

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**  
**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE**  
**« ARBAOUI Abdellah »**

**DEPARTEMENT DE SPECIALITES**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN**  
**HYDRAULIQUE**

**Spécialité : CONCEPTION DES OUVRAGES HYDROTECHNIQUES.**

**THEME**

**AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES  
MECANIQUES DES SOLS PAR LES GEOTEXTILES**

**Présenté par :**  
**M<sup>r</sup>: BOUINOUN MAHMOUD**

**Promotrice :**  
**M<sup>me</sup>: N. HADJ SADOK**

**Devant le jury composé de :**

**Président: M<sup>r</sup> M. HASSANE**

**Examineurs : M<sup>r</sup> A. HADJ SADOK**

**M<sup>me</sup> A. ADDOU**

**M<sup>r</sup> M. BACHIR CHERIF**

**M<sup>elle</sup> N. TERGUI**

**Juillet 2008**

# Dédicace



*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à :*

- ✚ Mes très chères parents pour leurs sacrifices afin d'atteindre mon but.*
- ✚ Mes frères: Ahmed, Farouk, Azzouz et Fethi.*
- ✚ Mes sœurs : Fatima et Fatiha.*
- ✚ Toute ma famille.*
- ✚ Tous mes amis.*
- ✚ Tous les gens qui connaissent Mahmoud BOUINOUN.*



Mahmoud



# Remerciement

*Je remercie tous mes professeurs et particulièrement ma promotrice : Mme HADJ SADOK, le laborantin : Mr .BOUZIANE Hamoud, Mme ADDOU Melle BENYOUCEF Houria, les ingénieurs du bureau technique de barrage KEF-EDDIR (DAMOUS) et Mr AYADI Abd-Errahmane.*

*Pour l'aide précieuse, qu'ils m'ont apporté durant l'élaboration de ce modeste travail. .*

*Aussi, je me permets d'exprimer tout mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.*



Mahmoud



## SOMMAIRE :

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I :</b>	
<b>Etude bibliographique sur le renforcement de sols</b>	
I.1. Aperçu général sur les techniques d'amélioration des sols :.....	3
I.2. Amélioration des sols par densification : .....	3
I.2.1. Préchargements.....	3
I.2.2. Consolidation par le vide .....	4
I.2.3. Injection par Vibroflotation :.....	4
I.2.4. Le compactage dynamique : .....	5
I.2.5. Le compactage par explosifs : .....	6
I.2.6. Injection des solides :.....	7
I.3. Amélioration des sols par inclusions .....	8
I.3.1. La terre armée : .....	8
I.3.2. Inclusion métalliques : .....	9
I.3.3. Inclusion de ballastes par vibrations :.....	10
I.3.4. Inclusion par compactage dynamique : .....	11
I.3.5. Inclusion forées de sol stabilisé : .....	11
I.3.6. La congélation : .....	12
I.4. Les géosynthétiques : .....	12
I.4.1. Différents types de géosynthétiques : .....	12
I.4.1.1. Les géomembranes :.....	12
I.4.1.2. Les géogrilles :.....	13
I.4.1.3. Les géotextiles : .....	13
I.4.2. Les avantages de l'utilisation des géosynthétiques : .....	13
I.5. Renforcement des sols par les géotextiles :.....	14
I.5.1. Définition des géotextiles:.....	14
I.5.2. Les types de géotextiles :.....	14
I.5.2.1. Les géotextiles tissés :.....	14
I.5.2.2. Les géotextiles non-tissés :.....	14
I.5.2.2.1. Liaison chimique :.....	14
I.5.2.2.2. Liaison thermique : .....	15
I.5.2.2.3. Liaison mécanique par aiguilletages :.....	15
I.5.2.3. Les tricots :.....	15
I.5.2.4. Les grilles et les filets : .....	15
I.5.2.5. Les géotextiles composites : .....	16
I.5.3. Les propriétés des géotextiles :.....	16
I.5.4. Fonctions et applications des géotextiles :.....	17
I.5.4.1. Amortissement : .....	17
I.5.4.2. Drainage : .....	17

I.5.4.3. Filtration : .....	18
I.5.4.4. Revêtement : .....	19
I.5.4.5. Séparation : .....	20
I.5.4.6. Barrières : .....	20
I.5.4.7. Anti-érosion : .....	20
I.5.4.8. Membranes tendue : .....	21
I.5.4.9. Armature : .....	22
I.5.5. Relation entre les propriétés et les fonctions des géotextiles .....	23
I.5.6. Mise en œuvre des géotextiles : .....	25
I.5.7. Exemple d'utilisation d'un géotextile dans un barrage en cours de réalisation	26
I.5.7.1. Barrage de KEF –EDDIR (DAMOUS wilaya de TIPAZA) : .....	26
I.5.7.2. Les objectifs d'utilisation du géotextile : .....	27
I.5.7.3. Mise en œuvre du géotextile : .....	27
I.5.7.3.1. La préparation : .....	28
I.5.7.3.2. L'installation : .....	28
I.5.7.3.3. Le recouvrement : .....	30
I.5.8. Les paramètres importants lors de la conception : .....	31

## **Chapitre II :**

### **Exposé du programme expérimental**

II.1. Objectif et méthodologie de travail : .....	32
II.1.1. Objectif : .....	32
II.1.2. Appareillage et matériaux utilisés : .....	32
II.2. Compagne expérimentale : .....	32
II.2.1. Caractéristiques et identification des sables : .....	32
II.2.1.1. Granulométrie : .....	33
II.2.1.1.1. Gros sable de l'oued de DAMOUS : .....	33
II.2.1.1.2. Sable fin de HASSI BAH-BAH : .....	35
II.2.1.2. essai de densité : .....	36
II.2.1.2.1. Gros sable de l'oued de DAMOUS : .....	37
II.2.1.2.2. Le sable fin de HASSI BAH-BAH: .....	37
II.2.1.3. Essai de compressibilité à l'oedomètre: .....	38
II.2.1.3.1. Description de l'appareil : .....	38
II.2.1.3.2. Réalisation de l'essai : .....	39
II.2.1.3.3. Gros sable de l'oued de DAMOUS : .....	39
II.2.1.3.4. Sable fin de HASSI BAH-BAH : .....	42
II.2.1.4. Essai d'équivalent de sable: .....	45
II.2.1.4.1. Principe de l'essai : .....	45
II.2.1.4.2. Gros sable de l'oued de DAMOUS : .....	46
II.2.1.4.3. Sable fin de HASSI BAH-BAH: .....	46
II.2.2. Caractéristiques et identification des géotextiles: .....	47

II.2.2.1.	Identification :	47
II.2.2.1.1.	Le géotextile non tissé :	47
II.2.2.1.2.	Le géotextile tissé :	47
II.2.2.1.3.	Propriétés physiques et mécaniques :	47
II.2.2.1.3.1.	Le géotextile non tissé :	47
II.2.2.1.3.2.	Le géotextile tissé :	47
II.2.3.	Appareillage utilisé dans la campagne expérimentale :	47
II.2.3.1.	Type d'appareil utilisé :	47
II.2.3.2.	Procédure de réalisation de l'essai de cisaillement :	49
II.2.4.	Programme de la campagne expérimentale :	50
II.2.4.1.	1ère série d'essais : Essai sur gros sable de l'oued de DAMOUS.....	50
II.2.4.2.	2ème série d'essais : Essai sur sable fin de HASSI BAH-BAH.....	50

### **Chapitre III :**

#### **Résultats et interprétations**

Nomenclature :	54	
III.1.Introduction :	55	
III.2.Présentation des résultats du gros sable de l'oued de DAMOUS :	55	
III.2..1.	Résultats du gros sable non renforcé :	55
a)	gros sable lâche :	55
b)	gros sable dense :	56
III.2..2.	Résultats d'essais sur un gros sable renforcé par géotextile non tissé :	60
III.2..2.1.	Gros sable renforcé par une nappe de géotextile non tissé : ...	60
a)	Etat lâche :	60
b)	Etat dense :	62
III.2..2.2.	Gros sable renforcé par deux nappes de géotextiles non tissés:	64
a)	Etat lâche :	64
b)	Etat dense :	66
III.2..3.	Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par un géotextile tissé:.....	68
III.2..3.1.	Gros sable renforcé par une nappe de géotextile tissé:.....	68
a)	Etat lâche :	68
b)	Etat dense :	70
III.2..3.2.	gros sable renforcé par deux nappes de géotextile tissé:.....	72
a)	Etat lâche :	72
b)	Etat dense :	75
III.3.Présentation des résultats du sable fin :	76	
III.3..1.	Résultats d'essais sur un sable fin non renforcé :	76
a)	sable fin lâche :	76
b)	Sable fin dense :	78
III.3..2.	Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par un géotextile non tissé:.....	80
III.3..2.1.	Sable fin renforcé par une nappe de géotextile non tissé :.....	80

a) Etat lâche :.....	80
b) Etat dense :.....	82
III.3..2.2.    Sable fin renforcé par deux nappes de géotextile non tissé :...84	
a) Etat lâche :.....	84
b) Etat dense :.....	86
III.3..3.    Sable fin renforcé par un géotextile tissé:.....	88
III.3..3.1.    Sable fin renforcé par une nappe de géotextile tissé :.....	88
a) Etat lâche :.....	88
b) Etat dense :.....	90
III.3..3.2.    Sable fin renforcé par deux nappes de géotextile tissé :.....	92
a) Etat lâche :.....	92
b) Etat dense :.....	94
III.4.Présentation et interprétation des résultats :.....	96
III.4..1.    Exposé de l'ensemble des résultats obtenus : .....	96
III.4..2.    Comparaison des résultats entre sable seul et sable renforcé :.....	97
III.4..2.1.    Gros sable lâche :.....	97
III.4..2.2.    Gros sable dense :.....	98
III.4..2.3.    Sable fin lâche :.....	99
III.4..2.4.    Sable fin dense :.....	99
III.4..3.    Récapitulatif des variations des caractéristiques dues au renforcement :.....	100
III.4..4.    Analyse et interprétation des résultats :.....	101

Conclusion générale.

Annexes.

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau I.1** : Conformité des différentes caractéristiques d'un géotextile.

**Tableau I.2** : Relation entre les propriétés et les fonctions des géotextiles.

**Tableau I.3** : Guide de sélection des géotextiles.

**Tableau II.1**: Résultats de l'analyse granulométrique du gros sable de l'oued de DAMOUS.

**Tableau II.2**: Résultats de l'analyse granulométrique du sable fin de HASSI BAH-BAH.

**Tableau II.3**: Résultats de l'essai de densité du gros sable de l'oued de DAMOUS.

**Tableau II.4**: Résultats de l'essai de densité du sable fin de HASSI BAH-BAH.

**Tableau II.5** : Résultats de l'essai oedometrique sur le gros sable de l'oued de DAMOUS.

**Tableau II.6**: Résultats de l'essai oedometrique sur le sable fin de HASSI BAH-BAH.

**Tableaux II.7**: Résultats d'essais d'équivalent de sable.

**Tableaux II.8**: Résultats d'essais d'équivalent de sable.

**Tableau III.1**: Caractéristiques mécaniques du sable non renforcé.

**Tableau III.2**: Caractéristiques mécaniques du gros sable renforcé par une et deux nappes de géotextiles non tissé.

**Tableau III.3**: Caractéristiques mécaniques du gros sable renforcé par une et deux nappes de géotextiles tissé.

**Tableau III.4**: Caractéristiques mécaniques du sable fin renforcé par une et deux nappes de géotextiles non tissé.

**Tableau III.5**: Caractéristiques mécaniques du sable fin renforcé par une et deux nappes de géotextiles tissé.

**Tableau III.6**: Résultats du renforcement sur le gros sable lâche de l'oued DAMOUS.

**Tableau III.7** : Résultats du renforcement sur le gros sable lâche de l'oued DAMOUS.

**Tableau III.8**: Résultats du renforcement sur le gros sable dense.

**Tableau III.9** : Résultats du renforcement sur le gros sable dense.

**Tableau III.10** : Résultats du renforcement sur le sable fin lâche.

**Tableau III.11** : Résultats du renforcement sur le sable fin lâche.

**Tableau III.12**: Résultats du renforcement sur le sable fin dense.

**Tableau III.13**: Résultats du renforcement sur le sable fin dense.

**Tableau III.14** : Récapitulatif des résultats du renforcement.

## LISTE DES FIGURES

**Figure I.1** : Préchargement d'un sol.

**Figure I.2** : Procédés de l'injection par Vibroflotation.

**Figure I.3**: Intervention des engins lourds pour cette technique.

**Figure I.4**: consolidation dynamique.

**Figure I.5** : Consolidation dynamique par explosifs.

**Figure I.6**: Maillage d'injections en trois phases.

**Figure I.7** : Représentation de la terre armée (D'après SCHLOSSER 1983).

**Figure I.8** : Représentation du renforcement par clouage d'un mur de soutènement.

**Figure I.9** : Procédé de l'inclusion de Ballaste par vibrations.

**Figure I.10** : Géotextile tissé.

**Figure I.11** : Géotextile thermo-soudé.

**Figure I.12** : Géotextile non tissé aiguilleté.

**Figure I.13** : Couche de drainage en agrégats.

**Figure I.14** : Filtre de sol naturel à proximité du géotextile.

**Figure I.15**: Rôle de la séparation.

**Figure I.16**: Géotextile utilisé pour stabiliser l'érosion.

**Figure I.17** : L'effet de membrane.

**Figure I.18** : Utilisation du géotextile dans le talus amont du batardeau.

**Figure I.19** : Mise en place des alluvions et préparations des talus.

**Figure I.20**: Préparation du talus pour la pose du géotextile.

**Figure I.21** : Un rouleau de géotextile livré sur le site.

**Figure I.22** : Rouleaux raccordés par agrafage.

**Figure I.23** : Géotextile fixé au sol par agrafage.

**Figure I.24** : Géotextile mis en place (rive gauche du batardeau amont).

**Figure I.25** : Recouvrement du géotextile par les argiles (rive droite du batardeau).

**Figure I.26** : Mise en place des alluvions sélectionnés et des enrochements.

**Figure II.1**: Courbe granulométrique du gros sable.

**Figure II.2**: Courbe granulométrique du sable fin de HASSI BAH-BAH.

**Figure II.3** : Variation de la densité de sable en fonction de la hauteur de chute.

**Figure II.4** : Variation de la densité de sable en fonction de la hauteur de chute.

**Figure II.5**: Oedimètre de TERZAGHI.

**Figure II.6:** Courbe de compressibilité en fonction de  $\text{Log}(\sigma)$ .

**Figure II.7:** Courbe des tassements en fonction de la contrainte normale appliquée( $\sigma$ ).

**Figure II.8:** courbe de compressibilité en fonction de  $\text{Log}(\sigma)$ .

**Figure II.9 :** courbe des tassements en fonction de la contrainte normale appliquée( $\sigma$ ).

**Figure II.10:** Définition de l'équivalent de sable.

**Figure II.11:** Appareil de cisaillement direct.

**Figure II.12:** La première série d'essais.

**Figure II.13:** La deuxième série d'essais.

**Figure III.1:**Variation de la contrainte tangentielle ( $\tau$ ) en fonction du déplacement horizontal ( $\Delta L$ ). (G.S.L,  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.2:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L,  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.3:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L,  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.4:** Variation de la contrainte tangentielle( $\tau$ ) en fonction de la contrainte normale ( $\sigma$ ), (G.S.L).

**Figure III.5:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.6:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.7:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.8:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D).

**Figure III.9:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.10:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.11:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.12:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.L+G.N.T(1)).

**Figure III.13:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.14:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.15:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.16:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D+G.N.T(1)).

**Figure III.17:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.18:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.19:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.20:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.L+G.N.T(2)).

**Figure III.21:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.22:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.23:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.24:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.D+G.N.T(2)).

**Figure III.25:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.26:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.27:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.28:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.L+G.T(1)).

**Figure III.29:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.30:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.31:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.32:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.D+G.T(1)).

**Figure III.33:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.34:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.35:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.36:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.L+G.T(2)).

**Figure III.37:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.38:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.39:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.40:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.D+G.T(2)).

**Figure III.41:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L,  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.42:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L,  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.43:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L,  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.44:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.L).

**Figure III.45:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D,  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.46:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D,  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.47:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D,  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.48:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ . (S.F.D).

**Figure III.49:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.50:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.51:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.52:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.L +G.N.T(1)).

**Figure III.53:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.54:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.55:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.56:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.D +G.N.T(1)).

**Figure III.57:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.58:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.59:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.60:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.L +G.N.T(2)).

**Figure III.61:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.62:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.63:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.64:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.D +G.N.T(2)).

**Figure III.65:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.66:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.67:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.68:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.L+G.T(1)).

**Figure III.69:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.70:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.71:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.72:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.D+G.T(1)).

**Figure III.73:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.74:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.75:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.76:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.L+G.T(2)).

**Figure III.77:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

**Figure III.78:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

**Figure III.79:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

**Figure III.80:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.D+G.T(2)).

## **ملخص:**

إن العمل الذي قمنا به في إطار مشروع نهاية الدراسة لنيل شهادة مهندس دولة، يتضمن دراسة أثر إدراج صفائح من النسيج التقني داخل التربة الرملية على الخصائص الميكانيكية لهذه الأخيرة. لهذا الغرض ، أنجزنا حملة تجريبية ، باستعمال جهاز "القص المباشر " ، على نوعين من التربة الرملية ذات توزيع حبي مختلف ، باستعمال كثافتين مختلفتين . هذه العملية التجريبية أنجزت على التربة الرملية و حدها و مقواة بصفائح من النسيج التقني ، موضوعة داخل التربة حسب اتجاه أفقي. من خلال فحص و تحليل نتائج مجمل التجارب المنجزة، تمكنا من الوصول إلى نتائج حول تحسين الخصائص الميكانيكية للتربة ألا و هي "التماسك " و "زاوية الاحتكاك " .

## **Résumé :**

Notre travail, effectué dans le cadre du projet de fin d'études d'ingénierat, consiste à étudier l'effet de l'introduction de géotextile sur les caractéristiques mécaniques des sables.

Nous avons pour cela, mené une campagne expérimentale, à l'appareil de cisaillement direct, sur deux types de sable de granulométries différentes, en variant leurs densités.

Cette campagne expérimentale a été réalisée sur des sables seuls et renforcés par des nappes de géotextile, disposées suivant une orientation horizontale.

L'analyse et l'interprétation des résultats de l'ensemble des essais nous ont permis d'avoir des résultats sur l'amélioration des caractéristiques mécaniques "c" et " $\phi$ ".

## **Abstract:**

Our work, within the project of engineering end of studies, consists of studying the effect of introducing geotextiles on the mechanical characteristics of sands.

For this, we have led an experimental campaign, using the device of direct cutting, on two types of sand of different granulometries by varying their densities.

This campaign was realized first on sands alone and then strengthened by layers of geotextile arranged according to horizontal orientation.

The analysis and interpretation of the results of the experiments enabled to have results about the improvement of mechanical characteristics that are "C" and " $\phi$ ".

## INTRODUCTION GENERALE

Depuis longtemps, divers produits sont ajoutés au sol pour modifier ses propriétés ou son comportement ; ces additifs sont soit liquides (eau, produit chimiques), soit solides (armatures métalliques). Ces dernières années grâce au développement de la pétrochimie est apparue une nouvelle catégorie d'additifs comprenant les films et les textiles.

La technique d'utilisation de ces produits constitue très souvent une solution élégante aux problèmes de conductibilité d'ouvrages en zones difficiles, le renforcement par armatures textiles des remblais sur sols compressibles.

L'utilisation des géotextiles se développe depuis une dizaine d'années en raison d'une part des propriétés de ces matériaux qui permettent de résoudre très efficacement un certain nombre de problèmes pratiques posés par les travaux relatifs aux sols et, d'autre part grâce à leur facilité de mise en œuvre et à leur faible coût de transport et en fin ils confèrent aux ouvrages une plus grande fiabilité.

Depuis que les géotextiles ont commencé à se développer, et qu'une diversité croissante de produit s'est trouvée progressivement mise à la disposition des ingénieurs, la question s'est posée sur le choix du produit le mieux adapté à un emploi donnée. Cette question est en fait plus difficile qu'il n'y paraît parce qu'un géotextile remplit souvent plusieurs fonctions dans une application donnée et que le choix du produit doit prendre en compte ces différentes fonctions, les sollicitations auxquels il sera soumis lors de la mise en œuvre, ainsi que la diversité des sols et la complexité de leur comportement mécanique et hydraulique.

Il en résulte que le choix d'un géotextile doit nécessairement faire intervenir un nombre minimal de facteurs. Des règles trop simplistes risqueraient de conduire à des échecs, on pourrait entraîner une élimination injustifiée de certains produits.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études d'ingénieur d'état en hydraulique, option ouvrages hydrotechniques, nous avons mené un travail de recherche, intitulé "**L'amélioration des caractéristique mécaniques des sols par les géotextiles**", qui consiste à étudier expérimentalement les sols renforcés par les géotextiles. Il s'agit en fait de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un sol non renforcé ainsi que ceux d'un sol

renforcé par le géotextile, à partir des essais de cisaillement direct à la boîte de CASAGRANDE. Ces essais ont été réalisés sur des échantillons sableux de granulométrie et de densités différentes, dans le but de déterminer la variation des caractéristiques mécaniques mesurées, précisément la cohésion "**c**", et l'angle de frottement "**ϕ**". Ces derniers sont les caractéristiques les plus importantes, utilisées dans les différents calculs de mécanique des sols, tels que la détermination de la capacité portante des sols, le calcul des tassements, la stabilité des pentes, ...

Le manuscrit comporte trois (03) chapitres : dans le premier chapitre, nous donnons un aperçu bibliographique sur les techniques de renforcement, dans le deuxième, nous exposons le programme expérimental réalisé et dans le troisième chapitre, nous analysons et interprétons les résultats que nous avons obtenus.

# Chapitre I

Etude bibliographique  
Sur  
Le renforcement des sols

### **I.1. Introduction :**

Avant de construire, on doit prévoir des sites avantageux en termes de qualité de sol. Mais ce n'est pas toujours le cas, car on doit parfois bâtir sur des terrains médiocres dont on a à améliorer les caractéristiques mécaniques afin d'augmenter la portance du sol et de réduire les déformations qui se présentent sous forme de tassements. Pour cela, on fait appel à deux solutions dont la première consiste à augmenter la densité comme on le fait couramment par compactage dans les remblais de barrages. Pour la deuxième, il s'agit de renforcer le sol par des moyens d'inclusions.

### **I.2. Amélioration des sols par densification :**

#### **I.2.1. Préchargements :**

Cette technique consiste à écrouir le sol en le chargeant par un remblai de terre que l'on laisse pendant une durée bien déterminée pour que la consolidation ait lieu.

Si le sol est très imperméable, on y plante des drains verticaux, en carton, sable ou en matière plastique poreuse entourée d'une toile, dont les têtes sont reliées en surfaces à une couche de sable.

Si le sol est très mou où la cohésion varie entre 15 et 20 kPa, on le charge par un remblai d'une hauteur qui dépasse rarement les 4m. La pression exercée par ce remblai est équivalente à la pression moyenne transmise par une construction de 7 à 8 étages. Le tassement engendré par la charge est surveillé par topographie et on déplace le tas dès que la stabilisation est atteinte.

Après la stabilisation du tassement, on peut augmenter la hauteur du tas de 50 % afin de surcharger le sol par un Préchargement plus lourd. La figure I.1 montre un préchargement d'un sol.



**Figure I.1 :** Préchargement d'un sol.

### **I.2.2.Consolidation par le vide : [1]**

Cette technique comporte trois étapes qui sont les suivantes :

- a) Placer une couche de sable bordée par une tranchée remplie de sable et d'un drain sur le sol.
- b) Recouvrir le tout avec une membrane étanche.
- c) Faire le vide en dessous de l'ensemble.

La pression atmosphérique engendre la surcharge alors que les forces de volume créé par la pression de courant liée au drainage provoquent la consolidation ; Le vide atteint n'est pas très poussé, cela est dû aux nombreuses sources de fuites, mais la consolidation obtenue est généralement suffisante.

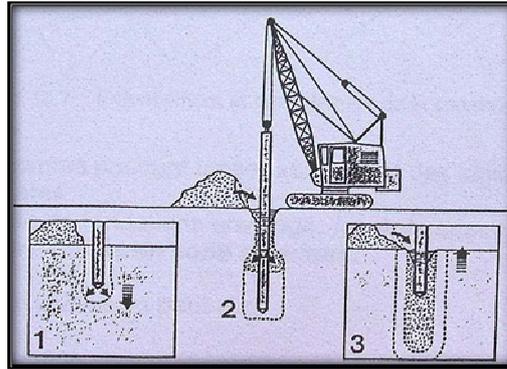
Pour cette méthode, si l'épaisseur de la couche à améliorer est petite par rapport à la largeur de la charge, la consolidation se produit comme dans un odomètre et le tassement est calculé à partir des caractéristiques de compressibilité estimées sur des échantillons intacts. La durée de consolidation est difficile à prévoir à cause de l'imprécision qui règne sur les mesures de perméabilité in-situ qui est forte pour les formations récentes. Pour cela, on doit procéder à un suivi topographique de l'évolution du tassement pour apprécier la suffisance ou non de la durée du préchargement.

### **I.2.3.Injection par Vibroflotation :**

Cette technique applicable aux sols granulaires non cohérents tels que sables et graviers, elle est largement utilisée dans les remblais hydrauliques. Son principe est le suivant :

La technique consiste à descendre dans le sol un vibreur manipulé par une grue, qui sous son propre poids, et sous l'influence d'un lançage d'eau et des vibrations, atteint les profondeurs souhaitées comme le montre la figure I.2.

Ensuite, dans la cavité ainsi créée dans le sol incohérent (phase1), mise en place de matériau d'apport sable ou gravier, sans retrait de sol (phase2). L'opération est répétée selon un maillage prédéfini (maillage plus large que pour les injections).



**Figure I.2 :** Procédés de l'injection par Vibroflotation.

L'inconvénient de cette méthode est également l'intervention d'engins lourds (incompatible avec la plupart des zones urbaines). Elle ne permet pas le contrôle "pas à pas" comme pour les injections. En outre elle ne permet pas de traiter les mauvais sols profonds. (la profondeur maximale que peut atteindre est de l'ordre de 20m).



**Figure I.3:** Intervention des engins lourds pour cette technique.

#### **I.2.4. Le compactage dynamique :**

Cette méthode est applicable à une grande variété de sols, mais pas pour tous les sites, cette technique consiste à laisser tomber des pilons de plusieurs dizaines de tonnes, en chute libre sur une hauteur de plusieurs dizaines de mètres. Le choc engendre des trains d'ondes qui améliorent le sol. la figure I.3 montre un compactage dynamique.

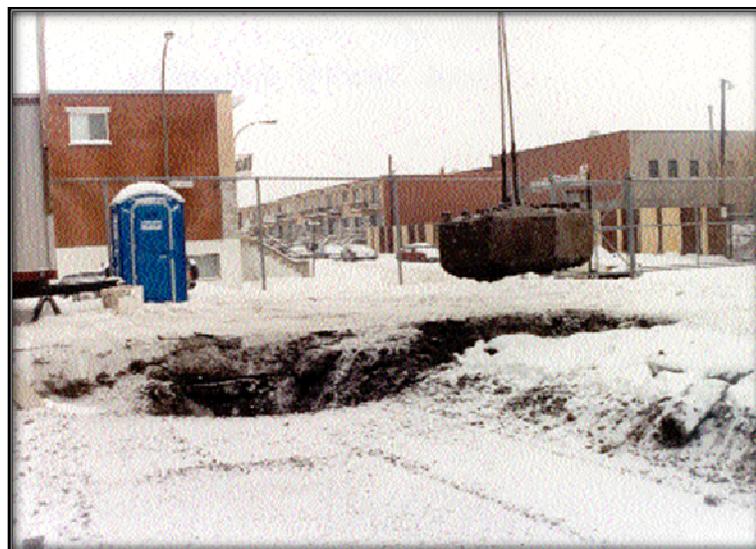
Le traitement améliore la cohésion des sols et élimine aussi un facteur de liquéfaction (densification du sol). Elle est également conseillée pour le compactage des décharges urbaines.

La profondeur d'efficacité du compactage  $p$  par une masse  $M$  tombant d'une hauteur  $h$ , est donnée par la formule approximative non homogène suivante :

$$p = 0,5\sqrt{M.h}$$

Où  $p$  et  $h$  sont exprimées en mètre alors que  $M$  en tonnes.

Généralement, les points de chute sont espacés de 2 à 3 m et les chocs sont répétés deux à quatre fois au même endroit.



**Figure I.4:** Consolidation dynamique.

L'avantage de cette technique est qu'elle diminue les tassements différentiels en homogénéisant les tassements ultérieurs en surface et permet à la couverture d'isolation finale de la décharge (ou aux couvertures de séparation intermédiaires) de conserver ses qualités d'étanchéité et son efficacité.

L'inconvénient de cette technique est que les trains d'ondes peuvent agir sur plusieurs centaines de mètres à la ronde, ce qui ne permet l'utilisation de cette méthode que

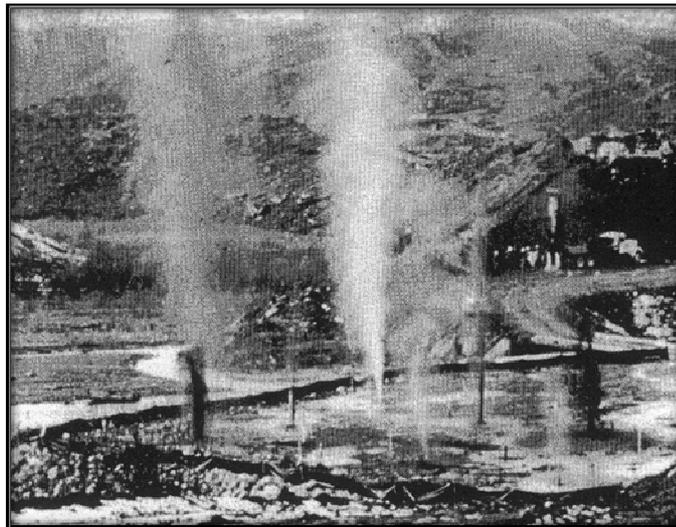
comme traitement préventif d'espaces vastes et libres d'occupation avant aménagement ou urbanisation. En outre elle nécessite l'intervention d'engins lourds.

#### **I.2.5. Le compactage par explosifs :**

C'est un procédé peu utilisé dont le principe, les applications et les limitations sont pareils à celles du compactage dynamique. Qui ne peut pas être utilisée n'importe où pour provoquer le tassement des sols avant aménagement de la zone.

On réalise cet essai avec une masse d'explosif variant entre 1 et 5 kg par mètre dans des forages dont le diamètre est de 15cm ; la profondeur qu'on peut atteindre est de 20 m dans des remblais de sable ou de gravier.

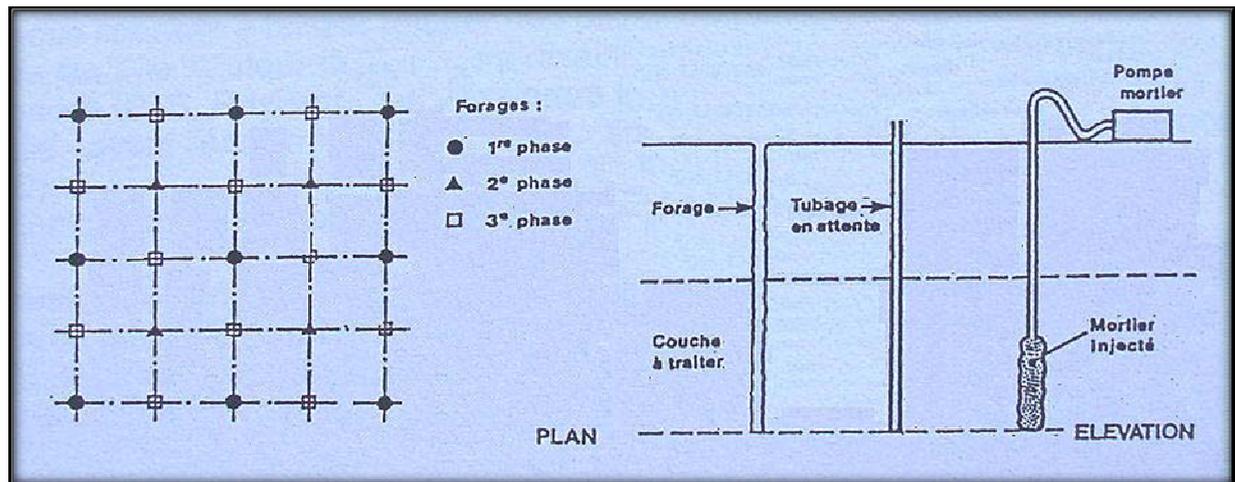
Si les matériaux sont situés sous une nappe, les pressions interstitielles et les bulles de gaz dues aux tirs doivent se dissiper. comme le montre la figure I.5



**Figure I.5 :** Consolidation dynamique par explosifs.

#### **I.2.6. Injection des solides :**

Méthode souvent utilisée dans les terrains sableux, limoneux, ou argileux, humides ou saturés, cette technique consiste à introduire, sous pression dans le sol à partir de forages répartis selon des mailles primaires et secondaires, un « mortier » visqueux à base de ciment dans le but d'augmenter le niveau de contrainte entre les grains du sol. La nature du mortier injecté (plus ou moins "fluide", à base de ciment avec adjuvants éventuels, dépend de l'état préalable du terrain,) assure la pérennité du traitement effectué.



**Figure I.6:** Maillage d'injections en trois phases.

Les étapes d'injection des solides sont comme suit :

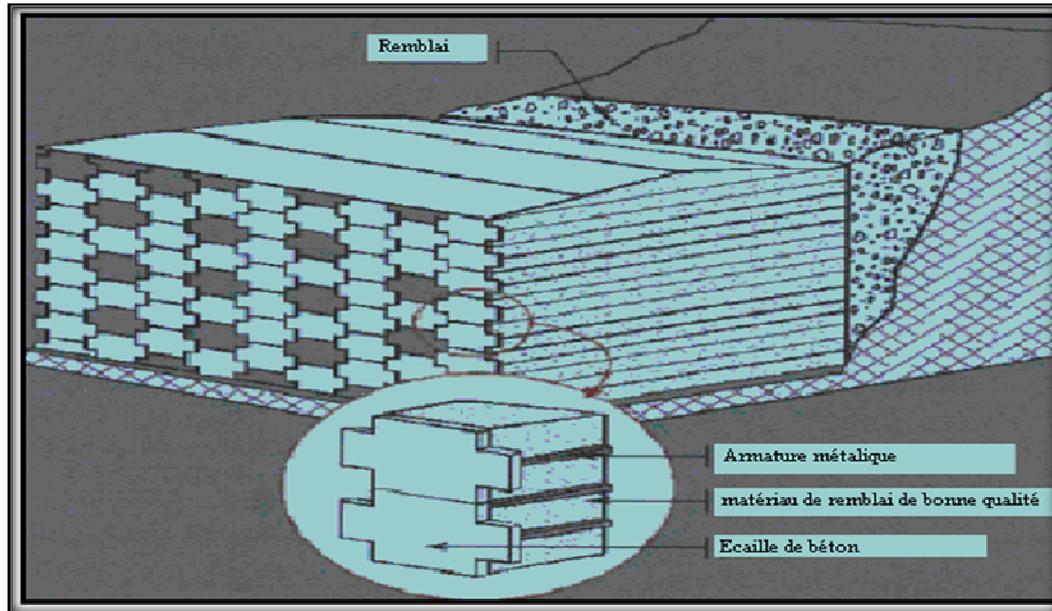
- 1- Forage de la première phase (permet une reconnaissance supplémentaire du sol)
- 2- Injection (au moyen de tubes à manchettes) de la première phase en étudiant la réaction du terrain. Cette méthode d'injection permettant de contrôler parfaitement le volume injecté pour une tranche de profondeur déterminée.
- 3- Poursuite des injections avec surveillance géotechnique continue en évaluant le rapport d'amélioration des caractéristiques (module de déformation, pression limite, etc.) en veillant à ce que les paramètres d'injection restent toujours inférieur au seuil de rupture.

### **I.3. Amélioration des sols par inclusions :**

#### **I.3.1. La terre armée :**

Cette technique dont le principe est similaire à celui du béton armé présente la première méthode de renforcement d'un sol qui a connu un développement remarquable depuis son invention par H.VIDAL au début des années soixante où les ingénieurs de cette époque étaient confrontés à des problèmes de construction des remblais autoroutiers de grandes hauteurs et d'assurer leur stabilité.

