	MATERIAUX UTILISES.....	20
II.1.1	L'argile.....	20
II.2	IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES MATERIAUX UTILISES.....	21
	• Caractérisation physique	
	• Caractérisation mécanique	
II.2.1	Caractérisation physique.....	21
II.2.1.1	Teneur en eau w (NF P 94-050).....	21
	Définition.....	21
	But d'essai .....	21
	Principe de l'essai.....	21
	Appareillage.....	21
	Mode opératoire.....	22
II.2.1.2	Analyse granulométrique.....	22
	Définition.....	22
	Principe de l'essai.....	23
	Appareillage.....	23
	Mode opératoire.....	23
II.2.1.3	L'essai de sédimentométrie.....	25
	Le but de l'essai.....	25
	Principe.....	25
	Appareillage.....	26

Mode opératoire.....	26
Présentation des résultats.....	27
II.2.1.4 Limites d'Atterberg.....	28
Définition.....	28
But de l'essai.....	28
Appareillage.....	28
Préparation du sol.....	29
Mode opératoire.....	30
Résultats.....	32
Conclusion.....	32
II.2.2 CARACTERISATION MECANIQUE.....	33
II.2.2.1 L'essai Proctor.....	33
Définition du compactage.....	33
But de l'essai.....	33
Principe de l'essai.....	33
Appareillage.....	33
Mode opératoire.....	34
Présentation des résultats.....	34
Conclusion.....	35
II.2.2.2 Essai Œdométrique (XP 94-090-01).....	35
But De L'essai.....	36
Principe de l'essai.....	36
Appareillage.....	36
Mode Opératoire.....	37
Déroulement de l'essai.....	37
Gonflement de l'éprouvette à la mise en eau.....	38
II.3 CONCLUSION.....	39

### CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

III INTRODUCTION.....	42
III.1 BUT DE L'ETUDE.....	42
III.2 MATERIAUX UTILISE.....	42

III.2.1 Argile.....	42
III.2.2 Déchet de pneu.....	42
III.3 PREPARATION DU MELANGE.....	44
III.4 CARACTERISATION MECANIQUE.....	44
III.4.1 Essai Proctor (NF P 94- 093).....	44
• Influence du pourcentage de déchet du pneu sur le compactage.....	44
III.4.2 Essai de compressibilité à l'odomètre (XP 94-090-090).....	49
• Influence du pourcentage de déchet de pneu sur la variation du gonflement et de la consolidation du sol.....	49
III.5 CONCLUSION.....	53
<b>CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS</b>	
IV INTRODUCTION.....	56
1 Comparaison par rapport au teneur en eau et densité sèche.....	56
Conclusion.....	59
2 Comparaison par rapport à l'indice de gonflement et l'indice de compressibilité.....	59
Conclusion.....	66
<b>CONCLUSION</b>	
GENERALE.....	68
<b>REFERENCE</b>	
BIBLIOGRAPHIQUE.....	70
ANNEX.....	74

## **LISTE DES FIGURES :**

### **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>Figure I.1 :</b> Classification des matériaux selon leur nature .....	2
<b>Figure I.2 :</b> Processus de formation de l'argile (Dananaj et al, 2005).....	5
<b>Figure I.3 :</b> Les différents types de phlo silicates formés au cours de l'altération (Tucker, 2001).....	5
<b>Figure I.4 :</b> Schéma d'une couche octaédrique et d'une autre Tétraédrique (Pedro, 1994)....	6
<b>Figure I.5 :</b> Structure des minéraux argileux (Du chauffour, 1988).....	7
<b>Figure I.6 :</b> Structure de la kaolinite [Lambe, 1953].....	8
<b>Figure I.7 :</b> Structure de la montmorillonite [Lambe, 1953].....	8
<b>Figure I.8 :</b> Structure d'illite [Lambe, 1953].....	9
<b>Figure I.9 :</b> Pneus grossièrement déchiquetés.....	11
<b>Figure I.10 :</b> Gisement des pneus usagés en Algérie Les statistiques montrent que des millions des Tonnes des déchets.....	11
<b>Figure I.11 :</b> Valorisation du pneu.....	13
<b>Figure I.12 :</b> Aspect des déchets des pneus.....	14
<b>Figure I.13 :</b> Copeaux de pneus déchiquetés.....	14
<b>Figure I.14 :</b> Étapes du cycle de vie d'un pneu.....	16

### **CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES**

<b>Figure II.1 :</b> Le sol utilisé est un sol provenant du site.....	20
<b>Figure II.2 :</b> Détermination de la teneur en eau.....	22
<b>Figure II.3 :</b> Série des tamis.....	23
<b>Figure II.4 :</b> L'échantillon de sol préparé pour la granulométrie.....	24
<b>Figure II.5 :</b> Courbe granulométrique de l'échantillon.....	25
<b>Figure II.6 :</b> Malaxeur.....	26
<b>Figure II.7 :</b> la préparation de l'essai.....	27
<b>Figure II.8 :</b> Matériels utilisés dans l'essai de limites d'Atterberg.....	29
<b>Figure II.9 :</b> Préparation de l'échantillon.....	30
<b>Figure II.10 :</b> L'échantillon utiliser pour peser la teneur en eau (élasticité).....	30
<b>Figure II.11 :</b> L'échantillon utiliser pour peser la teneur en eau (plasticité).....	31
<b>Figure II.12 :</b> Appareillage nécessaire pour l'essai Proctor.....	34

<b>Figure II.13</b> : courbe Proctor de sol naturel .....	<b>35</b>
<b>Figure II.14</b> : Les composants de cellule œdométrique.....	<b>37</b>
<b>Figure II.15</b> : Vue générale de l'appareil œdométrique.....	<b>37</b>
<b>Figure II.16</b> : Courbe Indice des Vides – Contraintes.....	<b>43</b>

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

<b>Figure III.1</b> les étapes de l'essai Proctor.....	<b>45</b>
<b>Figure III.2 (a)</b> La courbe de compactage argile reconstitué.....	<b>46</b>
<b>Figure III.2 (b)</b> La courbe de compactage du mélange (argile+1% déchet de pneu).....	<b>46</b>
<b>Figure III.2 (c)</b> La courbe de compactage du mélange (argile+ 2% déchet de pneu).....	<b>47</b>
<b>Figure III.2 (d)</b> La courbe de compactage du mélange (argile+3% déchet de pneu).....	<b>47</b>
<b>Figure III.3</b> : variation de la densité sèche en fonction du % de déchet de pneu.....	<b>48</b>
<b>Figure III.4</b> : variation de la teneur en eau en fonction du % de déchet de pneu.....	<b>48</b>
<b>Figure III.5 (a)</b> : La courbe œdométrique d'argile reconstituée.....	<b>50</b>
<b>Figure III.5 (b)</b> : La courbe œdométrique de mélange (Argile + 1% déchet de pneu).....	<b>50</b>
<b>Figure III.5 (c)</b> : La courbe œdométrique de mélange (Argile + 2% déchet de pneu).....	<b>51</b>
<b>Figure III.5 (d)</b> : La courbe œdométrique de mélange (Argile + 3% déchet de pneu).....	<b>51</b>
<b>Figure III.6</b> : variation l'indice de gonflement en fonction du % de déchet de pneu.....	<b>52</b>
<b>Figure III.7</b> : variation pression de consolidation en fonction du % de pneu.....	<b>52</b>
<b>Figure III.8</b> : variation l'indice de compressibilité en fonction % de déchet de pneu.....	<b>53</b>
<b>Figure IV.1</b> : Variation de la teneur en eau en fonction de différents ajouts.....	<b>57</b>
<b>Figure IV.2</b> : Variation de la densité sèche en fonction de différents ajouts.....	<b>57</b>
<b>Figure IV.3</b> : Variation de l'augmentation de la teneur en eau en fonction de différents ajouts.....	<b>58</b>
<b>Figure IV.4</b> : Variation de l'augmentation de la densité sèche en fonction de différents ajouts.....	<b>59</b>
<b>Figure IV.5</b> : variation de (%) de l'indice de gonflement avant ajouts.....	<b>60</b>
<b>Figure IV.6</b> : variation de (%) de l'indice de gonflement après ajouts.....	<b>61</b>
<b>Figure IV.7</b> : variation de (%) de l'augmentation de Cg après ajouts.....	<b>61</b>
<b>Figure IV.8</b> : variation de (%) de la diminution de Cg après ajouts.....	<b>63</b>
<b>Figure IV.9</b> : variation de (%) de l'indice de compressibilité avant ajouts.....	<b>64</b>
<b>Figure IV.10</b> : variation de (%) de l'indice de compressibilité après ajouts.....	<b>64</b>
<b>Figure III.11</b> : variation de (%) de la diminution de Cc après ajouts.....	<b>65</b>

## **LISTE DES TABLEAUX :**

### **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

**Tableau I.1 :** L'accumulation annuelle des pneus décollant par l'UE en tonne.....12

**Tableau I.2 :** Quantités des PU générées par an en Algérie (Trouzine et al, 2009).....12

### **CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALE**

**Tableau II.1 :** Propriétés des argiles.....20

**Tableau II.2 :** Résultat de la teneur en eau.....22

**Tableau II.3 :** Résultat de l'analyse granulométrique .....24

**Tableau II.4 :** résultats de l'essai de sédimentométrie.....27

**Tableau II.5 :** Détermination de la plasticité des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP....31

**Tableau II.6 :** Détermination de gonflement des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP....31

**Tableau II.7 :** Détermination de l'indice de consistance des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP.....32

**Tableau II.8 :** Résultats de limites d'Atterberg.....32

**Tableau II.9 :** Résultats de Proctor.....35

**Tableau II.10 :** Résultat de l'odomètre.....39

### **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS**

**Tableau III.1 :** Localisation de site.....42

**Tableau III.2 :** composition chimique de déchet de pneu.....43

**Tableau III.3 :** propriété mécanique de déchet de pneu.....43

**Tableau III.4 :** Influence du pourcentage de déchet de pneu sur le Proctor.....45

**Tableau III.5 :** Influence du pourcentage de déchet de pneu sur l'essai œdométrique.....49

**Tableau III.6 :** Classification de sol selon l'indice de compressibilité.....53

### **CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS**

**Tableau IV.1 :** variation de la teneur en eau et la densité sèche en fonction de différents ajouts.....56

**Tableau IV.2 :** augmentation de la teneur en eau après l'ajout trouvé par chaque auteur...57

**Tableau IV.3 :** augmentation de la densité sèche après l'ajout trouvé par chaque auteur....58

**Tableau IV.4 :** variation de l'indice de gonflement avant et après l'ajout.....60

**Tableau IV.5 :** variation de l'augmentation de l'indice de gonflement après l'ajout.....61

<b>Tableau IV.6</b> : variation de la diminution de l'indice de gonflement après l'ajout.....	<b>62</b>
<b>Tableau IV.7</b> : variation de l'indice de compressibilité avant et après l'ajout.....	<b>63</b>
<b>Tableau IV.8</b> : variation de la diminution de l'indice de compressibilité après l'ajout.....	<b>65</b>

# **INTRODUCTION**

## **GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE :**

En génie civil, Le sol est un terme utilisé pour désigner un matériau constitué d'un agrégat naturel de particules minérales de dimensions comprises dans des limites prédéfinies.

L'argile est l'une des différentes particules minérales qui forment le sol, c'est une matière première utilisée depuis l'antiquité dans divers domaines de la vie courante comme la poterie et les matériaux de constructions. Aujourd'hui le champ d'exploitation de cette matière est encore développé jusqu'au domaine des travaux publics et du bâtiment.

Les matériaux argileux constituent souvent des mélanges naturels complexes de minéraux dont la granulométrie et les propriétés physiques et mécaniques sont très variables. Ainsi l'étude faite dans ce mémoire est les possibilités d'amélioration des caractéristiques des sols argileux de médiocres qualités en leurs rajoutant des proportions de déchets de pneu granulé afin de rendre ces argiles plus performantes à l'exploitation dans le domaine des infrastructures routières.

Les résultats obtenus sont comparés à d'autres résultats de recherches ayant utilisé d'autres ajouts avec le même pourcentage.

La structure de ce rapport est présentée comme suit :

- **Chapitre I : Synthèse bibliographique :** Ce chapitre contient des renseignements sur les sols, caractéristiques des argiles, généralités sur les déchets de pneu, et enfin les différents méthodes de traitement des sols.
- **Chapitre II : Techniques expérimentales :** Contient les définitions, objectifs, matériels utilisés, modes opératoires et principes des différents essais d'identifications : Physiques et mécaniques réalisés au niveau du Laboratoire LTPCEST- Annaba-.
- **Chapitre III : Résultats et discussions :** Les résultats des essais sont discutés et interprétés afin de critiquer la faisabilité et l'adéquation de cette technique de traitement de l'argile avec les déchets de pneu et comparer les résultats avec d'autres recherches et d'autres ajouts. Enfin, une conclusion générale qui présente les recommandations essentielles tirées de cette étude
- **Chapitre VI : Comparaison de résultat :** Les résultats de ce travail ont été comparés à d'autres résultats de recherches concernant les propriétés mécaniques en utilisant des différents ajouts.

# **CHAPITRE I :**

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## **I.INTRODUCTION :**

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) [33]. Les fibres naturelles ont été utilisées pour la stabilisation des sols (Nilsson. 1975 et Gram. 1983).

Récemment, les fibres artificielles qui sont ajoutées pour renforcer la résistance des sols fins, (Akbulut et al. 2007)[2]. De nombreuses recherches expérimentales tendent à stabiliser les sols fins avec des matériaux naturels, fabriqués et sous-produits (Akbulut et al. 2004)[3].

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

Le traitement du sol avec déchets de pneus a deux raisons d'être, améliorer les sols trop humides ou réaliser des plates-formes rigides et stables.

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

- **Avantages économiques :**

L'utilisation du sol en place est économique, elle évite les coûts du déblaiement, de la mise en décharge, du transport.

- **Avantages environnementaux :**

Le traitement du sol en place réduit la pollution et la consommation d'énergie liée aux transports, il évite aussi l'extraction de granulats qui sont des ressources naturelles non renouvelables.

### **I.2 LE SOL :**

#### **I.2.1 Définition :**

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

Il est constitué de grains et de pores.

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.2.2 Propriétés physiques de sol :

La description du comportement physique du sol utilise des paramètres 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 résultats trouvés par les déterminations effectuées au laboratoire sont plus précis que les observations de terrain, mais avec faible volume de sol prospecté et des effets du prélèvement et de la manipulation (Du chaufour. 1994).

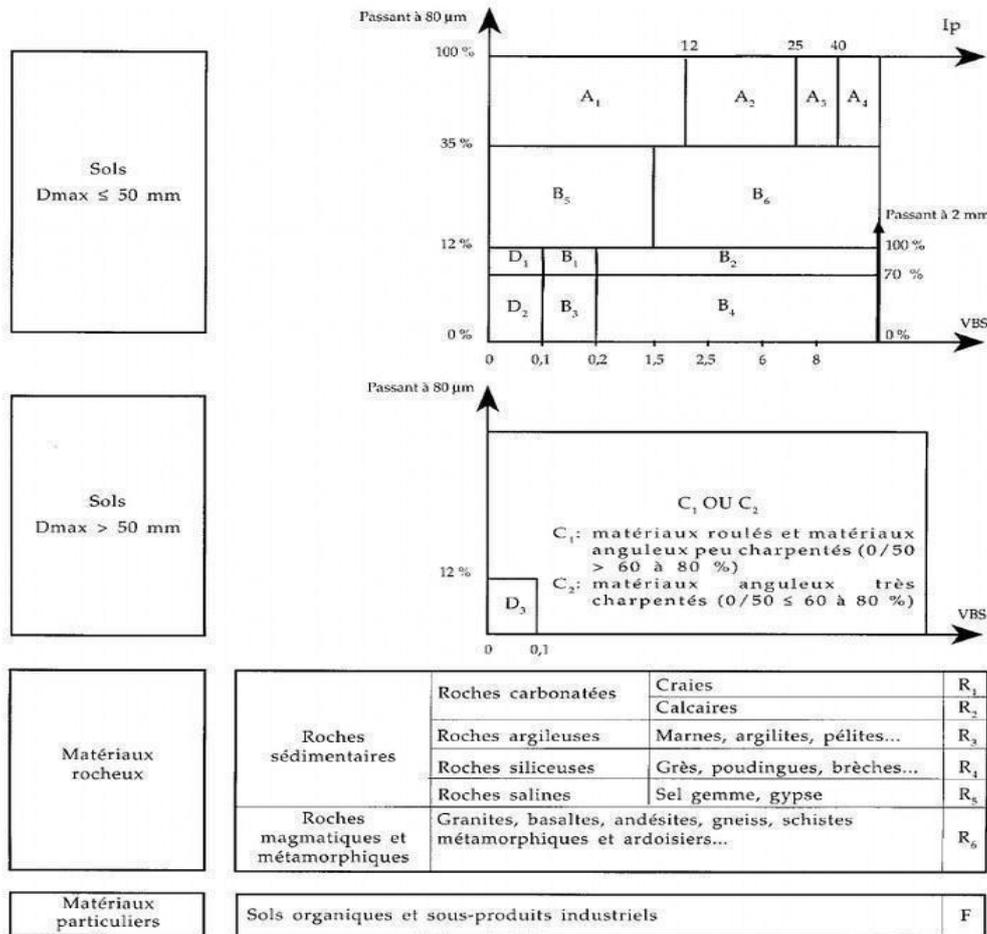


Figure I.1 : Classification des matériaux selon leur nature

## 1.2.3 La formation d'un sol :

Il existe trois facteurs dans la formation d'un sol :

**La roche mère :** ses propriétés physiques ou sa composition influe directement sur la nature et sur la rapidité de l'évolution d'un sol.

**Les végétaux :** la matière organique présente dans le sol.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

**Le climat :** qui affecte les deux facteurs précédents, par la température en ce qui concerne l'altération de la roche mère, et les précipitations pour les phénomènes de migration se déroulant au niveau du sol.

### 1.2.4 La portance d'un sol :

C'est une fonction de la nature de sol, de sa teneur en eau et de son compactage, la capacité d'un sol ne définit pas sa portance.

La portance d'un sol et sa teneur en eau optimum sont déterminés par l'essai Proctor pour ce qui concerne la compacité et par l'essai CBR pour ce qui concerne la résistance au poinçonnement.

La portance d'un sol augmente par le traitement à la chaux.

### 1.2.5 Caractéristiques et propriétés physiques des sols :

**Structure :** la structure d'un sol est l'assemblage à un moment donné de ses constituants solide. La stabilité structurale dépend de la matière organique des sols, cette matière augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol, les échanges gazeuses entre le sol et l'atmosphère.

Une bonne structure va assurer une grande facilité de circulation d'eau, donc laisse s'écouler l'excès, assure une bonne aération des racines, une pénétration profonde des racines et une bonne exploration par les racines des ressources nutritives du sol.

**Texture :** la texture est la base de toutes les autres propriétés, elle traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine. La texture constitue un caractère fondamental de sol, elle influe sur :

- **Perméabilité de sol à l'eau et à l'air :**

La vitesse de percolation de l'eau exprimée en  $\text{cm}^3/\text{h}$  est le critère retenu pour mesurer la perméabilité, 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 occupe environ d'un quart du volume de sol, quand le sol est saturé, l'eau qui percole à travers une tranche du sol le fait sous l'influence de la gravité. La teneur en air est un complémentaire de la teneur en eau, ces deux fluides se partagent l'espace poral.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Porosité total (% vol) = humidité (%) + teneur en air (%)..... (1.1)

- **Porosité :**

La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume occupé par ses pores et le volume total.

La porosité totale  $\theta t$  est définie par l'équation suivante :

$$\theta t = 1 - v_s/v_a \dots\dots\dots(1.2)$$

- **Connectivité :**

La connectivité exprime l'importance des connexions entre les pores, c'est un déterminant de la continuité de la phase gazeuse et de l'écoulement de l'air.