L'avantage de ce procédé est de pouvoir améliorer d'une manière simple et économique les propriétés mécaniques du sol en le renforçant que dans les directions où les sollicitations sont plus importantes (Figure I.7).



**Figure I.7 :** Représentation de la terre armée (D'après SCHLOSSER 1983).

Le sol à son état naturel présente de très faibles résistances aux efforts de traction qui sont nulles dans les sols pulvérulents.

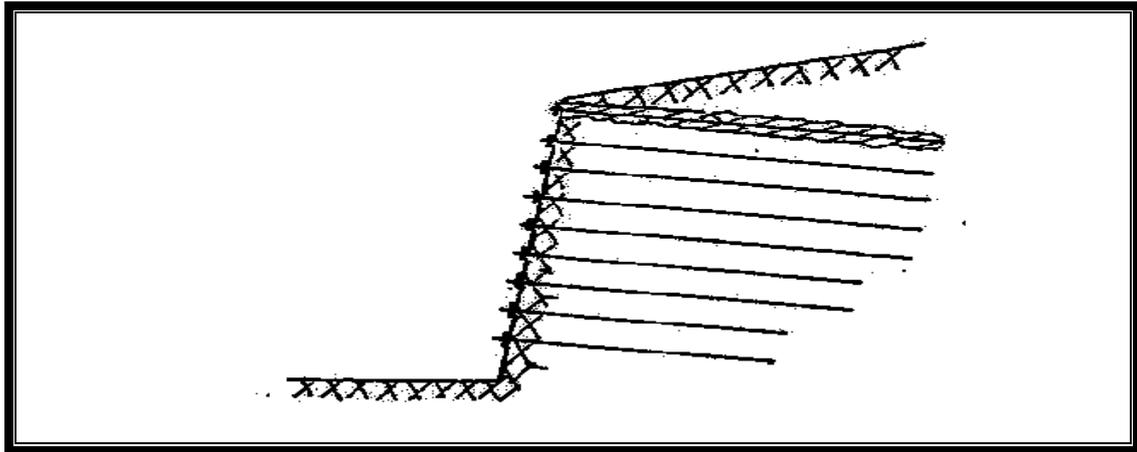
Le principe de cette méthode consiste à associer de la terre et des armatures qui sont sous forme de bandes métalliques aptes à reprendre des efforts importants de traction.

Les armatures sont alors mises en traction et tout se passe comme si la terre possédait dans les directions où sont placées les armatures une cohésion directement proportionnelle à leur résistance en traction. Ce résultat a été mis en évidence à la fois d'un point de vue théorique et expérimental, par de très nombreux essais effectués à l'appareil triaxial sur des éprouvettes de sable armé par des disques métalliques.

De nombreux ouvrages en terre armée ont été réalisés à ce jour à travers le monde, ceci est dû essentiellement à la rapidité et la facilité de mise en œuvre, ce qui a encouragé à entreprendre des études à caractère théorique expérimental sur le comportement des ouvrages en terre armée et les méthodes de dimensionnement.

### **I.3.2. Inclusion métalliques :**

C'est une technique de renforcement in-situ. Elle consiste à introduire des inclusions métalliques linéaires qui travaillent bien en traction, en cisaillement et en flexion, la figure. Ce procédé qui s'inspire de la technique de boulonnage des galeries s'est principalement développé dans deux domaines qui sont : le soutènement d'excavation et la stabilisation des pentes.



**Figure I.8 :** Représentation du renforcement par clouage d'un mur de soutènement.

Cette méthode de renforcement se différencie de celle de la terre armée sur plusieurs points :

D'une part, le clouage est un renforcement en place du sol alors que la terre armée est un renforcement de sol rapporté (remblai). Le mode d'exécution est différent ; les inclusions métalliques sont soit scellées dans des trous préalablement forés, soit introduites par battage ou par vibrofonçage dans la masse de l'ouvrage.

D'autre part dans la terre armée, les inclusions métalliques n'offrent qu'une résistance à la flexion en raison de leurs souplesses.

Enfin la méthode de réalisation des ouvrages en sols cloués permet de jouer aisément que dans la terre armée sur l'inclusion des barres par rapport à l'horizontale, ce qui constitue ainsi un paramètre de dimensionnement supplémentaire à prendre en compte.

Ces différences, ainsi que leurs conséquences sur le comportement des ouvrages, ont été prouvées expérimentalement par des études effectuées sur des modèles réduits [1] ou grâce à des observations faites sur des ouvrages réalisés.

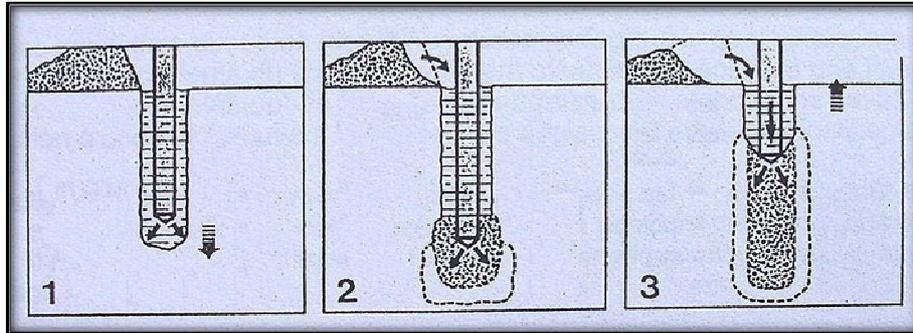
Le problème qui se pose dans ce type d'ouvrages c'est bien l'interaction sol-inclusion qui est difficile à avoir.

### **I.3.3. Inclusion de ballastes par vibrations :**

Cette méthode est applicable aux terrains cohérents tels que limons et argiles lorsque la profondeur de terrain à traiter est trop importante, supérieure à 4 mètres, pour une substitution en surface.

La technique consiste à descendre dans le sol un vibreur manipulé par une grue, qui sous son propre poids, et sous l'influence du lançage d'eau et des vibrations, atteint les profondeurs souhaitées. On élimine au fur et à mesure les boues qui remontent en surface

pour la substitution du sol. Puis, le vibreur est retiré, il y a mise en place de matériau d'apport à gros grains et compactage à nouveau avec le vibreur (voir figure I.8). L'opération est répétée selon un maillage prédéfini. Le maillage créé sur le site par les colonnes de matériaux de granulométrie incompatible avec la liquéfaction, suffit à drainer le sol de la zone qui est protégée.



**Figure I.9 :** Procédé de l'inclusion de Ballaste par vibrations.

#### **I.3.4. Inclusion par compactage dynamique :**

Cette technique consiste à déverser des plots de ballast dans une empreinte laissées chaque choc et les pousser en profondeur par des coups successifs.

La colonne peut travailler en compression comme un pieu ou en cisaillement pour un renforcement. On peut aussi réaliser ainsi des plots drainants ou réaliser une véritable substitution par des plots de très grande section.

Enfin, il faut signaler une application rare du compactage dynamique, pour la réalisation d'une coupure étanche sous un barrage, de l'argile déversée par couches de 1m dans une tranchée de 1,20m de large, creusée à l'avancement à la pelle mécanique, est tasser par les chocs d'un pilon de 4t tombant de 1 à 2m de haut, avec une moyenne de cinq coups par emplacement. Le domaine d'application de cette dernière technique de construction se situe économiquement, pour des coupures étanches, entre 4 à 12m de profondeur. L'observation de la nature des déblais du travail de la pelle permet de s'assurer que la coupure imperméable est bien encastrée dans le substratum étanche.

#### **I.3.5. Inclusion forées de sol stabilisé :**

Cette technique consiste à traiter les sols argileux avec de la chaux ou du ciment. Ceci est relativement facile lors de la construction couche par couche d'un remblai (épandage, charrue à disque, hersage). C'est plus difficile in situ. On y parvient cependant de la façon suivante, par exemple avec le procédé COLMIX. Deux vis d'Archimède parallèles et côte à côte, animées par un moteur, montées sur un châssis porté par une grue, l'une ayant un pas à droite, l'autre un pas à gauche, forent un trou de forme allongée et s'enfoncent dans le sol en le malaxant la terre avec un coulis de chaux ou de ciment, injecté par l'axe des vis. A la profondeur requise, on inverse le sens de rotations se qui met le sol en place en le tassant,

on réalise ainsi des colonnes de sol qui, après prise de la chaux ou du ciment atteignent une résistance à la compression de 1 MPa, et permettent de renforcer le massif de sol initial ou le talus d'un remblai.

### **I.3.6. La congélation :**

La congélation des terrains aquifères instables est un ancien procédé, à caractère provisoire qui est employé pour le creusement de fouilles, de puits ou de galeries et qui permet également le "sauvetage" d'ouvrages à la suite d'incidents (renard, débouillage). Elle rend le sol étanche et résistant.

Le schéma de principe de ce procédé est le suivant :

- exécution de sondages encaissant l'ouvrage à construire, sur la hauteur des couches aquifères, espacement des forages voisin de 1 m,
- mise en place de tubes réfrigérants (sondes): fermés à leur base, ils contiennent des tubes plus petits ouverts à leur partie inférieure,
- mise en circulation d'un liquide à basse température arrivant par le tube intérieur et remontant dans l'espace annulaire en empruntant la chaleur au terrain encaissant,
- congélation progressive des couches autour des sondes, obtention d'une paroi de terrain gelé dur et imperméable.
- maintien de cette paroi durant les travaux de génie civil.

### **I.4. Les géosynthétiques :**

Les géosynthétiques sont des produits plans manufacturés à partir de matériaux polymère utilisés en contact avec le sol, la roche, la terre ou tout autre matériau de la géotechnique comme partie intégrante d'un ouvrage, d'une structure ou d'un système.

#### **I.4.1. Différents types de géosynthétiques :**

Il existe trois grandes familles de géosynthétiques :

##### **I.4.1.1. Les géomembranes :**

Les géomembranes sont des produits minces, souples et continus, utilisés dans le but d'assurer l'étanchéité d'une structure. [2].

En effet, les géomembranes sont parfaitement imperméables, elles restent étanches même sous les contraintes imposées par la structure.

Les deux grandes classes de matériaux de base utilisés pour fabriquer des géomembranes sont :

- a) Les polymères synthétiques (PVC, PEHD,...),
- b) Les produits à base de bitumes : bitumes sans polymères, bitumes modifiés par des polymères.

#### **I.4.1.2. Les géogrilles :**

Ces produits sont composés de matériaux résistants à la dégradation physique et à la perte de rigidité causée par des environnements agressifs chimiquement, Ils résistent à l'allongement (fluage) et supportent d'importantes charges de traction, Ils sont utilisés comme renfort de sol.

#### **I.4.1.3. Les géotextiles :**

Les géotextiles sont des textiles techniques perméables qui sont fabriqués de fibres de polyester et/ou de polypropylène et qui sont utilisés dans des travaux de génie civil et de génie environnemental.

Ils sont imputrescibles et insensibles aux acides que l'on retrouve à l'état naturel dans les sols. Leurs principales fonctions sont de séparer, filtrer, améliorer le drainage et répartir plus efficacement les charges imposées aux sols. Nous retrouvons deux types de géotextiles, les non-tissés et les tissés.

#### **I.4.2. Les avantages de l'utilisation des géosynthétiques :**

Si on fait une comparaison entre les géosynthétiques et les matériaux naturels qu'ils doivent remplacer, on trouve :

- **Une performance généralement meilleure** : Les géosynthétiques sont fabriqués pour remplir une ou deux fonctions spécifiques où chacune d'elles est optimisée au sein du produit. Par exemple, un produit drainant développe la fonction unique de drainage où ses propriétés hydrauliques sont spécifiquement développées pour répondre ce besoin, ce que ne peut faire un autre produit comme le sable dont les caractéristiques sont difficiles à prévoir sur site.

- **Une qualité supérieure** : Les géosynthétiques sont fabriqués dans un espace conditionné et leur contrôle en usine est possible dans des conditions idéales à une fréquence régulière et adaptable.

- **Un coût généralement plus économique** : Quelle que soit la région où le projet a lieu, la nature des matériaux naturels et leur quantité est présente sur site. Dans certains cas, il pourra être avantageux de favoriser l'utilisation locale de qualité et en quantité suffisante.

- **Une durabilité plus grande** : Les géosynthétiques sont fabriqués pour assurer une ou deux fonctions principales. La durabilité des produits qui est facile à assurer dépend du

choix qui à son tour dépend de la fonction du géotextile (choix des résines, des additifs, produits synthétiques non ou faiblement dégradables). Par exemple, Un géotextile de filtration pourra être réalisé d'une fibre traitée contre l'effet des rayonnements UV.

### **I.5. Renforcement des sols par les géotextiles :**

#### **I.5.1. Définition des géotextiles:**

Le mot « géotextile » désigne les textiles utilisés en géotechnique, c'est -à-dire dans les sciences et techniques de la terre. Il ne faut pas confondre géotextiles et géomembrane. Les géomembranes sont étanches alors que les géotextiles sont perméables. [3]

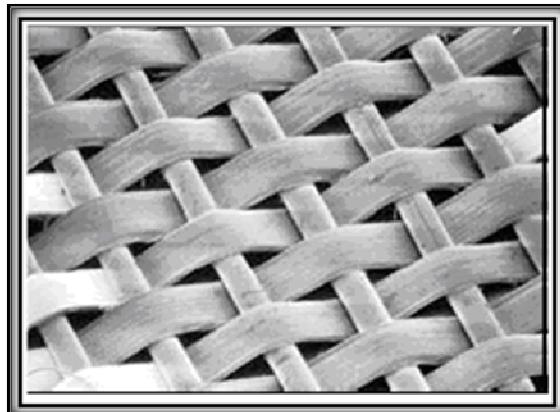
Il s'agit de nappes poreuses et souples, déclinées en produits tissés, non-tissés (la part la plus importante du marché), tricotés, ou résultant d'une combinaison de ces trois grandes techniques.

#### **I.5.2. Les types de géotextiles :**

Les types de géotextiles sont :

##### **I.5.2.1. Les géotextiles tissés :**

Fait de deux séries de fils perpendiculaires combinés de façon systématiques, comme le montre la figure suivante :



**Figure I.10 :** Géotextile tissé.

##### **I.5.2.2. Les géotextiles non-tissés :**

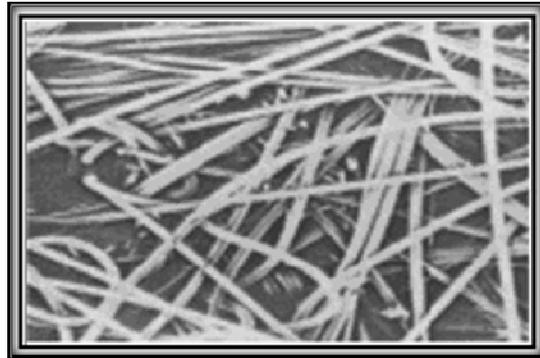
Formés de filaments disposés de façon aléatoire sur un plan. Ce qui constitue un voile sans résistance. La résistance est obtenue par l'un des procédés suivants :

###### **I.5.2.2.1. Liaison chimique :**

Un produit chimique est ajouté au voile pour fixer les fibres disposées horizontalement entre eux. On obtient ainsi des géotextiles non-tissés chimiquement liée.

#### **I.5.2.2.2. Liaison thermique :**

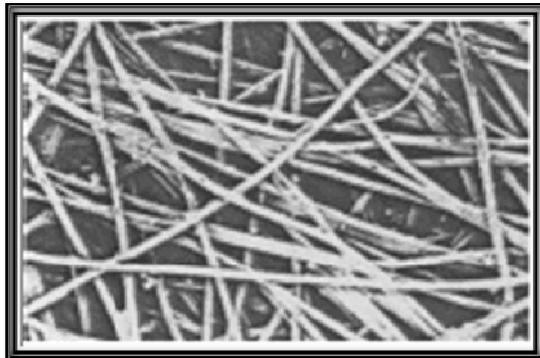
Le voile est chauffé et comprimé, ce qui provoque une fusion partielle des fibres ou des filaments entre eux. On obtient ainsi les géotextiles non-tissé thermo-liés.



**Figure I.11 :** Géotextile thermo-soudé.

#### **I.5.2.2.3. Liaison mécanique par aiguilletages :**

Le voile est soumis au passage alternatif de milliers de petites aiguilles de forme spéciale qui enchevêtre les fibres ou les filaments.



**Figure I.12 :** Géotextile non tissé aiguilleté.

#### **I.5.2.3. Les tricots :**

Ils sont constitués de mailles successives disposées en colonnes et en rangées. La dimension des mailles peut être très variable et le tricot rendu très serré ou très lâche.

La particularité des tricots est d'être constituée de fils qui peuvent être extrêmement résistants tout en ayant une structure très déformable dans toutes les directions.

#### **I.5.2.4. Les grilles et les filets :**

Ce sont des géotextiles qui présentent une structure ouverte dont les ouvertures ont des dimensions très supérieures à celles des constituants.

Les grilles sont formées par la superposition où l'entrecroisement de deux nappes d'éléments perpendiculaires liées par traitement thermique qu'on appelle « enduction » ou parfois seulement par frottement à condition qu'il y ait entrecroisement ; Certaines grilles sont produites directement par extrusion et leurs ouvertures ont des formes variées.

Dans les filets, le liage est constitué par des nœuds.

La différence entre les grilles et les filets est que les grilles sont rigides alors que les filets sont souples.

#### **1.5.2.5. Les géotextiles composites :**

En plus d'un géotextile, ces matériaux sont constitués de l'association de plusieurs matériaux de façon à combiner leurs propriétés.

Parmi les combinaisons qu'on rencontre souvent, on a l'association d'une grille et d'un non tissé ou l'association de deux aiguilletés de fibrométries différentes.

Dans le premier cas, la grille donne au composite une résistance et une rigidité, le non tissé apporte ses propriétés filtrantes.

Concernant le deuxième cas, la couche qui a les plus grosses fibres assure la fonction de drainage et celle qui est composée par les plus fines fibres remplit la fonction de filtre.

#### **1.5.3. Les propriétés des géotextiles :**

En plus des propriétés des sables et des graviers (laissent passer les eaux, retiennent des particules fines, résistent à la compression et au poinçonnement, et ont un coefficient de frottement élevé). Les géotextiles ont une propriété que sables et graviers n'ont pas, c'est la résistance à la traction.

Ces propriétés se mesurent à l'aide d'essais inspirés de ceux employés pour les textiles traditionnels, ou bien spécialement développés pour les géotextiles :

- Epaisseur et comportement en compression
- Perméabilité
- Rétention
- Comportement en traction
- Frottement
- Durabilité.

**Tableau I.1** : Conformité des différentes caractéristiques d'un géotextile.

Caractéristiques	Normes
Résistance à la traction et à la déformation sous charge maximale	NF EN ISO 10319
Résistance à la perforation dynamique	NF EN 918
Perméabilité perpendiculaire au plan (permittivité)	EN ISO 11058
Essai de poinçonnement statique (essai CBR)	NF EN 12236
Résistance au poinçonnement	NF G 38-019
Détermination de l'épaisseur à des pressions prescrites	NF EN 964-1
Essai de traction pour joints/coutures par la méthode de la bande large	NF EN ISO 10321
Résistance au déchirement (déchirure amorcée)	NF G 38-015
Ouverture de filtration (effet anti-contaminant)	EN ISO 12956
Simulation de l'endommagement par abrasion	NF EN ISO 13427
Capacité de débit dans leur plan	NF EN ISO 12958
Résistance aux conditions climatiques	EN 12224

Cet exceptionnel éventail de propriétés explique la variété d'applications des géotextiles.

#### **I.5.4. Fonctions et applications des géotextiles :**

##### **I.5.4.1. Amortissement :**

Un géotextile remplisse la fonction d'un amortisseur lorsqu'il est placé entre deux matériaux, il atténue ou uniformise, les contraintes ou les déformations transmises à celui des deux matériaux que l'on désire protéger. On cite les exemples d'applications suivants :

1. Réhabilitation des chaussées fissurées.
2. Géotextile protège une géomembrane de la perforation par les cailloux de son support ou de la perforation par les éléments anguleux (cailloux, dalles) de sa couverture.
3. Géotextile protégeant du contact avec les cailloux une conduite métallique couverte d'un revêtement anticorrosion fragile.

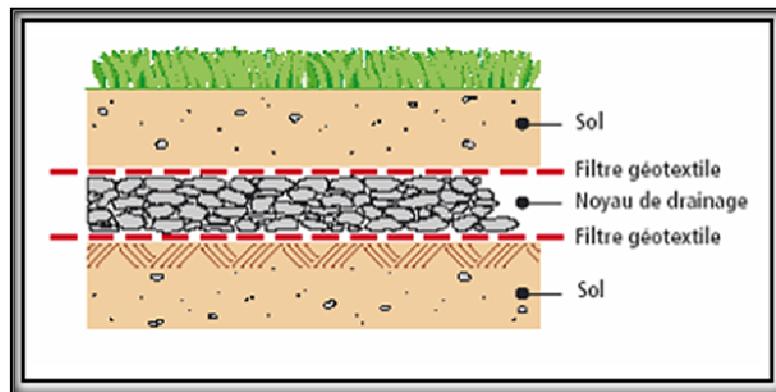
##### **I.5.4.2. Drainage :**

Un géotextile utilisé en substitution des filtres en sable, sur tranchées drainantes, en sous couches de berges, (voir figure I.13).

Pour cette fonction on cite les applications suivantes :

1. Drain vertical le long d'un mur enterré.
2. Drain placé sous un revêtement étanche (géomembrane, béton).
3. Drain placé entre deux étanchéités.
4. Drain cheminée dans un barrage en terre.

5. Géotextile placé derrière la paroi de ciment- bentonite (matériaux relativement fragile) constituants le noyau étanche d'un barrage construit en sol semi étanche.
6. Drains horizontaux évacuants l'eau contenue dans la zone amont d'un barrage en cas de vidange rapide.
7. Drains verticaux évacuants vers le haut l'eau chassé du sol lors de sa consolidation sous le poids des remblais.
8. Drain horizontal évacuant latéralement l'eau chassé du sol lors de sa consolidation sous le poids du remblai.
9. Drains horizontaux accélérant la consolidation d'une retenue de stériles de mines drains horizontaux accélérant la consolidation d'un remblai construit en argile saturée. Dans ce cas, les géotextiles horizontaux remplissent également la fonction d'armatures.



**Figure I.13 :** Couche de drainage en agrégats.

#### I.5.4.3. Filtration :

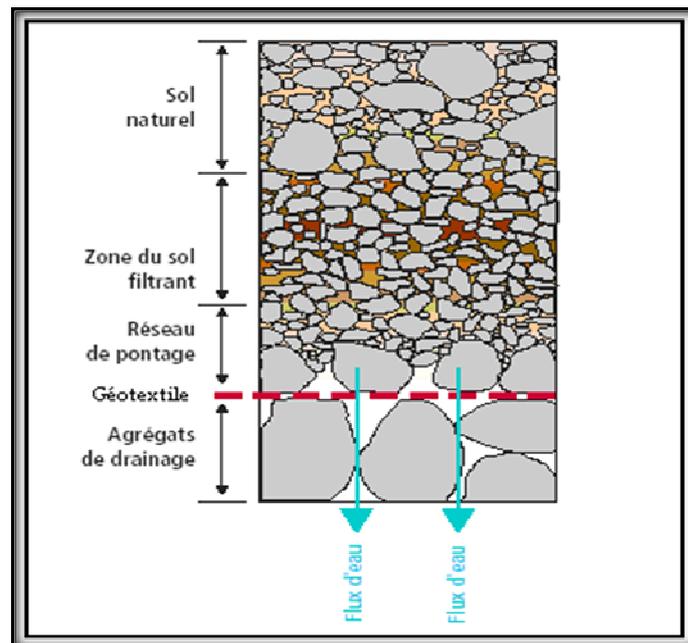
Géotextile utilisé en substitution des filtres en sable, sur tranchées drainantes, en sous couches de berges...

On a les exemples d'applications suivants :

1. Bassin de décantation pour recharge de la nappe phréatique
2. Rétention des particules des sables et silt dans un remblai hydraulique.
3. Barrière à silt : un géotextile retenu par des piquets de 1m de haut arrête les particules fines charriées par un courant d'eau. Il s'agit souvent de constructions temporaires pour contrôler l'érosion liée à des terrassements.
4. Rideaux à silt : un géotextile suspendu à des flotteurs et lestée ou ancrée à sa base enclot une zone de dragages ou terrassements, en mer ou en rivière, il arrête les particules fines en suspension pour éviter la pollution des eaux.
5. tubes, sacs, poches de géotextiles pour contenir du remblai hydraulique ou du béton frais.

Les exemples suivants ont trait au deuxième type de filtration (géotextiles placés en contact avec un sol d'où s'échappe de l'eau ; comme le montre la figure I.14).

6. Les géotextiles utilisés comme filtres pour protéger des drains en graviers ou cailloux :
  - Tranchées drainantes.
  - Zone derrière un mur de soutènement.
  - Couche drainante sous un jardin.
  - Drain « cheminée » et tapis drainant ou massif drainant.
  - Drain placé sous un revêtement étanche (géomembrane, béton) pour éviter son soulèvement par de sous pressions d'eau ou de gaz.
7. les géotextiles utilisés également comme filtre pour les gabions, les tuyaux perforés, les puits et piézomètres et les géotextiles épais remplissant la fonction des drains.
8. Un géotextile constituant la première zone de transition, contre le noyau argileux dans un barrage zoné.
9. Les géotextiles employés comme filtre sous enrochement, berges, des lits de rivières et des fonds marins.



**Figure I.14 :** Filtre de sol naturel à proximité du géotextile.

#### **I.5.4.4. Revêtement :**

Un géotextile remplit la fonction de revêtement lorsqu'il est placé à la surface du sol, il empêche les particules de s'échapper sous l'action de sollicitation mécaniques légères. On peut les rencontrer dans les cas suivants :

1. Revêtement de pistes d'hélicoptère.

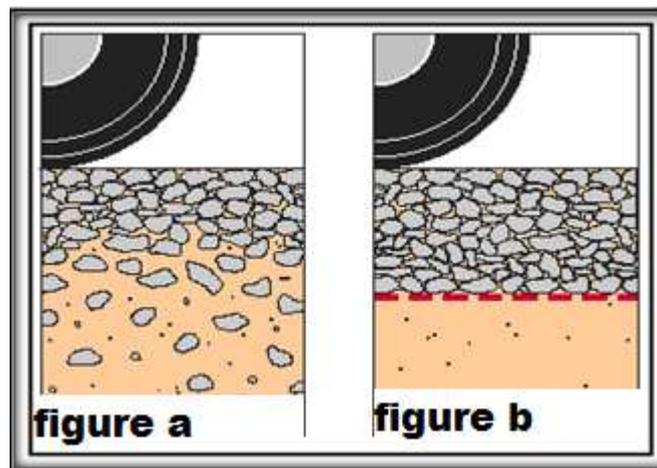
2. Revêtement de pistes cyclables.
3. Revêtement des cours de tennis.

#### I.5.4.5. Séparation :

Un géotextile remplit la fonction de séparateur lorsqu'il est placé entre un sol fin et un matériau grossier il les empêche de s'interpénétrer lorsqu'ils sont pressés l'un contre l'autre par les contraintes appliquées.

Les exemples d'applications sont très nombreux :

1. Géotextile entre un remblai en matériau granulaire et un sol mou.
2. Coussin sous un remblai, une fondation, ou autour de canalisations.
3. Géotextile pour empêcher un sol de s'échapper par une fente, par exemple entre remblai et palplanche ou entre la base d'un noyau de barrage et un rocher fissuré.
4. Aires de stockages et de stationnement, routes et aérodrômes.
5. Les voies ferrées pour l'entretien des voies anciennes en mauvais état ou pour la construction des voies nouvelles.
6. Aires de loisirs et terrains de sport.



**Figure I.15:** Rôle de la séparation.

**Figure a :** sans géotextile, perte d'agrégats dans le sol mou de la plate-forme.

**Figure b :** avec un géotextile, aucune perte d'agrégats, meilleure compacité.

#### I.5.4.6. Barrières :

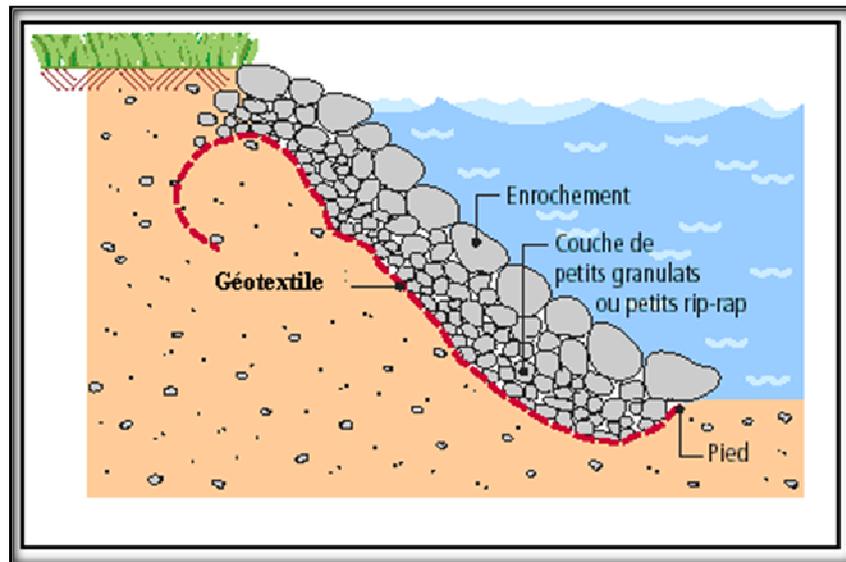
Un géotextile remplit la fonction de barrière lorsqu'il est placé sur le parcours de corps solides en mouvement, il les arrête.

Peu d'applications ont été réalisées, on a par exemples :

1. Barrières de corps flottants.
2. Barrières de déboisement.
3. Barrières d'explosions.

#### I.5.4.7. Anti-érosion :

Un géotextile utilisé contre l'action de la pluie, du vent, des vagues et favorisant la pousse de la végétation sur talus, berges, sous formes de produits tissés ou tricotés et remplis de sable, de galets puis éventuellement recouverts d'un voile non-tissé (l'agrandissement d'Amsterdam sur la mer a nécessité l'emploi de nombreux ballots de PP tissés et coulés sur 250 h).



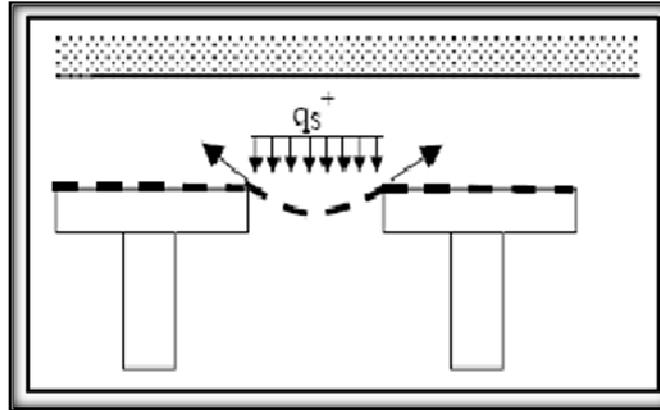
**Figure I.16:** Géotextile utilisé pour stabiliser l'érosion.

#### I.5.4.8. Membranes tendue :

Un géotextile remplit la fonction de membrane tendue lorsqu'il est placé entre deux matériaux ayant des pressions différents. Cette fonction est résultante de deux propriétés du textile : rétention pour que les deux matériaux demeurent séparés. Et résistance à la traction.

On a les exemples d'applications suivants :

4. Petites soutènements réalisées à partir d'un géotextile.
5. Tube et sacs, en tissé ou non-tissé, contenant des sables éventuellement remplis par remblai hydraulique.
6. Chaussettes, en tissé ou non-tissé, remplis de béton pour réaliser des pieux dans des sols caverneux.
7. Géotextile aidant une géomembrane à « ponter » une fissure.
8. Pistes, si l'orniérage est important, le géotextile remplit la fonction d'une membrane tendue entre les roues et sous ses dernières.



**Figure I.17 :** L'effet de membrane.

#### I.5.4.9. Armature :

Un géotextile remplit la fonction d'armature lorsqu'il contribue par son comportement en traction à la stabilité d'un ouvrage.

On a les exemples d'applications suivants :

1. Géotextile sous remblai, si l'analyse montre que le remblai sans géotextile serait instable.
2. Massifs multicouches à parement géotextile pour réaliser des soutènements, des barrages, et des remblais.
3. Un géotextile placé sur une géomembrane et convenablement ancré en tête de pente. Permet de couler du béton qui glisserait s'il été coulé directement sur la géomembrane.
4. Utilisation des géotextiles spéciaux pour armer les revêtements routiers.
5. Les mats sont couramment utilisés comme armature superficielles temporaires du sol pendant que pousse la végétation.

\*Les fonctions de membrane tendu et d'armature sont les deux fonctions par lesquelles un géotextile peut renforcer un sol. On regroupe souvent ces deux fonctions sous le nom « renforcement ».

\* Sur le plan technique on signalera deux évolutions parallèles, pas forcément contradictoires :

- le développement des fibres naturelles dans les géotextiles destinés à lutter contre l'érosion des sols (un moyen de valoriser certains sous produits agricoles).
- le développement de géotextiles " intelligents ", intégrant des fibres optiques et capables de suivre et même d'anticiper des problèmes de déformation, ou l'apparition de fissures, sur des ouvrages d'art (routes, ponts,...).

**I.5.5. Relation entre les propriétés et les fonctions des géotextiles :**

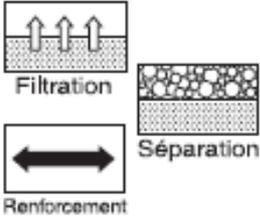
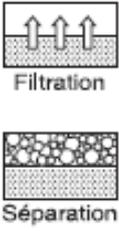
Les tableaux ci-dessous regroupent les différentes propriétés et fonctions des géotextiles et la relation entre eux :

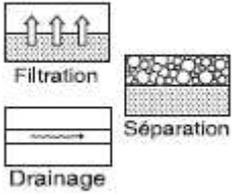
**Tableau I.2 :** Relation entre les propriétés et les fonctions des géotextiles.

PROPRIETES	FONCTIONS				
	Drain	Filtre	séparation	Renforcement	Protection
Epaisseur	***	*			***
Compressibilité		**			*
Permittivité	**	***	**		*
Transmissivité	***	*			
Distribution des pores	***				
Résistance à la traction			*	**	*
Raideur				***	
Déformation			***	*	*
Résistance au déchirement			**	**	***
Résistance au percement			***	**	***
Frottement				***	**
*** : propriété d'importance majeure ; ** : propriété d'importance moyenne ; * : propriété d'importance faible					

On peut utiliser le tableau I.3 comme un guide de choix :

**Tableau I.3 :** Guide de sélection des géotextiles. [5]

APPLICATIONS	FONCTIONS	PARAMÈTRES D'INFLUENCE	NIVEAU DE CONTRAINTE MÉCANIQUE AU CHANTIER
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rues, routes et autoroutes (pavées et non-pavées)</li> <li>• Stationnements</li> <li>• Aires d'entreposage</li> </ul>	 <p>Filtration</p> <p>Séparation</p> <p>Renforcement</p>	Infrastructure Structure Trafic Sollicitation mécanique Exigences hydrauliques Pérennité de l'ouvrage	Faible Moyen Élevé
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection de berges</li> <li>• Ponceaux</li> <li>• Batardeaux, digues</li> </ul>	 <p>Filtration</p> <p>Séparation</p>	Sol adjacent (granulométrie, perméabilité) Exigences hydrauliques Sollicitation mécanique <ul style="list-style-type: none"> <li>- hauteur de chute</li> <li>- angularité des pierres</li> <li>- grosseur de pierre               <ul style="list-style-type: none"> <li>0 à 30 cm</li> <li>30 cm à 1 m</li> <li>1 m et plus</li> </ul> </li> </ul>	Moyen Élevé Très élevé
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tranchées drainantes</li> <li>• Captation de lixiviat</li> </ul>	 <p>Filtration</p> <p>Séparation</p> <p>Drainage</p>	Sollicitation mécanique Exigences hydrauliques Sol adjacent (granulométrie, perméabilité)  Sol adjacent (composition chimique et bactériologique)	Faible Moyen  Faible

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rues, bâtiments, murs de soutènement</li> </ul>	 <p>Filtration</p> <p>Drainage</p> <p>Séparation</p>	<p>Sollicitation mécanique</p> <p>Exigences hydrauliques</p> <p>Sol adjacent (granulométrie, perméabilité, composition chimique et bactériologique)</p>	<p>Faible, moyen, Élevé</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sites d'enfouissement</li> <li>• Bassins de rétention</li> <li>• Canaux d'irrigation</li> </ul>	 <p>Renforcement</p> <p>Protection</p>	<p>Type de géomembrane</p> <p>Type de remblai</p> <p>Sollicitation mécanique</p>	<p>Moyen</p> <p>Élevé</p> <p>Très élevé</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrages de béton</li> <li>- glissières</li> <li>- déversoirs</li> <li>- ouvrages exposés</li> <li>- tabliers de pont</li> <li>- dalles sur sol</li> <li>- viaducs</li> </ul>	 <p>Drainage de coffrage</p> <p>Cure de béton</p>	<p>Résistance du béton</p> <p>Agressivité du milieu</p> <p>Esthétique</p>	<p>Faible</p>
		<p>Conditions climatiques</p> <p>Besoins d'hydratation</p>	<p>Faible</p>

**II.1. Objectif et méthodologie de travail :****II.1.1. Objectif :**

Plusieurs techniques de renforcement ont été développées pour faire face à des problèmes de stabilité ou de résistance des sols.