### **I.3 LES ARGILES :**

#### **I.3.1 Introduction :**

L'argile est un matériau naturel qui a été utilisé par l'homme depuis très longtemps, notamment dans l'antiquité. Pour la poterie. Son intérêt est considérable dans divers domaines en raison, à la fois de son abondance et de ses propriétés en agriculture, étant donné que tous les sols cultivés en contiennent plus au moins mais parfois en grand quantités. On sait depuis longtemps que les sols argileux sont fertiles mais 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 :**

##### **Définition :**

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

##### **Origine :**

Les minéraux argileux résultant de la destruction des roches, peuvent soit restés 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).

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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 Smectite en milieu confiné (Figure I.2).

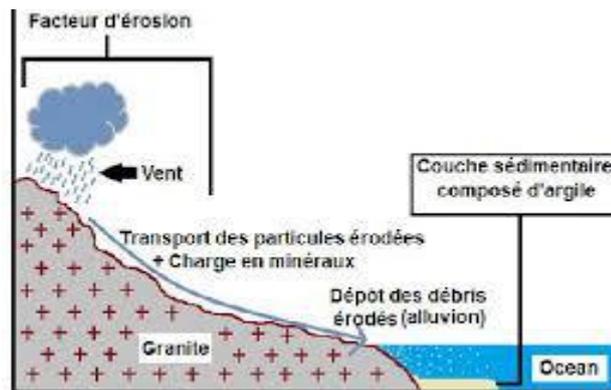


Figure I.2 : Processus de formation de l'argile (Dananaj et al, 2005)

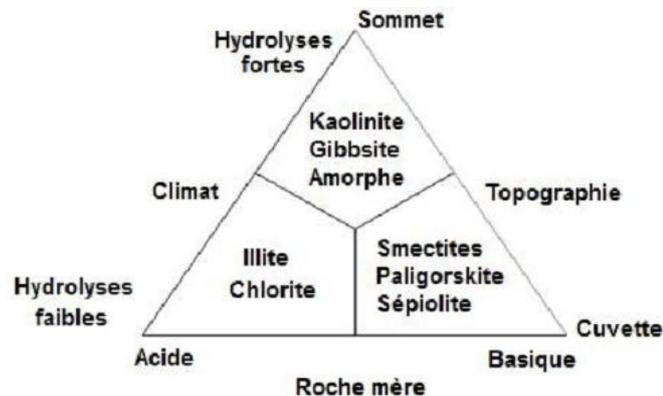


Figure I.3 : Les différents types de phyllosilicates formés au cours de l'altération (Tucker, 2001)

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.3.2.1 Définition :

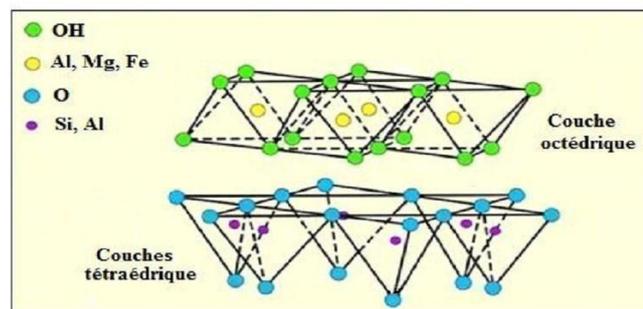
A l'exception du groupe relativement peu important des argiles dites fibreuses, les minéraux argileux sont constitués d'un empilement de feuillets de structure bien définie, séparés par des intervalles désignés sous le nom d'espace inter foliaire (Jouenne, 1975 ; Ben Hadj-Amara et al, 1987 ; Du Chaufour, 1988) [15].

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 inter foliaire représente l'unité structurale du minéral phylliteux (Morel, 1989) (Figure I.4).

## I.3.2.2 Origine :

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)

### **I.3.2.3 Structure des argiles :**

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. Électriquement, 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 inter foliaire (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 inter foliaire et de la valeur de la capacité d'échange de cations (c.e.c.) (Du chauffour, 1988 ; Chevalier et al, 1994) (Figure I.5).

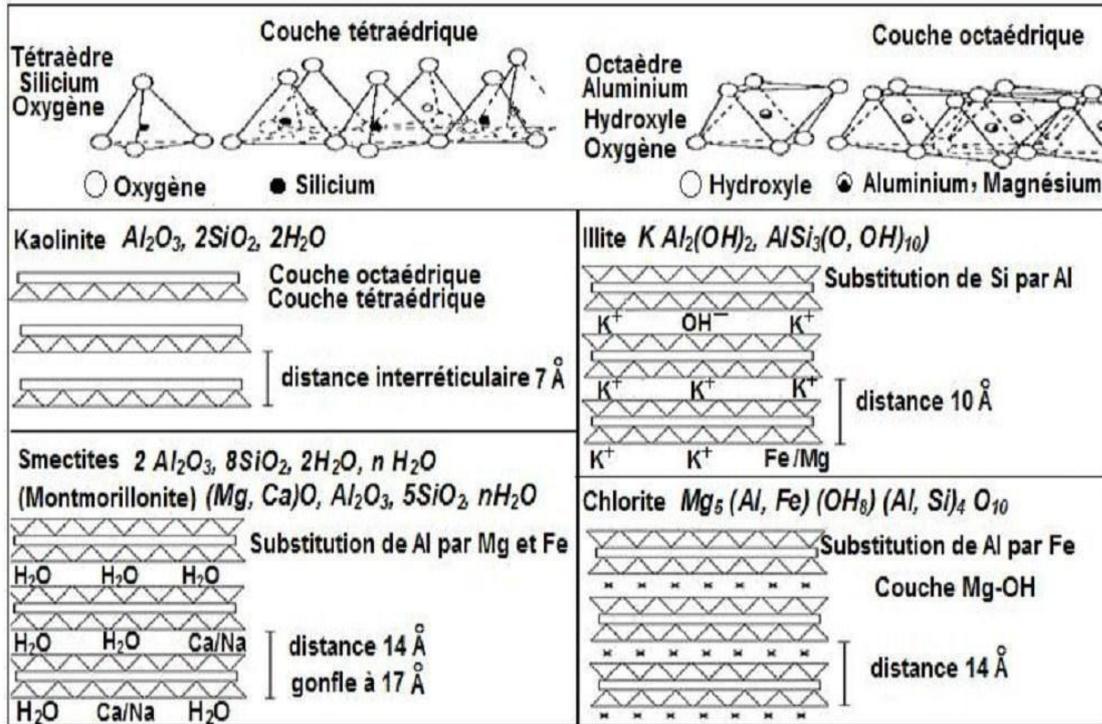


Figure I. 5 Structure des minéraux argileux (Du chauffour, 1988)

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

Les types d'argiles les plus fréquents sont :

- **Kaolinite** : La kaolinite est constituée d'une succession alternée de feuillets en tétraèdre (silice) et de feuillets en octaèdre (aluminium ou gibbsite).

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).

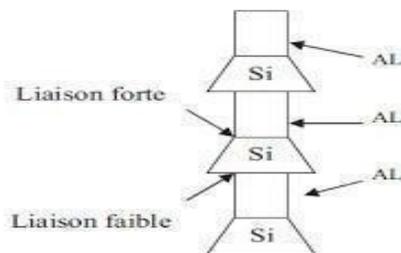
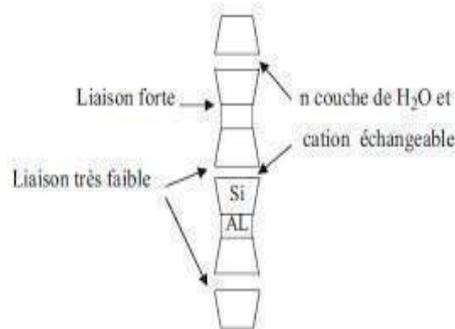


Figure I.6 : Structure de la kaolinite  
[Lambe, 1953]

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

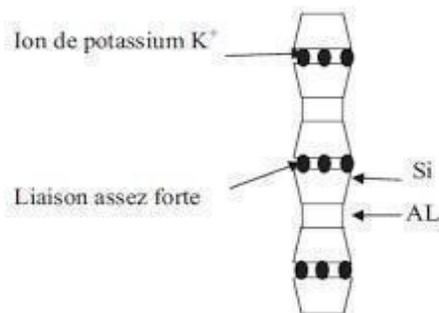
## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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. Les sols qui contiennent de la montmorillonite 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 une autre composante importante des sols argileux, elle a une structure analogue à la montmorillonite mais il y a des ions de potassium intercalés entre les feuillets tétraédriques. Grâce à ces ions la liaison est relativement forte et 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 adsorption de cations. Ces cations dits échangeables jouent un rôle important dans le comportement des argiles (Figure I.8)



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

### I.3.2.6 Activité des argiles :

Skempton (1953), a considéré que les valeurs 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 (Ip) et du pourcentage des éléments inférieurs à deux microns (C<sub>2</sub><2 μm).

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

$$A1=Ip/C2 \dots \dots \dots \text{Eq}$$

(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 a 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 introduit une modification à la définition de Skempton sous la forme suivante :

$$A2=Ip/ (C2-n) \dots \dots \dots \text{Eq(I.4)}$$

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 des pneus sont des déchets non dangereux. Mais ils sont considérés comme un facteur de pollution de l'environnement et sont nocif pour la santé publique, Il peut provoquer des incendies et affecter l'environnement par les gaz toxiques libérés ou les moustiques qui transmettent le virus.

En 2003, l'encadrement de la gestion des déchets des pneus sur la base du principe de Responsabilité Elargie des Producteurs (REP). En 2015 le renforcement de réglementation afin 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. Aujourd'hui, l'efficacité de ce secteur réside dans la collecte des pneus usagés des pneus neufs démarché, en les traitant soit pour la valorisation énergétique(en cimenterie), soit pour les matières (les granulats pour des usages divers), soit pour la réutilisation (Pneus usés). Les pneus sont commercialisés en France à environ 52 millions de pneus par an (504 000 tonnes de pneumatiques). 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

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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 déchiquetés

### I.5.2 Problématique de pneu :

La protection de l'environnement est une responsabilité commune, Les pneus usagés sont un problème mondial. En Afrique du Nord, en particulier dans le bassin méditerranéen, l'Algérie a travaillé sur une stratégie locale de lutte contre la pollution, en établissant un plan d'organisation, des textes et des lois pour 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.

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.5.2 Les déchets des pneus :

### I.5.2.1 Définition :

Déchets du pneu ce sont des produits résultant du processus de meulage des pneus utilisé, dans lequel le caoutchouc est séparé des fibres textiles et des fils que l'on trouve également dans les pneus.

La seule différence entre la poudre et les granulats est la granulométrie.

### I.5.2.2 Les caractéristiques de déchet du pneu :

Les déchets du pneu caractérisé par un certain de propriétés :

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

### I.5.2.3 Les quantités des pneus usagés :

Selon les statistiques des déchets de pneus, Chaque année dans le monde des millions de tonnes sont déversées. (**Etats-Unis, Canada, Union Européen (EU), Algérie...**).

**Le tableau 1** : donne l'accumulation annuelle des PU dans l'UE en tonne ([www.etraeu.org](http://www.etraeu.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, 2008).

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

Etat membre	Pneu de coulant en tonne	Population
France	401000	58265400
Allemagne	640000	814000
Italie	434500	57330500
Espagne	280000	39241900
Ukraine	435000	58684000

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>Union européen</b>	2659100	372662100
-----------------------	---------	-----------

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

<b>Types de pneu</b>	<b>Pneu/an</b>	<b>tonne/an</b>	<b>Pneu/personne/an</b>
<b>Véhicule léger VL</b>	1107410	7697	-
<b>Poids lourd PL</b>	332104	17951	-
<b>Total</b>	1439514	25918	0.0413

### **I.5.2.4 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)).

Les inconvénients de ces procédés sont : L'utilisation d'installations fixes, le transport des PU et des conditions d'émissions dans l'air. En Algérie cette valorisation est absente vu que l'utilisation du gaz naturel en industrie cimentaire est préférée.

### **I.5.2.5 Valorisation en matière première :**

En général, il existe deux types de pneus utilisés soit : en poudrettes ou en granulés de caoutchouc.

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

Poudrettes : il s'agit de particules de caoutchouc dont les dimensions sont inférieures à 2mm. 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 servant à produire des pièces, ne subissant pas de contraintes mécaniques ou dynamiques élevées.



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

**Granulés** : il s'agit de particules de caoutchouc d'une taille supérieure à celle des poudrettes. Les granulés peuvent être agglomérés par des résines, colorés ou non, et permettent, par moulage, de réaliser facilement des feuilles ou des plaques.



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

### **I.5.2.6 Emploi en domaine génie civil :**

En génie civil, notamment dans les pédales géotechniques, les pneumatiques présentent de nombreuses caractéristiques : ductilité, faible conductivité thermique.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Plusieurs techniques utilisant les PU en génie civil sont connues dans le monde : la technique

Pneu sol et ses dérivées « Pleurésie, Pneu tex et l'Arma-Pneu sol », la technique TDA « Tires Dérive Agrégat », la technique Tires Balles et la technique Ti recel. (Trouzine et al, 2008). Le Pneu sol est une 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 connus dans le monde, dont environ une vingtaine en Algérie. (Long, 1993 ; Trouzine et al, 2008 ; Belabdelouahab et D'Idjil, 2009).

### **I.5.2.7 Autres techniques de valorisation des pneus usés dans le secteur du génie civil :**

Agrégats dérivés des pneus (TDA "Tires Derived Aggregate"), sont des pneus usés déchiquetés avec différentes formes, dont les tailles varient de 50 et 300mm. Les copeaux de pneus sont mélangés à du sable avec des proportions volumiques souvent égales.

La technique **Tires balle**, utilise des pneus usés, généralement de véhicules légers (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.

**Ti recel** : cette technique utilisée : les deux flancs des 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.

### **I.5.2.8 Valorisation originale du pneu usagé**

Les différentes formes de pneu usagé dans le processus de valorisation matière sont :

#### **a) Pneu entiers :**

- **Pneu sol** : 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.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- **Arma pneu sol** : associe pneus, remblai et armatures en nappes de treillis soudés.
- **Pneu tex** : associe 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** : permet le drainage de fossés et de parcelles.
- **Protection de quai** : des pneus entiers sont couramment utilisés comme absorbeurs de chocs le long de quais et de jetées.
- **Ensilage** : certaines techniques agricoles utilisent des pneus pour le maintien des bâches d'ensilage.

### b) Pneu déchiquetés :

Le pneu est déchiré d'après ces facteurs : les propriétés drainantes, la compressibilité, la masse volumique faible du produit. L'utilisation du pneu déchiqueté : remblai léger dans la construction de routes ou sous couches drainantes de centres d'enfouissement technique.

### c) Pneu découpés :

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

### I.5.2.9 Étapes du cycle de vie d'un pneu :

Les différentes étapes du cycle de vie d'un pneu : l'acquisition des matières premières, la fabrication, l'utilisation et à l'élimination définitive. Le rechapage permet de réutiliser les pneus, ce qui accroît leur durée de vie utile, 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.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

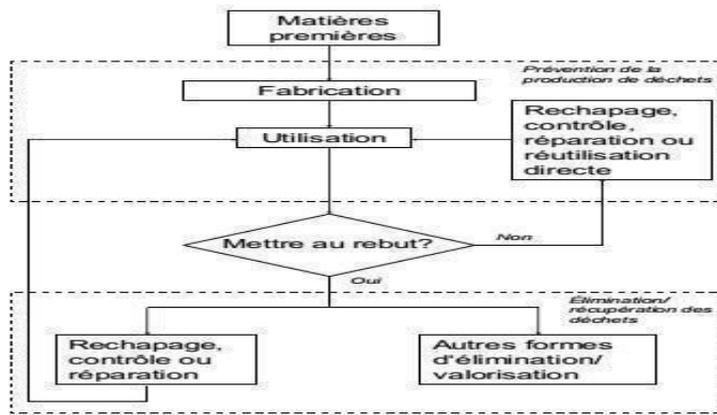


Figure I.14 : Étapes du cycle de vie d'un pneu

### I.6 LE CHOIX DU TRAITEMENT :

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

Les trois critères de le choix d'une technique de traitement des sols en profondeur relève :

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

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

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

Les opérations élémentaires de la réalisation des travaux de traitement d'un sol en place:

- la préparation du sol à traiter (élimination des éléments blocaille, 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 :**

L'utilisation des déchets du pneu dans le domaine du génie civil a connu un développement rapide durant les dernières années. Ils ont entièrement remplacé les matériaux de construction traditionnels. Dans de nombreux cas, 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**

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### II INTRODUCTION :

Les essais au laboratoire ont pour but d'identifier un sol, ainsi que la reconnaissance des caractéristiques géotechnique d'un sol et déterminer ses trois paramètres essentiels : nature, comportement mécanique et état hydrique.



Figure II.1 : Le sol utilisé est un sol provenant du site.

### II.1 MATERIAUX UTILISES :

Le chapitre présente les résultats des essais d'identification du sol (analyse granulométrique, sédimentométrie, limite d'Atterberg, teneur en eau) ainsi que l'essai de compactage (Proctor normal), et l'essai œdométrique.

#### II.1.1 L'argile :

**Origine :** le matériau utilisé est essentiellement l'argile de glissement de : les crêtes El-Bouni.

L'argile provient du glissement de : les crêtes el-Bouni, situé dans la daïra d'El-Bouni ANNABA.

Tableau II.1 : Propriétés des argiles :

<b>Limite de liquidité (%)</b>	56
<b>Indice de plasticité (%)</b>	30
<b>Limite de plasticité (%)</b>	26
<b>Teneur en eau (%)</b>	12

### **II.2 IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES MATERIAUX UTILISES :**

A partir d'une série d'essais géotechniques, les différents matériaux utilisés dans ce travail ont été identifiés et caractérisés.

- **Caractérisation physique :**

- La teneur en eau.
- Analyse granulométrique et sédimentométrie.
- Limites d'Atterberg.

- **Caractérisation mécanique :**

- Proctor normal.
- Œdomètre.

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

##### **II.2.1.1 Teneur en eau w (NF P 94-050)**

###### **Définition :**

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

###### **But d'essai :**

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

###### **Principe de l'essai :**

La perte d'eau d'un échantillon de matériaux est provoquée par étuvage et la masse de l'échantillon et de l'eau évaporée sont mesurées par pesage.

###### **Appareillage :**

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

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



**Figure II.2 :** Détermination de la teneur en eau

### Mode opératoire :

- Prenant trois tares et les peser vide.
- Pesant les échantillons avec les tares.
- Notant le poids humide.
- Mètre l'échantillon à l'étuve. Après étuvage, noter 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 :

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100$$
$$w = \frac{(m_1+m) - (m_2+m)}{m_2} \cdot 100$$

**Tableau II.2 :** Résultat de la teneur en eau :

Sol	Argile
Paramètre (%)	12

### II.2.1.2 Analyse granulométrique :

#### Définition :

La classification d'un sol passe par l'analyse granulométrique qui est une étape fondamentale. Le but de cette analyse granulométrique est de déterminer les proportions de grains de différentes tailles dans le sol. L'analyse granulométrique s'obtient par le tamisage sous l'eau pour les dimensions  $\geq 80\mu\text{m}$  (0.08mm), l'essai est effectué selon la norme (NF P94-056).

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### Principe de l'essai :

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

### Appareillage :

- Série de tamis.
- Pinceau.
- Récipient.
- Balance.