Notre travail rentre globalement dans ce besoin de renforcement des sols, il consiste à évaluer l'amélioration des caractéristiques mécaniques des sables, la cohésion (**C**) et l'angle de frottement ( **$\phi$** ) apporté par les géotextiles.

Le programme expérimental à été effectué au sein du laboratoire du Génie civil de notre école (ENSH).

**II.1.2. Appareillage et matériaux utilisés :**

L'appareillage utilisé dans notre campagne expérimentale est principalement, l'appareil de cisaillement direct à la boîte de CASAGRANDE.

Les matériaux utilisés dans les essais ; sont deux différents sables, il s'agit d'un gros sable de l'oued de DAMOUS, wilaya de TIPAZA et d'un sable fin de HASSI BAH-BAH, wilaya de DJELFA.

Les sables seront renforcés par deux géotextiles de types différents, il s'agit d'un géotextile tissé et d'un autre non tissé.

**II.2. Compagne expérimentale :****II.2.1. Caractéristiques et identification des sables :**

Nous avons choisi de mener nos expériences sur deux types de sables dans leurs états lâches et denses.

Nous identifions, dans ce qui suit, les caractéristiques physiques des deux sables utilisés.

### II.2.1.1. Granulométrie : [4]

Cet essai consiste à faire passer un échantillon représentatif de sol, à travers des tamis superposés dont les ouvertures sont dans l'ordre décroissant du haut vers le bas. Les particules les plus grosses restent donc emprisonnées sur les tamis les plus hautes. Tandis que les particules plus fines se dirigent vers les tamis inférieurs.

Mécaniquement ou manuellement, on soumet les tamis à des mouvements horizontaux et verticaux de façon à laisser l'échantillon de sol constamment en contact avec la surface des tamis et ainsi augmenter l'efficacité du tamisage. Les particules retenues sur un tamis portent le nom de **refus** ou **retenus**, alors que la quantité de sol ayant traversé un tamis s'appelle **tamisât** ou **passant**.

Lorsque les masses retenues sur chaque tamis deviennent constantes, le tamisage est terminé et tous les refus sont pesés. La masse de chaque refus est ensuite comparée à la masse totale de l'échantillon, ce qui permet de calculer les pourcentages de refus cumulatifs et de tamisât. En fonction de ces données on trace la courbe granulométrique du sol.

Cette courbe contribue à l'identification du matériau et permet de prévoir certaines de ses propriétés. Elle est notamment utilisée pour la classification des sols grenus qui nécessite le calcul de deux coefficients de forme :

- Le coefficient d'uniformité (**C<sub>u</sub>**) (coefficient HAZEN) qui est égal au rapport entre les diamètres correspondant respectivement au tamisât de 10% et de 60%.
- Le coefficient de courbure (**C<sub>c</sub>**) qui traduit la forme plus ou moins régulière de la courbe et vaut :  $(D_{30})^2 / (D_{60} * D_{10})$ .

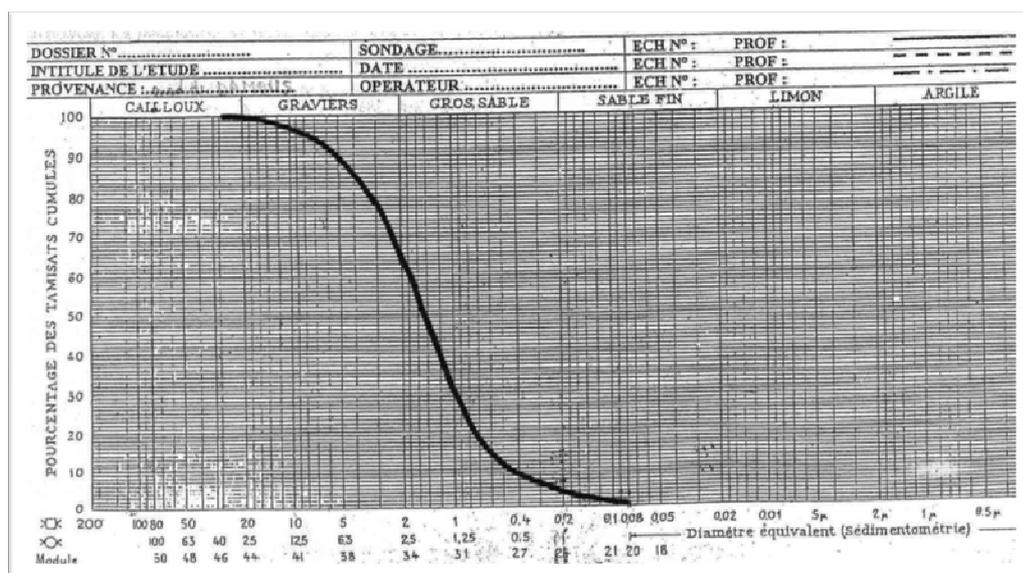
#### II.2.1.1.1. Gros sable de l'oued de DAMOUS :

L'analyse granulométrique sur un échantillon de sable d'une masse de 1700g, à donner les résultats présentés dans le tableau (II.1) et la figure (II.1).

**Tableau II.1:** Résultats de l'analyse granulométrique du gros sable de l'oued de DAMOUS.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés(g)	Refus cumulés(%)	Tamisât (%)
6,3	108,9	108,99	6,41	93,59
5	52,6	161,69	9,51	90,49
4	82,7	244,48	14,38	85,62
3,15	100,5	345,07	20,30	79,70
2,5	132,5	477,67	28,10	71,90
2	144,5	622,26	36,60	63,40
1,25	370,6	992,95	58,41	41,59
0,8	312,2	1305,24	76,78	23,22
0,63	130,9	1436,24	84,48	15,52
0,5	84	1520,33	89,43	10,57
0,315	93,3	1613,72	94,92	5,08
0,16	53,6	1667,42	98,08	1,92
0,125	8,5	1676,01	98,59	1,41
0,08	11,5	1687,60	99,27	0,73
fond	12,3	1700,00	100,00	0,00

Les résultats du tableau sont représentés dans la figure



suivante :

**Figure II.1:** Courbe granulométrique du gros sable.

D'après la courbe granulométrique, on déduit les valeurs des paramètres suivants :

$$D_{60} = 1.80\text{mm}$$

$$D_{10} = 0.50 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 1\text{mm}$$

$$C_U = D_{60} / D_{10} \rightarrow C_U = 1.80/0.50 \rightarrow C_U = 3.6$$

$$C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \rightarrow C_C = (1)^2 / (0.50 \times 1.80) \rightarrow C_C = 1.69$$

On a trouvé que  $C_U > 2$ , ce qui signifie que la granulométrie de notre échantillon est étalée.

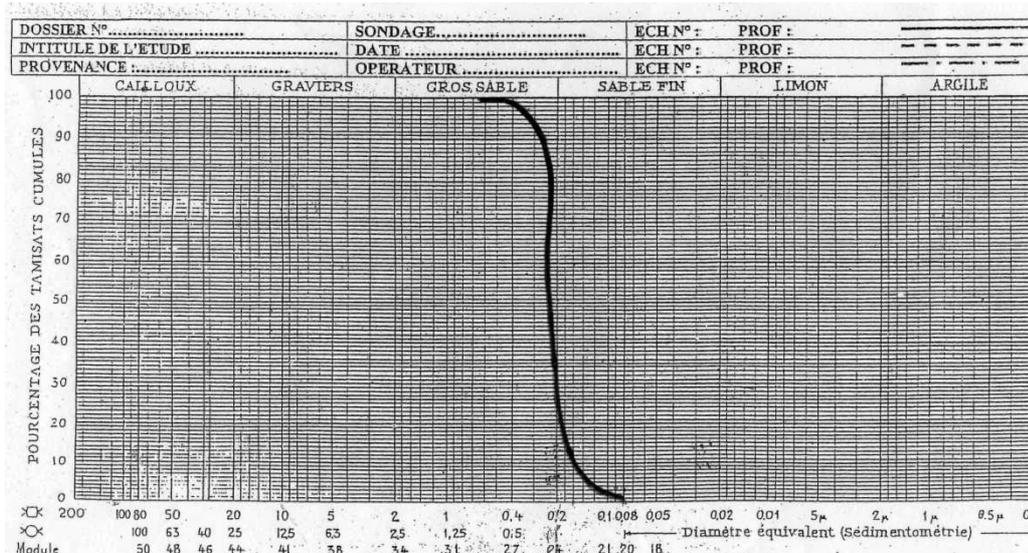
#### II.2.1.1.2. Sable fin de HASSI BAH-BAH :

L'analyse granulométrique sur un échantillon de sable d'une masse de 1200g, à donner les résultats présentés dans le tableau (II.2) et le graphe (II.2).

**Tableau II.2:** Résultats de l'analyse granulométrique du sable fin de HASSI BAH-BAH.

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés(%)	Tamisât (%)
0,63	2,545	0,23	99,77
0,5	1,545	0,37	99,63
0,4	5,545	0,86	99,14
0,315	23,045	2,92	97,08
0,25	76,545	9,75	90,25
0,2	619,045	65,02	34,98
0,16	208,545	83,64	16,36
0,125	138,045	95,97	4,03
0,1	20,045	97,76	2,24
0,08	23,545	99,86	0,14
Fond	1,545	100,00	0,00

Les résultats du tableau sont représentés dans la figure suivante :



**Figure II.2:** Courbe granulométrique du sable fin de HASSI BAH-BAH.

D'après la courbe granulométrique, on déduit les valeurs des paramètres suivants :

$$D_{60} = 0.25 \text{ mm}$$

$$D_{10} = 0.16 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.20 \text{ mm}$$

$$C_U = D_{60} / D_{10} \rightarrow C_U = 0.25 / 0.16 \rightarrow C_U = 1.56$$

$$C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60}) \rightarrow C_C = (0.20)^2 / (0.16 \times 0.25) \rightarrow C_C = 1.00$$

On a trouvé que  $C_U \leq 2$ , ce qui signifie que la granulométrie de notre échantillon est serrée.

#### II.2.1.2. Essai de densité :

Cet essai nous permet de déterminer la densité (poids volumique) max et min d'un échantillon du sol. L'essai consiste à verser les grains de sol (dans notre cas le sable) de différentes hauteurs de chute, en commençons par une hauteur nulle jusqu'à une hauteur qui correspond à un poids qui sera toujours constant ; afin de remplir la boîte de CASAGRANDE, et à chaque fois on pèse cette boîte et Connaissant le volume de la boîte on peut calculer le poids volumique.

Le poids volumique correspondants à une hauteur nulle représente le  $\delta_{\text{dmin}}$ , c'est le cas d'un sol lâche.

Et celui qui correspond à une hauteur où le poids volumique est devenu constant représente le  $\delta_{\text{dmax}}$ , c'est le cas d'un sol dense.

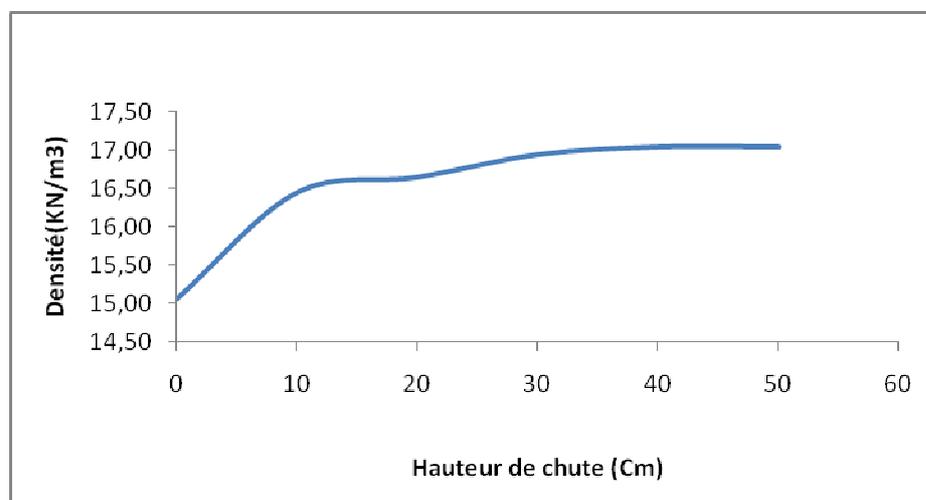
**II.2.1.2.1. Gros sable de l'oued de DAMOUS :**

Le tableau (II.3) et le graphe (II.3) représentent les résultats de l'essai de densité :

**Tableau II.3:** Résultats de l'essai de densité du gros sable de l'oued de DAMOUS.

Hauteur de chute(m)	0	10	20	30	40	50
Densité (KN/m <sup>3</sup> )	15.07	16.46	16.65	16.95	17.05	17.05

La variation de la densité de sable en fonction de la hauteur de chute est représentée dans la figure suivante :

**Figure II.3 :** Variation de la densité de sable en fonction de la hauteur de chute.

A partir des résultats obtenus dans cet essai, on peut déduire que le poids volumique minimale est  $\delta d_{\min} = 15.07 \text{ KN/m}^3$ , et le poids volumique maximale est  $\delta d_{\max} = 17.05 \text{ KN/m}^3$

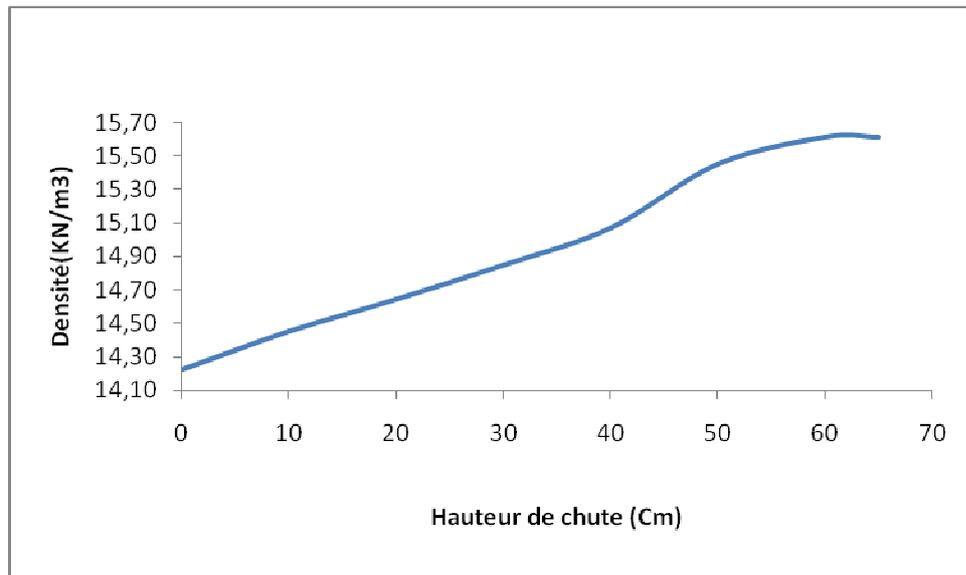
**II.2.1.2.2. sable fin de HASSI BAH-BAH:**

Le tableau (II.4) et le graphe (II.4) représentent les résultats de cet essai :

**Tableau II.4:** Résultats de l'essai de densité du sable fin de HASSI BAH-BAH.

Hauteur de chute(m)	0	10	20	30	40	50	60
Densité (KN/m <sup>3</sup> )	14.23	14.52	14.77	15.07	15.56	15.61	15.61

Les résultats du tableau sont représentés dans la figure suivante :



**Figure II.4 :** Variation de la densité de sable en fonction de la hauteur de chute.

A partir des résultats obtenus dans cet essai, on peut déduire que le poids volumique minimale est  $\delta d_{\min} = 14.23 \text{ KN/m}^3$ , et le poids volumique maximale est  $\delta d_{\max} = 15.61 \text{ KN/m}^3$

### II.2.1.3. Essai de compressibilité à l'oedomètre:

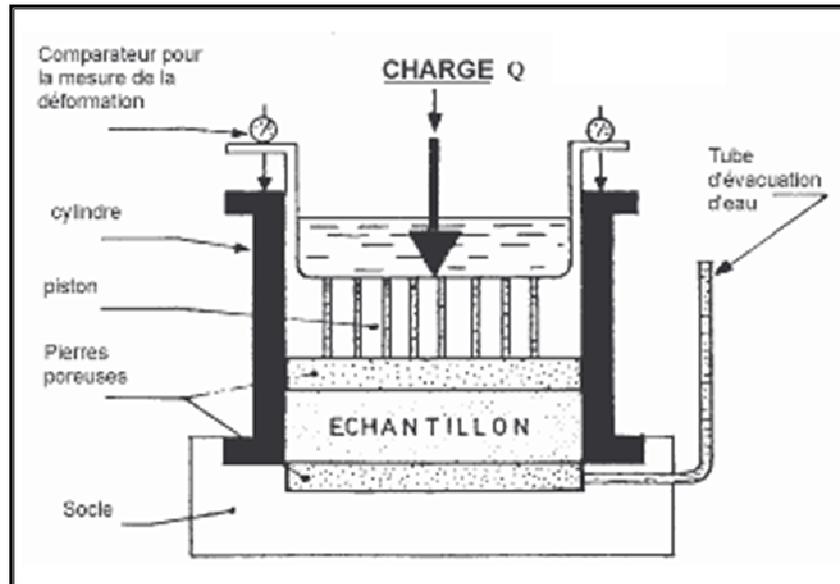
L'essai consiste à soumettre l'échantillon à une série de pressions verticales, et de suivre l'évolution des déformations verticales du matériau dans le temps, sous une surcharge est donné à laide d'un comparateur.

C'est un essai qui permet d'évaluer l'amplitude des tassements des ouvrages ainsi que leur évolution dans le temps.

#### II.2.1.3.1. Description de l'appareil :

L'appareil comprend (Figure. II.5) :

- Une cellule contenant l'échantillon,
- Un bâti de chargement.



**Figure II.5:** Oedomètre de TERZAGHI.

Les organes essentiels de la cellule sont :

- Un cylindre en métal contenant l'échantillon,
- Deux pierres poreuses assurant le drainage des deux faces de l'échantillon,
- Des comparateurs mesurant les déplacements du piston.
- L'échantillon de sol ayant un diamètre de 70 mm et une épaisseur initiale de l'ordre de 24mm.

#### **II.2.1.3.2. Réalisation de l'essai :**

Un essai oedométrique par palier comporte l'application d'une série de pressions, dont chacune peut durer 24 heures, on se propose dans cette expérience d'étudier un échantillon sableux sec, pour lequel le tassement est essentiellement instantané.

#### **II.2.1.3.3. Gros sable de l'oued de DAMOUS :**

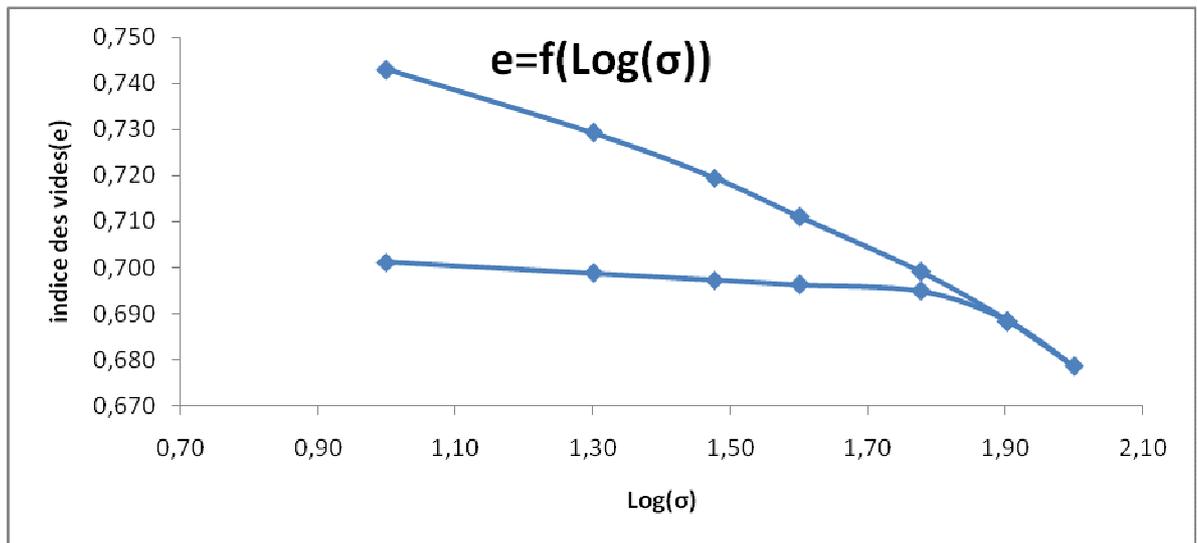
Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau (II.5) et les figures(II.6), (II.7).

# Chapitre II

Programme  
Expérimental

**Tableau II.5 :** Résultats de l'essai oedométrique sur le gros sable de l'oued de DAMOUS.

Masse(Kg)	2	4	6	8	12	16	20	16	12	8	6	4	2
$\sigma$ (KPa)	10,00	20,00	30,00	40,00	60,00	80,00	100,00	80,00	60,00	40,00	30,00	20,00	10,00
Log ( $\sigma$ )	1,00	1,30	1,48	1,60	1,78	1,90	2,00	1,90	1,78	1,60	1,48	1,30	1,00
$\Delta H$ (mm)	0,416	0,57	0,68	0,776	0,91	1,03	1,14	1,03	0,956	0,94	0,93	0,912	0,886
Indice des vide(e)	0,743	0,729	0,719	0,711	0,699	0,688	0,679	0,688	0,695	0,696	0,697	0,699	0,701
$\xi = \Delta H/H$	0,021	0,029	0,034	0,039	0,046	0,052	0,057	0,0515	0,0478	0,0470	0,0465	0,0456	0,0443



**Figure II.6:** Courbe de compressibilité en fonction de  $\text{Log}(\sigma)$ .

D'après le graphe précédent on peut déterminer les indices suivants :

- L'indice de **compression**

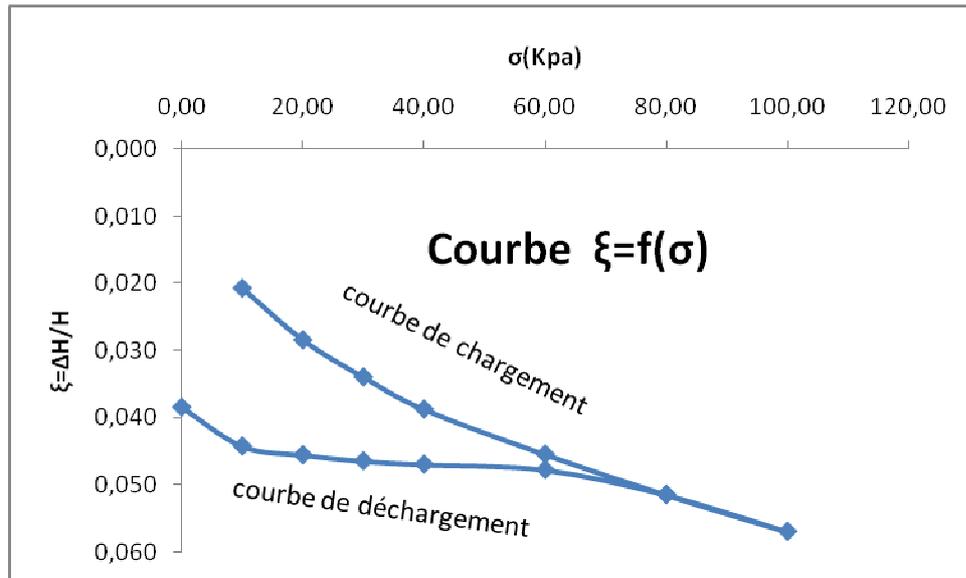
Pendant le chargement de l'échantillon, quand la pression dépasse la pression de préconsolidation, le tassement s'accroît et l'indice des vides diminue considérablement. La pente du second segment de la courbe est représentée par le symbole ( $C_c$ ).

$$C_c = (0,711 - 0,719) / (1,48 - 1,60) = 0,066.$$

- L'indice de **gonflement** :

Lorsque la pression est relâchée ; on aura un léger gonflement élastique du sol qui se traduit par une faible augmentation de l'indice des vides et une légère remontée de la courbe. Même si la charge est totalement retirée, le tassement ne se résorbe jamais complètement. La pente de cette portion de courbe s'appelle indice de gonflement, et elle est représentée par la lettre ( $C_s$ ).

$$C_s = (0,701 - 0,699) / (1,00 - 1,30) = 0,0067$$



**Figure II.7:** Courbe des tassements en fonction de la contrainte normale appliquée( $\sigma$ ).

A partir de ce graphique on détermine le module oedométrique ( $E_0$ ).

Le module oedométrique ( $E_0$ ) représente la tangente de la courbe de chargement.

On remarque que ( $E_0$ ) n'a pas donc une valeur constante, il dépend de la position des points ; mais en pratique, il est possible sans grande erreur de considérer un module oedométrique constant.

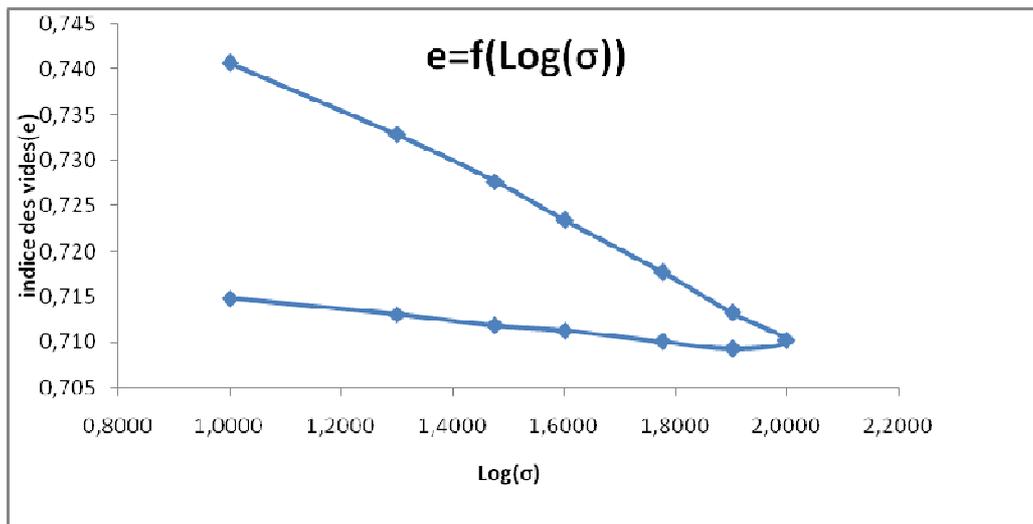
$$E_0 = (20-10) / (0.029-0.021) = 1.25 \text{ MPa.}$$

#### II.1.1.1.1. Sable fin de HASSI BAH-BAH :

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau (II.6) et les figures(II.8), (II.9).

**Tableau II.6:** Résultats de l'essai oedométrique sur le sable fin de HASSI BAH-BAH.

Masse (Kg)	2	4	6	8	12	16	20	20	16	12	8	6	4	2	0
$\sigma$ (KPa)	10,00	20,00	30,00	40,00	60,00	80,00	100,00	80,00	80,00	60,00	40,00	30,00	20,00	10,00	10,00
Log ( $\sigma$ )	1,00	1,30	1,48	1,60	1,78	1,90	2,00	1,90	1,90	1,78	1,60	1,48	1,30	1,00	
$\Delta H$ (mm)	0,442	0,53	0,588	0,636	0,70	0,75	0,784	0,794	0,794	0,786	0,772	0,766	0,752	0,732	0,678
Indice des vide(e)	0,039	0,047	0,052	0,057	0,062	0,067	0,070	0,071	0,071	0,070	0,069	0,068	0,067	0,065	0,060
$\xi = \frac{\Delta H}{H}$	0,0221	0,0265	0,0294	0,0318	0,0350	0,0375	0,0392	0,0397	0,0397	0,0393	0,0386	0,0383	0,0376	0,0366	0,0339



**Figure II.8:** courbe de compressibilité en fonction de  $\text{Log}(\sigma)$ .

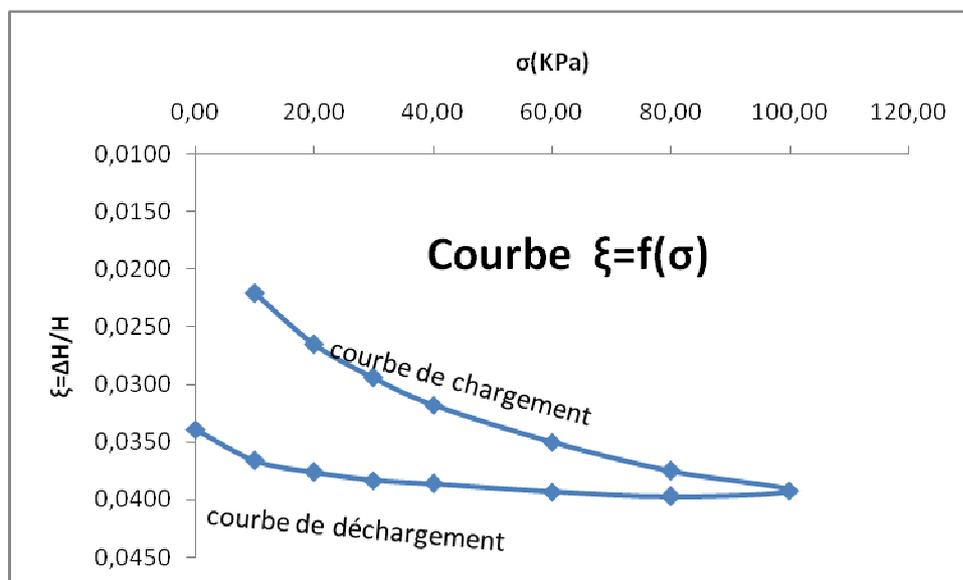
D'après le graphe précédent on peut déterminer les indices suivants :

- L'indice de **compression** ( $C_c$ ) :

$$C_c = (0,723 - 0,728) / (1,6021 - 1,4771) = 0,04.$$

- L'indice de **gonflement** ( $C_s$ ) :

$$C_s = (0,715 - 0,713) / (1,00 - 1,301) = 0,0066.$$



**Figure II.9 :** courbe des tassements en fonction de la contrainte normale appliquée( $\sigma$ ).

A partir de se graphe on détermine le module oedométrique ( $E_0$ ).

$$E_0 = (20 - 10) / (0,0265 - 0,0221) = 2,27 \text{ MPa.}$$

### II.1.1.1. Essai d'équivalent de sable:

L'essai consiste à séparer les flocules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

#### II.1.1.1.1. Principe de l'essai :

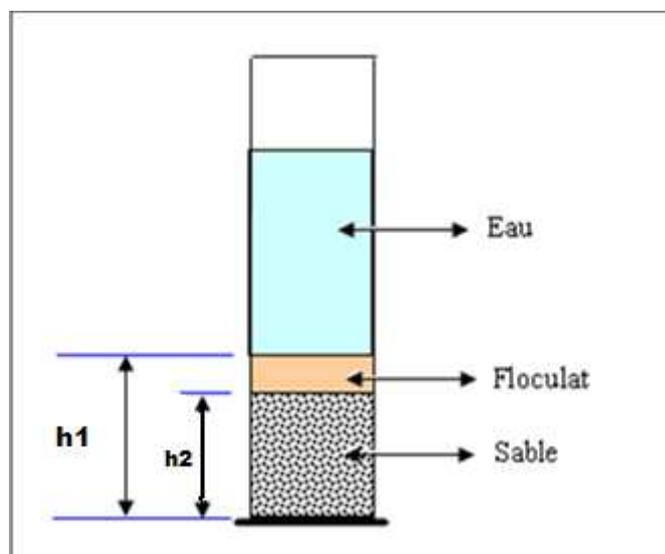
L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins,
- hauteur h2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention est (figure II.3). L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} 100$$

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ES (équivalent de sable au piston).



**Figure II.10:** Définition de l'équivalent de sable.

### II.1.1.1.2. Gros sable de l'oued de DAMOUS :

Les résultats d'essai d'équivalent de sable sur le gros sable de l'oued de DAMOUS sont présentés si dessus :

**Tableaux II.7:** Résultats d'essais d'équivalent de sable.

1 <sup>ère</sup> échantillons.	2 <sup>ème</sup> échantillons.
$h_2 = 9.9 \text{ Cm.}$ $h_1 = 9.7 \text{ Cm.}$	$h_2 = 9.2 \text{ Cm.}$ $h_1 = 9.00 \text{ Cm.}$
$ESV = (9.7/9.9) * 100 = 97.97 \%$ .	$ESV = (9.00/9.2) * 100 = 98 \%$ .
$h_1 = (43-34) = 9 \text{ Cm.}$	$h_1 = (43-34.2) = 8.80 \text{ Cm.}$
$ES = (9/9.9) * 100 = 90.90 \%$ .	$ES = (8.8/9.2) * 100 = 96 \%$ .

D'après ces résultats (ESV= 97.98 %, ES = 93.45 %) on déduit que ce sable est propre.

### II.1.1.1.3. Sable fin de HASSI BAH-BAH:

Les résultats d'essai d'équivalent de sable sur le sable fin de HASSI BAH-BAH sont présentés si dessus :

**Tableaux II.8:** Résultats d'essais d'équivalent de sable.

1 <sup>ère</sup> échantillons.	2 <sup>ème</sup> échantillons.
$h_2 = 9.6 \text{ Cm.}$ $h_1 = 9.3 \text{ Cm.}$	$h_2 = 9.8 \text{ Cm.}$ $h_1 = 9.5 \text{ Cm.}$
$ESV = (9.3/9.6) * 100 = 97 \%$ .	$ESV = (9.5/9.8) * 100 = 97 \%$ .
$h_1 = (43-34) = 9 \text{ Cm.}$	$h_1 = (43-33.9) = 9.1 \text{ Cm.}$
$ES = (9/9.6) * 100 = 94 \%$ .	$ES = (9.1/9.8) * 100 = 93 \%$ .

D'après ces résultats (ESV= 97 %, ES = 93.50 %) on déduit que ce sable est propre.

## **II.1.2. Caractéristiques et identification des géotextiles:**

### **II.1.2.1. Identification**

#### **II.1.2.1.1. Le géotextile non tissé :**

Ce géotextile est de type non tissé aiguilleté, il est fabriqué à base du polypropylène et sans utilisation de liants chimiques.

Ce produit est commercialisé sous forme de rouleaux de 156m<sup>2</sup> soit 1,56m x 100m, dont la masse est de 46,80kg. La masse surfacique du tissu est se 300 g/m<sup>2</sup>.

#### **II.1.2.1.2. Le géotextile tissé :**

Les tissus enduits en PVC (chlorure polyvinylique) font partie d'une grande classe des polymères appelés le vinyle. Ces tissus se composent principalement de chlorure de polyvinyle et de plastifiants qui sont ajoutés à la formulation à des doses bien définies afin de fournir la flexibilité désirée aux tissu technique.

Le tissu technique utilisé dans le cadre de la présente étude est produit par la société **TINDALL** dans la wilaya de M'SILA en ALGERIE.