**Figure II.3 :** Série des tamis

### Mode opératoire :

- Détermination de la masse sèche de l'échantillon (de 1h à 4h étuvage à 105°C).
- Deviser en une ou plusieurs fois, la totalité du matériau à analyser sur une colonne de tamis d'ouverture croissant de bas en haut et procéder au lavage.
- Séparer par brassage manuel combiné à un brossage, l'élément retenu sur le tamis s'ouverture de maille plus grande, lorsque le refus sur le tamis est propre le tamis et retirer, l'opération se poursuit pour les tamis inférieur.
- Verser le contenu de chaque tamis dans un récipient.
- Placer les récipients dans l'étuve, à ce que 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 R.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



**Figure II.4 :** L'échantillon de sol préparé pour la granulométrie.

**Tableau II.3 :** Résultat de l'analyse granulométrique :

Tamis	10	5	2	1	0,4	0,2	0,08
Refus cumulé	98,85	94,25	88,13	84,85	80,83	75,80	65,55

Le traçage de la courbe granulométrie est la dernière étape de cet essai :

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

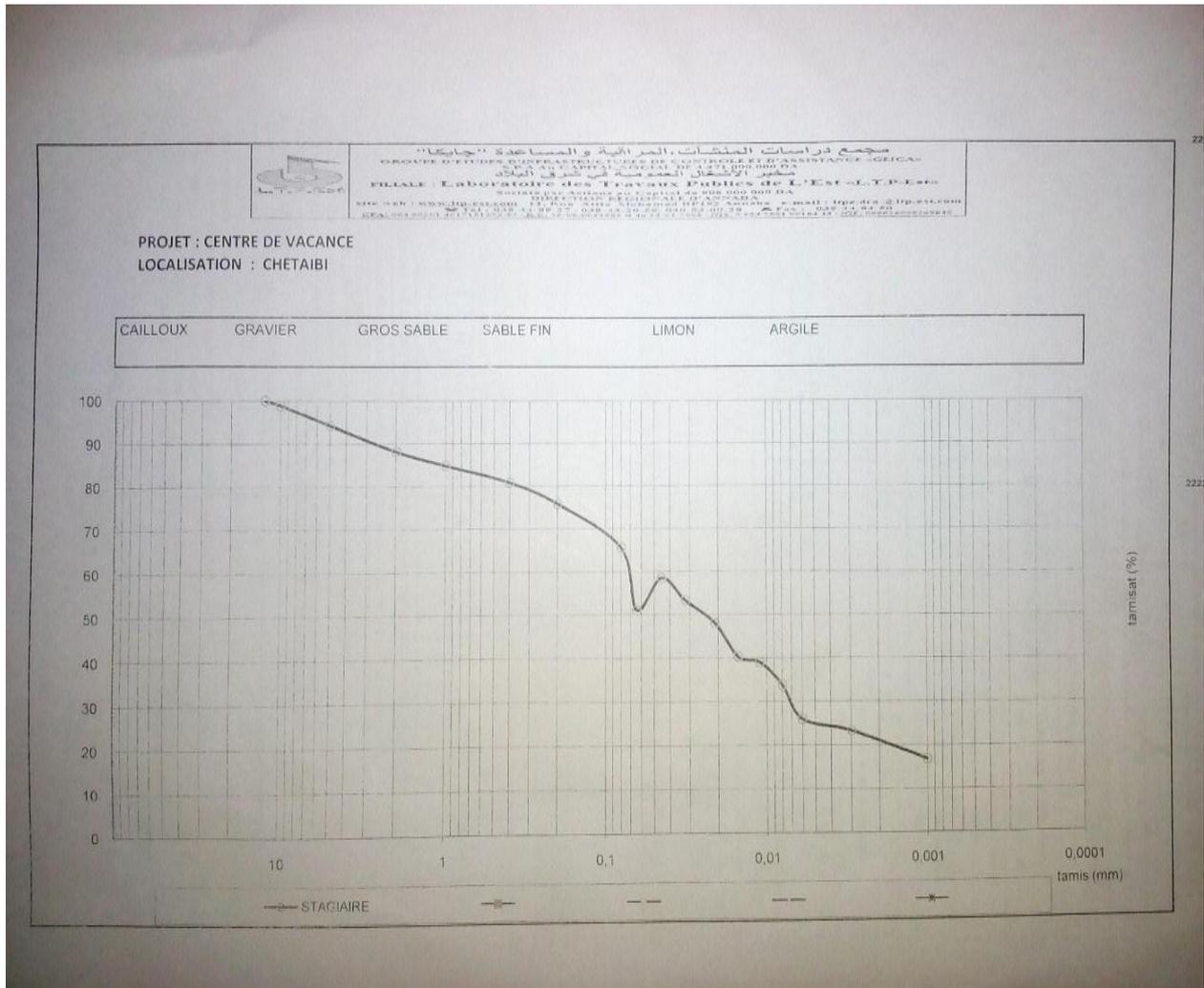


Figure II.5 : Courbe granulométrique de l'échantillon.

### II.2.1.3 L'essai de sédimentométrie :

#### Le but de l'essai :

L'analyse granulométrique d'un sol par la méthode de sédimentation a pour objet de déterminer la distribution pondérale de la taille des particules d'un sol fin. Cet essai s'applique sur les particules passant au travers d'un tamis maille carré de 0.080 mm, cependant les particules d'une taille inférieure à

0.001 mm ne peut être différencié, par cet essai.

#### Principe :

L'essai utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leurs dimensions. La loi de Stokes donne, dans le cas des grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre et leur vitesse de

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments d'un sol pour déterminer des diamètres équivalent des particules.

### Appareillage :

- 80g de sol (l'échantillon doit être passé par le tamis 0.08 mm).
- Bicher.
- Éprouvette.
- Densimètre.
- Chronomètre.
- Thermomètre.
- Eau distillée.
- Solution d'EXAMITAPHOSPHATE.
- Malaxeur.



**Figure II.6 :** Malaxeur.

### Mode opératoire :

- Mètre la quantité de sol dans le bicher.
- Ajouter 60 ml solution d'EXAMITAPHOSPHATE.
- Ajouter l'eau distillée jusqu'à arriver à 500 ml.
- Après 24h, versant le mélange dans une éprouvette et on ajoute l'eau distillée jusqu'à 1440 ml.
- D'après le densimètre et le chronomètre, la lecture de la densité et la température chaque période en utilisant le densimètre et le chronomètre, la dernière lecture est après 24h.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



Figure II.7 : la préparation de l'essai

Présentation des résultats :

Tableau II.4 : résultats de l'essai de sédimentométrie

Temps de lecture	Lecture densimètre R	Température T (°C)	Correction température Ct	Lecture corrigée RC	Passant de l'échan (%)	Diamètre équivalent D (mm)
30	1,025	18	-0,002	1,0235	61,09	0,062236
60	1,024	18	-0,002	1,0225	58,489	0,044008
120	1,022	18	-0,002	1,0205	53,290	0,031118
300	1,02	18	-0,002	1,0185	48,091	0,020968
600	1,018	19	-0,0015	1,0155	40,292	0,014877
1200	1,016	19	-0,0015	1,015	38,992	0,010661
2400	1,014	19	-0,0015	1,013	33,793	0,007638
4800	1,011	20	-0,0015	1,01	25,995	0,005504
14400	1,01	20	-0,0015	1,009	23,395	0,003197
86400	1,008	18	-0,002	1,0065	16,897	0,001321

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### II.2.1.4 Limites d'Atterberg (NF P94-051, NF P94-056) :

#### Définition :

Ce sont des essais qui permettent des indicateurs qualifiants la plasticité d'un sol, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.

#### But de l'essai :

C'est la détermination des limites de consistances qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique et liquide.

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

#### Appareillage :

- Matériels pour la préparation du sol :
  - Un récipient.
  - Un bac de dimension minimales en centimètres 30x20x8.
  - Un tamis à maille de 400  $\mu$ m d'ouverture.
- Matériel pour la détermination de la limite de liquidité :
  - Une étuve dessiccation.
  - Une balance.

L'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.
- Des capsules ou boîte de pétri, spatules, truelles.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



**Figure II.8 :** Matériels utilisés dans l'essai de limites d'Atterberg.

### **Préparation du sol :**

- Après échantillonnage du sol et homogénéisation par brassage, une masse de matériau (m) est mise à imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant 24 h.
- Cette masse m, exprimée en grammes, doit être supérieure à 200 fois la dimension des plus gros éléments de sol.
- Elle doit être telle au le tamisât de 400  $\mu\text{m}$  donne au moins 200 g de particules solides.
- Une fois imbibé, matériau est tamisé par voie humide au tamis de 400  $\mu\text{m}$ .
- Après une durée de décantation d'au moins 12 h, l'eau claire du bac est siphonnée sans entrainer de particules solides.
- L'eau excédentaire est évaporée à une température ne dépassant pas 50<sup>0</sup> C.
- La totalité du tamisât est malaxée afin d'obtenir une pâte homogène et presque fluide.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



Figure II.9 : Préparation de l'échantillon.

### Mode opératoire :

#### • Détermination de la limite de liquidité :

On utilise la coupelle de Casagrande. Pour réaliser ce test il faut :

- Humidifier l'échantillon de sol fin et l'homogénéiser.
- Etaler l'échantillon dans le bol, de manière à avoir une épaisseur à peu près constante, de 1cm avec une surface horizontale.
- Appliquer une rainure au milieu, séparant l'échantillon en deux parties distinctes et égales, de manière à avoir le fond du bol.
- Tourner la manivelle en comptant la norme de fois que le bol s'est élevé puis rabattu jusqu'à ce que la fente se referme.
- Prendre un peu de l'échantillon où la fente se referme, le peser, et calculer sa teneur en eau.



Figure II.10 : L'échantillon utilisé pour peser la teneur en eau (élasticité).

#### • Détermination de la limite de plasticité :

- Prendre un échantillon séché du sol fin.
- Y ajouter un peu d'eau.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

- Former trois fils de 3 mm de diamètre et de 10 cm de longueur sur le modèle d'une petite barre de fer.
- Rouler les fils sur une planche de bois, servant à l'assécher au fur et à mesure, jusqu'à l'apparition des premières fissures. Les rétrécir si nécessaire pour maintenir la même longueur de 10cm.
- Récupérer l'échantillon, le peser, et calculer sa teneur en eau.



**Figure II.11 :** L'échantillon utiliser pour peser la teneur en eau (plasticité).

**Tableau II.5 :** 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.6 :** Détermination 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

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

**Tableau II.7 :** Détermination de l'indice de consistance des sols vis-à-vis de l'indice de plasticité IP

Ic (%)	L'indice de consistance
0	Liquide
0.25	Très molle
0.5	Molle
0.85	Mi- consistante
1	Consistante
1<	Très consistante

**Résultats :** Les résultats sont les suivantes :

**Tableau II.8 :** Résultats de limites d'Atterberg.

Paramètre	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>P</sub> (%)	I <sub>P</sub> (%)
Sol (argile)	56	26	30

L'indice de plasticité :  $I_p = W_L - W_P = 30$

$15 < I_p < 40$  sol reconstitue de classement : Plastique.

### **Conclusion :**

Les tests d'Atterberg, faciles à effectuer, permettent de calculer des limites de plasticité et de liquidité assez précises, et très importantes pour la détermination du type de sol. Pour la courbe granulométrique, la granulométrie et la sédimentométrie nous fournissent la répartition des fractions de sol selon le diamètre des grains. D'où la classification du sol d'ElBouni Annaba a été faite selon la classification NF P94-051, NF P94-056.

Le pourcentage des éléments passant à travers le tamis (80µm) est de 65,55% supérieur à 50% indique que **le sol est fin**.

La limite de liquidité et l'indice de plasticité du sol d'El-Bouni Annaba 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**.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### II.2.2 CARACTERISATION MECANIQUE :

#### II.2.2.1 L'essai Proctor (NF P 94- 093) :

##### **Définition du compactage :**

Compacter un sol consiste à faire diminuer son volume par l'application d'un procédé mécanique (force, vibration, combinaison des deux, chocs,...). Cette diminution de volume ne se produit que par l'élimination des vides remplis d'air qui existent dans le sol à son état initial. La teneur en eau ( $w$ ) du sol n'est donc pas modifiée. Le poids volumique du sol,  $\gamma_h$ , par contre, sera augmenté, et avec lui, le poids volumique sec  $\gamma_d$

##### **But de l'essai :**

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale ( $w$ ) pour un sol donné à laquelle ce sol pour obtenir la densité sèche maximum ( $\gamma_d$ ) et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale. Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir d'un essai Proctor normal ou essai Proctor modifié.

##### **Principe de l'essai :**

L'essai Proctor consiste à mesurer le poids volumique d'un sol (argile) disposer en trois couches dans un moule Proctor de volume connu, dans chaque couche étant compacter avec la dame Proctor l'essai est répété plusieurs fois avec une variation de la teneur en eau (8- 10- 12- 14 et 16) % et une énergie de compactage fixe ( $3 \times 25$ ).

##### **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.
- Eprouvette graduée et burette d'eau pour humidifier le sol.
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau).
- étuve.
- Balance de portée supérieure à 6 kg.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

- Balance de précision 200 g, précision  $\pm 0,1$  g.



**Figure II.12 :** Appareillage nécessaire pour l'essai Proctor

### **Mode opératoire :**

- Préparation de matériau (prendre 2,5 kg d'argile préalablement préparé qu'on verse dans un bac, ajouter une certaine quantité d'eau (\*) proportionnelle au poids de sol utilisé).
- Assemblage du moule avec un disque de papier au fond du moule pour faciliter le démoulage et peser l'ensemble.
- Introduire la première couche et la compacter (25 coups).
- Recommencer l'opération pour la deuxième et la troisième couche (Proctor normal).
- Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser du moule environ de 1 cm.
- Araser soigneusement à partir du centre, on veillera au cours de l'écrasement à ne pas créer de trous sur la surface arasée.
- Peser l'ensemble juste arasé.
- Enlever l'embase et prélever 2 prises sur l'échantillon, l'une en haut et l'autre en bas, en déterminant la teneur en eau  $w$  et on prendra la moyenne des deux valeurs obtenues.
- Augmenter de 2% la teneur en eau  $w$  de votre échantillon de départ et recommencer 5 à 6 fois l'essai.
- Nettoyer le moule après chaque compactage.

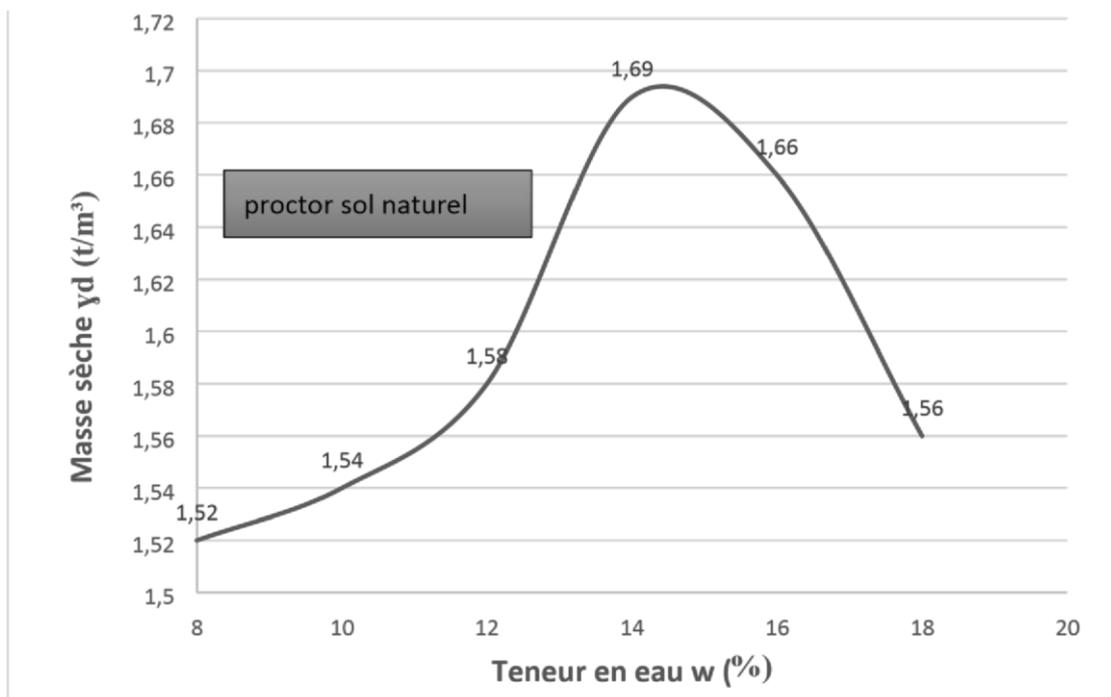
### **Présentation des résultats :**

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

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

**Tableau II.9** : Résultats de Proctor

Les essais	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5	Essai 6
La teneur en eau (W%)	8	10	12	14	16	18
$\gamma_d$ (L/m <sup>3</sup> )	1,52	1,54	1,58	1,69	1,66	1,56



**Figure II. 13** : Courbe Proctor de sol naturel

### Conclusion :

La courbe  $\gamma_d = f(W)$  précise le comportement au compactage du matériau en fonction de la teneur en eau. Caractériser également l'état hydrique d'un matériau par l'écart relatif entre sa teneur en eau avec 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.2.2.2 Essai Œdométrique (XP 94-090-01)

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### **But De L'essai :**

C'est un essai de compression par paliers et de gonflement à l'œdomètre. L'éprouvette cylindrique est confinée latéralement et en général, soumise à des incréments discrets de chargement ou déchargement axial vertical, le drainage pouvant s'effectuer dans la direction axiale. À partir de cet essai caractéristique suivant sont déterminées :

- $C_c$  l'indice de compressibilité.
- $C_g$  l'indice de gonflement.
- $P_c$  l'indice de consolidation.
- $\sigma_p$  la contrainte de pré consolidation du sol.

Cet essai constitue une application directe de la théorie de Terzaghi proposée pour l'étude de la consolidation verticale des sols fins saturés. A partir des résultats de cet essai on procède à l'évaluation de l'amplitude du tassement de consolidation primaire d'une couche de sol compressible ainsi que le temps de consolidation qu'elle nécessite.

### **Principe de l'essai :**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériaux placée dans une enceinte cylindrique rigide (œdomètre). Un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai.

La charge est appliquée par paliers maintenus successivement croissants et décroissant suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.

### **Appareillage :**

L'appareil spécifique à l'essai œdomètre :

- le bâti permettant d'appliquer les contraintes de chargement sur l'éprouvette.
- La cellule œdométrique.
- Le dispositif d'application de charge.
- Le système de mesurage.

La réalisation de l'essai nécessite en outre l'appareillage courant pour l'extraction des échantillons de leur conteneur, la préparation des éprouvettes et la détermination des teneurs en eau et des masses volumiques des échantillons de sol.

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES



**Figure II.14 :** Les composants de cellule œdométrique



**Figure II.15 :** Vue générale de l'appareil œdométrique

### **Mode Opérateur :**

- Déformation de la cellule œdométrique sur son bâti de chargement.
- Une mesure de déformation de la cellule est effectuée avec éprouvette témoin métallique placée entre les deux disques drainants, éventuellement recouverts de papier-filtre, en passant par les mêmes paliers de chargement que pour l'essai.

Afin de déterminer l'amplitude des corrections à prendre en compte. Suivant les cas, cette mesure est effectuée avant ou après l'essai lui-même. Elle reste utilisable pendant un maximale de six mois sans modification de matériel.

Cette mesure de déformation de l'appareillage est nécessaire en présence de sols gonflants et lors d'essais sous des contraintes supérieures à 1.6 MPa.

### **Déroulement de l'essai :**

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

L'essai consiste à soumettre éprouvette de section transversale A à une série de palier de chargement d'intensité constante et à mesurer ; pour chacun d'eux, la variation de hauteur  $\Delta H$  de cette éprouvette au cours du temps.