Ce produit est commercialisé sous forme de rouleaux de 156m<sup>2</sup> soit 1,56m x 100m, dont la masse est de 96,72kg. La masse surfacique du tissu est se 620 g/m<sup>2</sup>.

### **II.1.2.1.3. Propriété physiques et mécaniques :**

#### **II.1.2.1.3.1. Le géotextile non tissé :**

Les caractéristiques mécaniques, hydrauliques et de durabilité sont présentées sur la fiche technique de ce géotextile (voir annexes).

#### **II.1.2.1.3.2. Le géotextile tissé :**

Les tissus techniques enduit PVC, présentent de bonnes caractéristiques mécaniques à la traction et à l'allongement, ainsi qu'une excellente stabilité dimensionnelle et une bonne résistance thermique, et montrent un comportement élastique indépendant de son niveau de contrainte, ce comportement élastique peut atteindre des valeurs d'élongation assez grandes de l'ordre de 350%. Il offre ainsi des déformations récupérables, ce qu'il lui permet de résister aux grandes déformations.

Ces tissus par suite de leur grande flexibilité déformation différentielle présentent également une bonne résistance à la perforation lorsqu'ils sont en contact avec des matériaux granulaires ou suite à des chocs provoqués par la chute d'un matériau.

Sur le plan résistance aux agressions chimiques, ils présentent une bonne résistance à un éventail de produit chimique. La résine de PVC a une excellente résistance chimique, cependant, le plastifiant limite la résistance du tissu. En effet le PVC est sujet à une attaque

par les produits d'hydrocarbures à base d'huile par contre il oppose une bonne résistance aux composés inorganiques tels que les acides dilués, les sels, les bases fortes et les caustiques comme il n'est pas affecté par les métaux lourds.

### **II.1.3. Appareillage utilisé dans la campagne expérimentale :**

Il faut signaler que un des meilleures appareils permettant l'étude au cisaillement des sols étant le « triaxial ». Raison pour la quelle, nous avons tenté de mener notre campagne par ce type d'appareil ; néanmoins, nos démarche auprès d'autres institutions disposants de ces appareils, ont échoué pour divers raisons.

#### **II.1.3.1. Type d'appareil utilisé :**

L'appareil utilisé est l'appareil de « cisaillement direct » de l'Ecole National Supérieure de l'Hydraulique de SOUMAA. Cet appareil est constitué de :



**Figure II.11:** Appareil de cisaillement direct.

#### **- Une boîte de cisaillement appelée boîte de CASAGRANDE :**

C'est une boîte circulaire dans laquelle l'échantillon est placé, le diamètre de cette boîte est de 60 mm et la hauteur est de 35 mm. Elle est formée de demi boîtes ; une supérieure qui est équipée d'un piston qui lui transmet un effort vertical imposé ; une inférieure et une pierre poreuse.

**- Une machine de cisaillement :**

Elle comporte :

- 1) Un moteur à plusieurs vitesses de cisaillement.
- 2) Un chariot qui se déplace horizontalement et qui entraîne avec lui la demi boîte inférieure.
- 3) Un anneau dynamométrique qui est en contact avec la demi boîte fixe et qui permet de mesurer l'effort tangentiel dans le plan de cisaillement suite au déplacement de la demi boîte inférieure.
- 4) Un comparateur au 1/500e de mm qui est placé sur la boîte supérieure et qui permet de suivre le tassement au cours du cisaillement.
- 5) Un comparateur au 1/500e de mm qui est placé sur la boîte mobile et qui permet de mesurer le déplacement horizontal effectué par la boîte pendant la période du cisaillement.

**- Bâti de consolidation :**

Charges utilisées : Des disques qui pèsent 14 Kg, 28 Kg et 57 Kg ont été utilisés et qui correspondent respectivement aux contraintes normales  $\sigma_1 = 50$  KPa,  $\sigma_2 = 100$  KPa et  $\sigma_3 = 200$  Kpa.

**II.1.3.2. Procédure de réalisation de l'essai de cisaillement :**

D'abord, on place l'échantillon sableux seul ou armé par des nappes de géotextile dans les deux demi boîtes qui peuvent glisser l'une sur l'autre et on exerce à l'aide du piston un effort normal au plan de glissement.

Ensuite, on soumet l'échantillon à un effort tangentiel croissant, on mesure l'effort de cisaillement ainsi que le déplacement horizontal  $\Delta L$  tous les 15 secondes jusqu'à ce que la valeur maximale de l'effort de cisaillement est atteinte et qui à partir de laquelle l'effort de cisaillement diminue, ce qui signifie la rupture de l'échantillon.

On refait l'essai 3 fois avec des contraintes normales à la section de la boîte appliquées par le biais des disques pesant 14 Kg, 28 Kg et 57 Kg qui correspondent respectivement aux contraintes normales  $\sigma_1 = 50$  KPa,  $\sigma_2 = 100$  KPa et  $\sigma_3 = 200$  KPa.

L'essai se fait avec une vitesse de 0,9 mm/min.

On détermine la résistance de cisaillement maximale pour chaque essai qui est donnée par la relation suivante :

$\tau$  = effort de cisaillement / section cisailée.

Section cisailée =  $\pi R^2$

Enfin, on trace la courbe qui représente la variation de la contrainte de cisaillement maximale en fonction de la contrainte normale appliquée.

A partir des courbes représentant la variation de  $\tau = f(\sigma)$ , on déduit les caractéristiques mécaniques de notre sable définies par l'angle de frottement ( $\phi$ ) et la cohésion ( $C$ ) en utilisant la loi de MOHR COULOMB donnée par la relation  $\tau = C + \sigma \text{tg } \phi$ .

#### **II.1.4. Programme de la campagne expérimentale :**

Comme nous l'avons mentionné auparavant, le renforcement des sols par géotextile est assuré par deux mécanismes distincts. Dans notre étude, on se propose de qualifier le phénomène, de quantifier l'augmentation de la résistance au cisaillement, ainsi que l'angle de frottement ( $\phi$ ) et la cohésion ( $c$ ), dans un sol renforcé par une nappe de géotextile.

Pour cela on a effectué les séries d'essais suivantes:

##### **II.1.4.1. 1ère série d'essais : Essai sur gros sable de l'oued de DAMOUS.**

Cette série d'essais a été effectuée sur un gros sable sec (ayant une teneur en eau [W] pratiquement nulle) dans le but de déterminer ses caractéristiques mécaniques ( $C$  et  $\phi$ ).

En se basant sur ces résultats, on pourra par la suite faire une comparaison des caractéristiques mécaniques entre différents échantillons et de qualifier le mécanisme de renforcement. (Voir figure II.12)

##### **II.1.4.2. 2ème série d'essais : Essai sur sable fin de HASSI BAH-BAH.**

Cette série d'essais a été effectuée sur un sable fin sec (ayant une teneur en eau [W] pratiquement nulle) dans le but de déterminer ses caractéristiques mécaniques ( $C$  et  $\phi$ ).

En se basant sur ces résultats, on pourra par la suite faire une comparaison des caractéristiques mécaniques entre différents échantillons et de qualifier le mécanisme de renforcement. (Voir figure II.13).

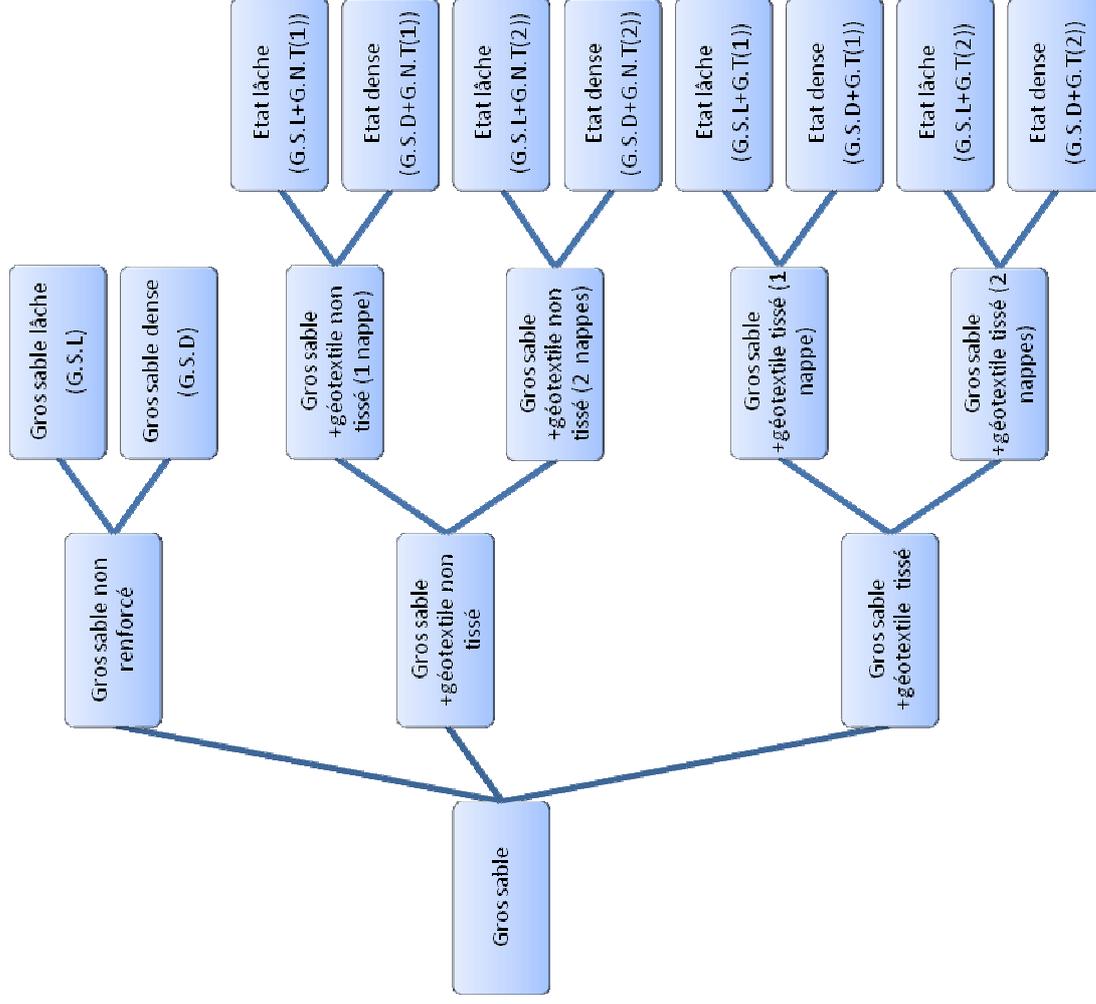
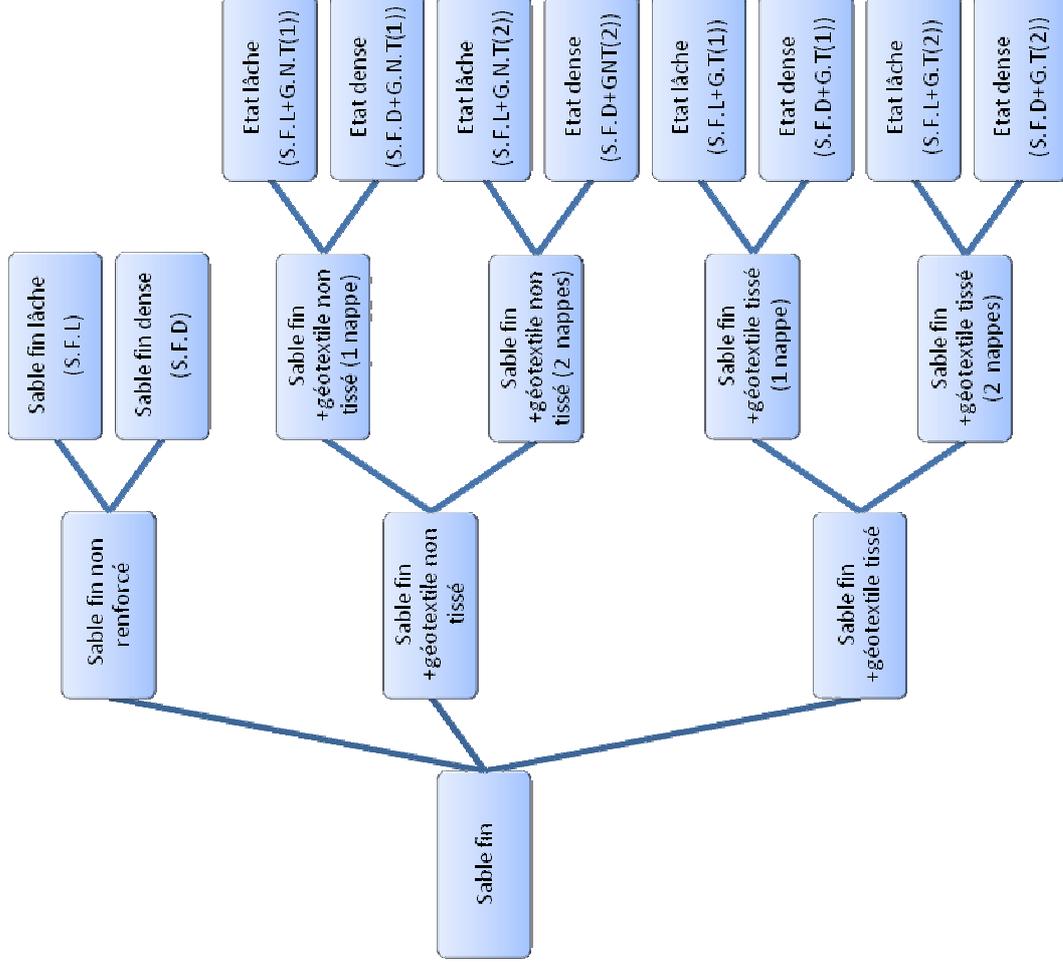


Figure II.12 : La première série d'essais.



**Figure II.13 :** La deuxième série d'essais.

# Chapitre III

Résultats  
et  
interprétations

**Nomenclature :**

Dans ce qui suit, nous utiliserons pour les échantillons la nomenclature suivante :

- **G.S.L** : Gros sable lâche.
- **G.S.D** : Gros sable dense.
- **S.F.L** : Sable fin lâche.
- **S.F.D** : Sable fin dense.
- **G.S.L+G.N.T(1)** : Gros sable lâche renforcé par une nappe de géotextile non tissé disposé horizontalement.
- **G.S.D+G.N.T(1)** : Gros sable dense renforcé par une nappe de géotextile non tissé disposé horizontalement.
- **S.F.L+G.N.T(1)** : Sable fin lâche renforcé par une nappe de géotextile non tissé disposé horizontalement.
- **S.F.D+G.N.T (1)**: Sable fin dense renforcé par une nappe de géotextile non tissé disposé horizontalement.
- **G.S.L+G.N.T(2)** : Gros sable lâche renforcé par deux nappes de géotextile non tissé disposés horizontalement.
- **G.S.D+G.N.T(2)** : Gros sable dense renforcé par deux nappes de géotextile non tissé disposés horizontalement.
- **S.F.L+G.N.T(2)** : Sable fin lâche renforcé par deux nappes de géotextile non tissé disposés horizontalement.
- **S.F.D+G.N.T (2)**: Sable fin dense renforcé par deux nappes de géotextile non tissé disposés horizontalement.
- **G.S.L+G.T(1)** : Gros sable lâche renforcé par une nappe de géotextile tissé disposé horizontalement.
- **G.S.D+G.T(1)** : Gros sable dense renforcé par une nappe de géotextile tissé disposé horizontalement.
- **S.F.L+G.N.T(1)** : Sable fin lâche renforcé par une nappe de géotextile non tissé disposé horizontalement.
- **S.F.D+G.T (1)**: Sable fin dense renforcé par une nappe de géotextile tissé disposé horizontalement.
- **G.S.L+G.T(2)** : Gros sable lâche renforcé par deux nappes de géotextile tissé disposés horizontalement.
- **G.S.D+G.T(2)** : Gros sable dense renforcé par deux nappes de géotextile tissé disposés horizontalement.
- **S.F.L+G.T(2)** : Sable fin lâche renforcé par deux nappes de géotextile tissé disposés horizontalement.
- **S.F.D+G.T (2)**: Sable fin dense renforcé par deux nappes de géotextile tissé disposés horizontalement.

### III.1. Introduction :

Tous les résultats des essais de cisaillement direct sur les deux différents sables, celui de gros sable dans le cas lâche et dense ; ainsi que le sable fin lâche et dense seront présentés dans ce chapitre.

Il est important de signaler que nous exposons dans ce qui suit uniquement les courbes résultats des essais et non pas les détails des essais ; ceux-ci sont donnés en annexes.

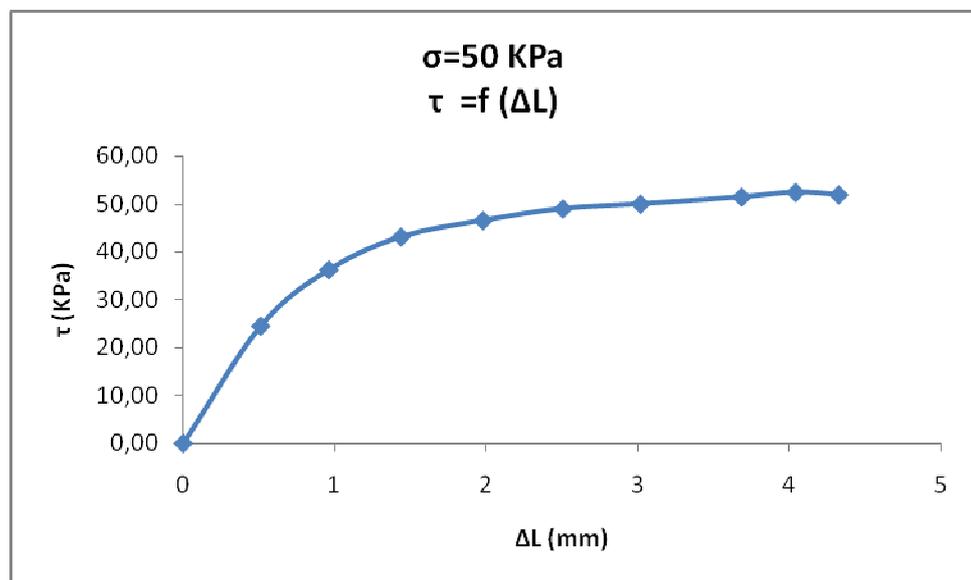
### III.2. Présentation des résultats du gros sable de l'oued de DAMOUS :

#### III.2..1. Résultats du gros sable non renforcé :

##### a) gros sable lâche :

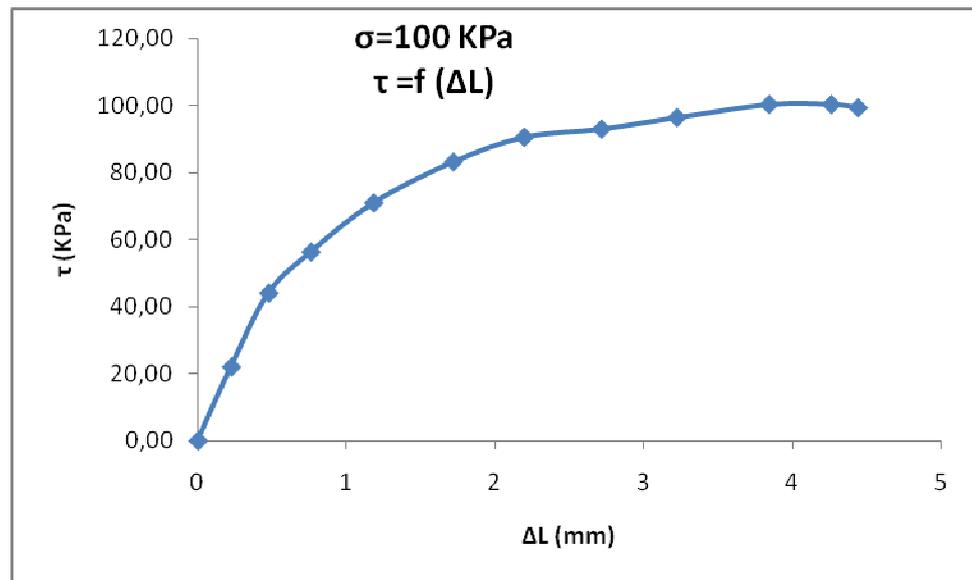
##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa

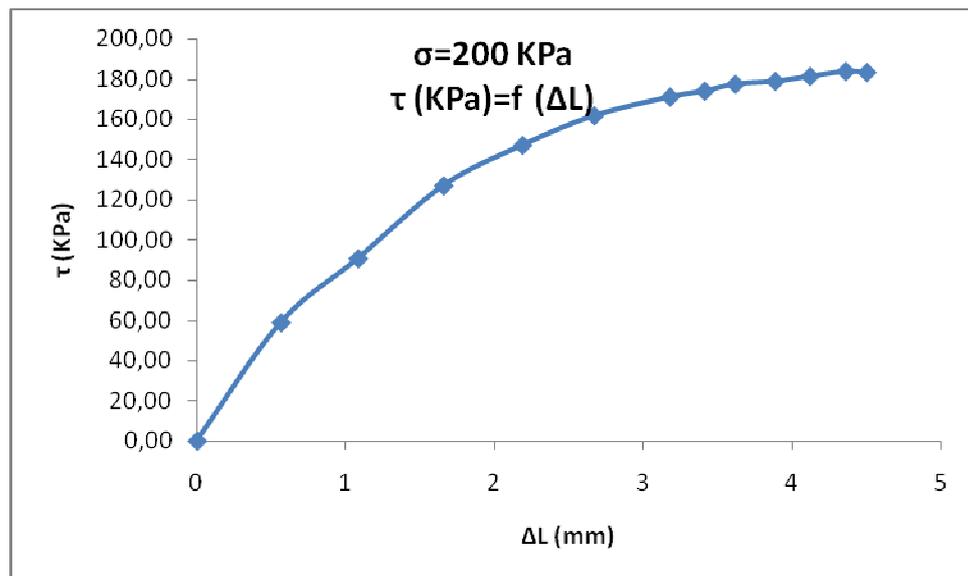


**Figure III.1:**

Variation de la contrainte tangentielle ( $\tau$ ) en fonction du déplacement horizontal ( $\Delta L$ ), (G.S.L,  $\sigma=50$  KPa)

❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.****Figure III.2:**

Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L,  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.3:**

Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L,  $\sigma=200$  KPa).

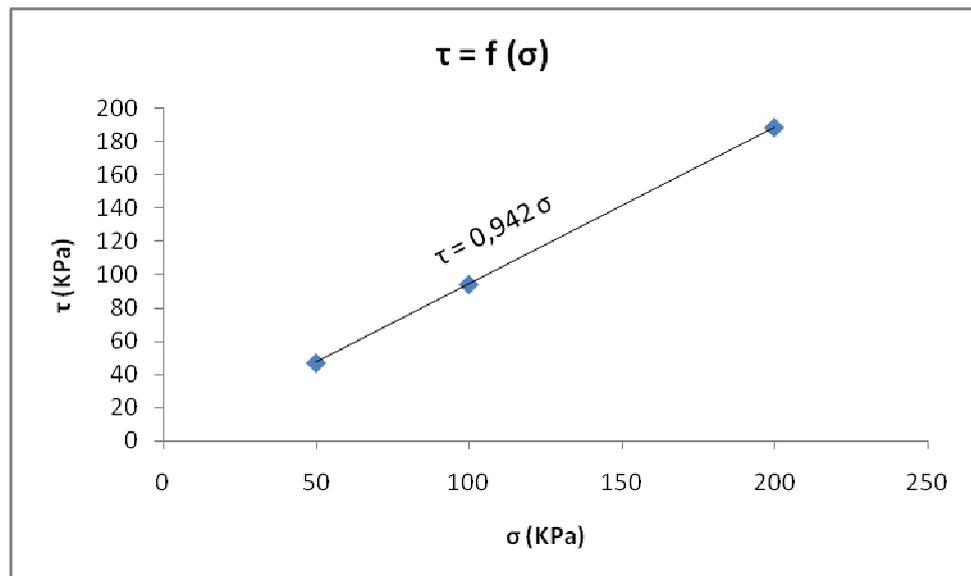
A partir des trois (3) essais précédents, on peut déduire les valeurs maximales de la contrainte tangentielle  $(\tau)$ , pour les différentes contraintes normales  $(\sigma)$ .

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 52.45$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 100.49$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 183.82$  KPa.

Ces valeurs représentent des points qu'on peut les représenter dans le graphe ci-dessous:

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.4:**

Variation de la contrainte tangentielle( $\tau$ ) en fonction de la contrainte normale ( $\sigma$ ), (G.S.L).

L'allure de la courbe  $\tau = f(\sigma)$  a la forme d'une droite qui passe par l'origine dont l'équation est de la forme  $y = a.x$ .

Par analogie avec la loi de MOHR COULOMB pour un sable qui est donnée par la relation

$\tau = \sigma \operatorname{tg}\phi$  ; on peut déterminer l'angle de frottement ( $\phi$ ) de notre échantillon.

On a :

**y** correspond à la contrainte de cisaillement  $\tau$ .

**x** correspond à la contrainte normale appliquée  $\sigma$ .

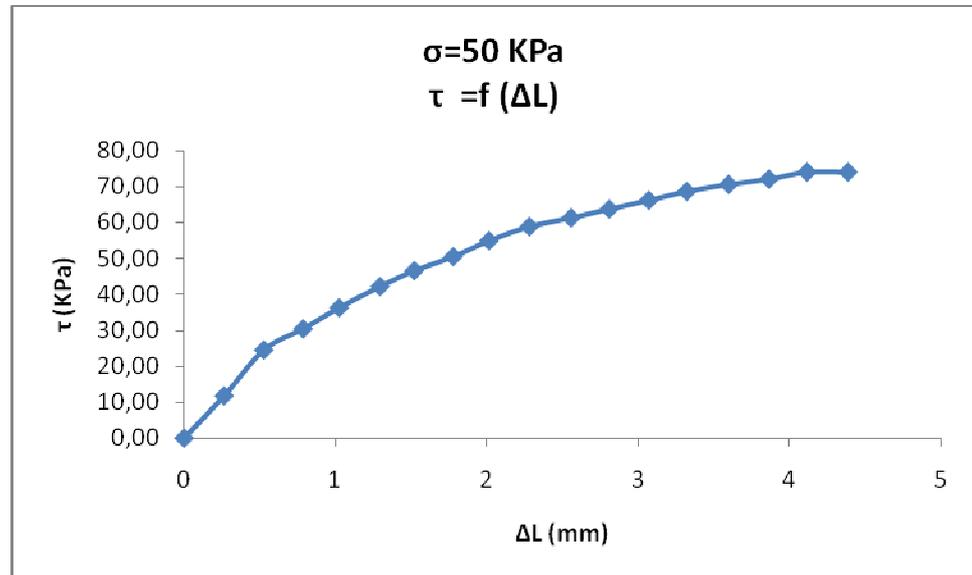
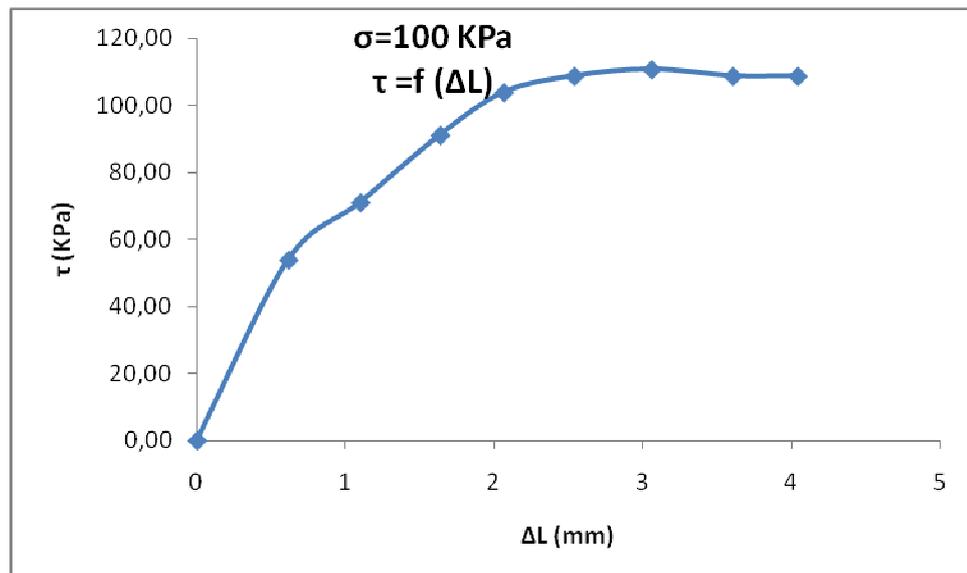
**a** correspond à  $\operatorname{tg}\phi$ .

D'après les résultats obtenus à partir de l'essai de cisaillement à la boîte réalisé sur un échantillon du gros sable lâche non renforcé ; on trouve :

$a = \operatorname{tg}\phi = 0.942$  ; d'où :

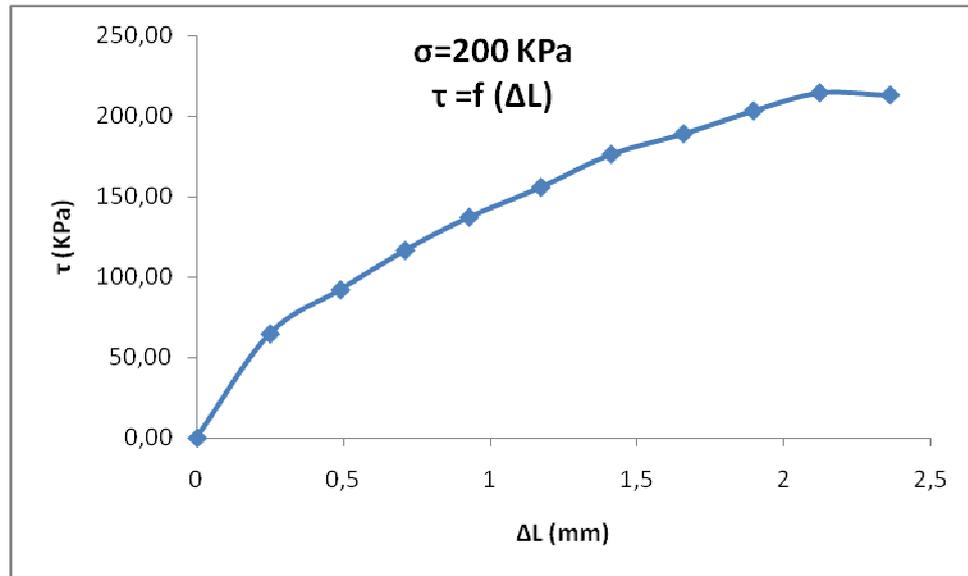
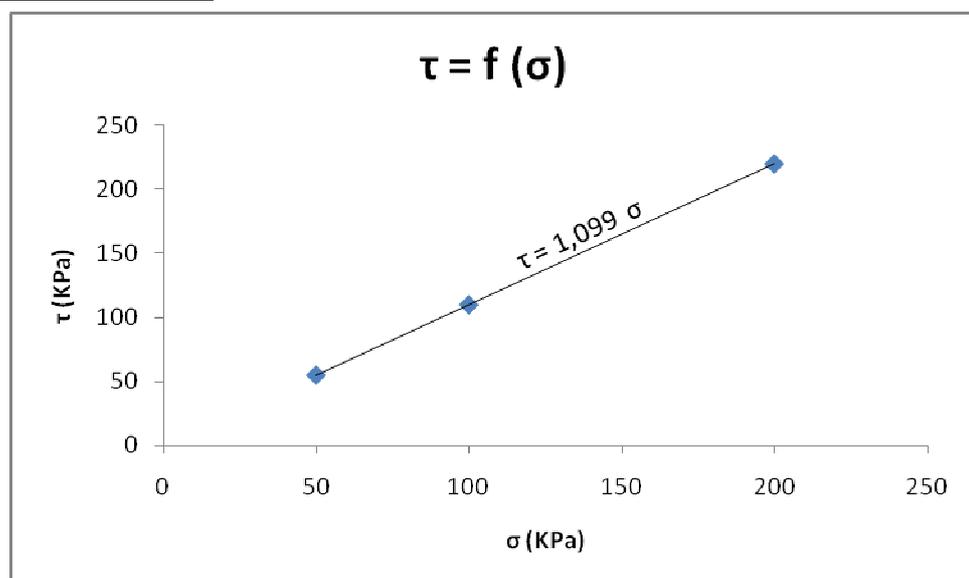
L'angle de frottement interne :  $\phi = 43.29^\circ$ , et la cohésion **C=0**

Pour le reste des essais, la détermination des caractéristiques mécaniques se fait de la même manière.

b) gros sable dense :✓ Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa**Figure III.5:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=50$  KPa).❖ Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa**Figure III.6:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa :

**Figure III.7:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D,  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 74.02$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 110.78$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 214.71$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.8:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D).Dans le cas du gros sable dense (G.S.D) on a :  $\phi = 47.70^\circ$ , et  $C=0$ .

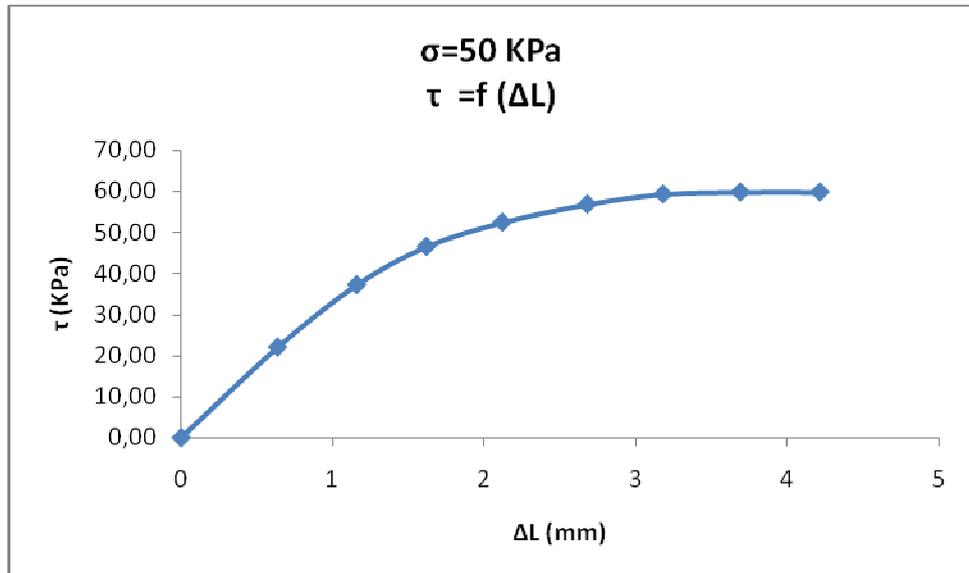
### III.2..3. Résultats d'essais sur un gros sable renforcé par géotextile non tissé :

#### III.2..3.1. Gros sable renforcé par une nappe de géotextile non tissé :

##### a) Etat lâche :

##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

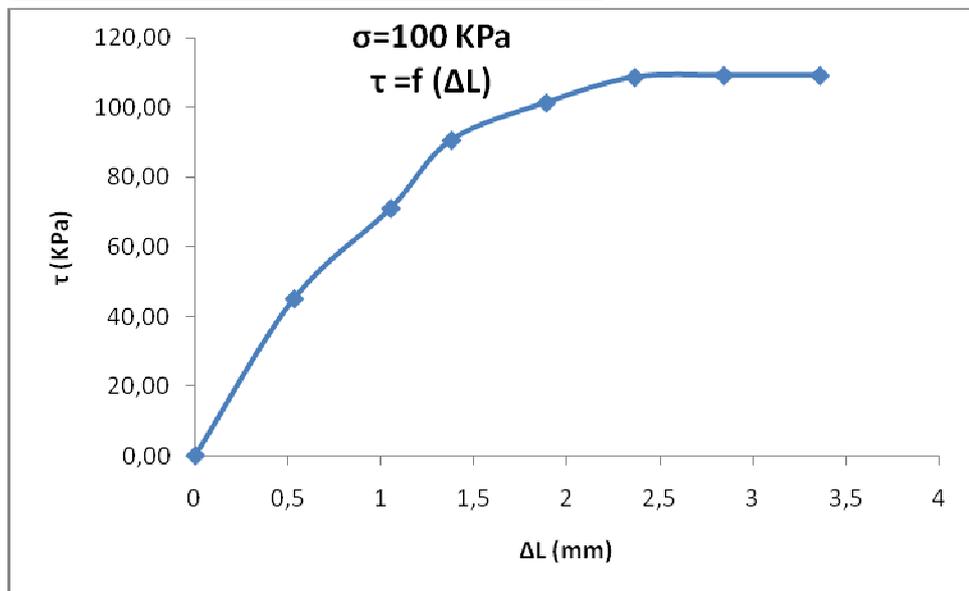
##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.9:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.

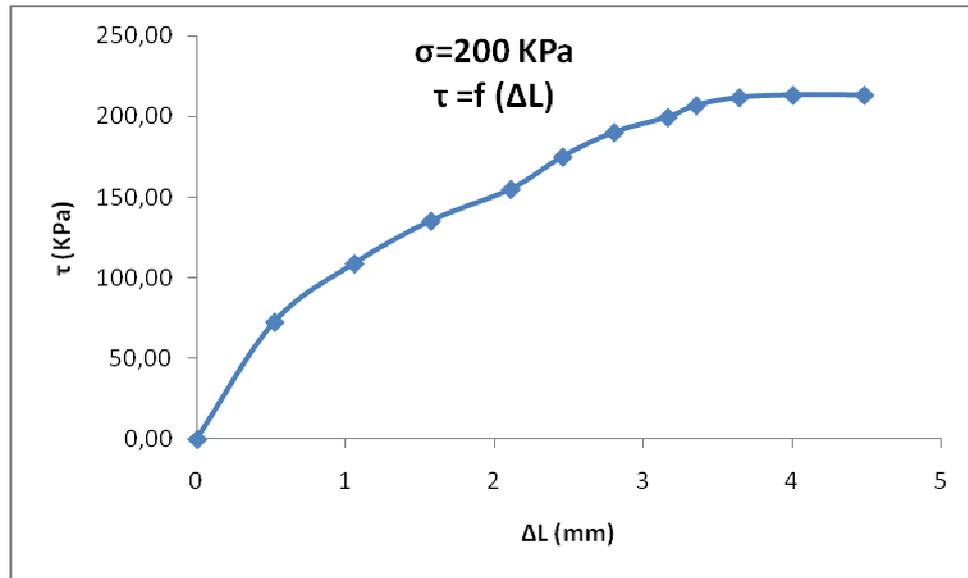


**Figure III.10:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa.

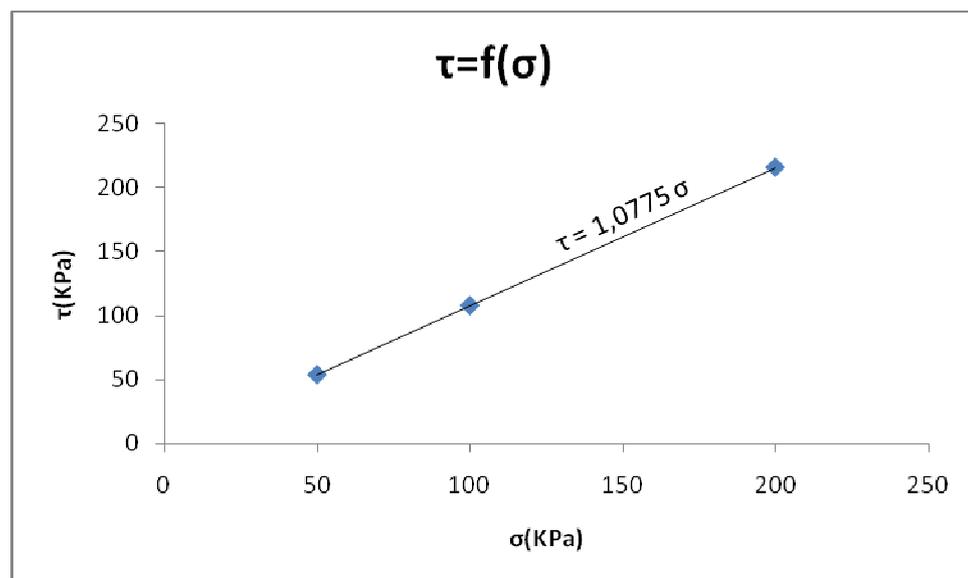
**Figure III.11:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa). Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma= 50$  KPa, on a  $\tau=59.80$  KPa.

Pour  $\sigma= 100$  KPa, on a  $\tau=109.31$  KPa.

Pour  $\sigma= 200$  KPa, on a  $\tau=213.24$  KPa.

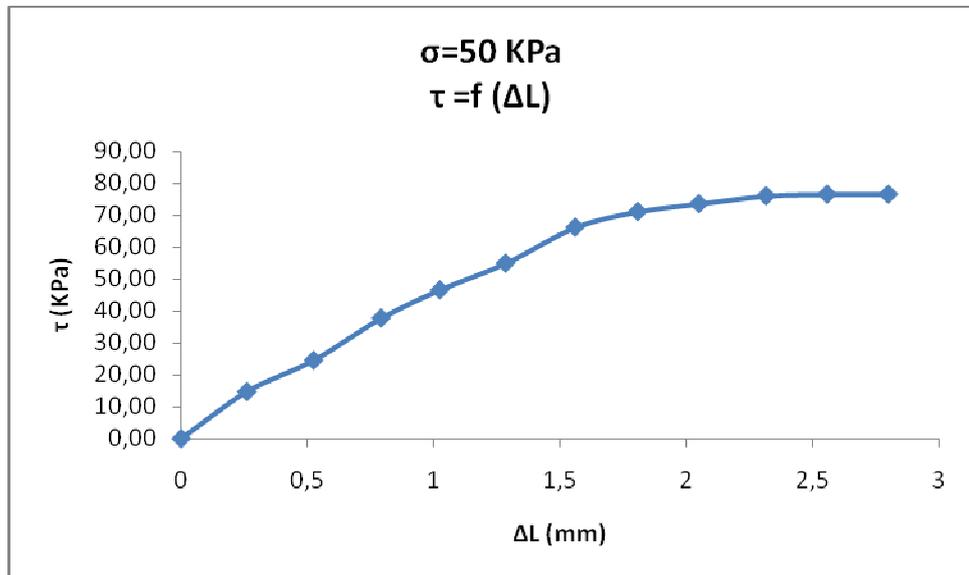
✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.12:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.L+G.N.T(1)).

Dans le cas du (G.S.L+G.NT(1)) on a :  $\phi = 47.14^\circ$ , et  $C=0$ .

**b) Etat dense :**

✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**

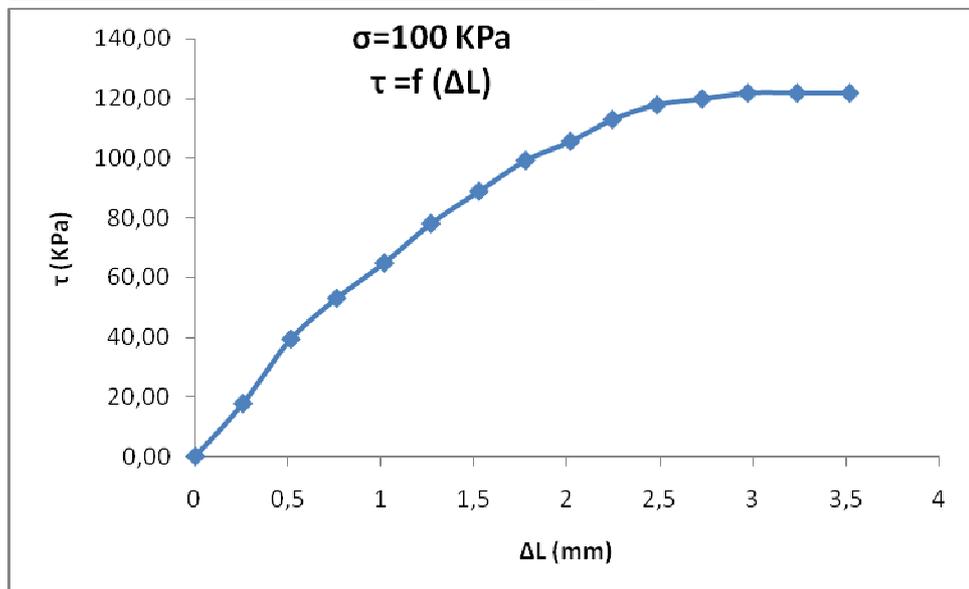
❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa**



**Figure III.13 :**

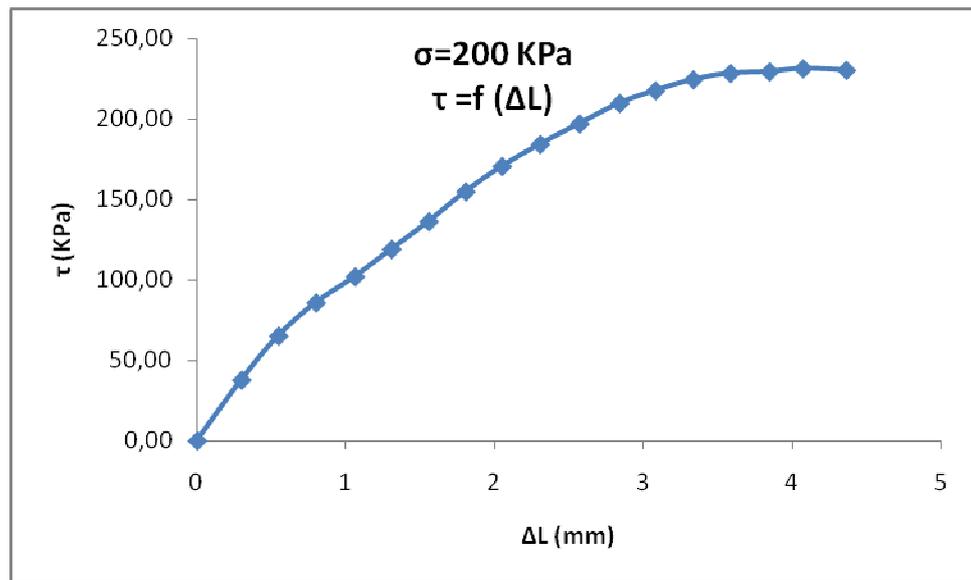
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa**



**Figure III.14 :**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

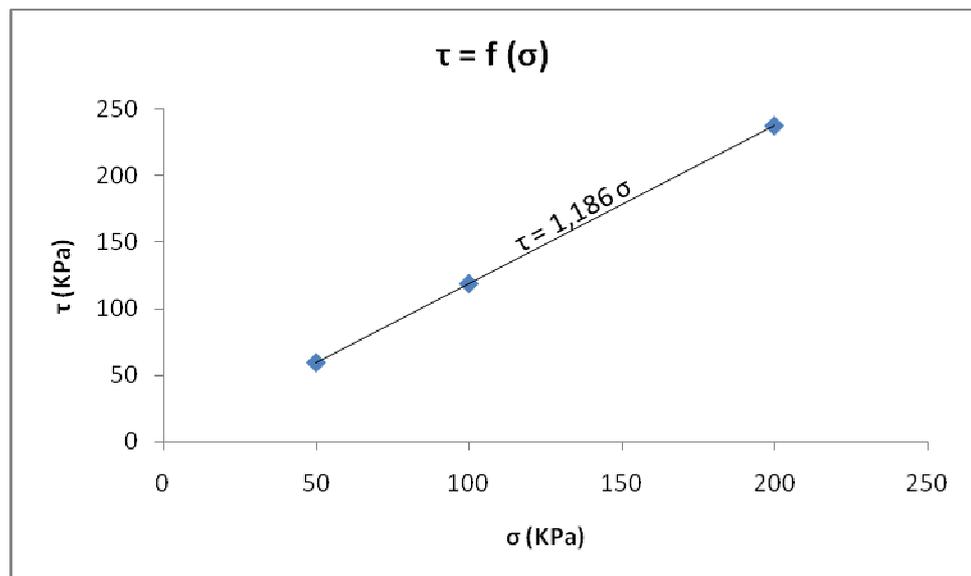
❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.15:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa). Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma= 50$  KPa, on a  $\tau=76.47$  KPa.

Pour  $\sigma= 100$  KPa, on a  $\tau=121.57$  KPa.

Pour  $\sigma= 200$  KPa, on a  $\tau=231.37$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.16:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D+G.N.T(1)).

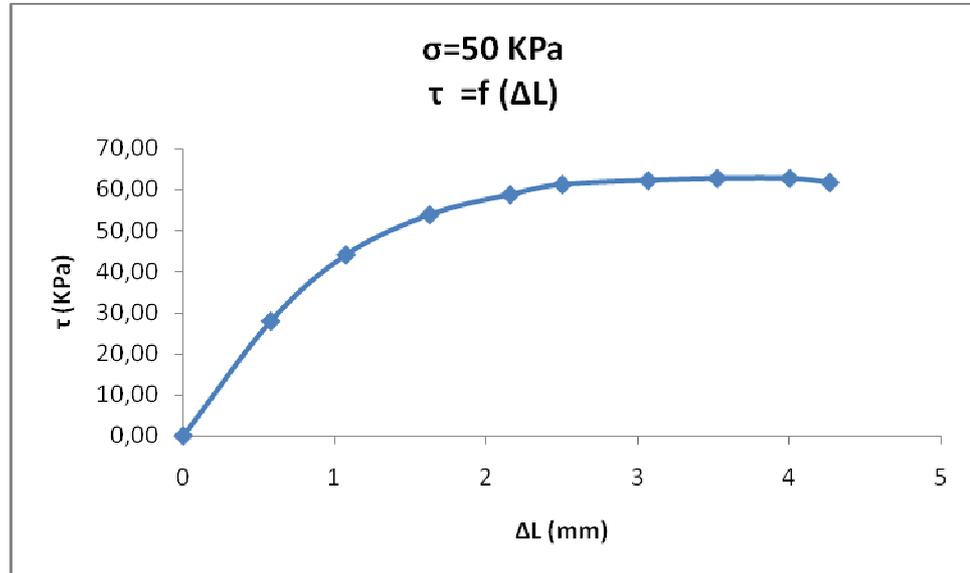
Dans le cas du (G.S.D+G.N.T(1)) on a :  $\phi = 49.86^\circ$ , et  $C=0$ .

### III.2..3.2. Gros sable renforcé par deux nappes de géotextiles non tissé:

#### a) Etat lâche :

#### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

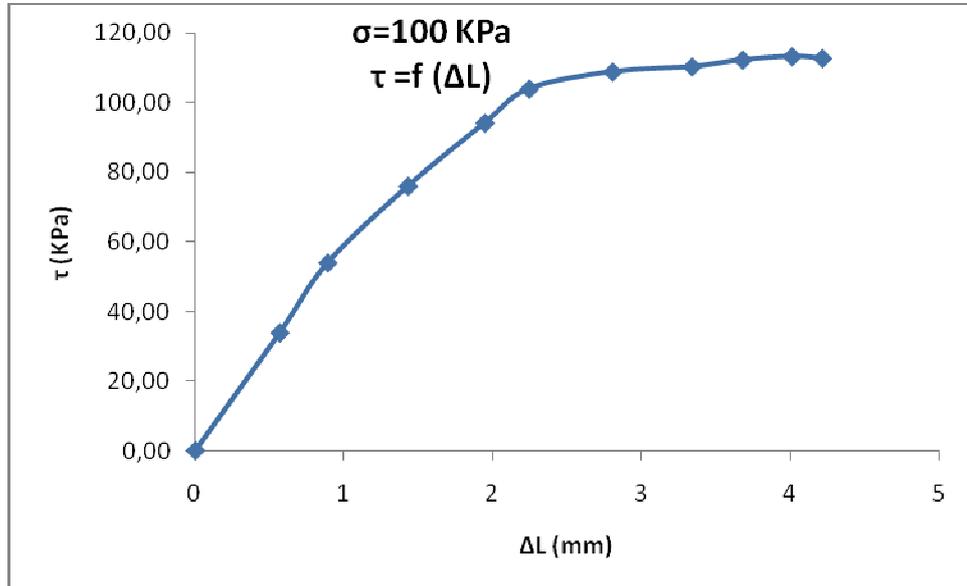
#### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.17:**

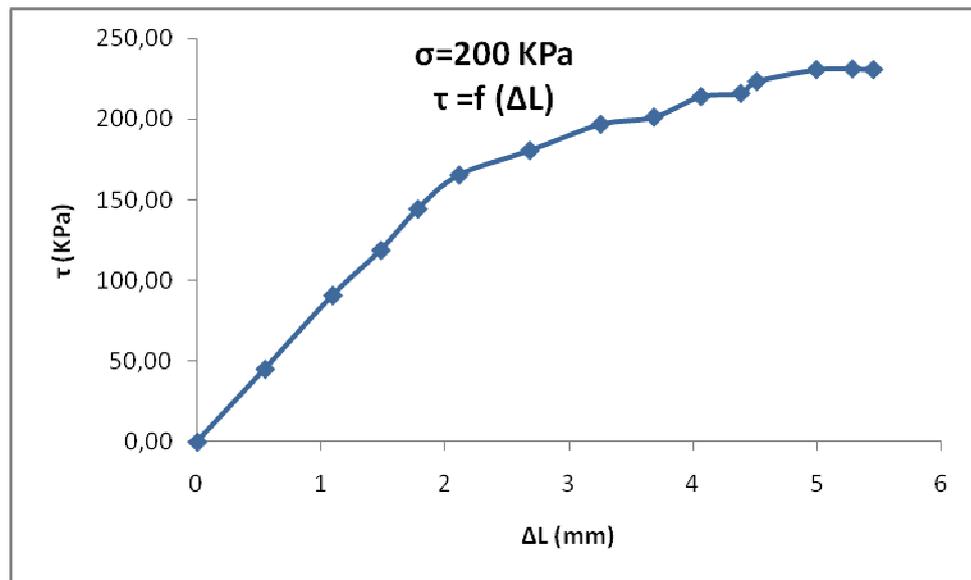
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

#### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.



**Figure III.18:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.19:**

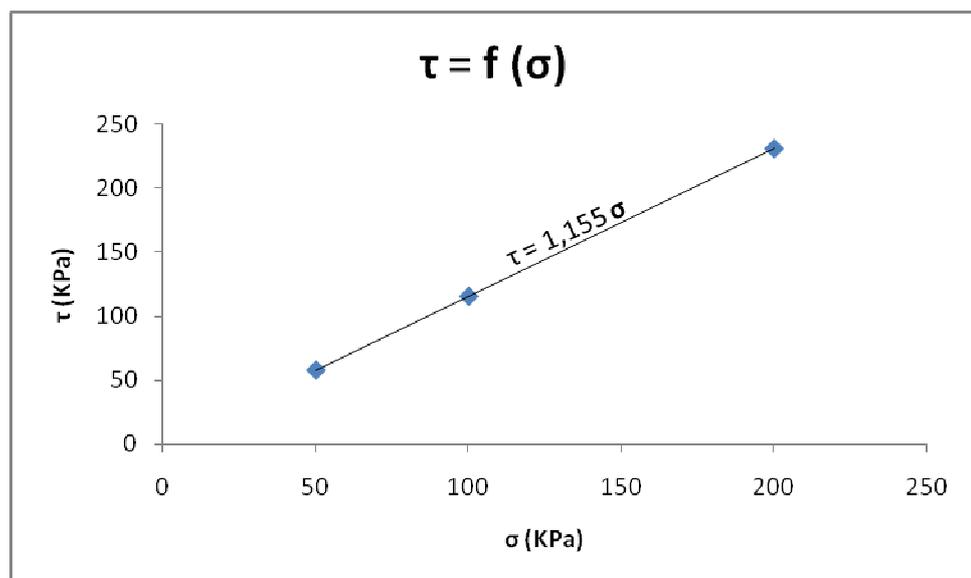
Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (G.S.L+G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles  $(\tau)$ , pour les différentes contraintes normales  $(\sigma)$  sont :

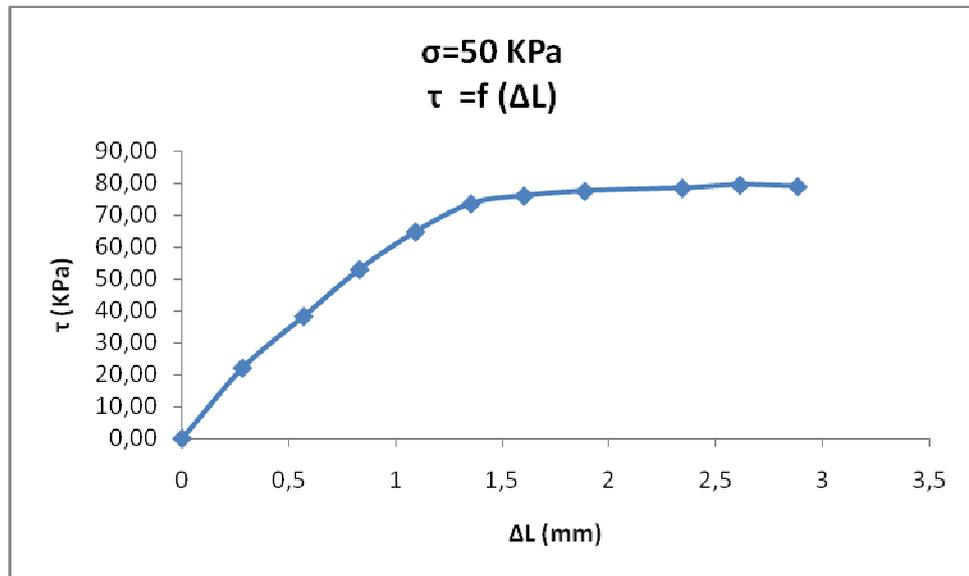
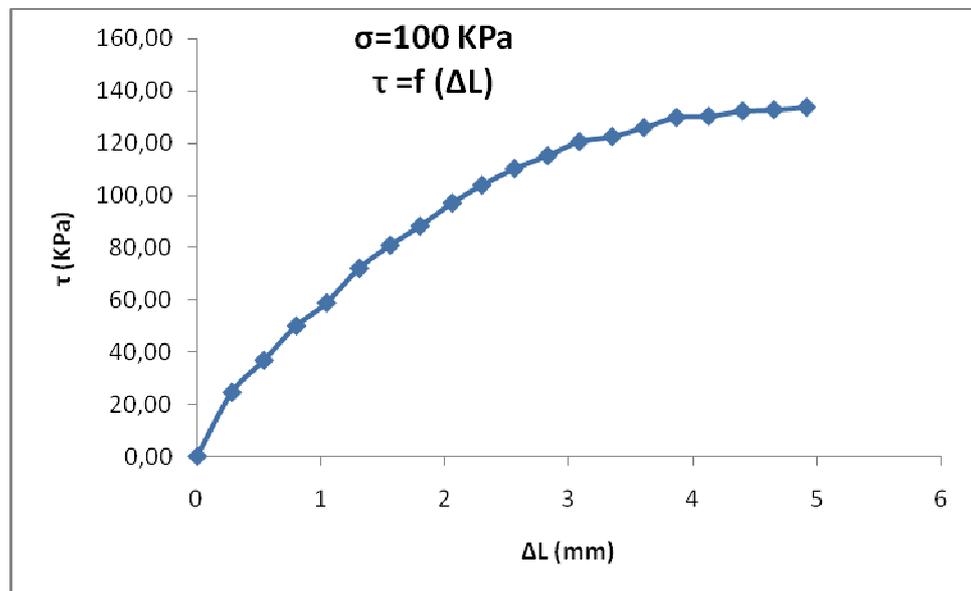
Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 62.75$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 113.24$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 230.88$  KPa.

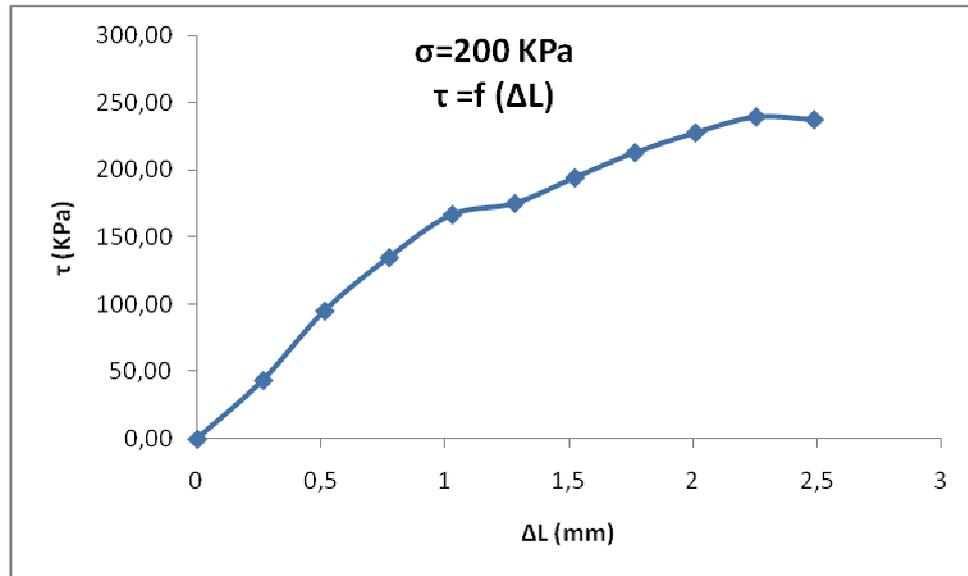
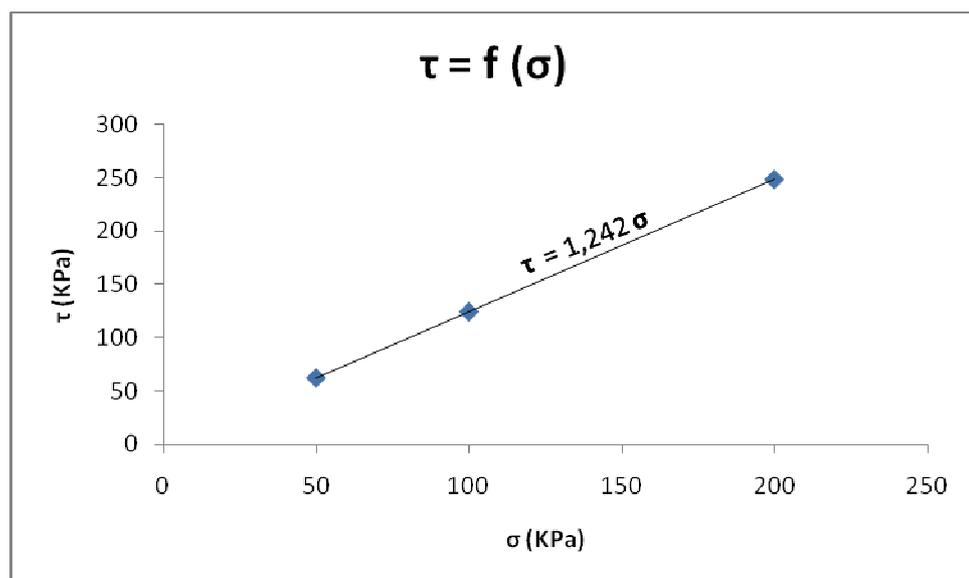
✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.20:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (G.S.L+G.N.T(2)).

Dans le cas du (G.S.L+G.N.T(2)) on a :  $\phi = 49.11^\circ$ , et  $C=0$ .

b) Etat dense :✓ Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa**Figure III.21:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).❖ Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.**Figure III.22:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa.

**Figure III.23:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 79.41$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 133.82$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 239.22$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.24:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D+G.N.T(2)).Dans le cas du (G.S.D+G.N.T(2)) on a :  $\phi = 51.16^\circ$ , et  $C=0$ .

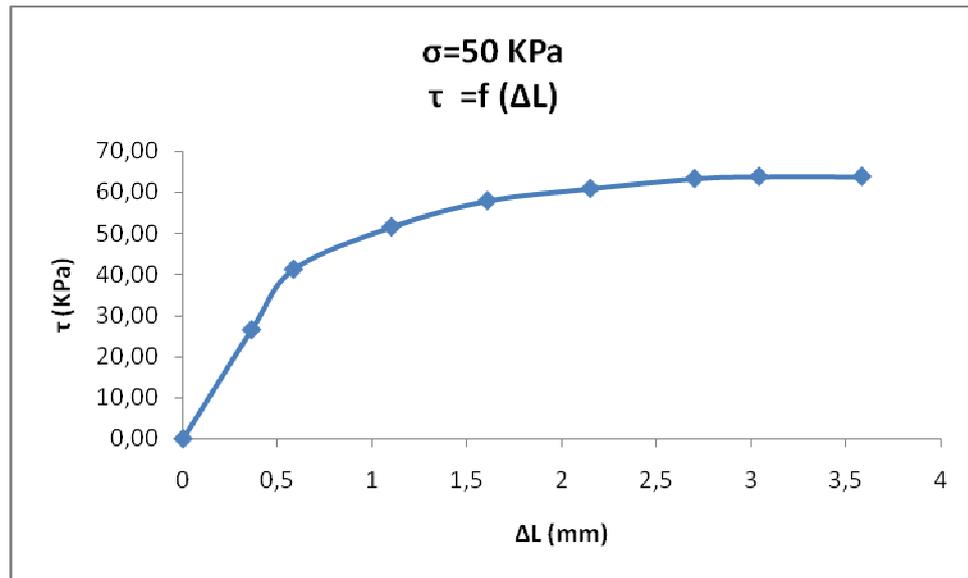
### III.2..3. Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par un géotextile tissé:

#### III.2..3.1. Gros sable renforcé par une nappe de géotextile tissé:

##### a) Etat lâche :

##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

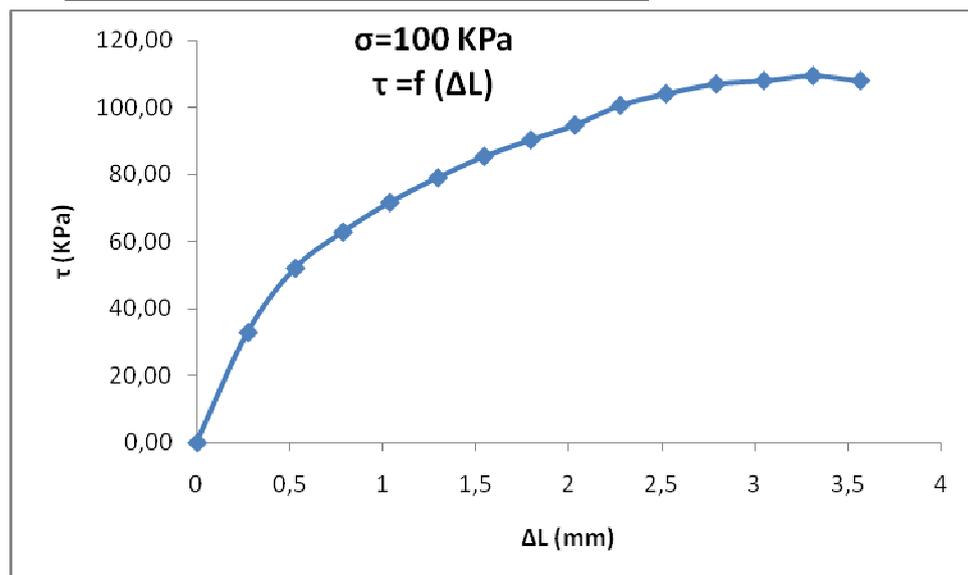
##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa



**Figure III.25:**

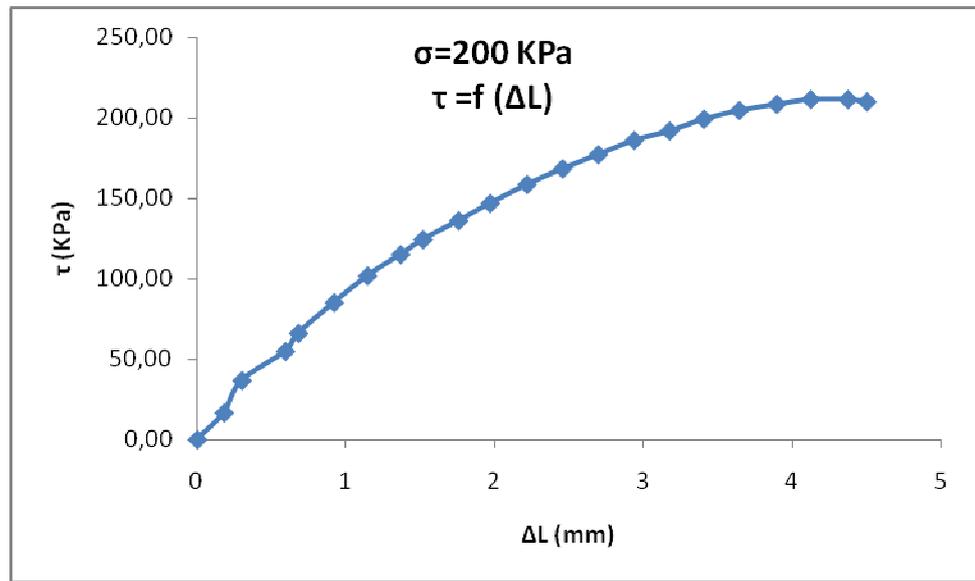
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa



**Figure III.26:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.27:**

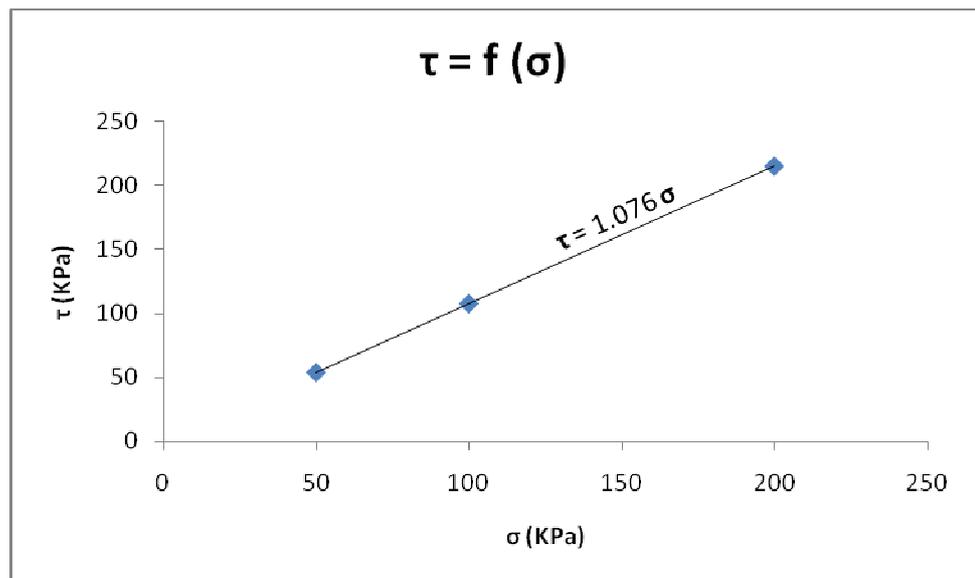
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 63.73$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 109.31$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 211.77$  KPa.

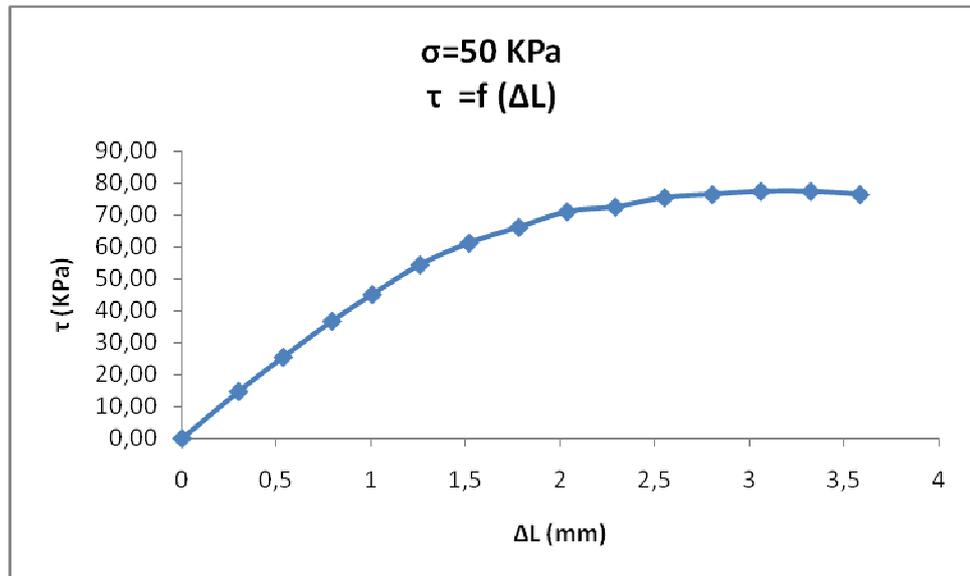
✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.28:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.L+G.T(1)).