Le palier de chargement de rang n correspond à une contrainte verticale moyenne  $\sigma_{v(n)}$  sous la charge  $N_{(n)}$  appliquée à l'éprouvette telle que :

$$\sigma_{v(n)} = \frac{N_{(n)}}{A}$$

D'un palier à l'autre, le taux d'accroissement de la contrainte  $i$  est défini par :

$$i = \frac{\sigma_{v(n+1)} - \sigma_{v(n)}}{\sigma_{v(n)}}$$

### Gonflement de l'éprouvette à la mise en eau :

- Dans le cas de sols gonflants, l'éprouvette mise en présence d'eau a tendance à soulever le dispositif d'application de la charge. Celui-ci devra alors être maintenu dans sa position initiale par un chargement qui lui est appliqué immédiatement et progressivement jusqu'à l'apparition du premier tassement stabilisé c'est-à-dire en appliquant par exemple successivement des

contraintes voisines de  $0.5\sigma'_{v0}$  ;  $0.75\sigma'_{v0}$  ;  $\sigma'_{v0}$  ;  $1.5\sigma'_{v0}$  .....

- La contrainte correspondant à l'apparition du premier tassement compte tenu de la correction de la déformation propre de l'appareillage est notée :  $\sigma_{v2}$ .

- Le chargement est ensuite poursuivi avec un taux d'accroissement de chargement n'excédant pas 1 (sans déchargement intermédiaire).

- Le dernier palier de se chargement sera choisi en fonction du respect des deux critères suivants, dans la limite des possibilités de l'appareillage :

- Obtention de trois point alignés sur la courbe de variation de hauteur de l'éprouvette en fonction du logarithme de la contrainte appliquée ( $\Delta H$ ,  $\lg\sigma_v$ ).

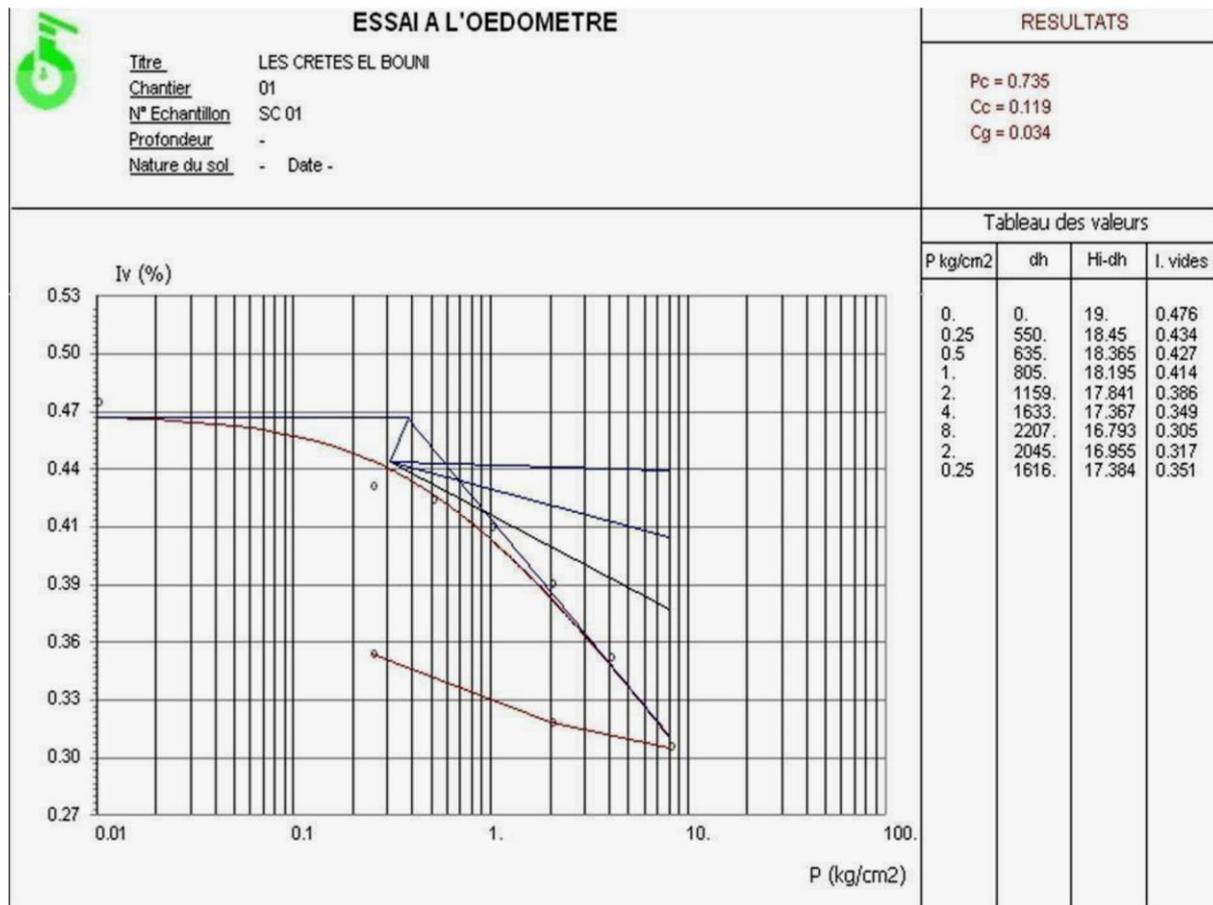
- Contrainte  $\sigma_{v(n)}$  de ce dernier palie de chargement supérieure à la contrainte effective vertical à laquelle sera soumis le sol , au droit du prélèvement , après construction de l'ouvrage auquel se apporte l'étude.

- L'essai se termine par un déchargement comportant au moins quatre palies, dont les deux deniers correspondent aux contraintes  $\sigma_{v2}$  et  $\sigma_{v1}$ .

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

**Tableau II.10** Résultat de l'odomètre

Paramètre Sols	C <sub>c</sub> (%)	C <sub>g</sub> (%)	P <sub>c</sub> (bars)
<b>Argile</b>	11,9	3,4	0,735



**Figure II.16** : Courbe Indice des Vides – Contraintes

### II.3 CONCLUSION

Grace à ce chapitre, il est possible de conclure que ce sol est une argile ce qui est trouvé à travers les essais physiques qui ont pour but d'identifier le sol (teneur en eau, essai granulométrique, la sédimentométrie et limites d'Atterberg).

## CHAPITRE II : TECHNIQUES EXPERIMENTALES

La réalisation des essais mécaniques montre que la teneur en eau optimale est 14% cette valeur est expliquée par le besoin d'une grande quantité d'eau dans un sol argileux.

Ce sol est moyennement compressible avec une valeur de  $C_c = 0,119$ , cela est interprété par l'essai œdométrique.

**CHAPITRE III :**  
**RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

### III INTRODUCTION :

Le traitement des sols est une technique très ancienne dont l'application tant au niveau des travaux de terrassement qu'au niveau de la réfection des routes ainsi que les pistes d'accès connaît actuellement un essor très important au niveau international. Le recours massif à cette technique qui valorise les matériaux en place ce qui entraîne une diminution notable des coûts est dû principalement à la raréfaction des glissements naturels des matériaux de bonne qualité. Le souci écologique croissant imposant de préserver une part des ressources naturelles existantes en optimisant leur utilisation et de limiter d'autre part la mise en dépôt des matériaux impropres à la réutilisation en remblais ou en couches de forme et enfin le renchérissement des matériaux de substitution et des transports.

Ce chapitre examine l'effet du déchet de pneu sur certaines propriétés mécaniques des sols argileux telles que le compactage, l'odomètre.

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

Cette étude a pour un but d'observer le comportement de sol et l'influence de l'ajout des déchets de pneu granulés en vue de traitements des caractéristiques de ce sol ainsi que leur exploitation dans les différents domaines des travaux publics et en particulier les travaux routiers.

#### III.2 MATERIAUX UTILISE :

##### III.2.1 Argile :

L'échantillon prélevé est un matériau argileux qui provient d'un site de : les crêtes El Bouni Annaba- de profondeur de 3 m.

Ce matériau est une argile de couleur marron.

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

Lieu	Les crêtes El Bouni
Commune	El Bouni
Daïra	El Bouni
Wilaya	Annaba

##### III.2.2 Déchet de pneu :

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le déchet de pneu utilisé de diamètre 2mm est manufacturé situé à AIN MLILA wilaya de BATNA.

La composition de ce produit est montrée sur les tableaux ci-dessous.

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

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

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

<b>Propriétés mécaniques</b>	<b>Valeur</b>
------------------------------	---------------

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUTIONS

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

#### **III.3 PREPARATION DU MELANGE :**

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

L'ajout de déchet de pneu doit être en quantité croissante selon le pourcentage désigné (1, 2, 3)

#### **III.4 CARACTERISATION MECANIQUE :**

##### **III.4.1 Essai Proctor (NF P 94- 093) :**

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

La présente expérience consiste à réaliser l'essai Proctor Normal (NF P 94- 093) sur un échantillon de sol reconstitué puis après la substitution d'une quantité croissante de déchet

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

du pneu granulé et de mesurer les éventuelles variations de la consistance du matériau composé.

Afin de voir l'influence des différents pourcentages d'ajout sur les paramètres de compactage de sol traité au déchet du pneu, une série de 4 essais au compactage Proctor Normal a été effectuée au niveau du laboratoire LTPEST- Annaba.



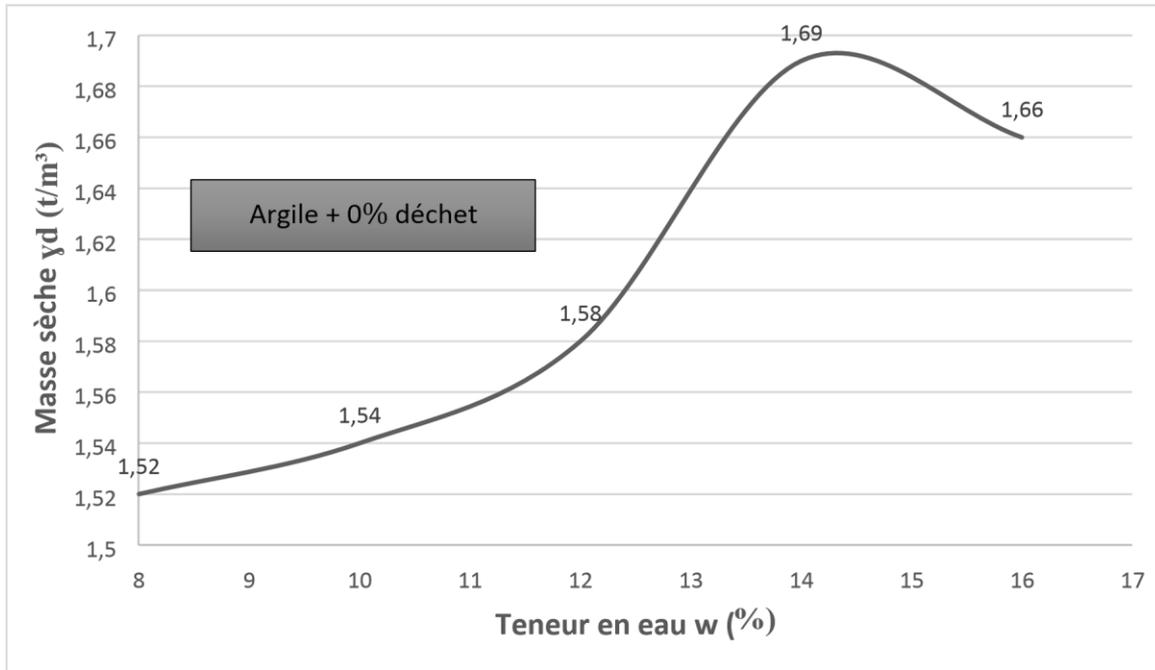
**Figure III.1** les étapes de l'essai Proctor.

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

<b>Paramètres</b> <b>Sol</b>	<b>W<sub>OPN</sub> (%)</b>	<b>γ<sub>d</sub> sèche OPN (t/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Argile</b>	16.46	2.05
<b>Argile + 01% déchet de pneu</b>	17.18	1.99
<b>Argile + 02% déchet de pneu</b>	21.43	1.86
<b>Argile + 03% déchet de pneu</b>	21.82	1.76

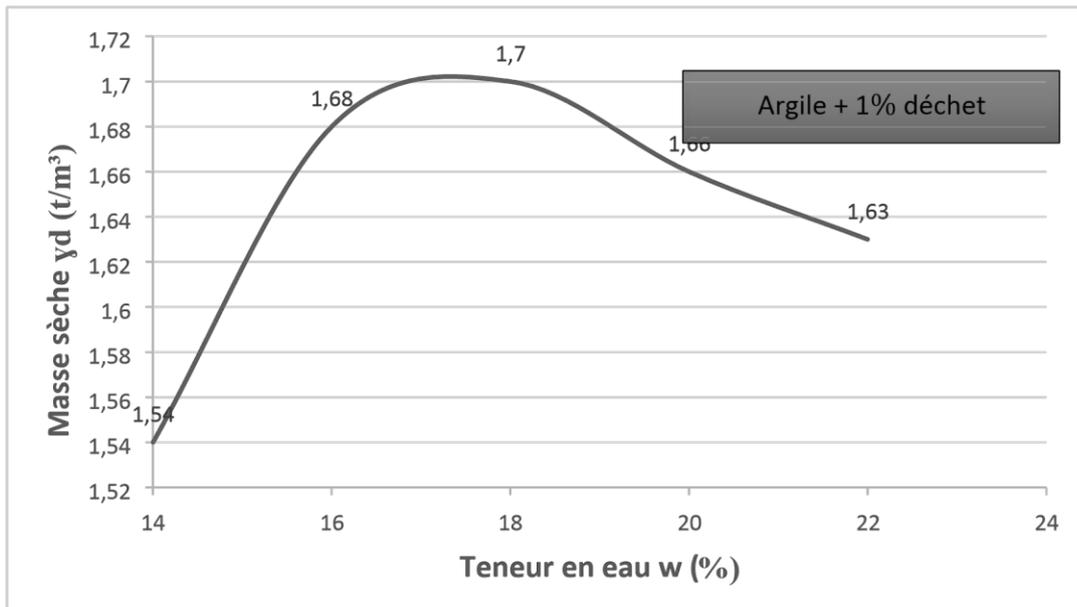
Les variations de la densité sèche en fonction de la teneur en eau sont représentées dans les figures suivantes :

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS



**Figure III.2 : (a)** La courbe de compactage argile reconstitué.

- **Après ajout de déchet de pneu :**



**Figure III.2 : (b)** La courbe de compactage du mélange (argile+1% déchet de pneu).

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

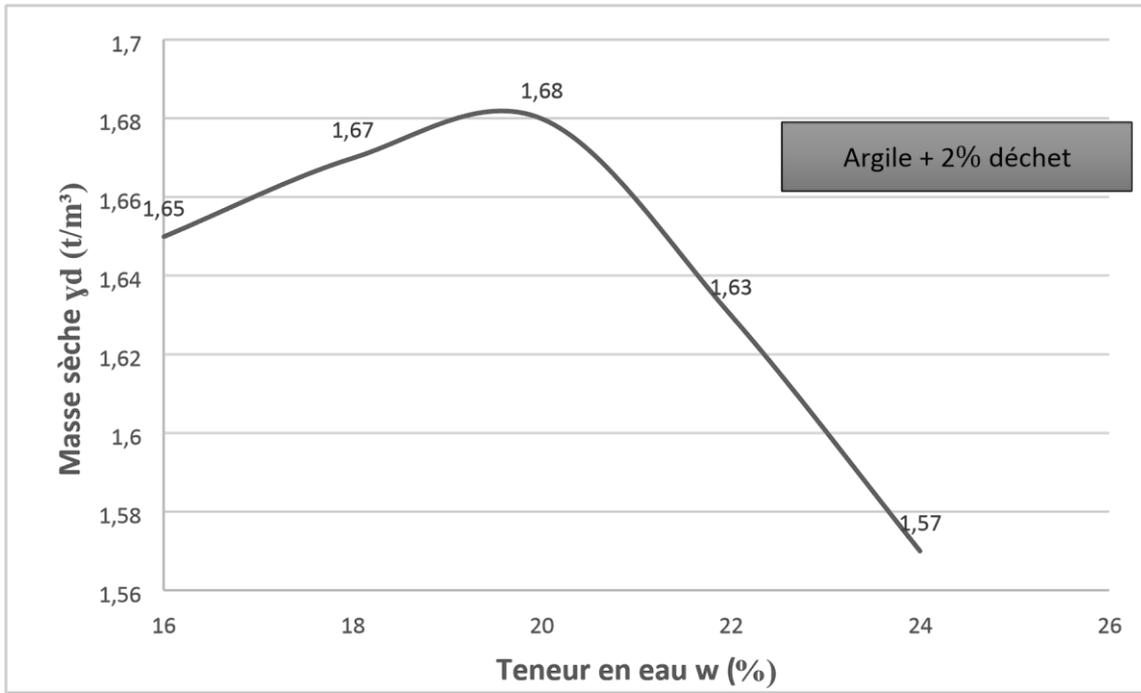


Figure III.2 : (c) La courbe de compactage du mélange (argile+ 2% déchet de pneu).

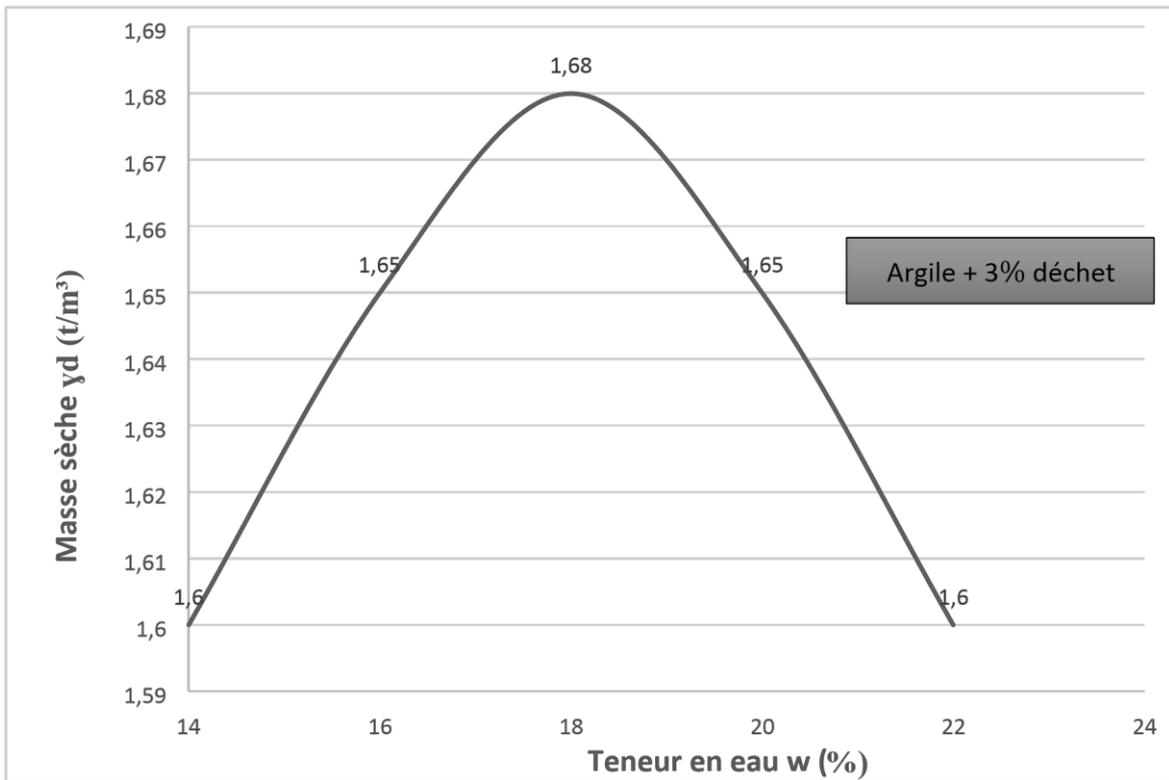
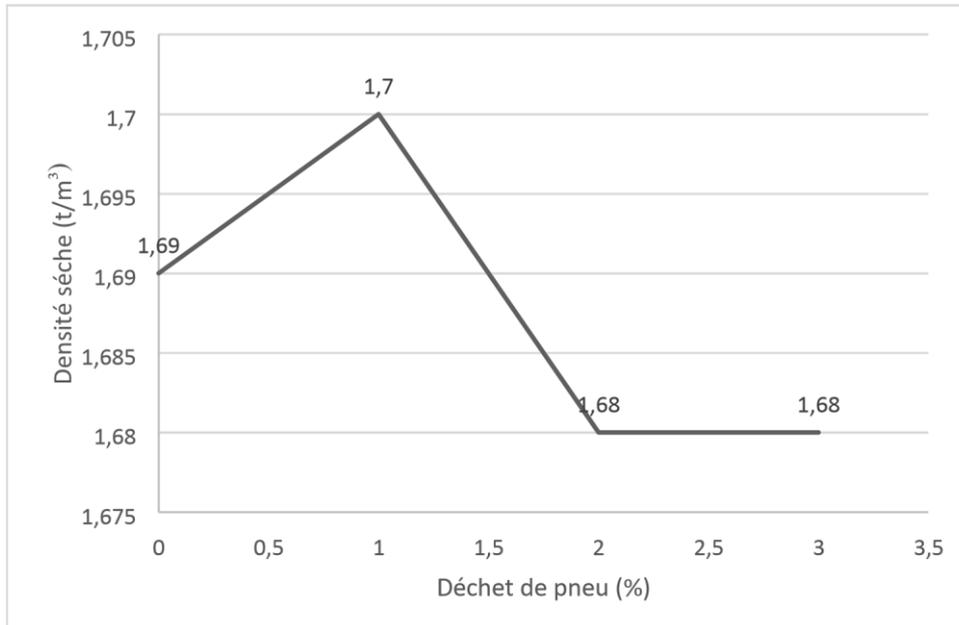
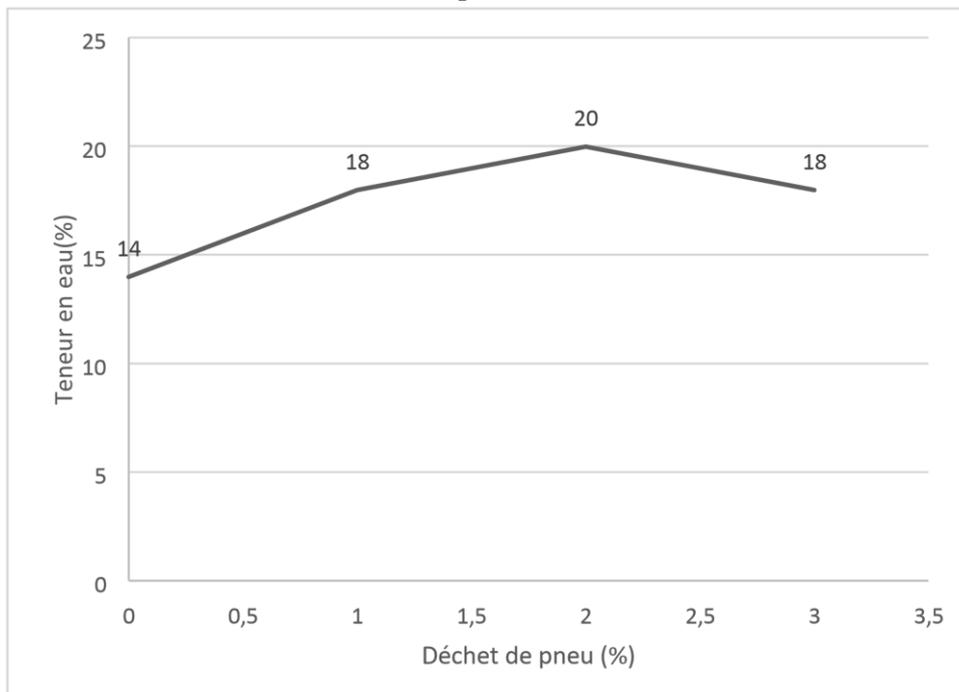


Figure III.2 : (d) La courbe de compactage du mélange (argile+3% déchet de pneu).

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS



**Figure III.3 :** variation de la densité sèche en fonction du % de déchet de pneu.



**Figure III.4 :** variation de la teneur en eau en fonction du % de déchet de pneu.

#### **Conclusion :**

- Ces figures qui représentent les courbes de compactage du sol restitué et du mélange de sol avec déchet expriment qu'avec l'ajout des pourcentages de déchet, les valeurs de la densité sèche maximale sont convergentes.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

- La teneur en eau optimale augmente entre (0 - 2)% et diminue en 3% de déchet.

### III.4.3 Essai de compressibilité à l'odomètre (XP 94-090-01) :

#### Influence du pourcentage de déchet de pneu sur la variation du gonflement et de la consolidation du sol :

Les résultats de l'essai de gonflement pour l'argile traitée à différents % de déchet de pneu sont représentés sur le tableau suivant :

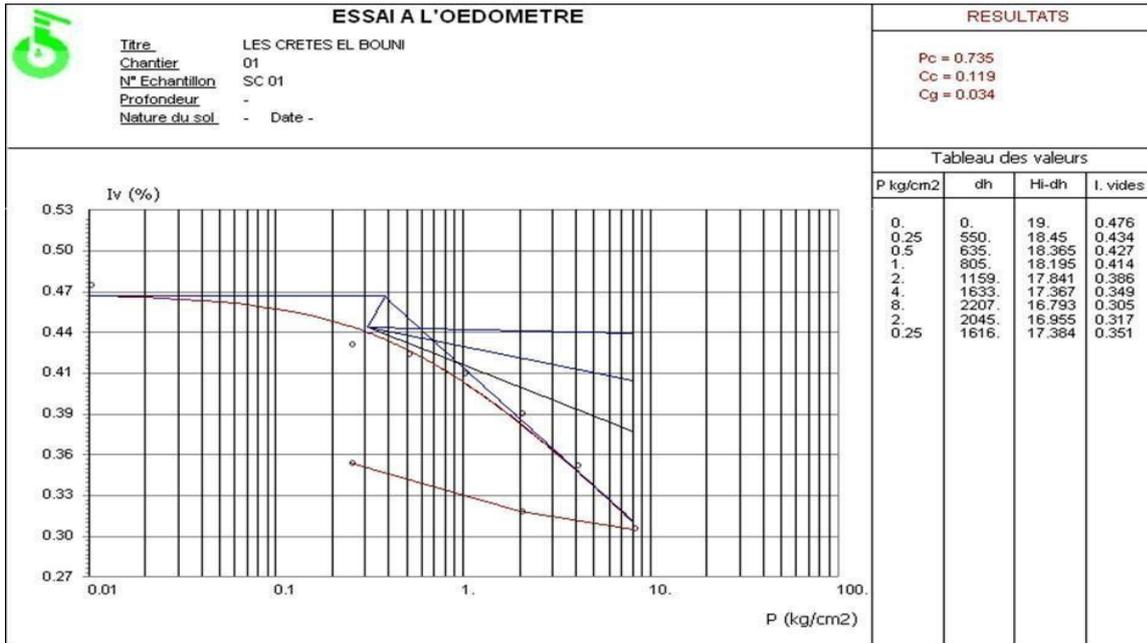
**Tableau III.5** : Influence du pourcentage de déchet de pneu sur l'essai œdométrique

<b>Sol</b> / <b>Paramètre</b>	<b>Pc (bars)</b>	<b>Cc(%)</b>	<b>Cg(%)</b>
<b>Argile +0% de déchets des pneus</b>	0.735	11.9	3.4
<b>Argile +1% de déchets des pneus</b>	1.385	11.8	4.2
<b>Argile +2% de déchets des pneus</b>	1.375	12.6	4.9
<b>Argile +3% de déchets des pneus</b>	2.455	19.6	4.7

La représentation des résultats de l'essai œdométrique pour l'argile traitée à différents % de déchet des pneus sur les courbes suivantes :

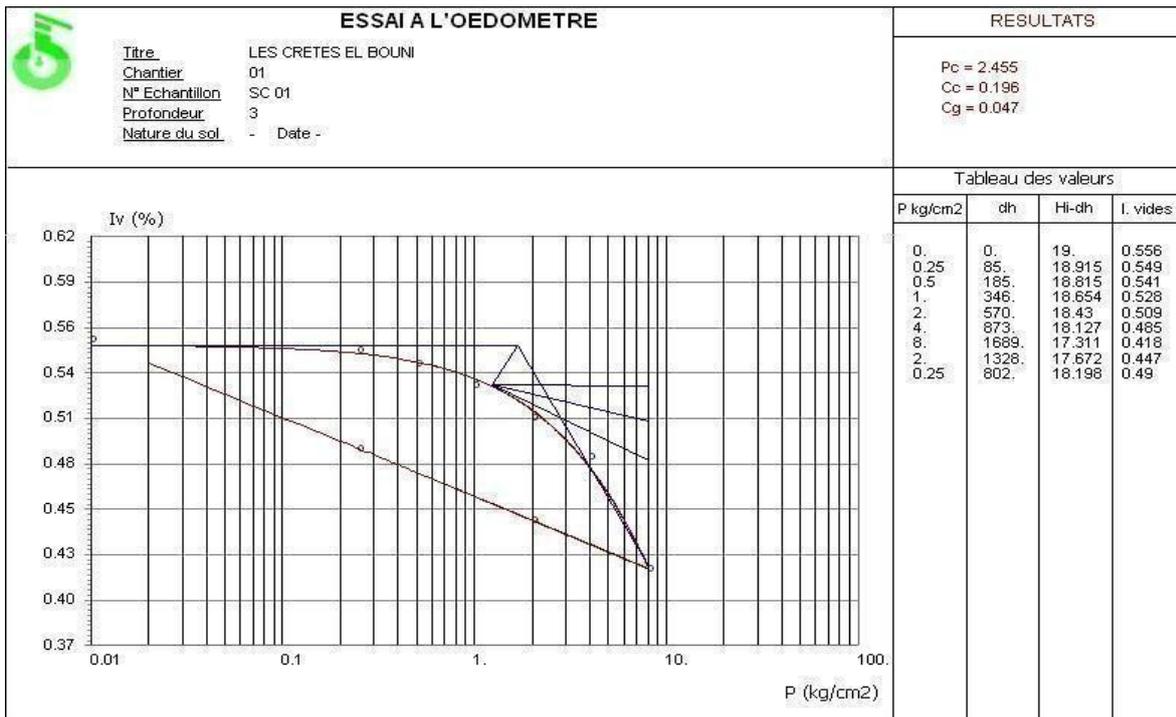
#### A l'état naturel (sol reconstitué) :

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS



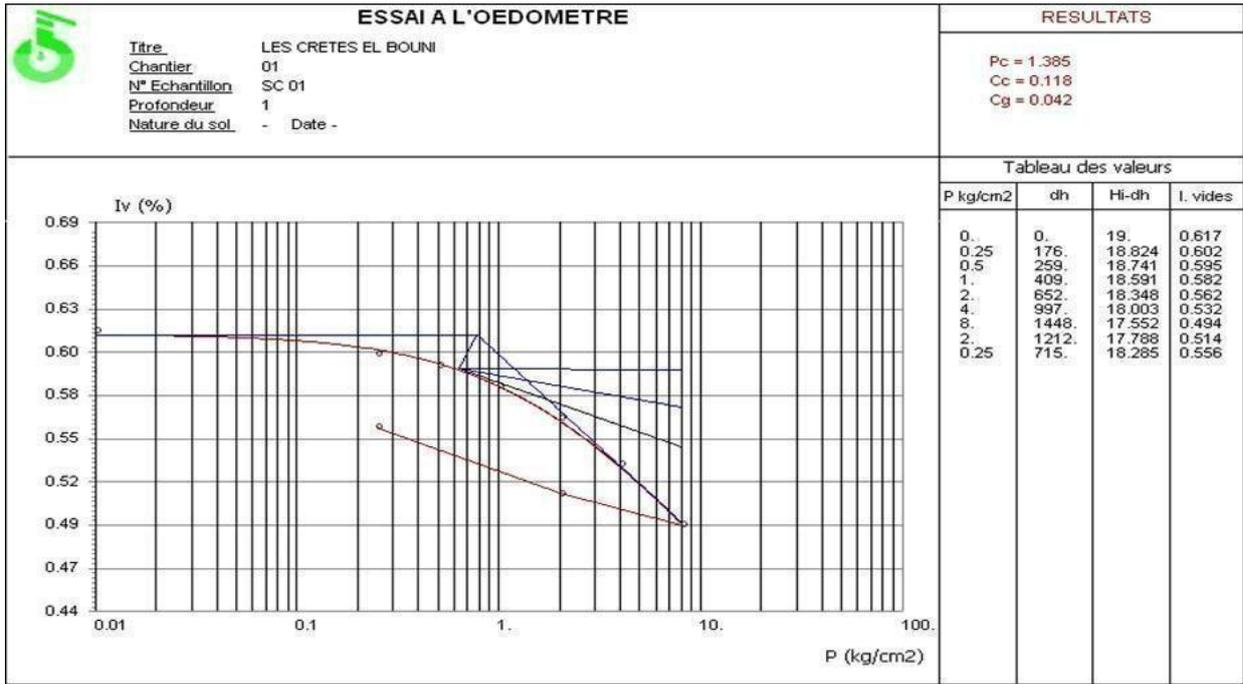
**Figure III.5 (a) : La courbe œdométrique Argile reconstituée.**