Dans le cas du (G.S.L+G.T(1)) on a :  $\phi = 47.10^\circ$ , et  $C=0$ .

**b) Etat dense :**

✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**

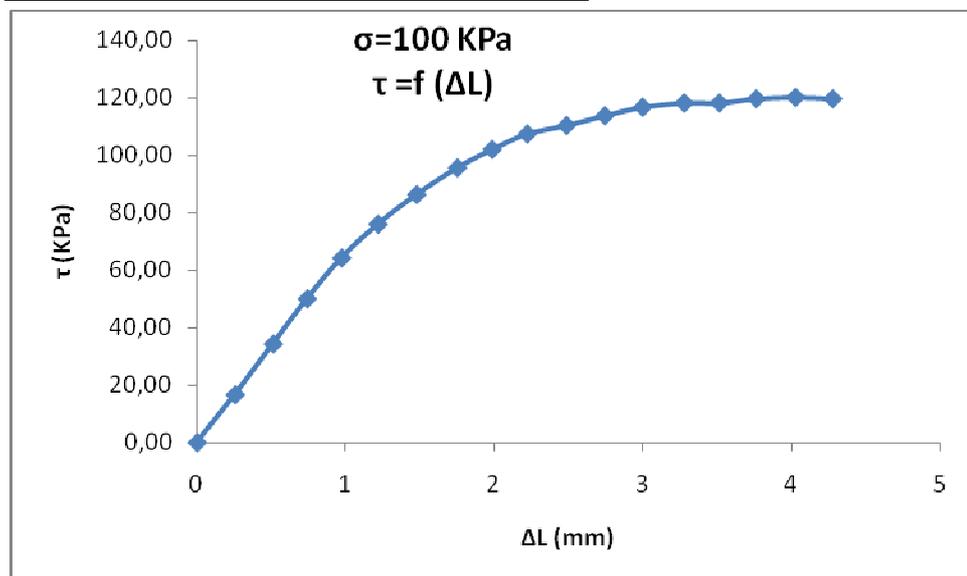
❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa**



**Figure III.29:**

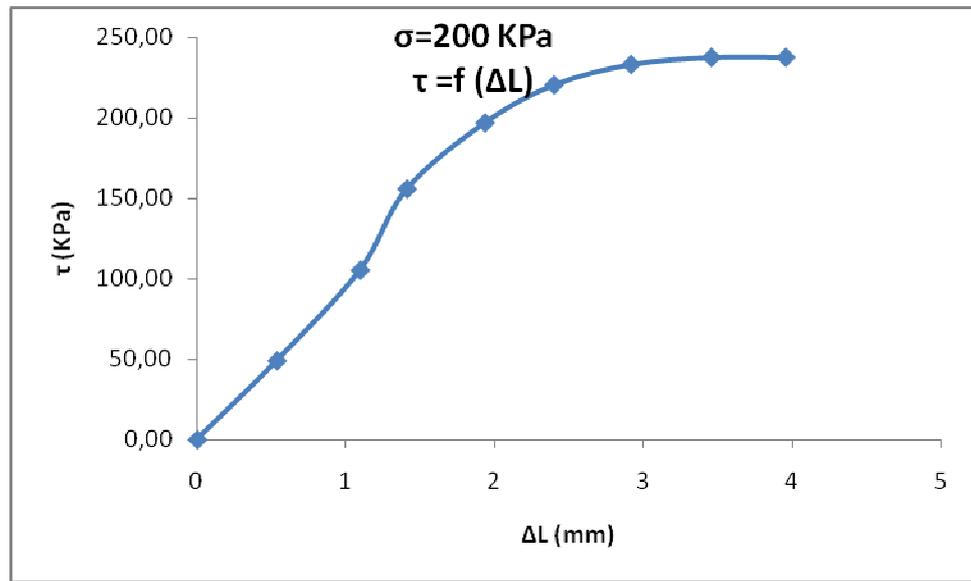
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa**



**Figure III.30:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.****Figure III.31:**

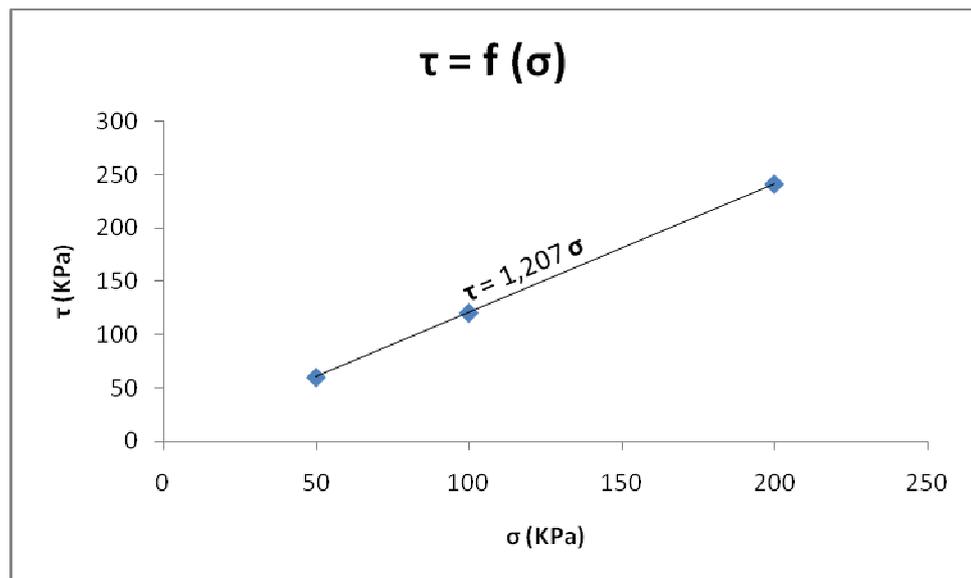
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 77.45$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 120.10$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 237.57$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.32:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D+G.T(1)).

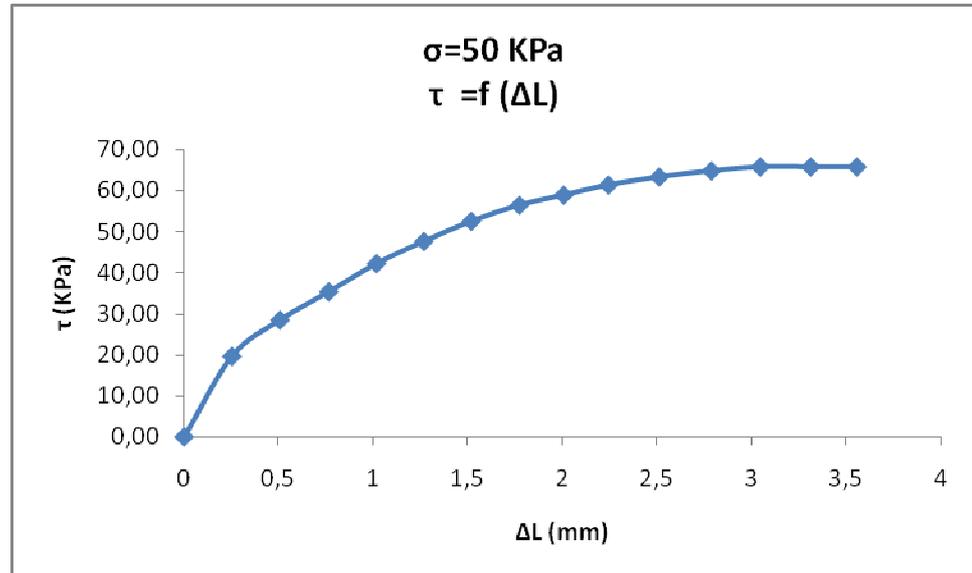
Dans le cas du (G.S.D+G.T(1)) on a :  $\phi = 50.36$ , et  $C=0$ .

### III.2..3.2. gros sable renforcé par deux nappes de géotextile tissé:

#### a) Etat lâche :

#### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

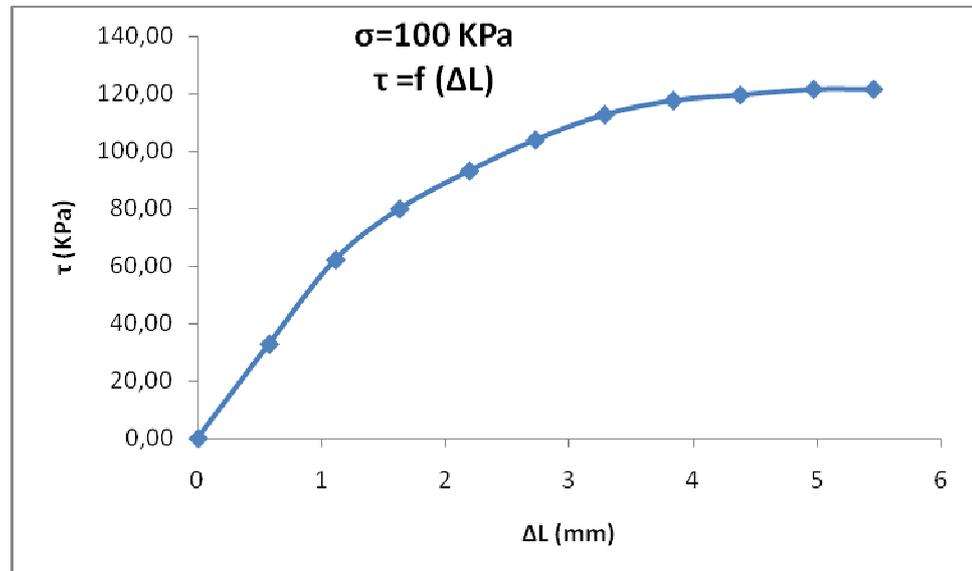
#### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa



**Figure III.33:**

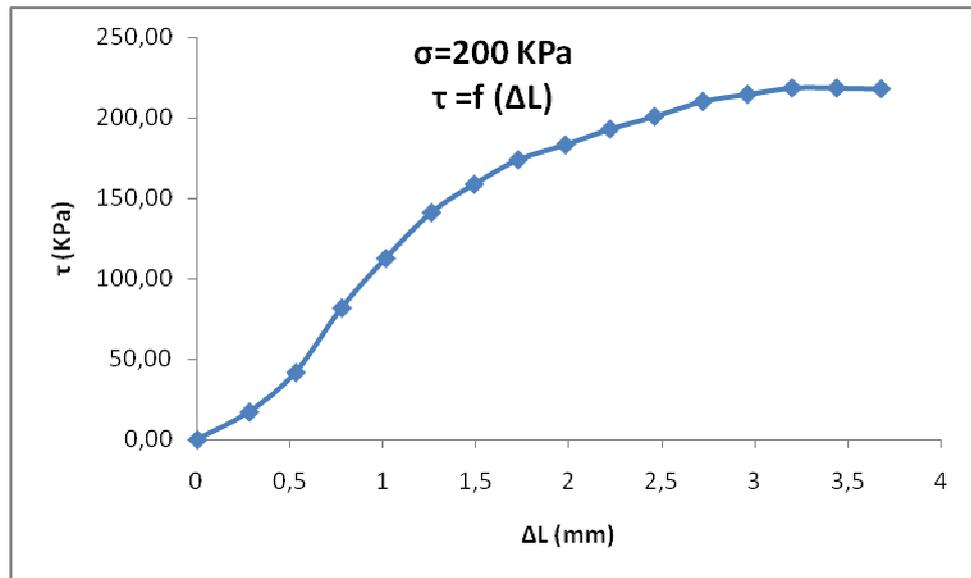
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

#### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa



**Figure III.34:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.35:**

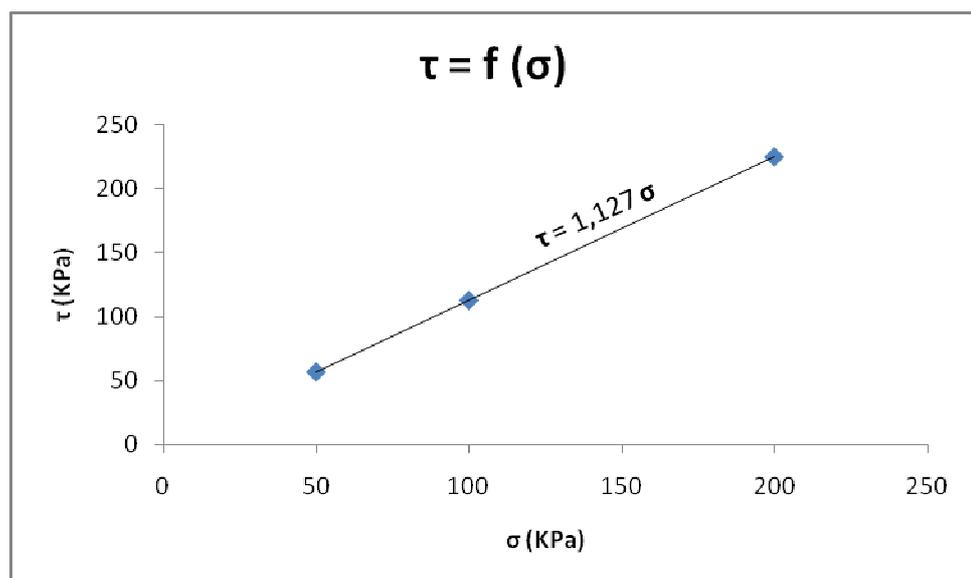
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.L+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 65.69$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 121.57$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 218.63$  KPa.

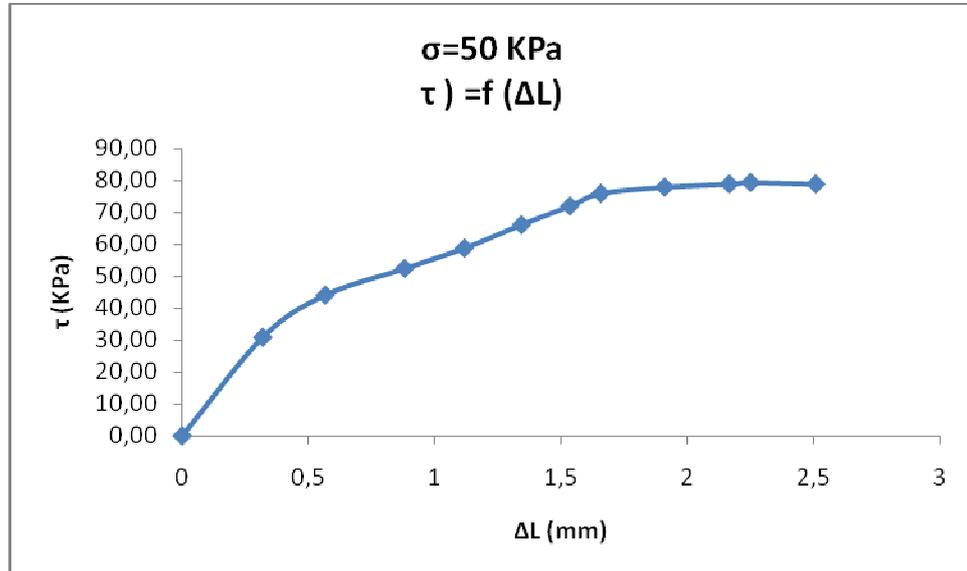
✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.36:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.L+G.T(2)).

Dans le cas du (G.S.L+G.T(2)) on a :  $\phi = 48.42^\circ$ , et  $C=0$ .

**b) Etat dense :**

✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**

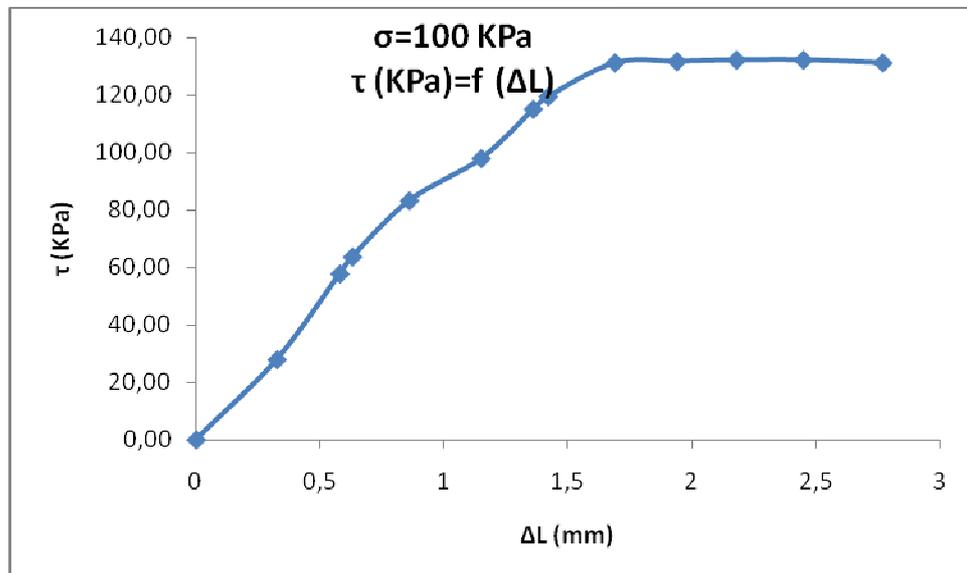
❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.**



**Figure III.37:**

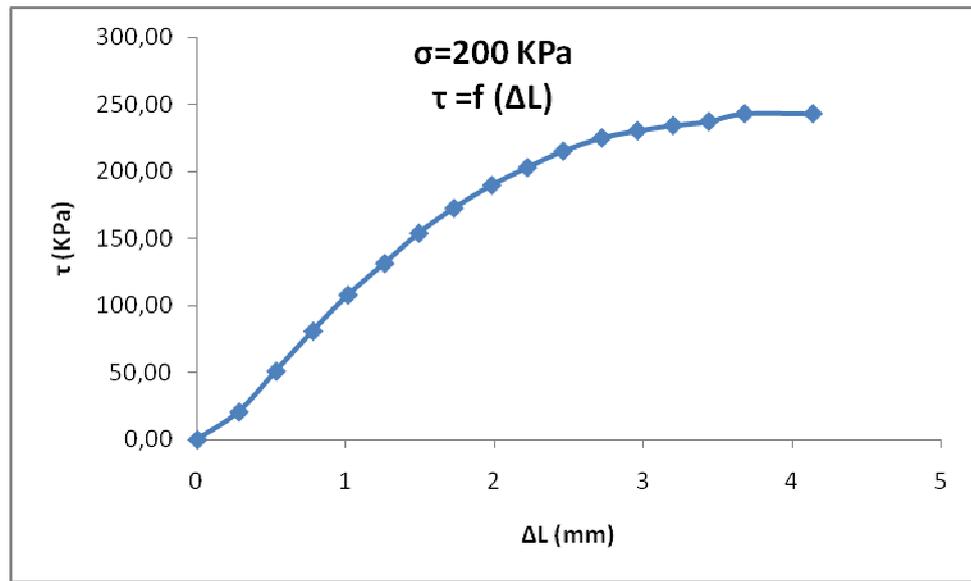
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.**



**Figure III.38:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.****Figure III.39:**

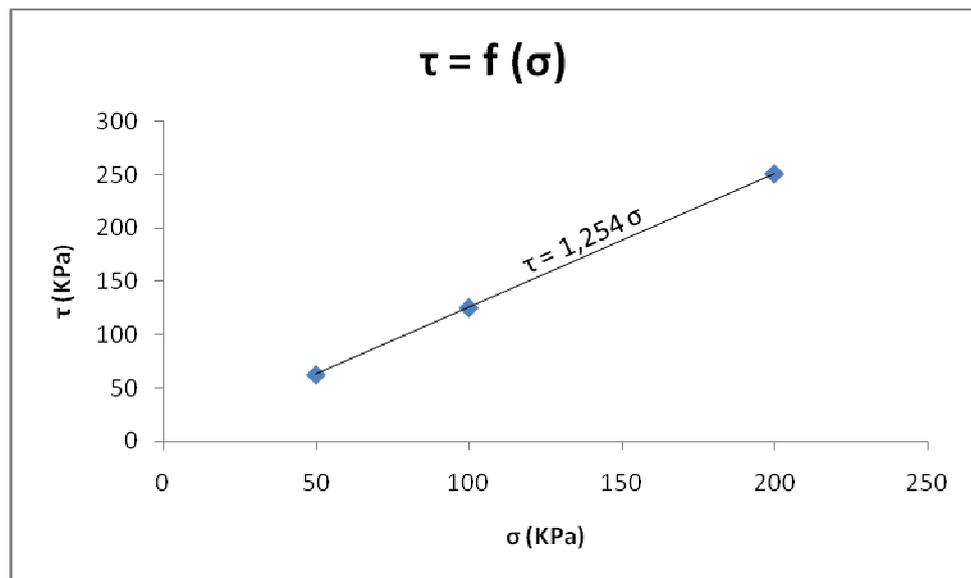
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (G.S.D+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 79.41$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 132.35$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 243.14$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.40:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (G.S.D+G.T(2)).

Dans le cas du (G.S.D+G.T(2)) on a :  $\phi = 51.43^\circ$ , et  $C=0$ .

### III.3. Présentation des résultats du sable fin :

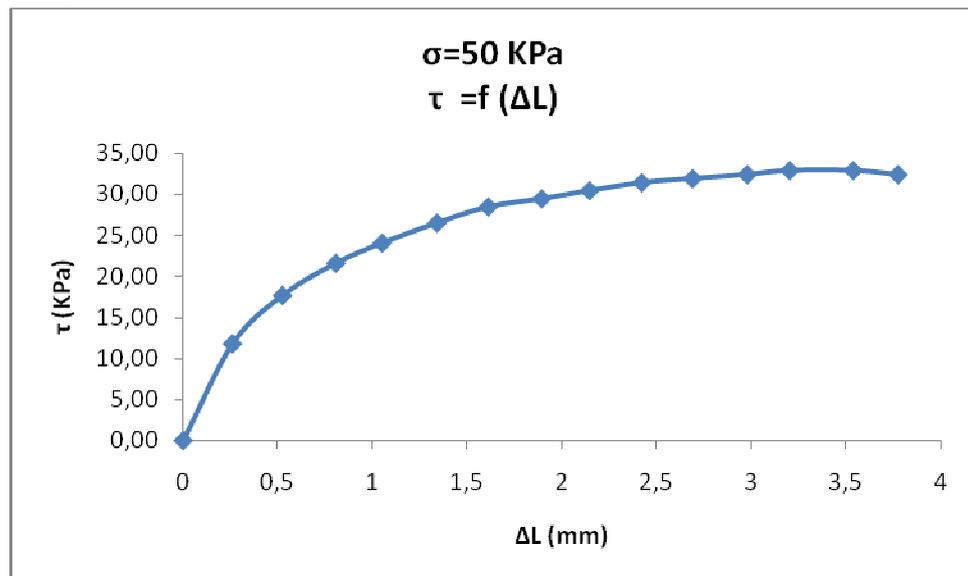
#### III.3..1. Résultats d'essais sur un sable fin non renforcé :

##### a) sable fin lâche :

##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$

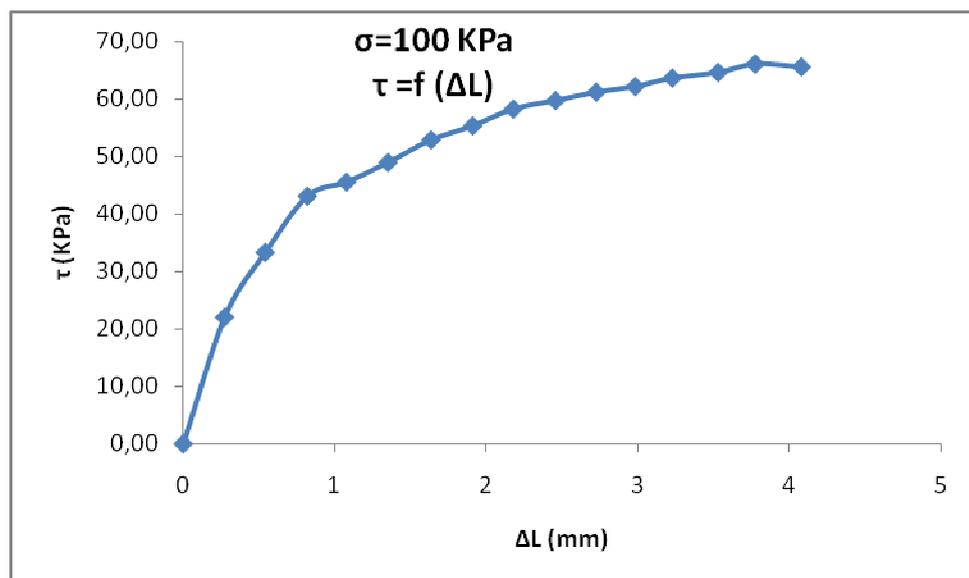
KPa.



**Figure III.41:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L,  $\sigma=50$  KPa).

##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa

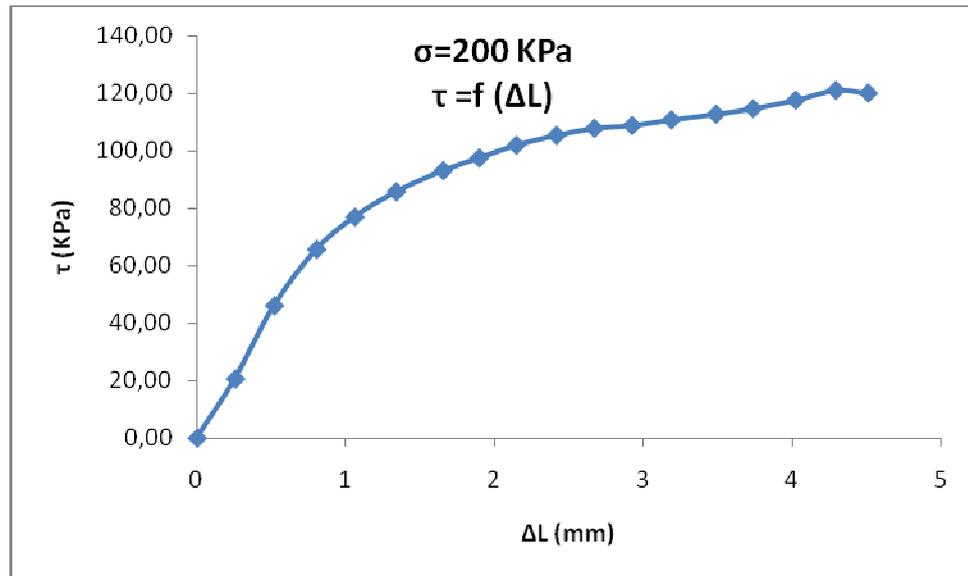
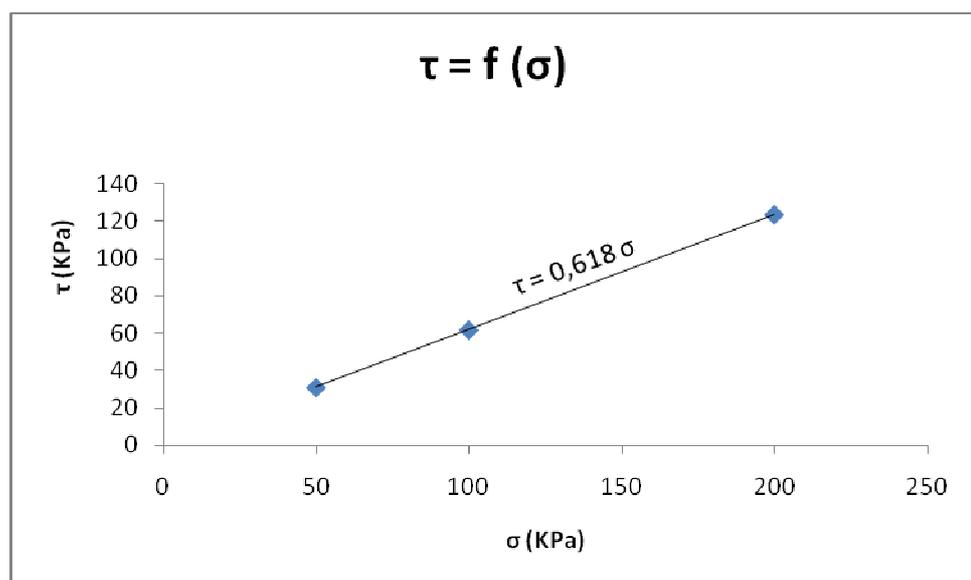


**Figure III.42:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L,  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa :

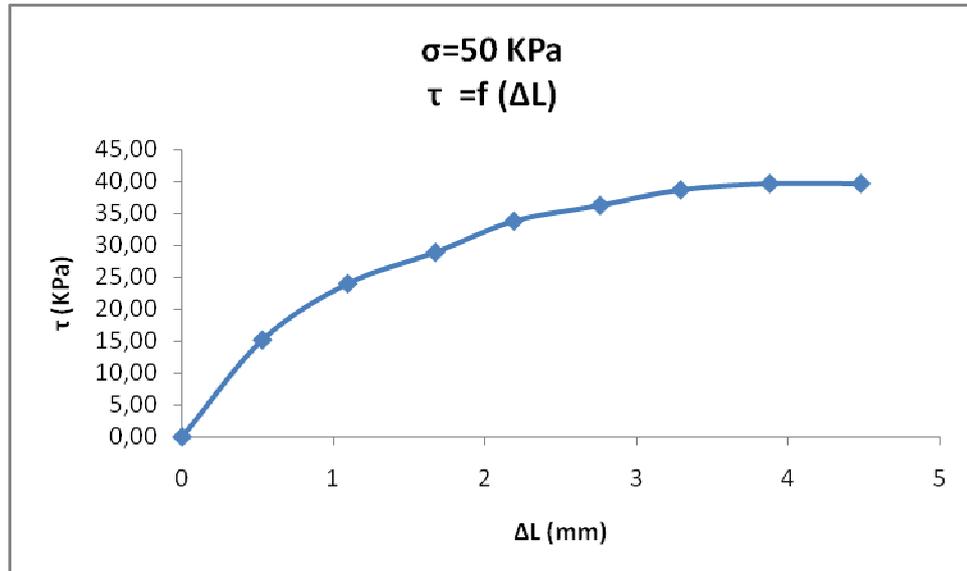
**Figure III.43:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L,  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 32.84$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 66.18$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 121.08$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.44:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.L).

Dans le cas du sable fin lâche (S.F.L) on a :  $\phi = 31.72^\circ$ , et  $C=0$ .

**b) Sable fin dense :**

✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**

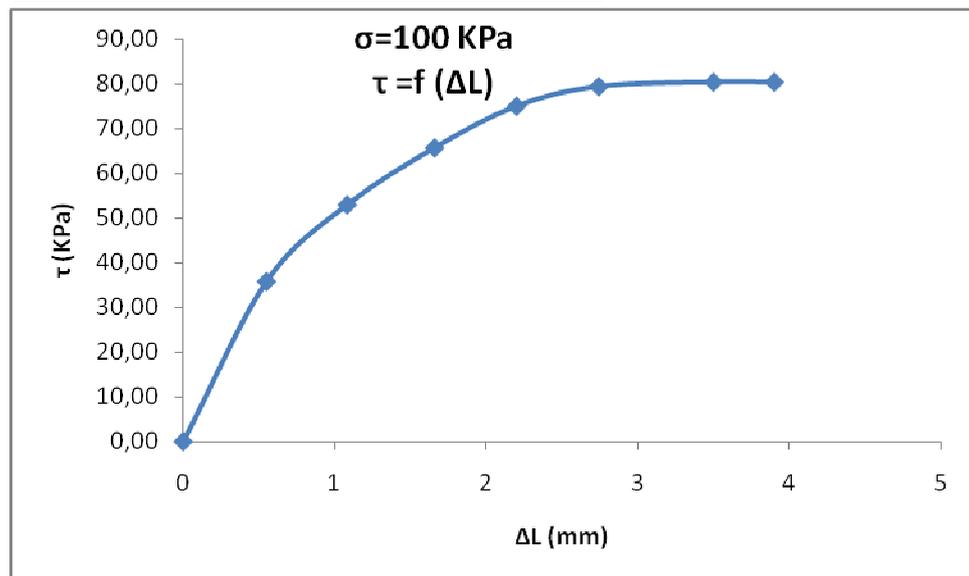
❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.**



**Figure III.45:**

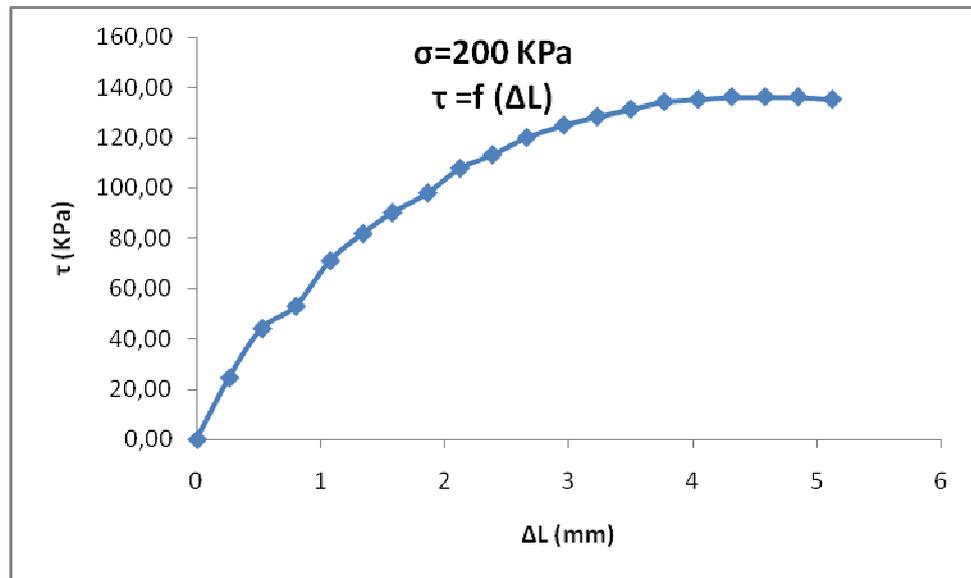
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D,  $\sigma=50$  KPa)..

❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.**



**Figure III.46:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D,  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa :****Figure III.47:**

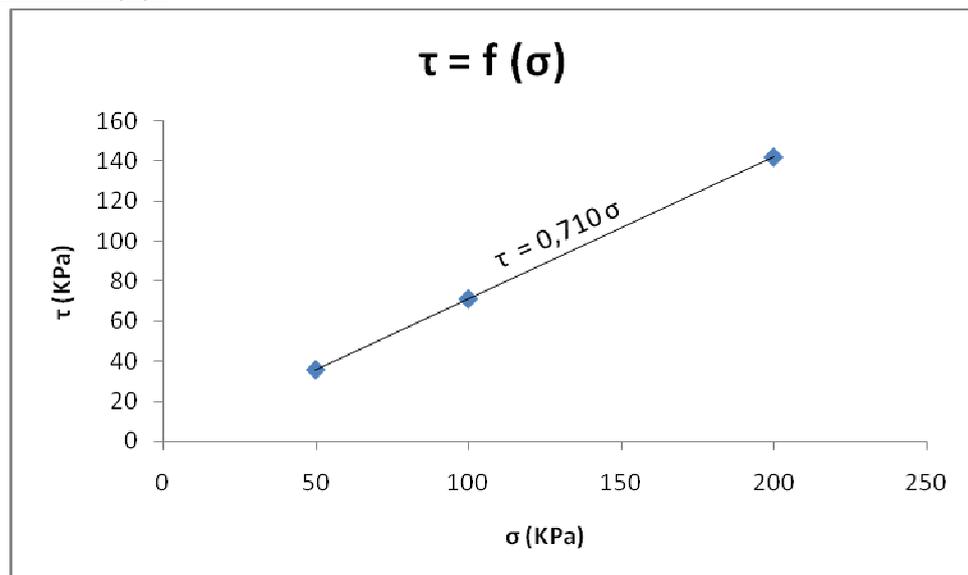
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D,  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 39.71$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 80.39$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 136.27$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.48:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ). (S.F.D).

Dans le cas du sable fin dense(S.F.D) on a :  $\phi = 35.37^\circ$ , et  $C=0$ .