**Après ajout de déchet de pneu :**

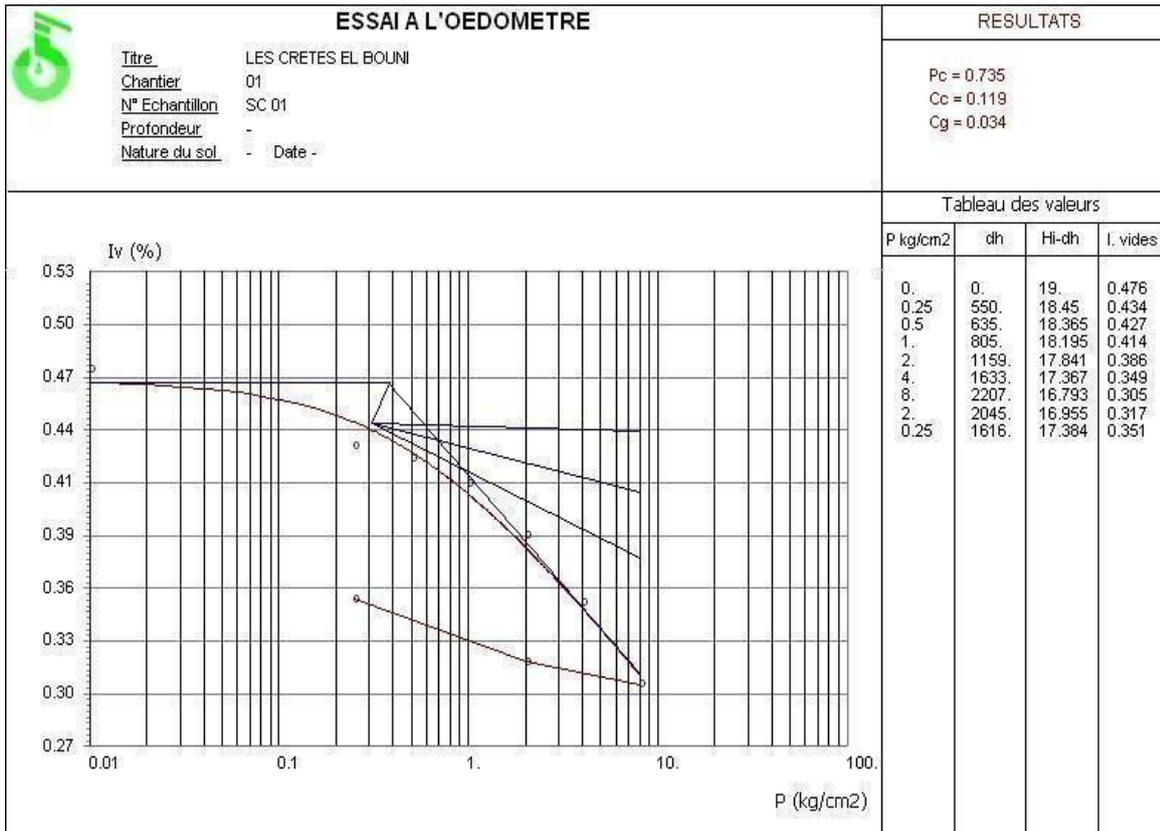


**Figure III.5 (b) : La courbe œdométrique de mélange (Argile + 1% déchet de pneu)**

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

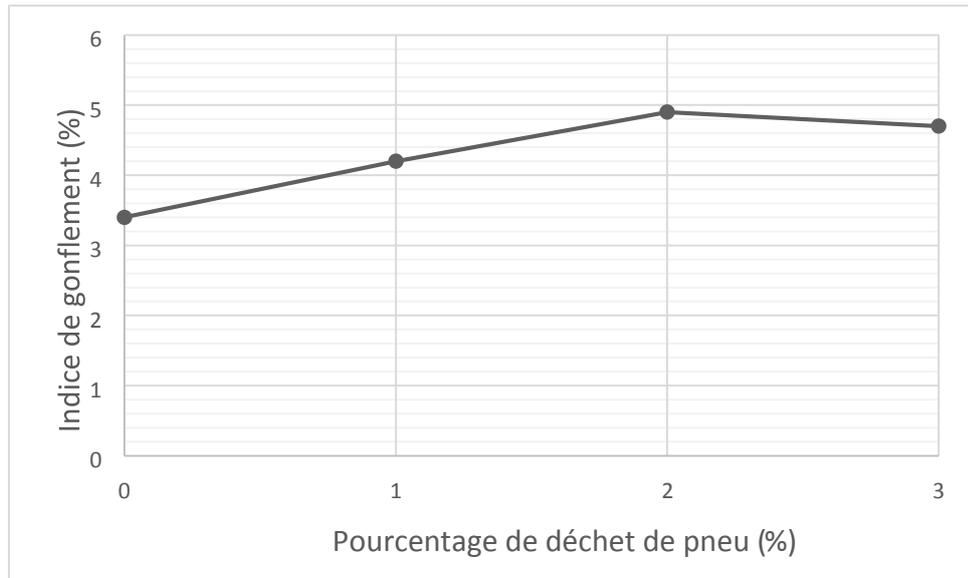


**Figure III.5 (c) :** La courbe œdométrique de mélange (Argile + 2% déchet de pneu).

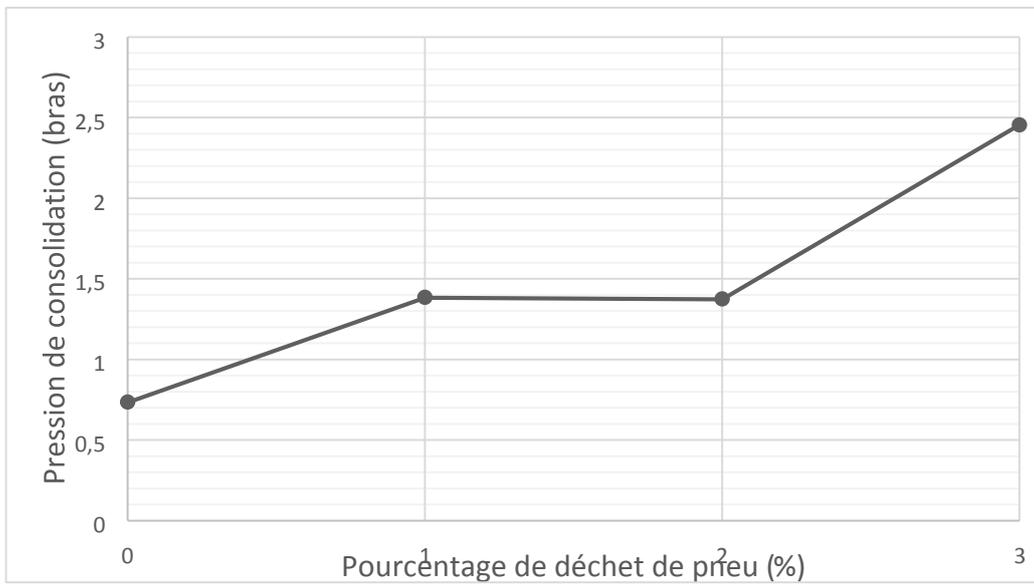


**Figure III.5 (d) :** La courbe œdométrique de mélange (Argile + 3% déchet de pneu).

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

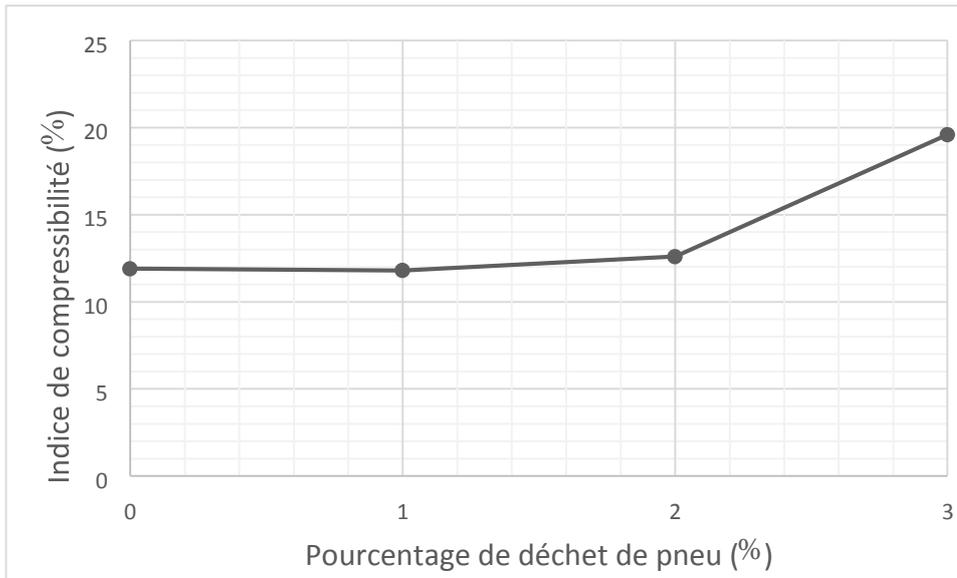


**Figure III.6 :** variation de l'indice de gonflement en fonction du pourcentage de déchet de pneu



**Figure III.7 :** variation de la pression de consolidation en fonction du pourcentage de déchet de pneu

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS



**Figure III.8 :** variation de l'indice de compressibilité en fonction du pourcentage de déchet de pneu

**Tableau III.6 :** Classification de sol selon l'indice de compressibilité

<b><math>C_c &lt; 0.020</math></b>	Sol incompressible
<b><math>0.020 &lt; C_c &lt; 0.050</math></b>	Sol très peu compressible
<b><math>0.050 &lt; C_c &lt; 0.100</math></b>	Sol compressible
<b><math>0.100 &lt; C_c &lt; 0.200</math></b>	Sol moyennement compressible
<b><math>0.200 &lt; C_c &lt; 0.300</math></b>	Sol assez fortement compressible
<b><math>0.300 &lt; C_c &lt; 0.500</math></b>	Sol très compressible
<b><math>C_c &lt; 0.500</math></b>	Sol extrêmement compressible

#### Conclusion :

L'essai de compressibilité à l'œdomètre a donné une augmentation de l'indice de gonflement (déchet de pneu jusqu'à 2%) avec une diminution en 3% et de l'indice de compressibilité en fonction de l'augmentation de la teneur en déchet de pneus c'est à dire le

### CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

passage vers un état moyennement compressible d'où l'intérêt relatif de ces matériaux dans l'amélioration des caractéristiques œdométriques d'un sol argileux et une bonne stabilisation.

## **CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS**

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

### VI INTRODUCTION :

Le déchet de pneu granulé est un de différents fibres artificielles utilisés afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques d'un sol tel que la teneur en eau, la densité sèche, l'indice de gonflement et l'indice de compressibilité.

Dans ce chapitre, certaines des recherches qui ont obtenue certains résultats en utilisant des ajouts spécifiques et qui ont comparées aux résultats de l'ajout utilisé dans cette recherches avec un même pourcentage 1%.

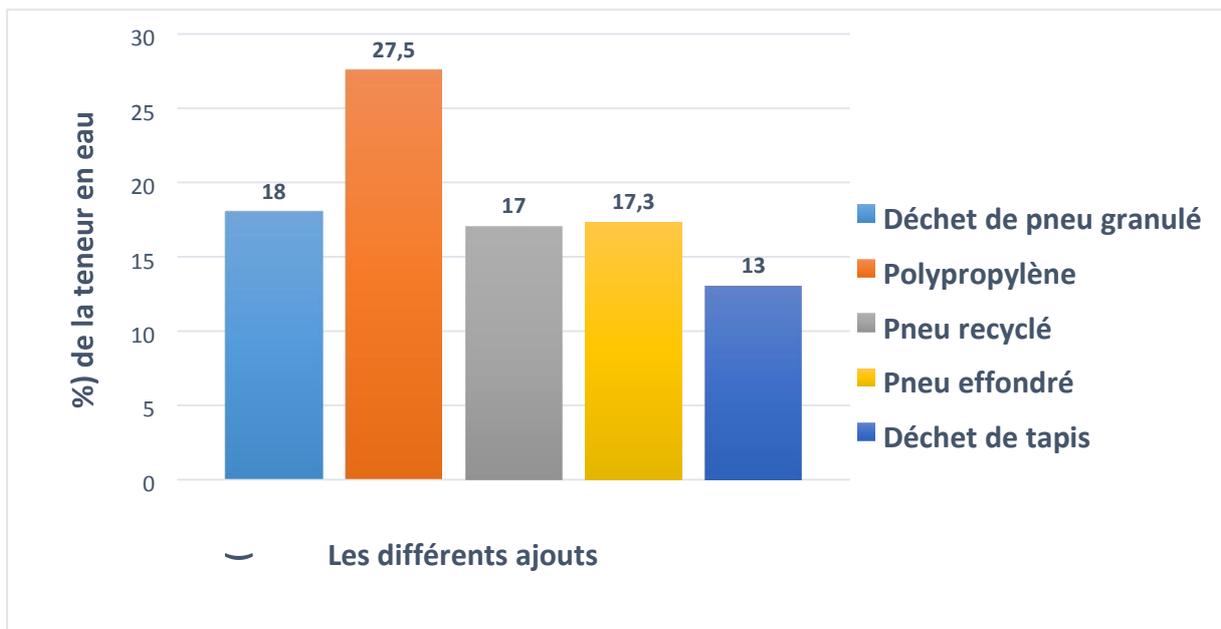
#### Comparaison entre différents ajout de fibres artificielles :

##### 1. Par rapport au teneur en eau et densité sèche :

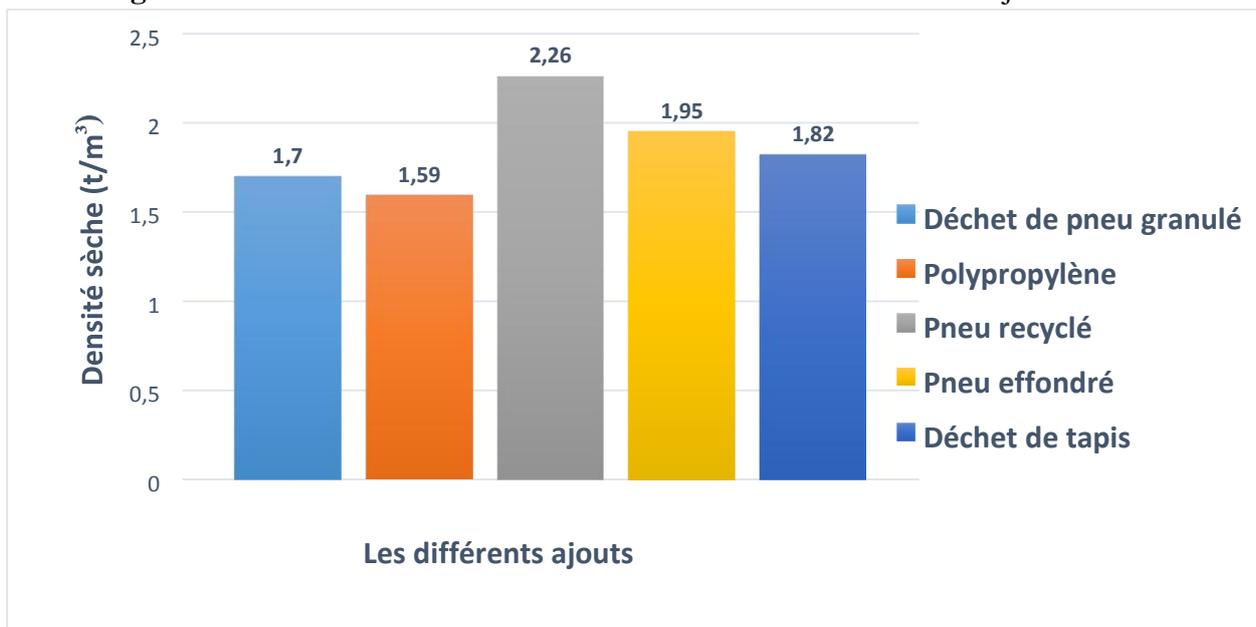
**Tableau IV.1 :** Variation de la teneur en eau et la densité sèche en fonction de différents ajouts.

Mélange de (argile + ajout)	Auteur	(%) de l'ajout	Teneur en eau (%)		Densité sèche (t/m <sup>3</sup> )		Le rapport (%)	
			Avant ajout	Après ajout	Avant ajout	Après ajout	Teneur en eau (%)	Densité sèche (t/m <sup>3</sup> )
<b>Déchet de pneu</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	14	18	1,69	1,70	0,77	0,99
<b>Polypropylène</b>	S.S Ahmed et al (2020)	1	21,9	27,5	1,51	1,59	0,79	0,94
<b>Pneu recyclé</b>	M.F Tafti et al (2016)	1	16,4	17	1,9	2,26	0,96	0,84
<b>Pneu effondré</b>	Aksh Priadarshe et al (2018)	1	17	17,3	1,9	1,95	0,98	0,97
<b>Déchet de tapis</b>	M. Mizrababo ei (2013)	1	14,5	13	1,9	1,82	1,11	1,04

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS



**Figure IV.1 :** Variation de la teneur en eau en fonction de différents ajouts.



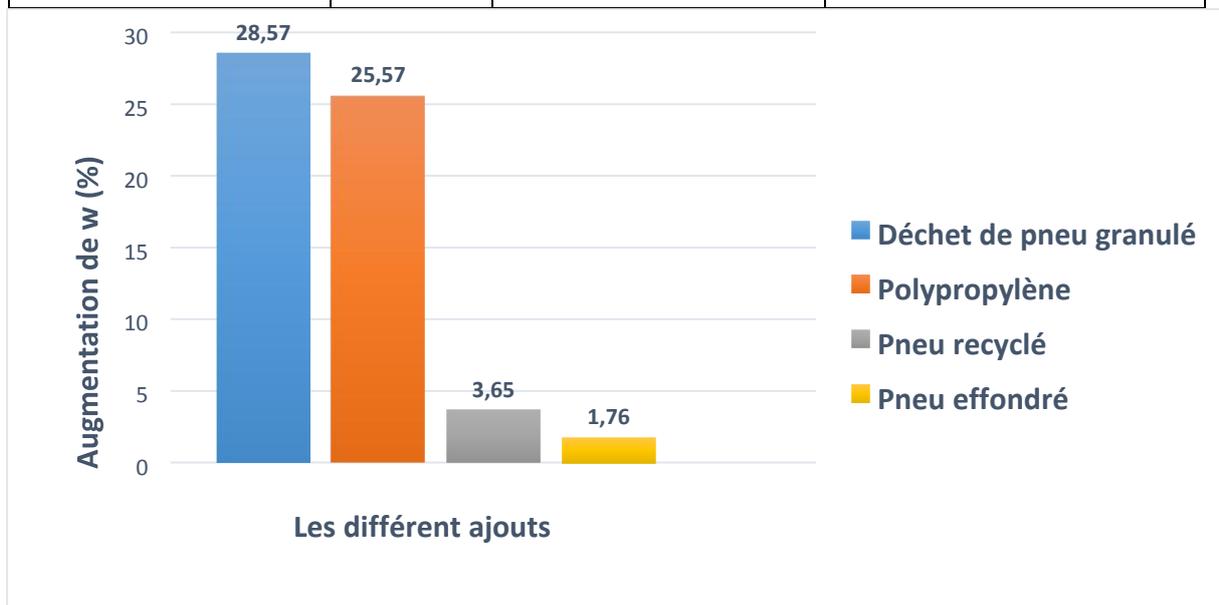
**Figure IV.2 :** Variation de la densité sèche en fonction de différents ajouts.

**Tableau IV.2 :** Augmentation de la teneur en eau après l'ajout trouvé par chaque auteur.

Ajouts	(%) de l'ajout	Auteurs	Augmentation de la teneur en eau après ajout (%)
Déchet de pneu	1	HEMILA et BACHA (2020)	28,57

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

<b>Polypropylène</b>	1	S.S Ahmed et al (2020)	25,57
<b>Pneu recyclé</b>	1	M.F Tafti et al (2016)	3,65
<b>Pneu effondré</b>	1	Aksh Priadarshe et al (2018)	1,76
<b>Déchet de tapis</b>	1	M. Mizrababoei (2013)	Cet ajout subit une diminution de la teneur en eau= -10,34



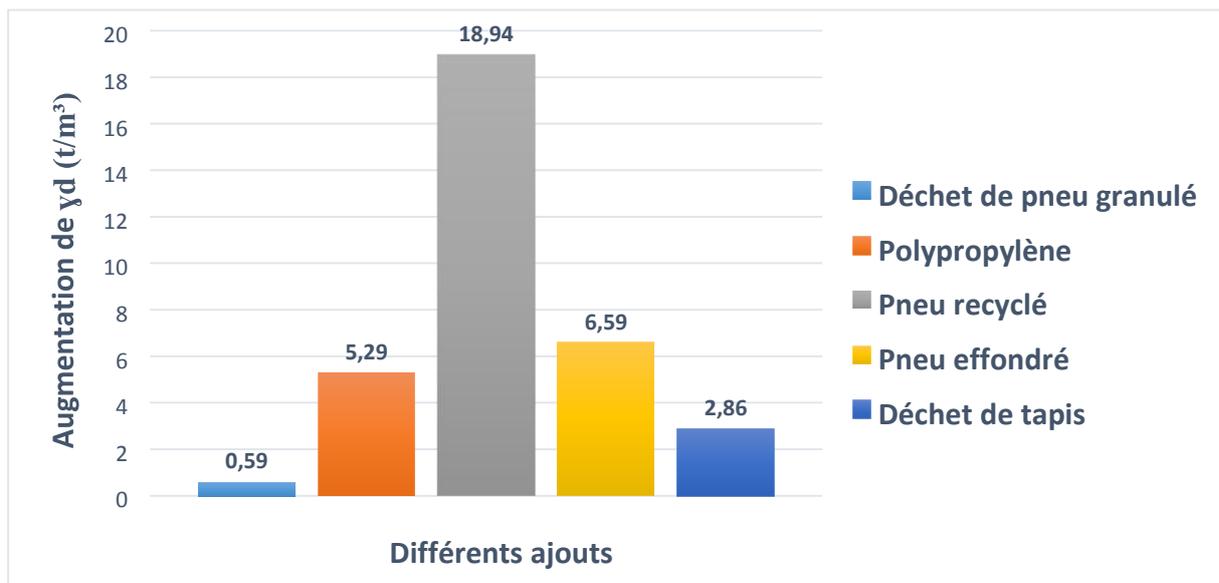
**Figure IV.3 :** Variation de l'augmentation de la teneur en eau en fonction de différents ajouts.

**Tableau IV.3 :** Augmentation de la densité sèche après l'ajout trouvé par chaque auteur.

<b>Ajouts</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Augmentation de la densité sèche (t/m<sup>3</sup>) après ajout</b>
<b>Déchet de pneu</b>	1	HEMILA et BACHA (2020)	0,59
<b>Polypropylène</b>	1	S.S Ahmed et al (2020)	5,29

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

<b>Pneu recyclé</b>	1	M.F Tafti et al (2016)	18,94
<b>Pneu effondré</b>	1	Aksh Priadarshe et al (2018)	6,59
<b>Déchet de tapis</b>	1	M. Mizrababoei (2013)	2,86



**Figure IV.4 :** Variation de l'augmentation de la densité sèche en fonction de différents ajouts.

### Conclusion :

- Il est remarquable que la densité optimale de déchet des pneus ait augmentée comme l'expérience confirme ça (S.S Ahmed et al (2020), M.F Tafti et al (2016), Aksh Priadarshe et al (2018) et M.

Mizrababoei (2013)).

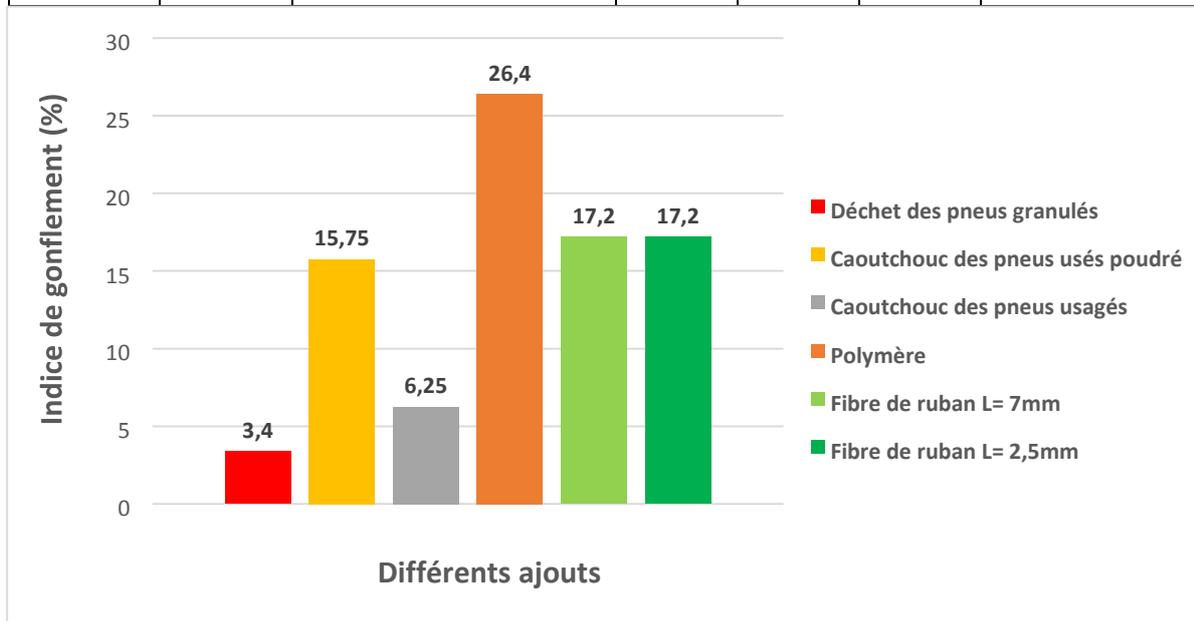
- Mais en comparant avec les différents ajouts, le pneu recyclé est le meilleur parce qu'il absorbe peu d'eau et il atteint une densité maximale.