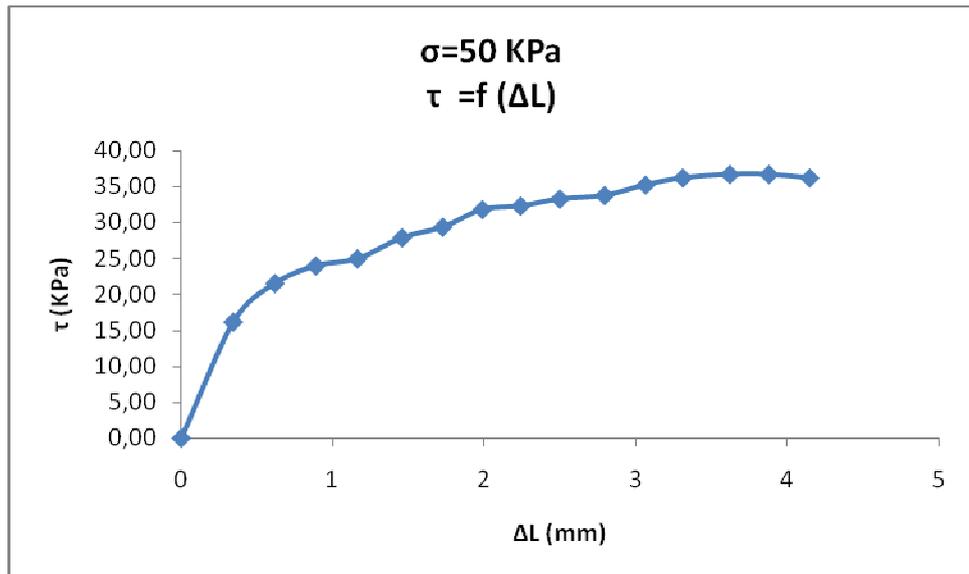
### III.3..2. Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par un géotextile non tissé:

#### III.3..2.1. Sable fin renforcé par une nappe de géotextile non tissé :

##### a) Etat lâche :

##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

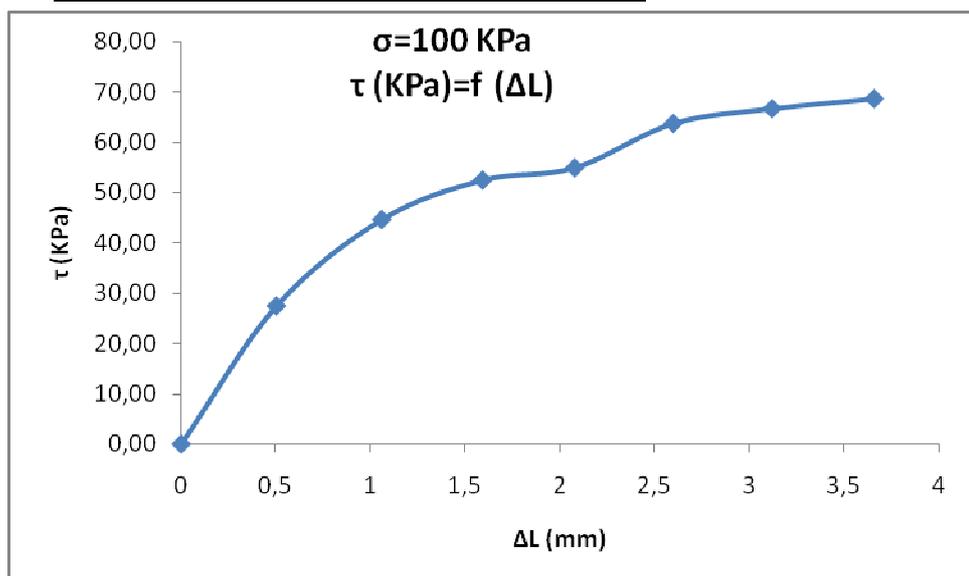
##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.49:**

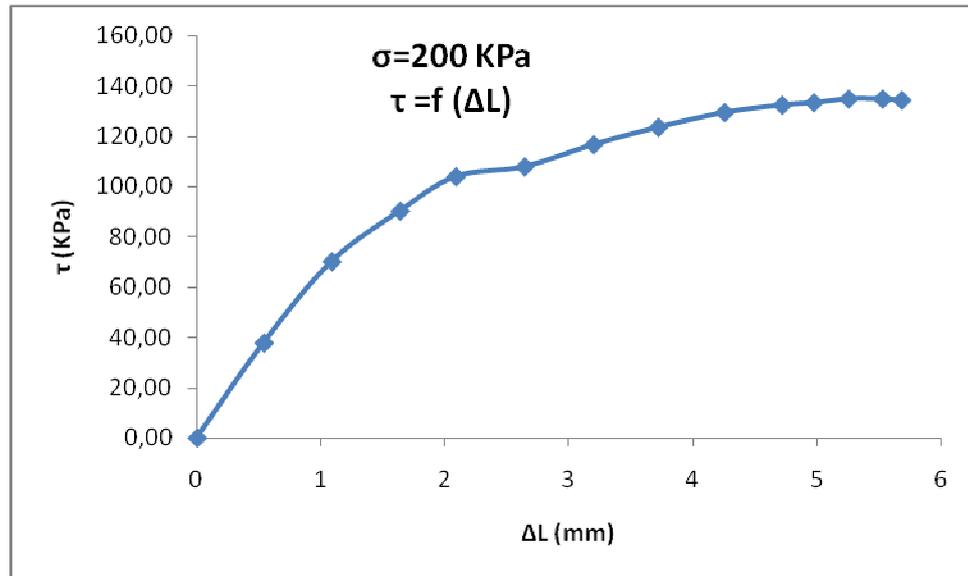
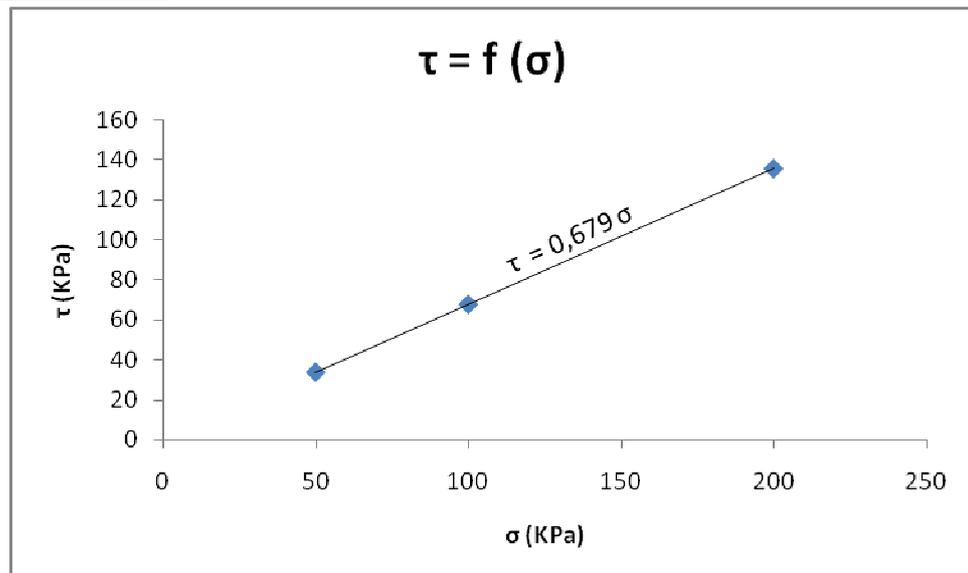
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

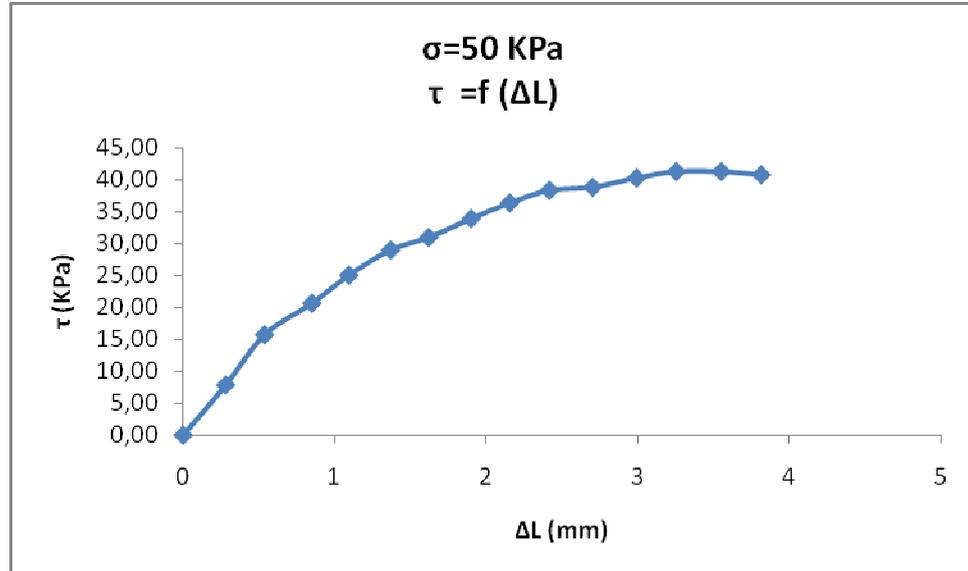
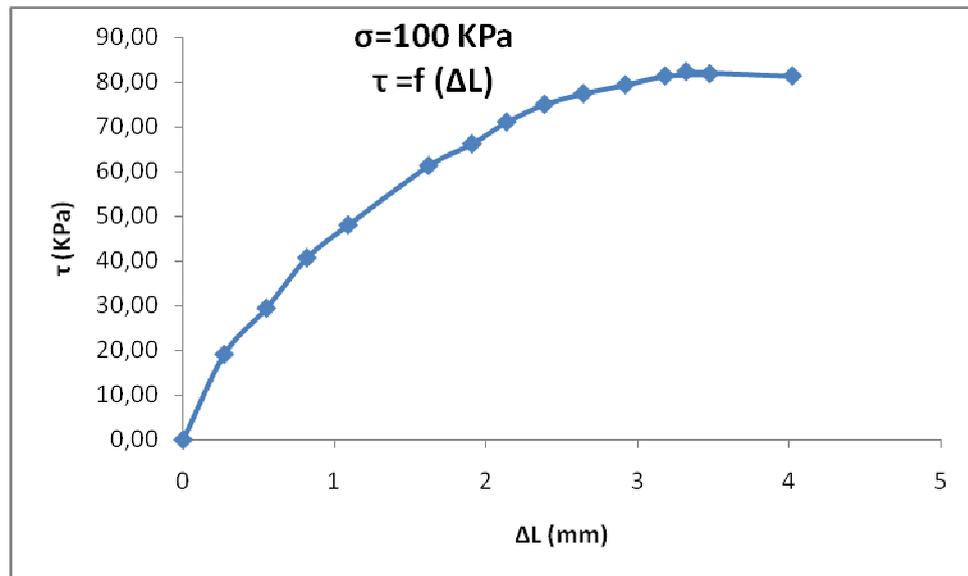
##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.

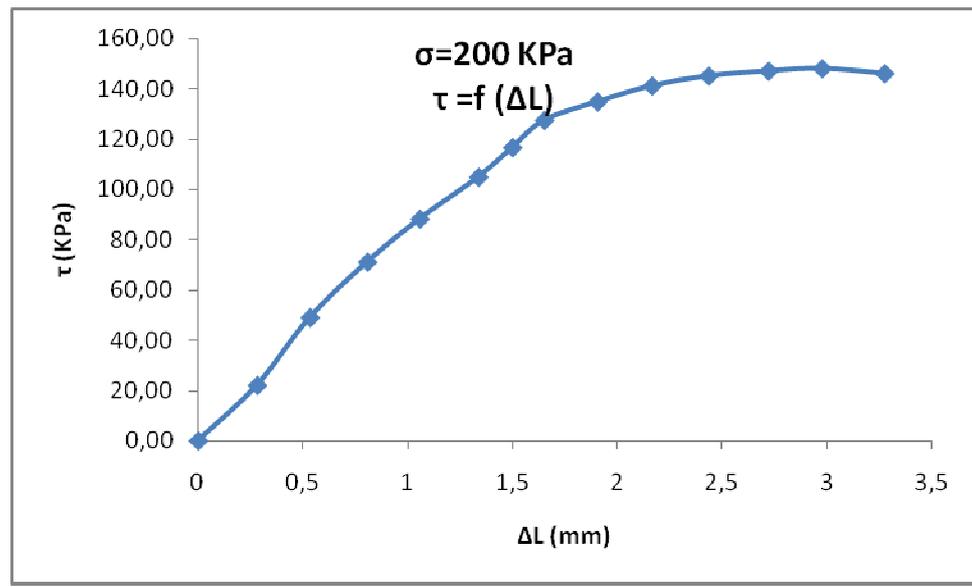


**Figure III.50:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** KPa :**Figure III.51:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 36.76$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 68.63$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 134.84$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.52:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.L +G.N.T(1)).Dans le cas du (S.F.L+G.N.T(1)) on a :  $\phi = 34.18^\circ$ , et  $C=0$ .

b) **Etat dense :**✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.****Figure III.53:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=50$  KPa).❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.****Figure III.54:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.****Figure III.55:**

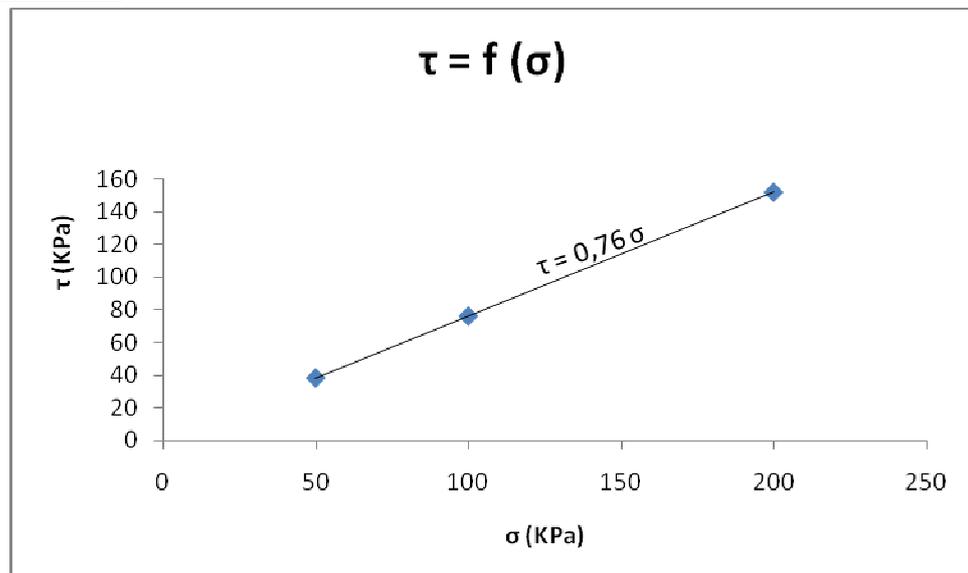
Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D +G.N.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

Pour  $\sigma= 50$  KPa, on a  $\tau = 41.18$  KPa.

Pour  $\sigma= 100$  KPa, on a  $\tau = 82.35$  KPa.

Pour  $\sigma= 200$  KPa, on a  $\tau =148.04$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.56:** Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\sigma)$ , (S.F.D +G.N.T(1)).

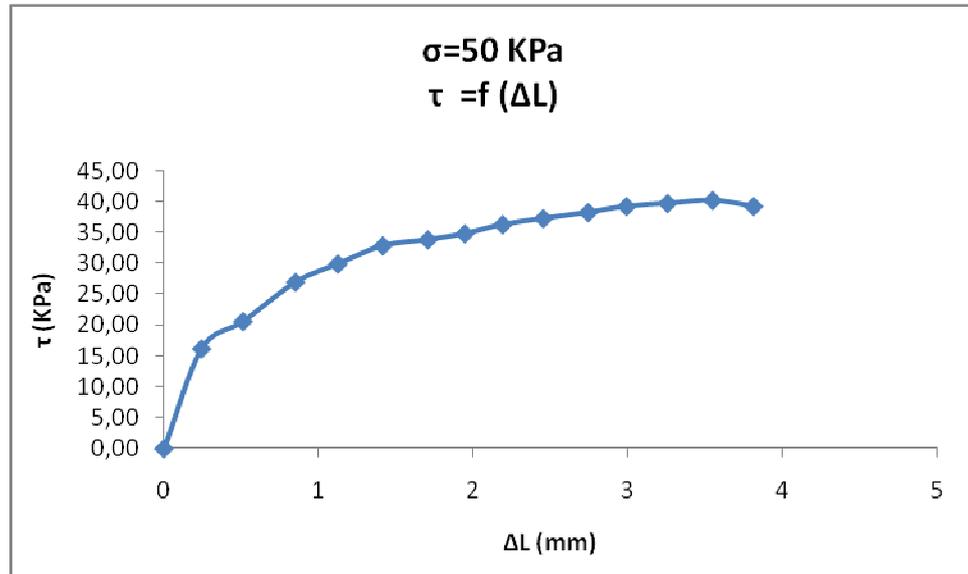
Dans le cas du (S.F.D+G.N.T(1)) on a :  $\phi = 37.23^\circ$ , et  $C=0$ .

### III.3..2.2. Sable fin renforcé par deux nappes de géotextile non tissé :

#### a) Etat lâche :

#### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

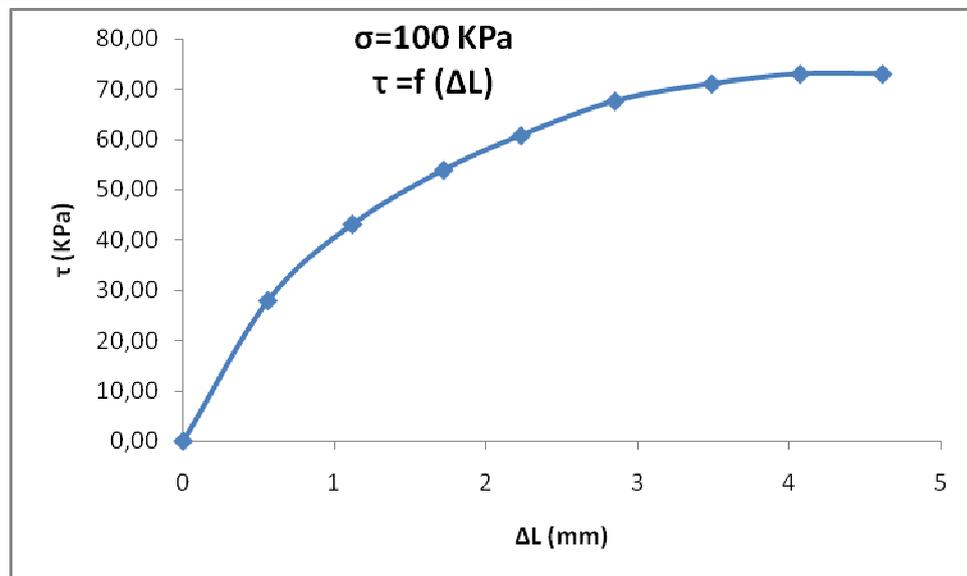
#### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.57:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

#### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.

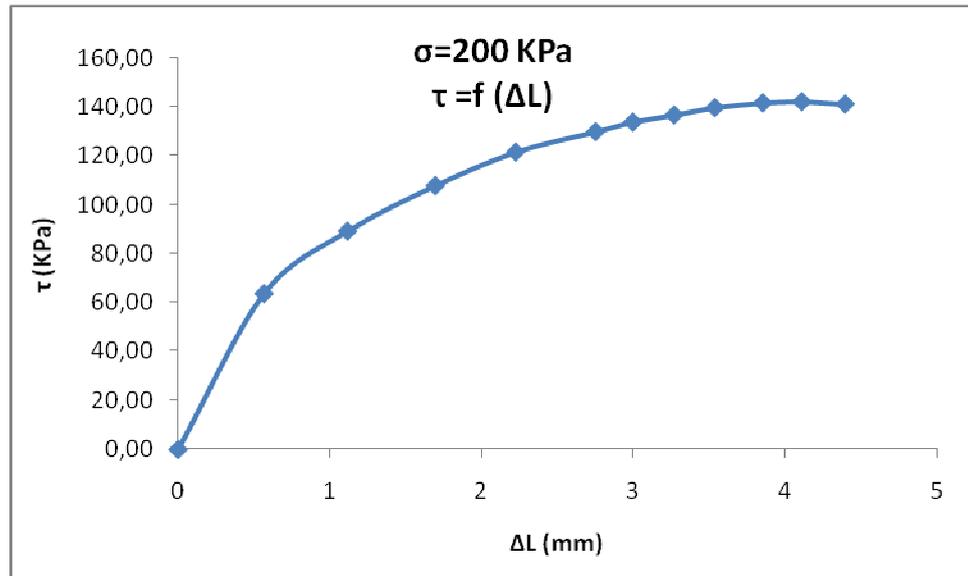


**Figure III.58:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa :

**Figure III.59:**

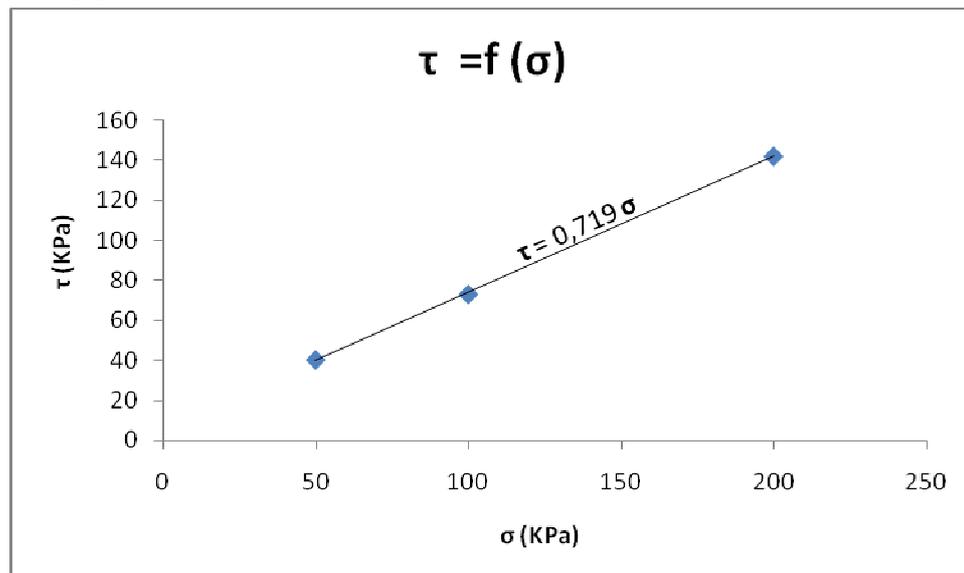
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L +G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

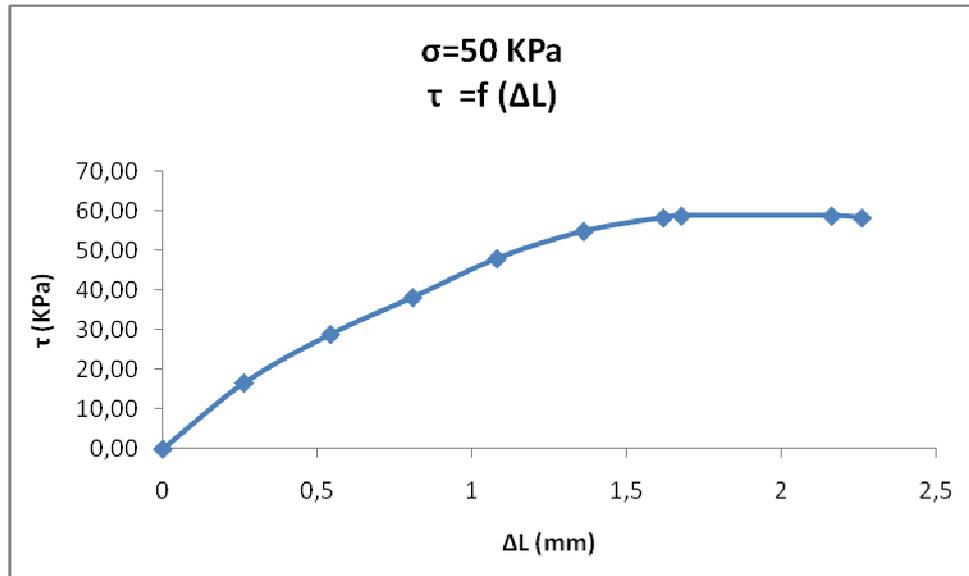
Pour  $\sigma= 50$  KPa, on a  $\tau = 40.20$  KPa.

Pour  $\sigma= 100$  KPa, on a  $\tau = 73.04$  KPa.

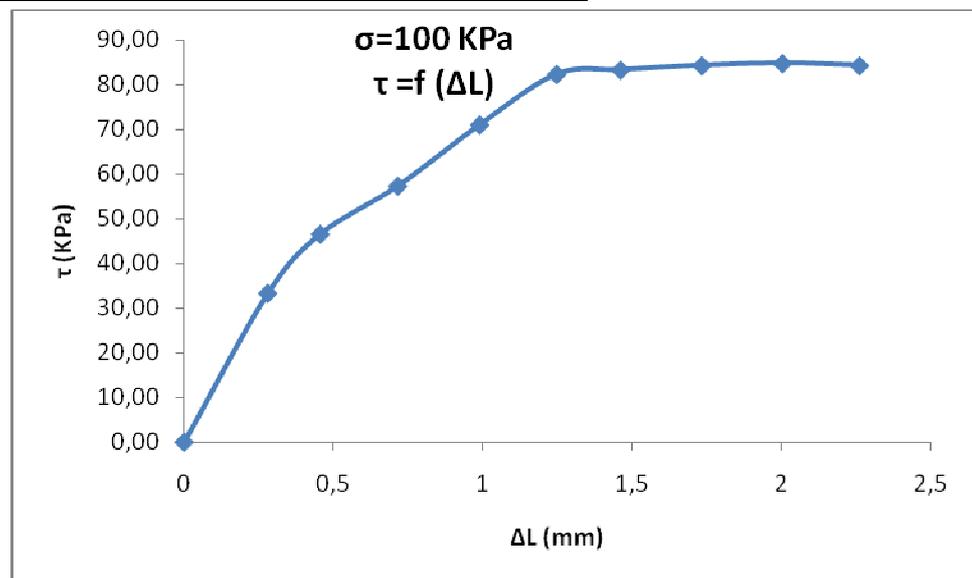
Pour  $\sigma= 200$  KPa, on a  $\tau =142.16$  KPa.

✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.60:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.L +G.N.T(2)).

Dans le cas du (S.F.L+G.N.T(2)) on a :  $\phi = 35.72^\circ$ , et  $C=0$ .

b) Etat dense :✓ Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.**Figure III.61:**

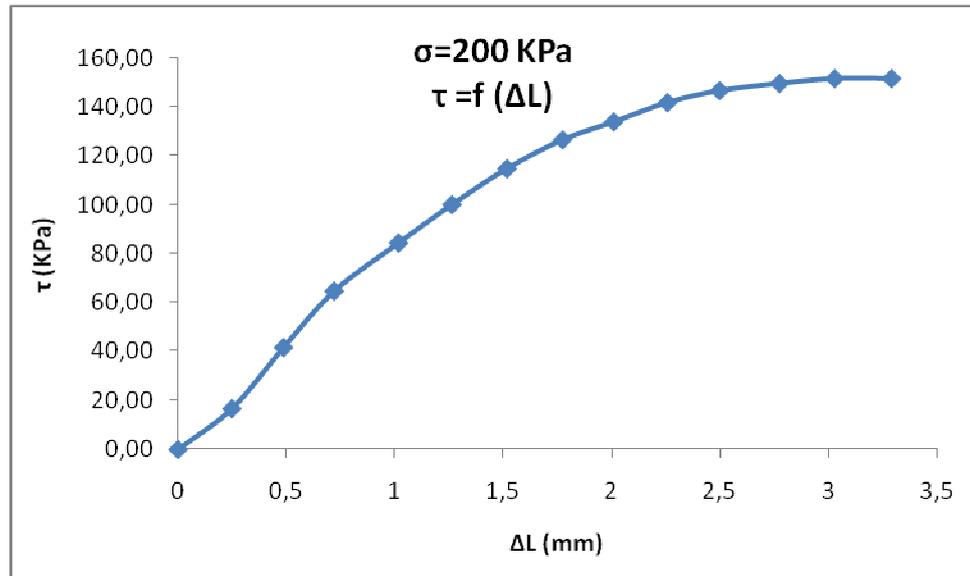
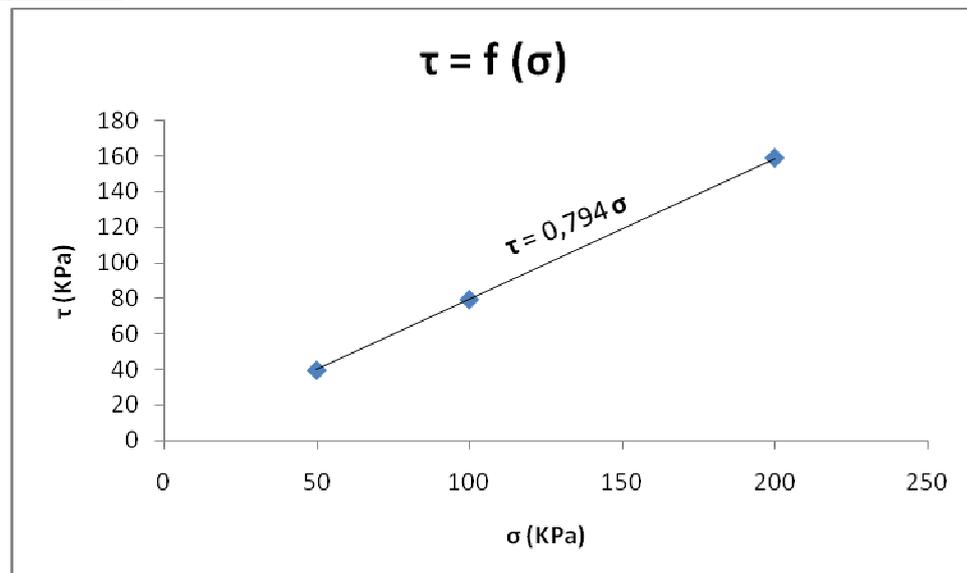
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

❖ Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.**Figure III.62:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa :

**Figure III.63:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D +G.N.T(2),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 58.82$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 84.80$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 151.47$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.64:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.D +G.N.T(2)).Dans le cas du (S.F.D+G.N.T(2)) on a :  $\phi = 38.45^\circ$ , et **C=0**.

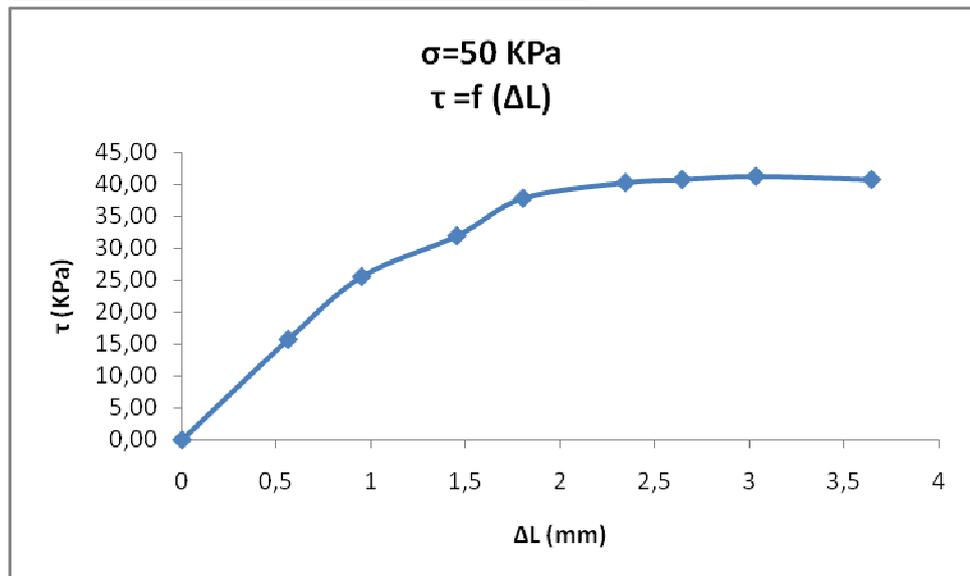
### III.3.3. Sable fin renforcé par un géotextile tissé:

#### III.3.3.1. Sable fin renforcé par une nappe de géotextile tissé :

##### a) Etat lâche :

##### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

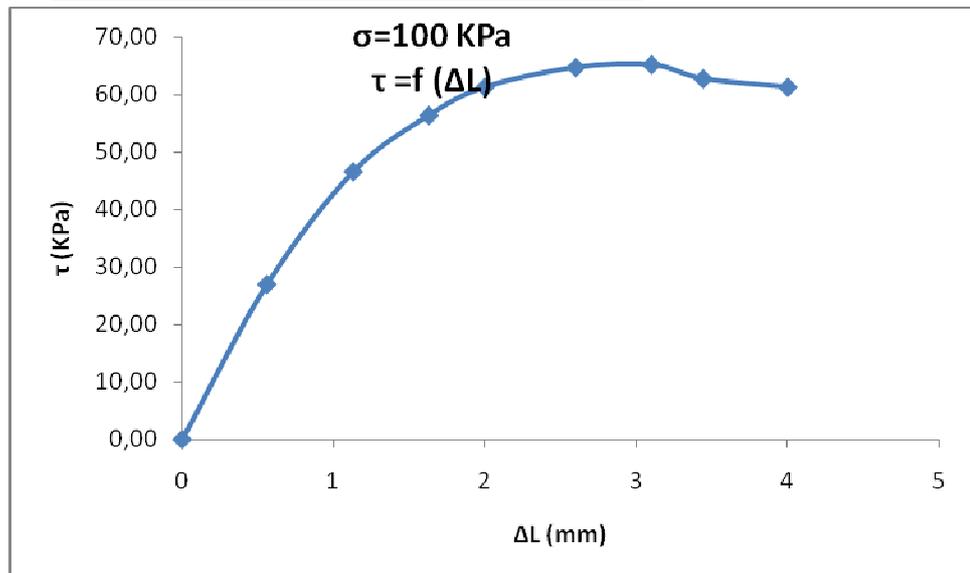
##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.65:**

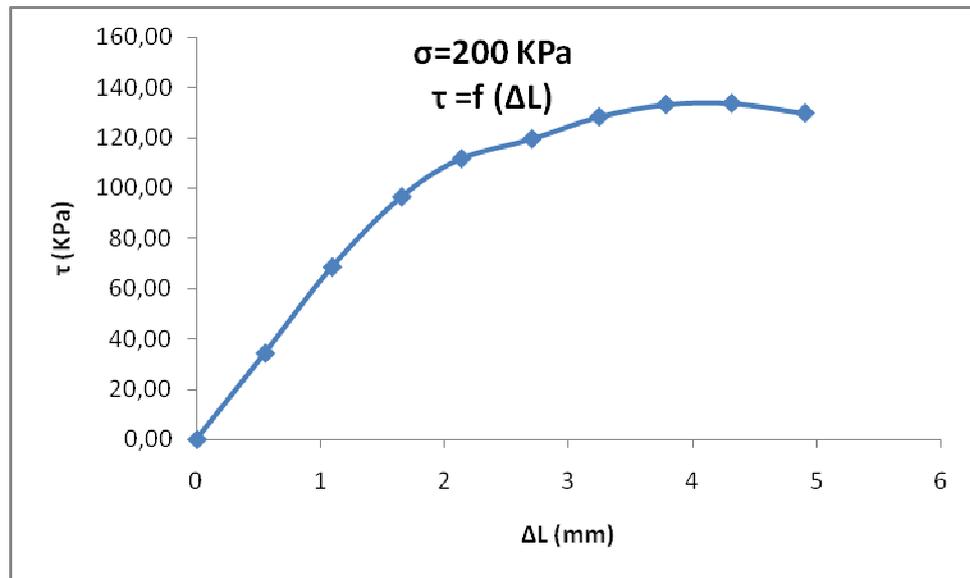
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).

##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.