### 2. Par rapport à l'indice de gonflement et l'indice de compressibilité :

**Tableau IV.4 :** Variation de l'indice de gonflement avant et après l'ajout.

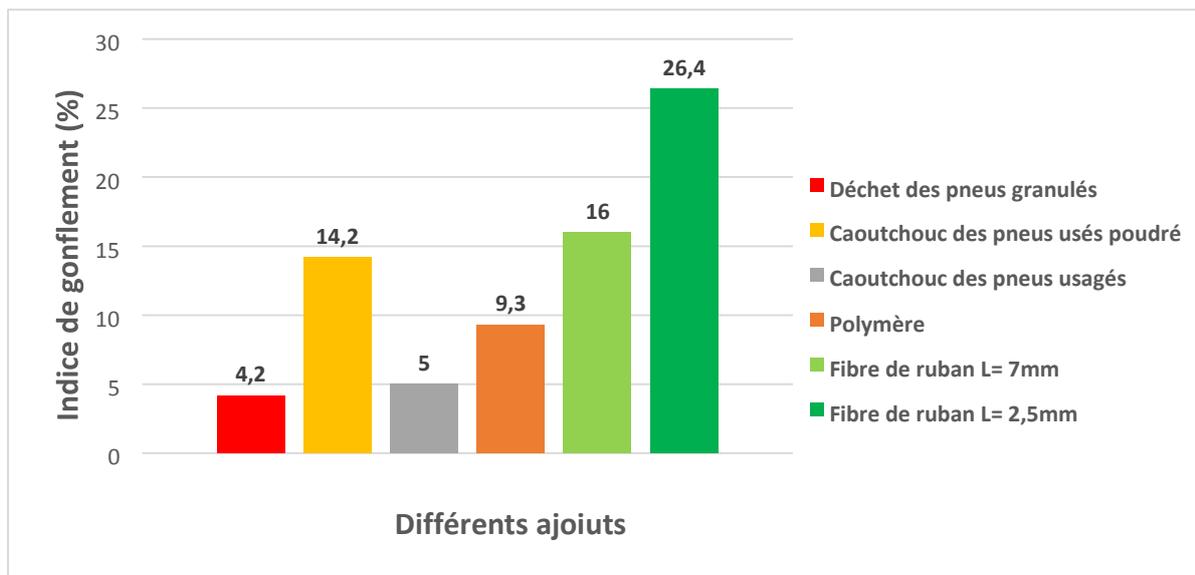
## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

Ajout	Auteurs	(% de l'ajout)	Indice de gonflement (%)		Le rapport (%)
			Avant ajout	Après ajout	
Déchet des pneus granulés	HEMILA et BACHA (2020)	1	3.40	4.20	0.8
Caoutchouc des pneus usés poudré	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	15.75	14.2	1.10
Caoutchouc des pneus usagés	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	6.25	5	1.25
Polymère	A. Soltani et al 2017	1	26.4	9.3	2.8
Fibre de ruban	A. Taheri et al 2017	1	17.2	26.4	0.65
		1	17.2	16	1.07



**Figure IV.5** : variation de (%) de l'indice de gonflement avant ajouts.

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

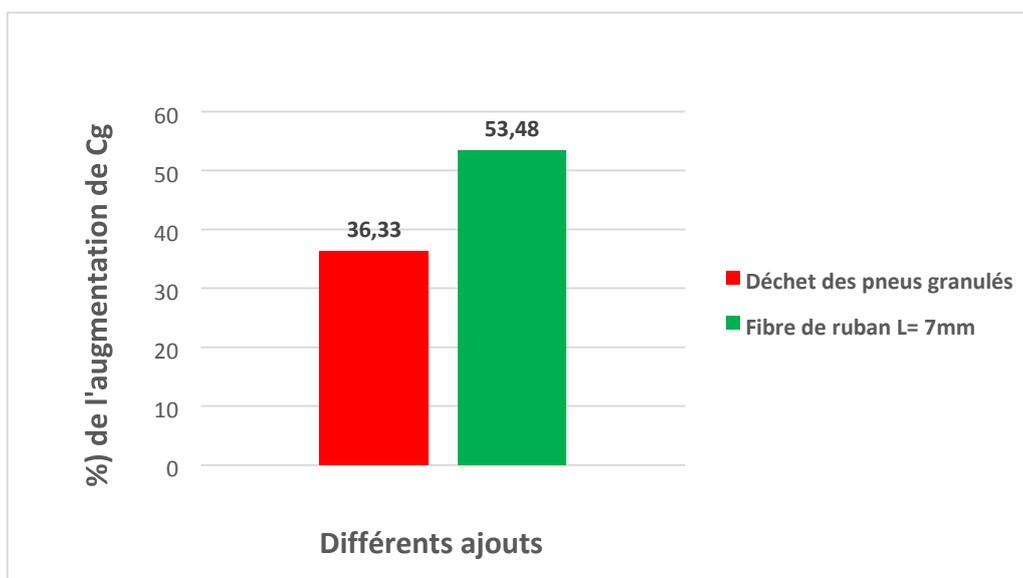


**Figure IV.6 :** variation de (%) de l'indice de gonflement après ajouts.

**Tableau IV.5 :** Variation de l'augmentation de l'indice de gonflement après l'ajout.

Ajouts	Auteurs	(%) de l'ajout	Augmentation de Cg (%)
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	36.33
<b>Caoutchouc des pneus usés poudré</b>	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	Ces ajouts ne subit pas une
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	augmentation de l'indice de gonflement
<b>Polymère</b>	A. Soltani et al 2017	1	
<b>Fibre de ruban L= 2,5mm</b>	A. Taheri et al 2017	1	53.48

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

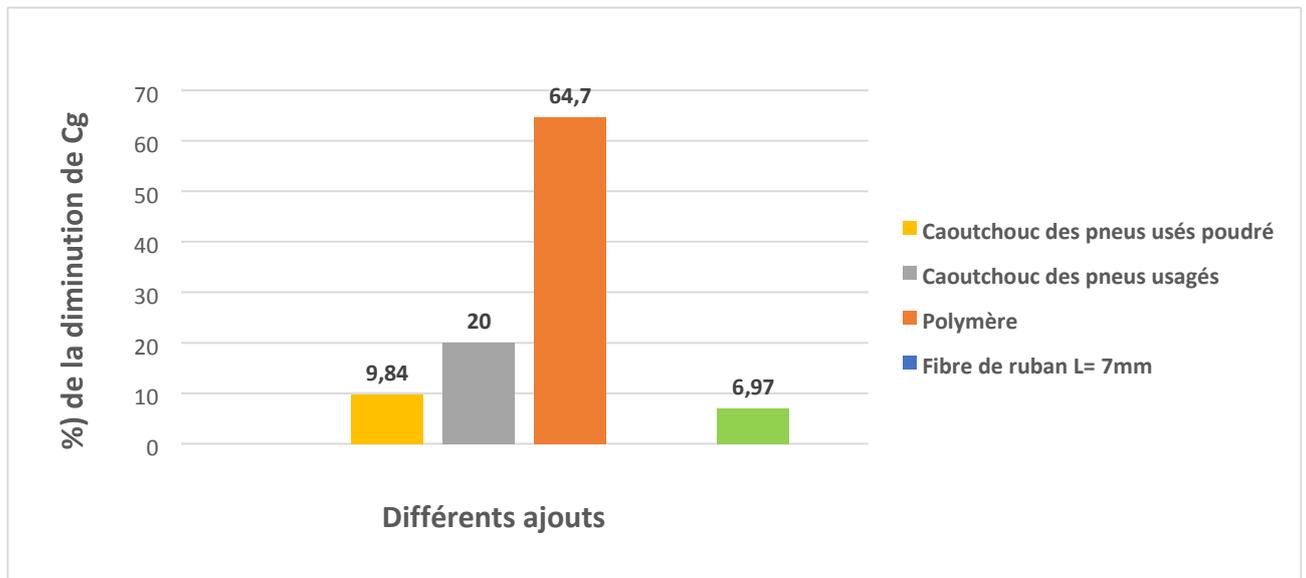


**Figure IV.7 :** variation de (%) de l'augmentation de Cg après ajouts.

**Tableau IV.6 :** Variation de la diminution de l'indice de gonflement après l'ajout.

Ajouts	Auteurs	(%) de l'ajout	Diminution de Cg (%)
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	Cet ajout ne subit pas une diminution de Cg
<b>Caoutchouc des pneus usés poudré</b>	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	9.84
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	20
<b>Polymère</b>	A. Soltani et al 2017	1	64.7
<b>Fibre de ruban L= 7mm</b>	A. Taheri et al 2017	1	6.97

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

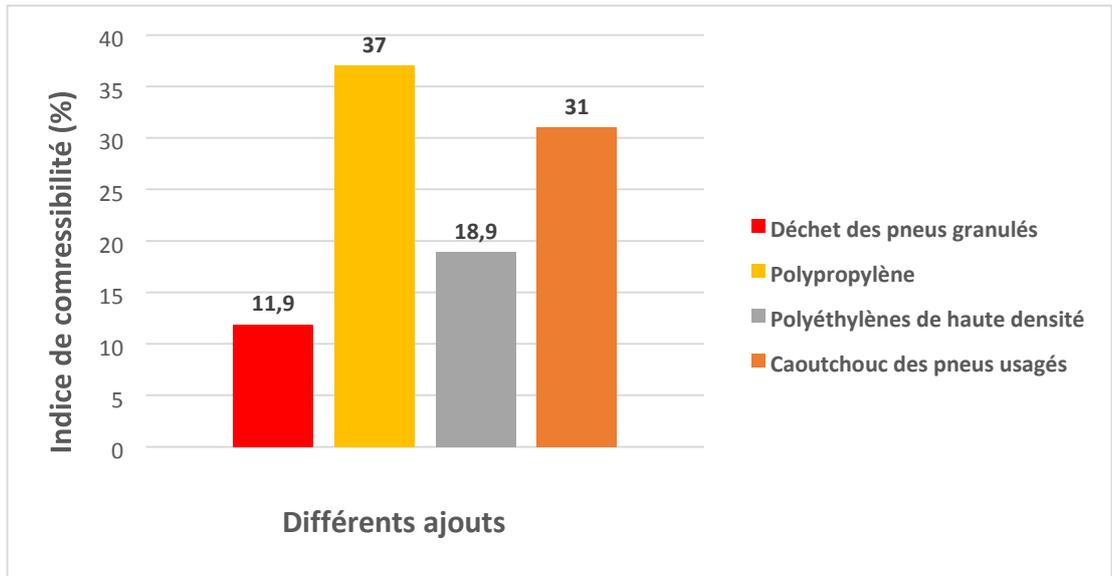


**Figure IV.8 :** variation de (%) de la diminution de Cg après ajouts.

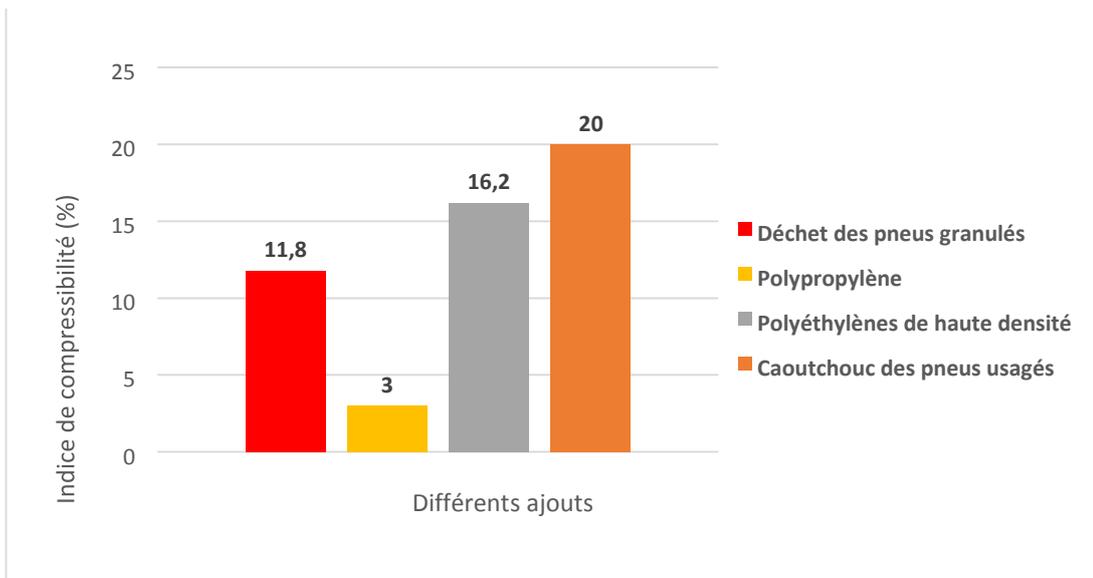
**Tableau IV.7 :** Variation de l'indice de compressibilité avant et après l'ajout.

Ajout	Auteurs	(%) de l'ajout	Indice de compressibilité (%)		Le rapport (%)
			Avant ajout	Après ajout	
<b>Déchets des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	11.9	11.8	1
<b>Polypropylène</b>	E. Emanuel et al 2020	1	37	3	12.33
<b>Polyéthylènes de haute densité</b>	S.M.Kodary et al 2017	1	18.9	16.2	1.16
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	31	20	1.55

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS



**Figure IV.9 :** variation de (%) de l'indice de compressibilité avant ajouts.

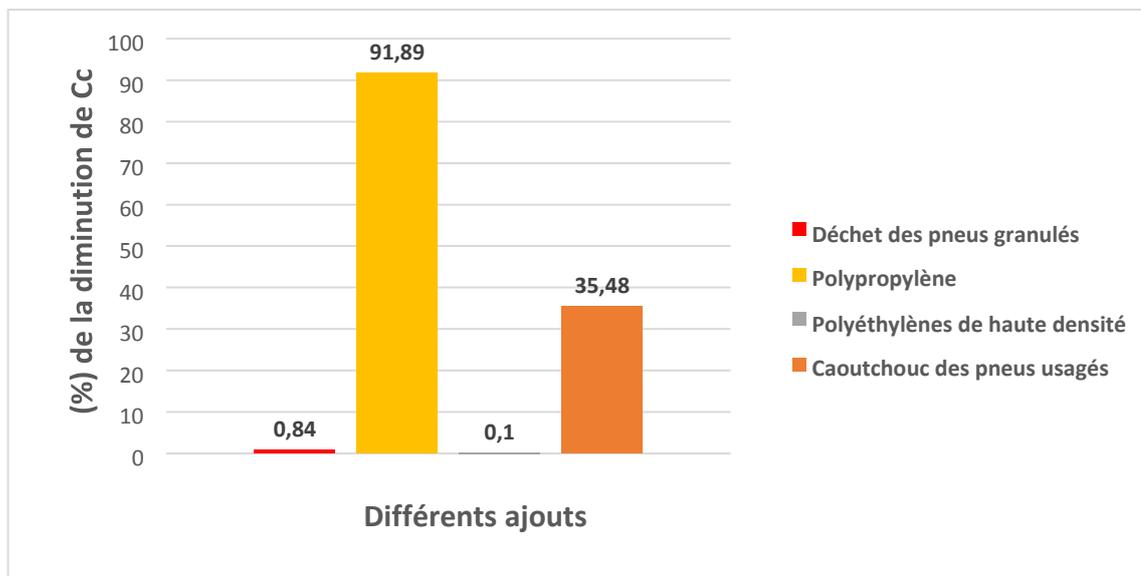


**Figure IV.10 :** variation de (%) de l'indice de compressibilité après ajouts.

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

**Tableau IV.8 :** Variation de la diminution de l'indice de compressibilité après l'ajout.

Ajout	Auteurs	(%) de l'ajout	Diminution de Cc (%)
Déchet des pneus granulés	HEMILA et BACHA (2020)	1	0.84
Polypropylène	E. Emanuel et al 2020	1	91.89
Polyéthylènes de haute densité	S.M.Kodary et al 2017	1	0.1
Caoutchouc des pneus usagés	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	35.48



**Figure IV.11 :** variation de (%) de la diminution de Cc après ajouts.

## CHAPITRE IV : COMPARAISON DES RESULTATS

### Conclusion :

- Puisque le sol argileux est déjà un matériau gonflant, il est important de chercher des ajouts afin d'améliorer ce sol en diminuant l'indice de gonflement et l'indice de compressibilité.
- L'étude de l'indice de gonflement d'un sol argileux avec différents ajouts exprime que certains fibres influent positivement tel que le caoutchouc, le polymère et les fibres de ruban de L= 7mm, et d'autres influent négativement tel que le déchet de pneus granulés et les fibres de ruban de L= 2,5mm.
- Le polymère est le meilleur ajout en diminution de l'indice de gonflement dans cette étude.
- En étudiant l'indice de compressibilité d'un sol argileux avec différents ajouts de même pourcentage exprime que tous les ajouts utilisés ont une influence positive sur le sol avec des valeurs variables.
- Le meilleur parmi ces ajouts est bien le polypropylène avec une très grande diminution de la compressibilité.
- Le déchet de pneu granulés est donc favorable rien qu'en intempérie parce qu'il consomme beaucoup d'eau, teneur en eau élevée après ajout, pour augmenter son compressibilité d'où un tassement faible.
- La prochaine recherche sera une association entre les meilleurs ajouts trouvés par cette comparaison, en mélangeant le pneu recyclé, le polymère et le polypropylène

# CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE :

Plusieurs conclusions ont été tirées de ce travail :

- La substitution d'une quantité de déchets de pneus dans un sol argileux a une action positive sur l'amélioration de la plasticité de ce matériau. Alors l'addition de déchet donne une diminution importante de la sensibilité de l'argile.

- Le rajout du déchet attaque aussi les paramètres de la compactibilité, une augmentation de la teneur en eau et une diminution de la densité sèche maximale est constatée.

- Ainsi l'expérience démontre l'influence positive des déchets de pneus sur les limites d'Atterberg d'un sol qui devient plastique. Ce qui contribue à l'amélioration de sa consistance et sa sensibilité à l'eau.

Ce qu'il fait passer le sol d'une classification d'une argile.

- Les résultats de l'essai de Proctor montrent que : L'agglomération des particules d'argile qui provoque la visualisation des vides, donc la teneur en eau optimum augmente pour les remplir, et par cela il a permis d'accroître la portance du sol en diminuant les pores.

- Il est remarquable que la densité optimale de déchet des pneus ait augmentée comme l'expérience confirme ça (S.S Ahmed et al (2020), M.F Tafti et al (2016), Aksh Priadarshe et al (2018) et M.

Mizrababoei (2013)).

- Mais en comparant avec les différents ajouts, le pneu recyclé est le meilleur parce qu'il absorbe peu d'eau et il atteint une densité maximale.

- L'essai de compressibilité à l'œdomètre a donné une augmentation de l'indice de gonflement jusqu'à 2% de déchet avec une diminution en 3%.

- Puisque le sol argileux est déjà un matériau gonflant, il est important de chercher des ajouts afin d'améliorer ce sol en diminuant l'indice de gonflement et l'indice de compressibilité.

- L'étude de l'indice de gonflement d'un sol argileux avec différents ajouts exprime que certains fibres influent positivement tel que le caoutchouc, le polymère et les fibres de ruban de L= 7mm, et d'autres influent négativement tel que le déchet de pneus granulé et les fibres de ruban de L= 2,5mm.

- Le polymère est le meilleur ajout en diminution de l'indice de gonflement dans cette étude.
- En étudiant l'indice de compressibilité d'un sol argileux avec différents ajouts de même pourcentage exprime que tous les ajouts utilisés ont une influence positive sur le sol avec des valeurs variables.
  - Le meilleur parmi ces ajouts est bien le polypropylène avec une très grande diminution de la compressibilité.
  - Le déchet de pneu granulé est donc favorable rien qu'en intempérie parce qu'il consomme beaucoup d'eau, teneur en eau élevée après ajout, pour diminuer sa compressibilité d'où un tassement faible.
  - La prochaine recherche sera une association entre les meilleurs ajouts trouvés par cette comparaison, en mélangeant le pneu recyclé, le polymère et le polypropylène.

## REFERENCE

- [1] Abou Diab, A., Najjar, S.S., Sadek, S., Taha, H., Jaffal, H., Alahmad, M., Effect of the compaction method on the untrained strength of fiber-reinforced clay. The grounds; 2018.
- [2] 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 .
- [3] Akbulut, S., Hasiloglu, A.S., Pamukcu, Data generation for shear modulus and damping ratio in rein force sands using adaptive Journée d'Étude Scientifique et Technique sur les produits Géo synthétiques 11 Ouargla le, 10/ 03/ 2016 neuro-fuzzyyin ference system. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, No. 11(2004), 805–814 .
- [4] Al-Akhras, N.M., Attom, M. F., Al-Akhras, K. M., Malkawi, A. I. H., Influence of fibers on the swelling properties of clay soils. Geosynthetics International 15, n ° 4 (2008), 304–309.
- [5] Al-Omari, Raid, Saad Ibrahim, and Ishraq Al-Bayati. “Effect of potassium chloride on cyclic behavior of expansive clays.” International Journal of Geotechnical Engineering 4.2(2010):231-239.doi: org /10.3328/IJGE.2010.04.02.231-239 .
- [6] AKsh, Priyadarshe. Arvind, kumar. Deepak, Gupta.” compaction and strength behavior of Tire Crumbles – fly Ash mixed with clay; Avril 2018 .
- [7] Belabdelouahab F., Djilali Z., « Recherche-Valorisation pneumatiques usagés dans la protection de l’environnement » 19ème Congrès Français de Mécanique, Marseille, 2009 .
- [8] Bekhiti, Malik., Trouzine, Habib., Rebehi, Mohamed, Influence of waste tire rubber fibers on swelling behavior, UCS and ductility of cement stabilized bentouite clay soil, 2019.
- [9] C, Gelder. G.J.Foumes, Mixing and Compaction of fiber and lime modified cohesive soil.
- [10] Emanuel, Endure., young, Lee., Vihaan, Shual Jayewardene. Vivi, Anggrain, Expansive and compressibility Behavior of lime stabilized fiber-Reinforced Marine clay, 2020.
- [11] F, Mousavi. E, Adbi. H.Rahimi, effect of polymer stabilizer on swelling potential and CBR of forest roed material, 2014.

- [12] Gram, H.E., Durability of natural fibres in concrete, CBI Research No. 1-83, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm, 1983, 255p.
- [13] J ,Transp, Georges RN, Hassan RA, Evans RP, Jegatheesan P ,Effect of the use of a stabilizing polymer additive on the unconfined compressive strength of soils. Map Transp RES Rec.; 2015.
- [14] J.S.Yadav., S.k.Tiwari, effect of waste rubber fibers on the geotechnical properties of clay stabilized with cement, December 2017.
- [15] Jouenne, 1975 ; Ben Hajj –Amara et al, 1987 ; Du chauffour ,1988.
- [16] Journal officiel de la République Algérienne n°77 du 15/12/2001.
- [17] Jones, 1988; Tessier, 1989; Dyer and Gallardo, 1990.
- [18] Kalkan, Ekrem. "Impact of Wetting –drying cycles on swelling behavior of clayey soils modified by silica fume. «Applied Clay Science 52.4 (June 2011) :345-352.doi : 10.1016/j.clay.2011.03.014.
- [19] Kalkan, Ekrem. « Preparation of scrap tire rubber fiber-silica fume mixture for modification of clayey soil, 2013.
- [20] Kin.Y.T. T.Kang H.S, Effects of rubber and bottom ash inclusion on geotechnical characteristic of composite geometrical, 2013.
- [21] Kodary, Safia M., EL-Wakil, Amer Z., Tewfik, Ahmed, effect of high-density polyethylene on Engengu properties of clay, 2017.
- [22] 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.
- [23] Long N T., Le Pneu sol : recherché-réalisations-perspectives, thèse de doctorat du LCPC, INSA Lyon, 1993Morel 1989.
- [24] M.Bekhiti1, H. Trouzine1, 3, F. Belabdelouahab2, 3, influence des fibres de caoutchouc sur le potentiel de gonflement des argiles, Journée d'Étude Scientifique et Technique sur les Produits Géo synthétiques, Ouargla le, 10/ 03/ 2016.
- [25] MazabirM.M.Taher., Cheng Per Feng., Sarah, S, Ahmed, Influence of polypropylene Fibre Reinforcement on Mechanical properties of clay soil, 2020.

- [26] Melekzadeh.M, « effect of Polypropylene Fiber and Posidonia Oceanica Ash on the Behavior of Expansive Soil. » Doctoral dissertation, Eastem Mediterranean University (EMU) (2012).
- [27] Mizrababoei,Mehdi.,Miraftab,Mohsen.,Mostafa,Mohamed.,McMahon,P, Unconfined compression strength of reinforced clays with carpet waste fibers, 2013.
- [28] Mohcen Abbaspoor; Esmail Aflaki, Fereidoon Moghadas Nejad ,Re-use of textile fibers from used tires as floor reinforcement Cleaner Production Journal, Volume 207, OCTOBER 2018, pages 1059-1071.
- [29] Nilsson, L.H., Reinforcement of concrete with sisal and other vegetable fibres, Swedish Council for Building Research, Document DIY, Stockholm, Sweden, 1975, 68p.
- [30] Ouslati Fatima; Mender souheyla, 2019.
- [31] Ratua.R., Ventesuaria, T., Anditya.D., Sai Ran, Use of lime and waste plastic for subgrade stabilization, 2018.
- [32] Rehab Bekkouche Souhila, 2Boukhatem Ghania, 1Mendjel Djenette, Mechanical Behavior of Clay Reinforced by Layers of Polymer, International Invention of Scientific Journal ISSN: 2457-0958, 2010.
- [33] 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.
- [34] Sellaf, H., Trouzine, H., Hamhami.M., Asron, A, Geotechnical properties of rubber tire and sediments mixtures, 2014.
- [35] Soltani, Amir., An Deng., Abbas Taheri, ”Swell-compression characteristics of a fiber –reinforced expansive soil. «Geotextiles and Geomembranes 46.2(2018):183189.doi:10.1016/j.geotextmem.2017.11.009.
- [36] Soltani,Amir.,Taheri,Abbas.,Khalili,Mehdi.,Estabragh,A,R, “Swelling potential of a stabilized expansive soil: A comparative Experimental study,2017.
- [37] Tafti, MF., Emael, MZ, impact of using Recycled Tire fibers on the mechanical properties of Clayey and Sandy soils, 2016.

- [38] Trouzine, H., Asroun, A., Long, N. T., Pneus uses ET sols gonflants, Actes du ORGAGEC'08 Thiard European Symposium. Organic materials for construction: Technical and environmental performances, Paris, Marne-la-Vallée, 2008.
- [39] Trouzine, H., Bekhiti, M., Asroun, Effects of fiber waste tire rubber on the swelling behavior of two clay soils in Algeria, Geosynthetics International, N., 19, N °. Two (2012), January 2012.
- [40] Yazdandoust, Fatema, S.Shahaboddin Yasrobi. "Effect of cyclic wetting and drying on swelling behavior of polymer-stabilized expansive clays. «Applied Clay Science 50.4(December 2010):461-468 doi:101016/j.clay.2010.09.006.
- [41] Y.Yilmaz, Compaction and Strength characteristics of fly ash and fibe amended clayey soil, 2015.

## ANNEXE



Le site des crêtes EL-BOUNI

### **TENEUR EN EAU (NF P 94-050) :**

<b>Echantillon</b>	<b>I</b>
<b>N° tare</b>	A3
<b>Masse humide +tare (g)</b>	399.364
<b>Masse sèche +tare(g)</b>	359.900
<b>Masse de l'eau(g)</b>	39.464
<b>Masse de tare (g)</b>	46.4

<b>Masse humide(g)</b>	352.964
<b>Masse sèche(g)</b>	313.500
<b>Teneur en eau ((mhms)/ms)*100 (%)</b>	12

**GRANULOMETRIE (NF P94-056) :**

Masse : 400g

<b>Tamis</b>	<b>Masse refus R cumulé (g)</b>	<b>Refus cumulé r</b>	<b>Tamisât cumulé p</b>
10	4.60	1.15	98.85
5	23	5.75	94.25
1	47.5	11.87	88.23
0.4	76.7	15.15	84.85
0.2	96.7	24.20	75.80
0.1	/	/	/
0.08	137.60	34.45	65.55

**SEDIMENTOMETRIE :**

<b>Temps de lecture</b>	<b>Lecture densimètre R</b>	<b>Température T (°C)</b>	<b>Correction température Ct</b>	<b>Lecture corrigée RC</b>	<b>Passant de l'échan (%)</b>	<b>Diamètre équivalent D (mm)</b>
30	1,025	18	-0,002	1,0235	61,09	0,062236
60	1,024	18	-0,002	1,0225	58,489	0,044008
120	1,022	18	-0,002	1,0205	53,290	0,031118
300	1,02	18	-0,002	1,0185	48,091	0,020968
600	1,018	19	-0,0015	1,0155	40,292	0,014877
1200	1,016	19	-0,0015	1,015	38,992	0,010661
2400	1,014	19	-0,0015	1,013	33,793	0,007638
4800	1,011	20	-0,0015	1,01	25,995	0,005504
14400	1,01	20	-0,0015	1,009	23,395	0,003197
86400	1,008	18	-0,002	1,0065	16,897	0,001321

**LIMITE D'ATTERBERG (NF P94-051, NF P94-056) :**

essai	Limite de liquidité				Limite de plasticité	
N° de l'essai	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai1	Essai2
Nombre de coup	17	21	25	31	/	/

Nom de tare	AP	HY	BAS	VN	SL	BAB	HZ	LZ	CR	XE
Masse humide +tare	2371	2290	2175	2310	2270	2537	2454	2473	1594	1873
Masse humide	1780	1703	1590	1729	1695	1727	1650	1666	1450	1730
Masse sec +tare	2153	2073	1963	2099	2063	2249	2172	2190	1563	1844
Masse humide	591	587	885	581	575	810	804	807	144	143
Masse sec	373	370	373	370	368	522	522	524	113	114
Masse de l'eau	218	217	212	211	207	288	282	283	31	29
<b>2</b>	58.44	58.64	56.8	57.02	56.25	55.77	54.02	54	27.43	25.43
<b>Moyenne</b>	58.5		56.9		55.7		54		26.4	
<b>Limite d'Atterberg</b>	<b>WI=56</b>								<b>Wp=26</b>	
<b>Indice de plasticité Ip=WI-Wp</b>	<b>30</b>									

**PROCTOR (NF P94-093) :**

**Argile+0% de déchets :**



<b>Pourcentage (%)</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>
<b>Sol+ moule (g)</b>	3313	3367	3435	3590	3590	3520
<b>Poids de moule(g)</b>	1740	1740	1740	1740	1740	1740
<b>Poids de sol(g)</b>	1573	1627	1695	1850	1850	1780
<b>Volume de moule (cm3)</b>	955	955	955	955	955	955
<b>Masse v humide (g/cm3)</b>	1.64	1.70	1.77	1.93	1.93	1.86
<b>Masse v sèches (g/cm3)</b>	1.52	1.54	1.58	1.69	1.66	1.58

**Argile+1%de déchets :**



<b>pourcentage (%)</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>
<b>Sol+ moule (g)</b>	3420	3608	3662	3645	3649
<b>Poids de moule(g)</b>	1740	1740	1740	1740	1740
<b>Poids de sol(g)</b>	1680	1868	1922	1905	1909
<b>Volume de moule (cm3)</b>	955	955	955	955	955
<b>Masse v humide (g/cm3)</b>	1.75	1.95	2.01	1.99	1.99
<b>Masse v sèche (g/cm3)</b>	1.54	1.68	1.70	1.66	1.63

**Argile+2% de déchets :**



<b>pourcentage (%)</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>24</b>
<b>Sol+ moule (g)</b>	3556	3605	3670	3640	3601
<b>Poids de moule(g)</b>	1740	1740	1740	1740	1740
<b>Poids de sol(g)</b>	1816	1865	1930	1900	1861
<b>Volume de moule (cm3)</b>	955	955	955	955	955

<b>Masse v humide (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.90	1.95	2.02	1.98	1.94
<b>Masse v sèche (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.63	1.65	1.70	1.63	1.57

**Argilr+3% de déchets :**



<b>pourcentage (%)</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>22</b>
<b>Sol+ moule (g)</b>	3487	3571	3640	3607	3637
<b>Poids de moule(g)</b>	1740	1740	1740	1740	1740
<b>Poids de sol(g)</b>	1744	1831	1900	1867	1897
<b>Volume de moule (cm<sup>3</sup>)</b>	955	955	955	955	955
<b>Masse v humide (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.82	1.91	1.98	1.95	1.98

<b>Masse v sèches (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1.60	1.65	1.68	1.65	1.60

<b>Mélange de (argile + ajout)</b>	<b>Auteur</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Teneur en eau (%)</b>		<b>Densité sèche (t/m<sup>3</sup>)</b>		<b>Le rapport (%)</b>	
			<b>Avant ajout</b>	<b>Après ajout</b>	<b>Avant ajout</b>	<b>Après ajout</b>	<b>Teneur en eau (%)</b>	<b>Densité sèche (t/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Déchet de pneu</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	14	18	1,69	1,70	0,77	0,99
<b>Polypropylène</b>	S.S Ahmed et al (2020)	1	21,9	27,5	1,51	1,59	0,79	0,94
<b>Pneu recyclé</b>	M.F Tafti et al (2016)	1	16,4	17	1,9	2,26	0,96	0,84
<b>Pneu effondré</b>	Aksh Priadarshe et al (2018)	1	17	17,3	1,9	1,95	0,98	0,97
<b>Déchet de tapis</b>	M. Mizrababo ei (2013)	1	14,5	13	1,9	1,82	1,11	1,04

<b>Ajouts</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Augmentation de la teneur en eau après ajout (%)</b>
<b>Déchet de pneu</b>	1	HEMILA et BACHA (2020)	28,57
<b>Polypropylène</b>	1	S.S Ahmed et al (2020)	25,57
<b>Pneu recyclé</b>	1	M.F Tafti et al (2016)	3,65

<b>Pneu effondré</b>	1	Aksh Priadarshe et al (2018)	1,76
<b>Déchet de tapis</b>	1	M. Mizrababoei (2013)	Cet ajout subit une diminution de la teneur en eau= -10,34

<b>Ajouts</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Augmentation de la densité sèche (t/m<sup>3</sup>) après ajout</b>
<b>Déchet de pneu</b>	1	HEMILA et BACHA (2020)	0,59
<b>Polypropylène</b>	1	S.S Ahmed et al (2020)	5,29
<b>Pneu recyclé</b>	1	M.F Tafti et al (2016)	18,94
<b>Pneu effondré</b>	1	Aksh Priadarshe et al (2018)	6,59
<b>Déchet de tapis</b>	1	M. Mizrababoei (2013)	2,86

**L'EODOMETRE (XP 94-090-01) :**



**Argile +0% de déchets :**

**Pc = 0.3735 bar ; Cc=0.119 ; Cg=0.034**

<b>P (kg/cm2)</b>	<b>dh</b>	<b>H-dh</b>	<b>L vides</b>
<b>0</b>	0	19	0.476
<b>0.25</b>	550	18.45	0.434
<b>0.5</b>	635	8.365	0.427
<b>1</b>	805	18.195	0.414
<b>2</b>	1159	17.841	0.386
<b>4</b>	1633	17.367	0.349
<b>8</b>	2207	16.793	0.305
<b>2</b>	2045	16.855	0.317
<b>0.25</b>	1616	17.384	0.351

**Argile+1% de déchets :**

**Pc = 1.385 bar ; Cc=0.118 ; Cg=0.042**

<b>P (kg/cm2)</b>	<b>dh</b>	<b>H-dh</b>	<b>L vides</b>
<b>0</b>	0	19	0.617
<b>0.25</b>	176	18.824	0.602
<b>0.5</b>	259	18.741	0.595
<b>1</b>	409	18.741	0.595
<b>2</b>	652	18.591	0.582
<b>4</b>	997	18.033	0.532
<b>8</b>	1448	17.788	0.514
<b>2</b>	1212	17.788	0.514

0.25	715	18.285	0.555
------	-----	--------	-------

**Argile+2% de déchets :**

$P_c = 1.375 \text{ bar}$  ;  $C_c=0.126$  ;  $C_g=0.049$

P (kg/cm <sup>2</sup> )	dh	H-dh	L vides
0	0	19	0.575
0.25	253	18.747	0.554
0.5	345	18.657	0.547
1	494	18.506	0.534
2	736	18.264	0.514
4	1110	17.890	0.483
8	1638	17.364	0.440
2	1361	17.639	0.463
0.25	770	18.230	0.512

**Argile+2% de déchets :**

$P_c = 2.455 \text{ bar}$  ;  $C_c=0.196$  ;  $C_g=0.047$

P (kg/cm <sup>2</sup> )	dh	H-dh	L vide
0	0	19	0.556
0.25	85	18.915	0.549
0.5	185	18.815	0.541
1	346	18.654	0.528
2	570	18.430	0.509
4	873	18.127	0.485
8	1689	17.311	0.418
2	1328	17.672	0.447
0.25	802	18.198	0.490

Ajout	Auteurs	(% de l'ajout	Indice de gonflement (%)		Le rapport (%)
			Avant ajout	Après ajout	
Déchet des pneus granulés	HEMILA et BACHA (2020)	1	3.40	4.20	0.8
Caoutchouc des pneus usés poudré	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	15.75	14.2	1.10

<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>		M.Rabehi et al 30/05/2019	1	6.25	5	1.25
<b>Polymère</b>		A. Soltani et al 2017	1	26.4	9.3	2.8
<b>Fibre de ruban</b>	L= 2,5mm	A. Taheri et al 2017	1	17.2	26.4	0.65
	L= 7mm		1	17.2	16	1.07

<b>Ajouts</b>	<b>Auteurs</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Augmentation de Cg (%)</b>
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	36.33
<b>Caoutchouc des pneus usés poudré</b>	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	Ces ajouts ne subit pas une augmentation de l'indice de gonflement
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	
<b>Polymère</b>	A. Soltani et al 2017	1	
<b>Fibre de ruban</b> L= 2,5mm	A. Taheri et al 2017	1	

<b>Ajouts</b>	<b>Auteurs</b>	<b>(%) de l'ajout</b>	<b>Diminution de Cg (%)</b>
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	Cet ajout ne subit pas une diminution de Cg
<b>Caoutchouc des pneus usés poudré</b>	Caoutchouc des pneus usés poudré	1	9.84
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	20
<b>Polymère</b>	A. Soltani et al 2017	1	64.7

<b>Fibre de ruban</b> L= 7mm	A. Taheri et al 2017	1	6.97
---------------------------------	-------------------------	---	------

Ajout	Auteurs	(% de l'ajout	Indice de compressibilité (%)		Le rapport (%)
			Avant ajout	Après ajout	
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	11.9	11.8	1
<b>Polypropylène</b>	E. Emanuel et al 2020	1	37	3	12.33
<b>Polyéthylènes de haute densité</b>	S.M.Kodary et al 2017	1	18.9	16.2	1.16
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	31	20	1.55

Ajout	Auteurs	(%) de l'ajout	Diminution de Cc (%)
<b>Déchet des pneus granulés</b>	HEMILA et BACHA (2020)	1	0.84
<b>Polypropylène</b>	E. Emanuel et al 2020	1	91.89
<b>Polyéthylènes de haute densité</b>	S.M.Kodary et al 2017	1	0.1
<b>Caoutchouc des pneus usagés</b>	M.Rabehi et al 30/05/2019	1	35.48