**Figure III.66:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.****Figure III.67:**

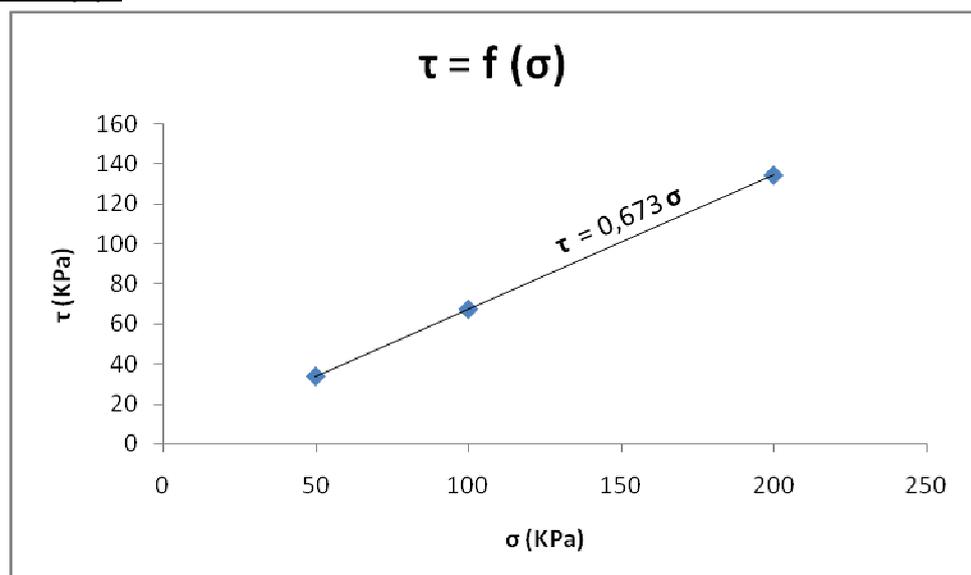
Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).

Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :

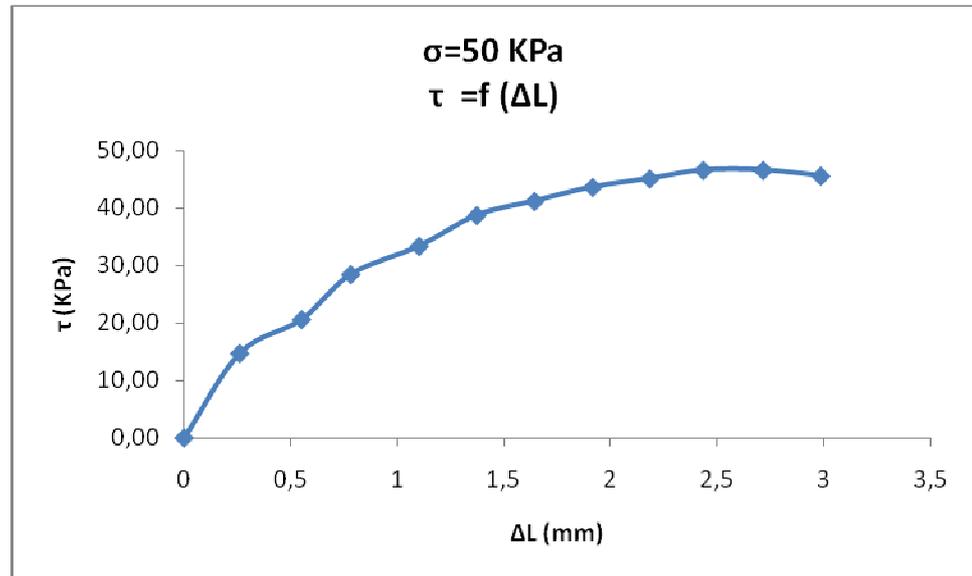
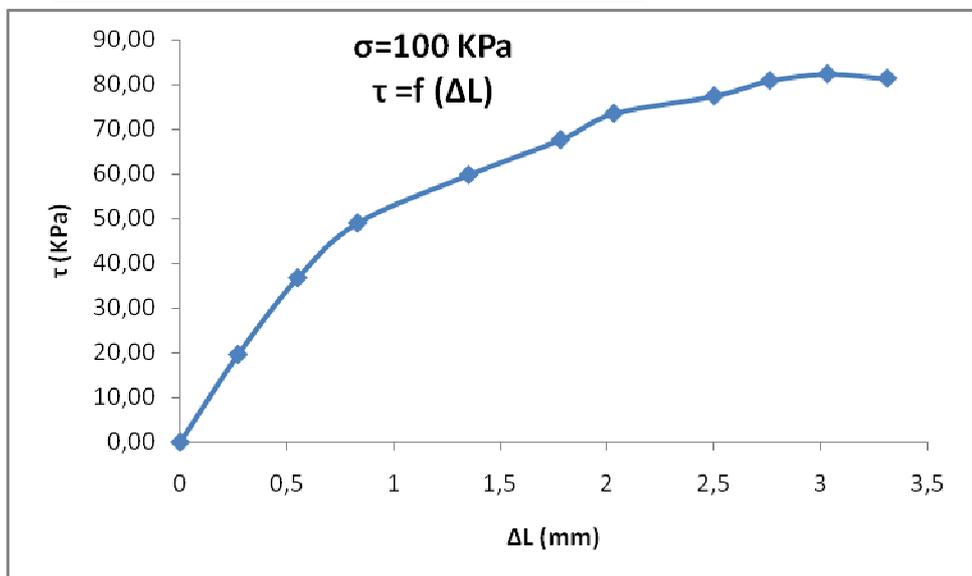
Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 41.18$  KPa.

Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 65.20$  KPa.

Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 133.82$  KPa.

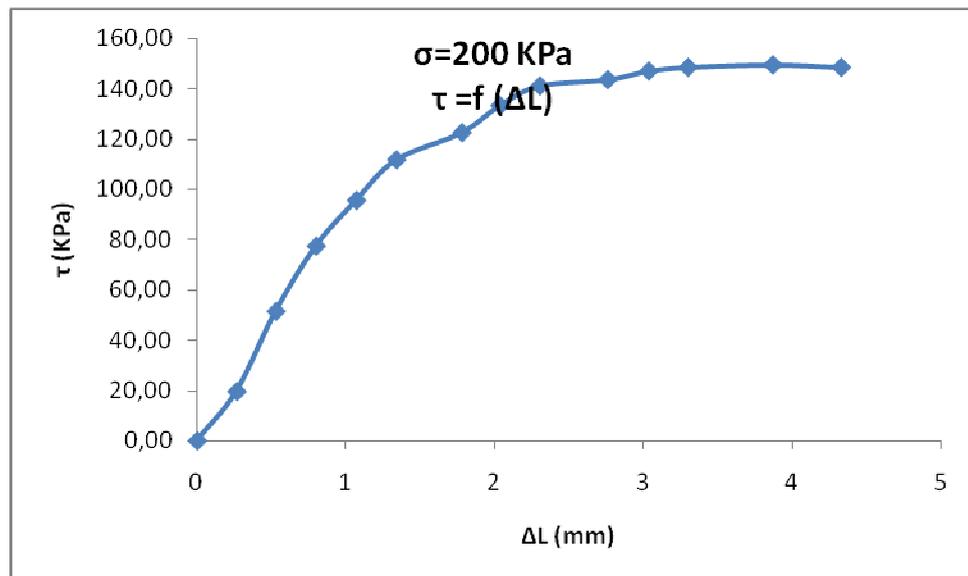
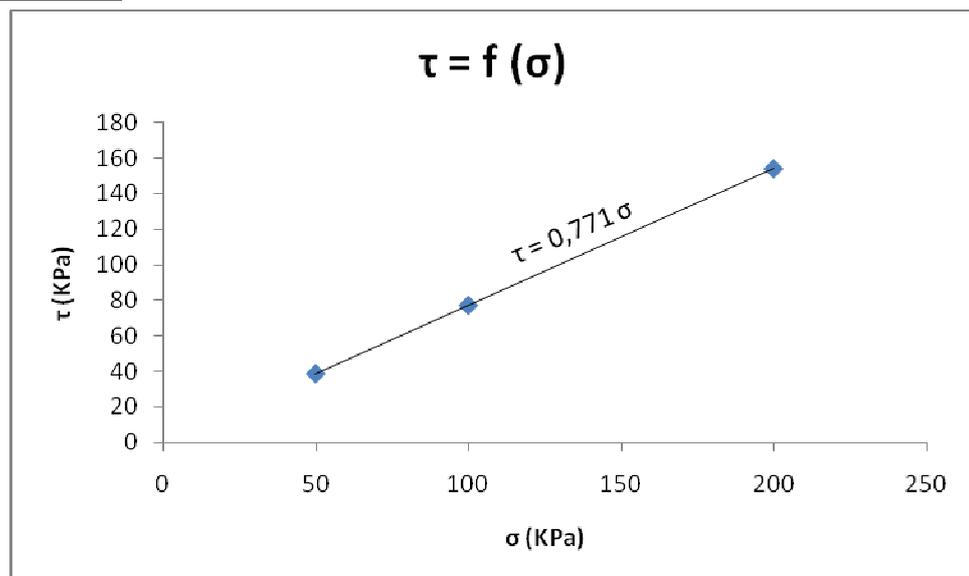
✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.68:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.L+G.T(1)).

Dans le cas du (S.F.L+G.T(1)) on a :  $\phi = 33.94^\circ$ , et  $C=0$ .

b) **Etat dense :**✓ **Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :**❖ **Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.****Figure III.69:**Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=50$  KPa).❖ **Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.****Figure III.70:**Variation de  $(\tau)$  en fonction de  $(\Delta L)$ , (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa.

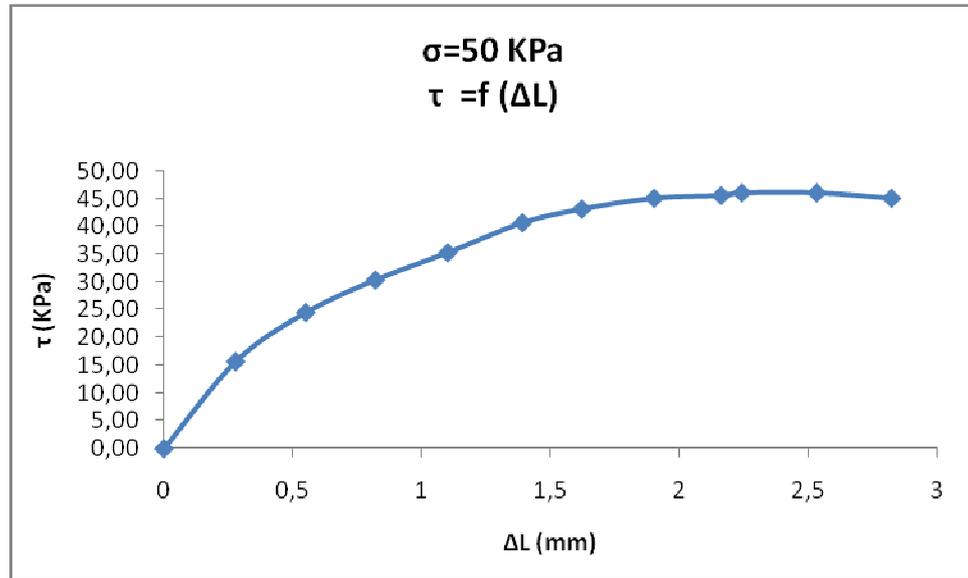
**Figure III.71:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D+G.T(1),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 46.57$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 82.35$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 149.51$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.72:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.D+G.T(1)).Dans le cas du (S.F.D+G.T(1)) on a :  $\phi = 37.62^\circ$ , et  $C=0$ .

### III.3..3.2. Sable fin renforcé par deux nappes de géotextile tissé :

#### a) Etat lâche :

#### ✓ Courbes $\tau = f(\Delta L)$ :

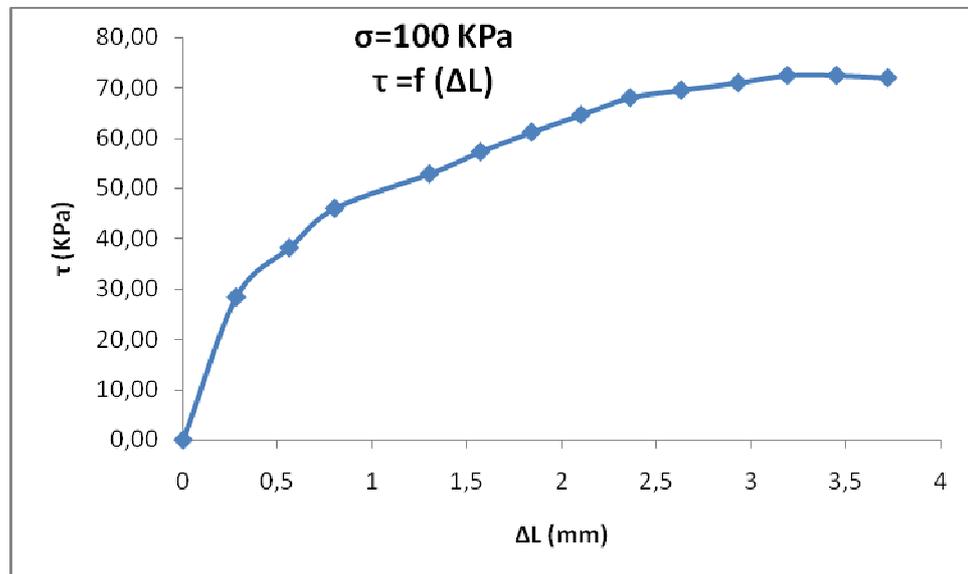
##### ❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale $\sigma = 50$ KPa.



**Figure III.73:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).

##### ❖ Essai N° 02 : contrainte verticale $\sigma = 100$ KPa.

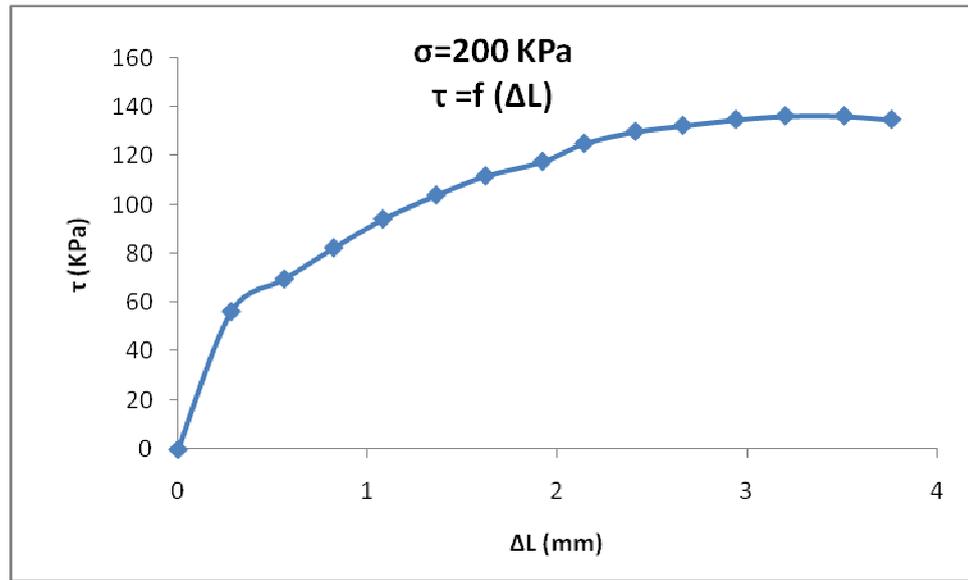
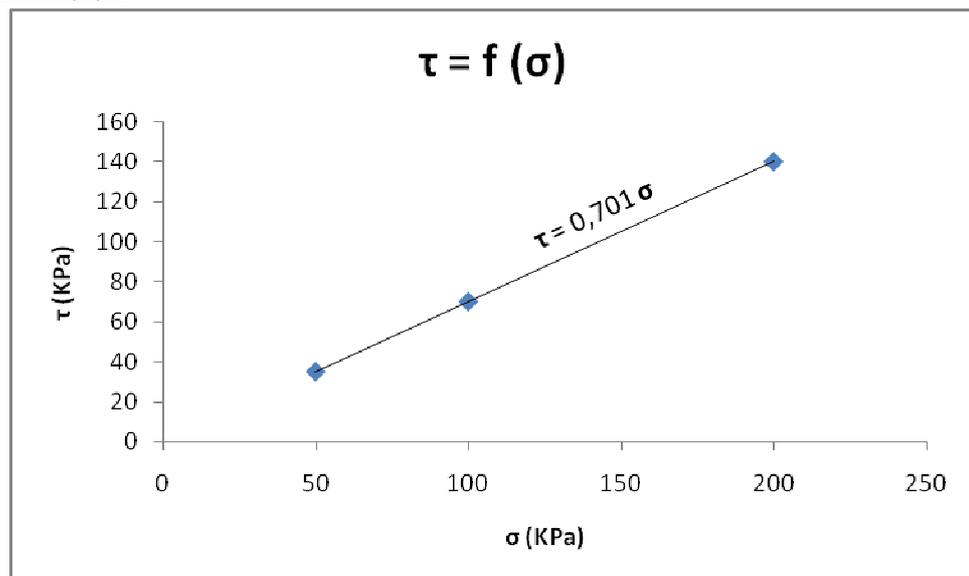


**Figure III.74:**

Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

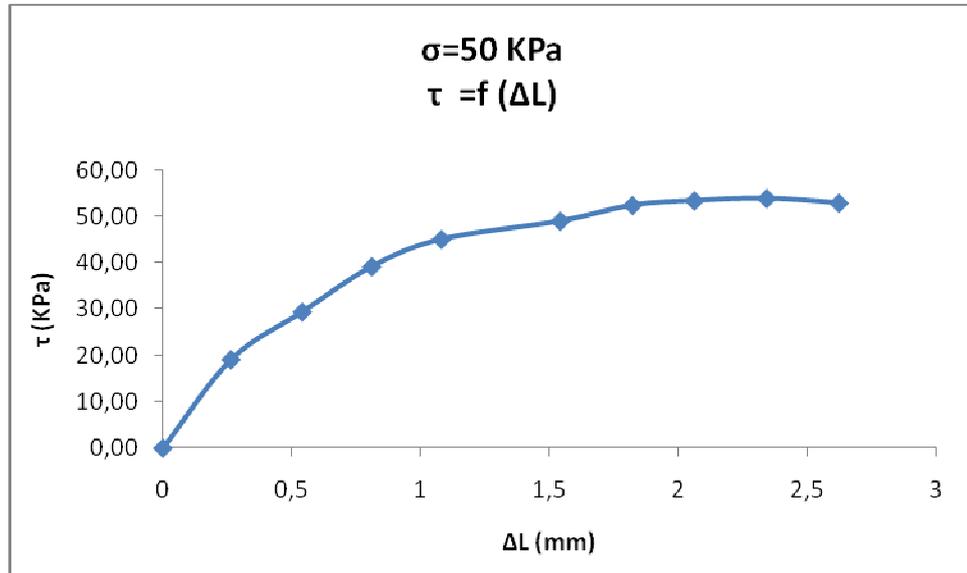
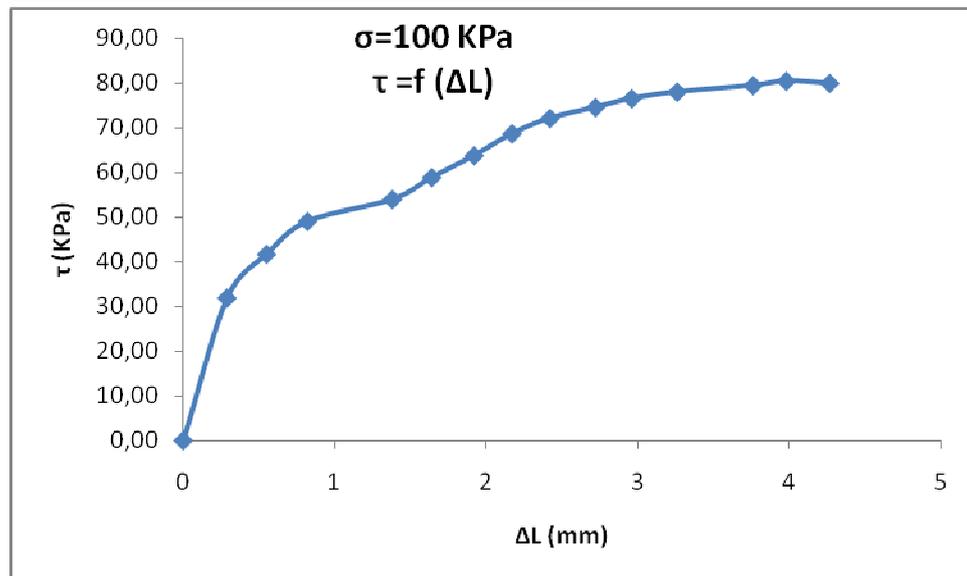
❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa :

**Figure III.75:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.L+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 46.08$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 72.55$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 136.27$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.76:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.L+G.T(2)).Dans le cas du (S.F.L+G.T(2)) on a :  $\phi = 35.03^\circ$ , et **C=0**.

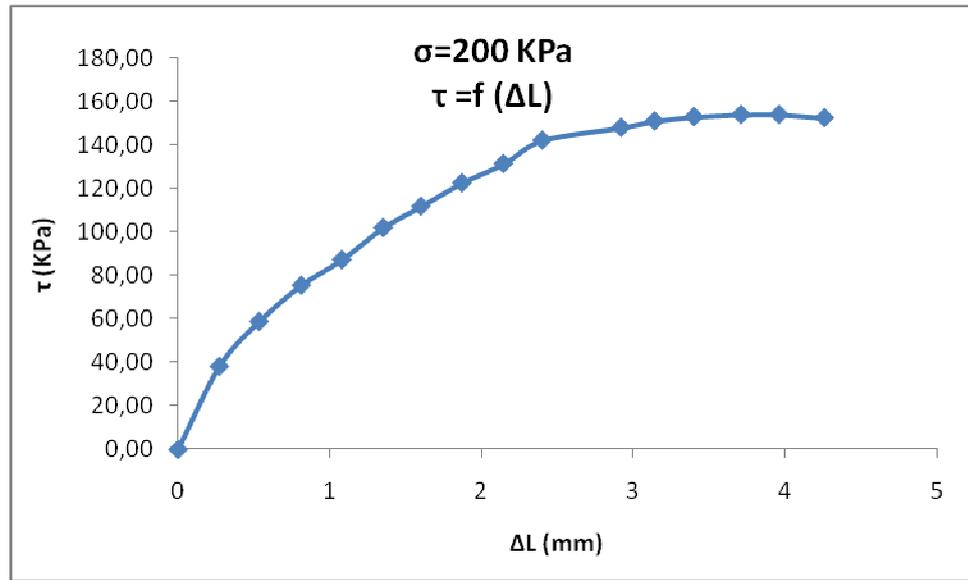
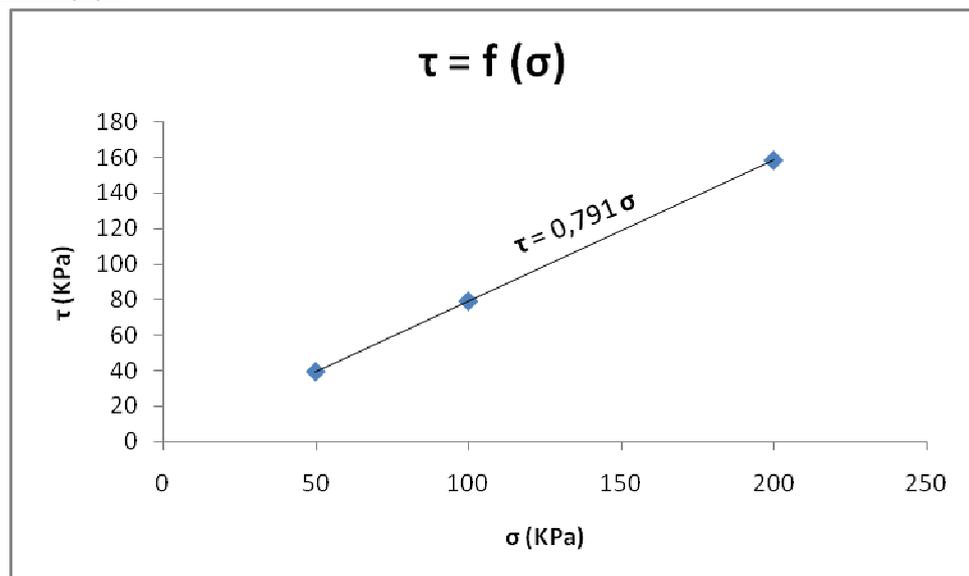
b) Etat dense :

✓

Courbes  $\tau = f(\Delta L)$  :❖ Essai N° 01 : Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.**Figure III.77:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=50$  KPa).❖ Essai N° 02 : contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.**Figure III.78:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=100$  KPa).

❖ **Essai N° 03 : contrainte verticale  $\sigma = 200$** 

KPa.

**Figure III.79:**Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\Delta L$ ), (S.F.D+G.T(2),  $\sigma=200$  KPa).Les contraintes tangentielles ( $\tau$ ), pour les différentes contraintes normales ( $\sigma$ ) sont :Pour  $\sigma = 50$  KPa, on a  $\tau = 46.08$  KPa.Pour  $\sigma = 100$  KPa, on a  $\tau = 72.55$  KPa.Pour  $\sigma = 200$  KPa, on a  $\tau = 136.27$  KPa.✓ **Diagrammes  $\tau = f(\sigma)$  :****Figure III.80:** Variation de ( $\tau$ ) en fonction de ( $\sigma$ ), (S.F.D+G.T(2)).

Dans le cas du (S.F.D+G.T(2)) on a :  $\phi = 38.34^\circ$ , et  $C=0$ .

### III.4. Présentation et interprétation des résultats :

#### III.4..1. Exposé de l'ensemble des résultats obtenus :

Toutes les valeurs des caractéristiques mécaniques ( $c$  et  $\phi$ ), obtenues à partir de tous les essais de cisaillement effectués sur les différents types de sable : Sable seul sans renforcement et sable renforcé par le géotextile ; seront présentées dans les tableaux suivants :

#### ❖ Sable non renforcé :

**Tableau III.1:** Caractéristiques mécaniques du sable non renforcé.

Echantillon	Angle de frottement ( $\phi^\circ$ )	Cohésion C (KPa)
G.S.L.	43.29°	0
G.S.D.	47.70°	0
S.F.L.	31.72°	0
S.F.D.	35.37°	0

#### ❖ Gros sable renforcé par un géotextile non tissé :

**Tableau III.2:** Caractéristiques mécaniques du gros sable renforcé par une et deux nappes de géotextiles non tissé.

Echantillon	Angle de frottement ( $\phi^\circ$ )	Cohésion C (KPa)
G.S.L+G.N.T(1)	47.14°	0
G.S.D+G.N.T(1)	49.86°	0
G.S.L+G.N.T(2)	49.11°	0
G.S.D+G.N.T(2)	51.16°	0

#### ❖ Gros sable renforcé par un géotextile tissé :

**Tableau III.3 :** Caractéristiques mécaniques du gros sable renforcé par une et deux nappes de géotextiles tissé.

Echantillon	Angle de frottement ( $\phi^\circ$ )	Cohésion C (KPa)
G.S.L+G.T(1)	47.10°	0
G.S.D+G.T(1)	50.36°	0
G.S.L+G.T(2)	48.42°	0
G.S.D+G.T(2)	51.43°	0

❖ **Sable fin renforcé par un géotextile non tissé :****Tableau III.4:** Caractéristiques mécaniques du sable fin renforcé par une et deux nappes de géotextiles non tissé.

Echantillon	Angle de frottement ( $\phi^\circ$ )	Cohésion C (KPa)
S.F.L+G.N.T(1)	34.18°	0
S.F.D+G.N.T(1)	37.23°	0
S.F.L+G.N.T(2)	35.72°	0
S.F.D+G.N.T(2)	38.45°	0

❖ **Sable fin renforcé par un géotextile tissé :****Tableau III.5:** Caractéristiques mécaniques du sable fin renforcé par une et deux nappes de géotextiles tissé.

Echantillon	Angle de frottement ( $\phi^\circ$ )	Cohésion C (KPa)
S.F.L+G.T(1)	33.94°	0
S.F.D+G.T(1)	37.62°	0
S.F.L+G.T(2)	35.03°	0
S.F.D+G.T(2)	38.34°	0

**III.4..2. Comparaison des résultats entre sable seul et sable renforcé :**

Afin de voir la variation des caractéristiques mécaniques on a calculé le pourcentage d'augmentation de l'angle de frottement interne.

**III.4..2.1. Gros sable lâche :****a) Renforcement par un géotextile non tissé :****Tableau III.6 :** Résultats du renforcement sur le gros sable lâche de l'oued DAMOUS.

Type de sable Caractéristiques	Gros sable lâche non renforcé	Gros sable lâche renforcé par une nappe horizontale	Gros sable lâche renforcé par deux nappes horizontales.
- Angle de frottement " $\phi$ "	43.29°	47.14°	49.11°
- " $\Delta\phi$ " due au renforcement	-	9%	13 %
- Cohésion "c"	0	0	0
- " $\Delta c$ " du renforcement	-	0	0

b) **Renforcement par un géotextile tissé :****Tableau III.7 :** Résultats du renforcement sur le gros sable lâche de l'oued DAMOUS.

Type de sable Caractéristiques	Gros sable lâche non renforcé	Gros sable lâche renforcé par une nappe horizontale	Gros sable lâche renforcé par deux nappes horizontales.
- Angle de frottement " $\phi$ " - " $\Delta\phi$ " due au renforcement	43.29° -	47.10° 9%	48.42° 12%
- Cohésion "c" - " $\Delta c$ " due au renforcement	0 -	0 0	0 0

III.4..2.2. **Gros sable dense :**a) **Renforcement par un géotextile non tissé :****Tableau III.8:** Résultats du renforcement sur le gros sable dense.

Type de sable Caractéristiques	Gros sable dense non renforcé	Gros sable dense renforcé par une nappe horizontale	Gros sable dense renforcé par deux nappes horizontales
- Angle de frottement " $\phi$ " - " $\Delta\phi$ " due au renforcement	47.70° -	49.86° 5 %	51.16° 7 %
- Cohésion "c" - " $\Delta c$ " due au renforcement	0 -	0 0 kPa	0 kPa

b) **Renforcement par un géotextile tissé :****Tableau III.9 :** Résultats du renforcement sur le gros sable dense.

Type de sable Caractéristiques	Gros sable dense non renforcé	Gros sable dense renforcé par une nappe horizontale	Gros sable dense renforcé par deux nappes horizontales
- Angle de frottement " $\phi$ " - " $\Delta\phi$ " due au renforcement	47.70° -	50.36° 6 %	51.43° 8 %
- Cohésion "c" - " $\Delta c$ " due au renforcement	0 -	0 0	0 0

**III.4..2.3. Sable fin lâche :****a) Renforcement par un géotextile non tissé :****Tableau III.10 :** Résultats du renforcement sur le sable fin lâche.

Type de sable \ Caractéristiques	Sable fin lâche non renforcé	Sable fin lâche renforcé par une seule nappe horizontale	Sable fin lâche renforcé par deux nappes horizontales
- Angle de frottement " $\phi$ "	31.72°	34.18°	35.72°
- " $\Delta\phi$ " due au renforcement	-	8 %	13 %
- Cohésion "c"	0	0	0
- " $\Delta c$ " due au renforcement	-	0	0

**b) Renforcement par un géotextile tissé :****Tableau III.11 :** Résultats du renforcement sur le sable fin lâche.

Type de sable \ Caractéristiques	Sable fin lâche non renforcé	Sable fin lâche renforcé par une seule nappe horizontale	Sable fin lâche renforcé par deux nappes horizontales
- Angle de frottement " $\phi$ "	31.72°	33.94°	35.03°
- " $\Delta\phi$ " due au renforcement	-	7 %	10 %
- Cohésion "c"	0	0	0
- " $\Delta c$ " due au renforcement	-	0	0

**III.4..2.4. Sable fin dense :****a) Renforcement par un géotextile non tissé :****Tableau III.12 :** Résultats du renforcement sur le sable fin dense.

Type de sable \ Caractéristiques	Sable fin dense non renforcé	Sable fin dense renforcé par une seule nappe horizontale	sable fin dense renforce par deux nappes horizontales.
- Angle de frottement " $\phi$ "	35.37°	37.23°	38.45°
- " $\Delta\phi$ " due au renforcement	-	5 %	9 %
- Cohésion "c"	0	0	0
- " $\Delta c$ " due au renforcement	-	0	0

b)

**Renforcement par un géotextile tissé :****Tableau III.13:** Résultats du renforcement sur le sable fin dense.

Type de sable Caractéristiques	Sable fin dense non renforcé	Sable fin dense renforcé par une seule nappe horizontale	sable fin dense renforcé par deux nappes horizontal es.
- Angle de frottement " $\phi$ "	35.37°	37.62°	38.34°
- " $\Delta\phi$ " due au renforcement	-	6 %	8 %
- Cohésion "c"	0	0	0
- " $\Delta c$ " due au renforcement	-	0	0

**III.4..3. Récapitulatif des variations des caractéristiques dues au renforcement :**

Dans le tableau suivant on résume les résultats de la variation de l'angle de frottement interne.

**Tableau III.14 :** Récapitulatif des résultats du renforcement.

Type de sable	Variation de $\phi$ .	$\Delta \phi / \phi$ (en %)
G.S.L+G.N.T(1)/G.S.L		9 %
G.S.D+G.N.T(1)/G.S.D		5 %
G.S.L+G.T(1)/G.S.L		9 %
G.S.D+G.T(1)/G.S.D		6 %
G.S.L+G.N.T(2)/G.S.L		13 %
G.S.D+G.N.T(2)/G.S.D		7 %
G.S.L+G.T(2)/G.S.L		12 %
G.S.D+G.T(2)/G.S.D		8 %
S.F.L+G.N.T(1)/ S.F.L		8 %
S.F.D+G.N.T(1)/ S.F.D		5 %

S.F.L+G.T(1)/ S.F.L	7 %
S.F.D+G.T(1)/ S.F.D	6 %
S.F.L+G.N.T(2)/ S.F.L	13 %
S.F.D+G.N.T(2)/ S.F.D	9 %
S.F.L+G.T(2)/ S.F.L	10 %
S.F.D+G.T(2)/ S.F.D	8 %

#### III.4.4. Analyse et interprétation des résultats :

##### 1°) Variation de l'angle de frottement :

A partir de résultats que nous avons exposés, nous remarquons que l'inclusion du géotextile dans le sable a augmenté partout la valeur de l'angle de frottement. Cette augmentation diffère selon la densité et la granulométrie du matériau.

##### ➤ **Effet de la granulométrie :**

Nous remarquons sur le tableau III.14, les variations de l'angle de frottement du **gros sable** renforcé, sont légèrement supérieures ou égales à celles du **sable fin** renforcé.

Il semble que nous avons plus de frottements dans le cas du gros sable que dans le cas du sable fin.

En d'autres termes, lorsque le diamètre des grains augmente, les frottements augmentent, et par conséquent le frottement sable-géotextile augmente également.

Donc un gros sable renforcé donne des résultats meilleurs qu'un sable fin renforcé.

##### ➤ **Effet de la densité :**

D'après les valeurs du tableau III.14, nous remarquons que pour le sable fin et le gros sable, le pourcentage de l'apport du renforcement dans les sables lâches est plus grand que celui des sables denses.

Donc un sable lâche renforcé donne des résultats meilleurs qu'un sable dense renforcé.

##### ➤ **Effet de la quantité du géotextile utilisé :**

Nous remarquons sur le tableau III.14, que le pourcentage de variations de l'angle de frottement dans les sables renforcés par deux nappes de géotextiles est plus grand que celui des sables renforcés par une seule nappe de géotextile.

Donc un sable renforcé par deux nappes de géotextiles donne des résultats meilleurs qu'un sable renforcé par une seule nappe de géotextile.

➤ **Effet du type de géotextile :**

Nous remarquons sur le tableau III.14, que les pourcentages des variations de l'angle de frottement sont presque les mêmes en utilisant les deux types de géotextiles (tissé et non-tissé).

Donc les deux types des géotextiles donnent des résultats identiques ; mais le choix de l'un des deux se fait selon d'autres fonctions à remplir.

**2°) Variation de la cohésion :**

On a remarqués que la cohésion était toujours nulle parce qu'on a travaillé sur les sables et les sables ont généralement une cohésion nulle.

## **CONCLUSION GENERALE**

La modeste contribution à l'étude du renforcement des sables par les géotextiles, que nous avons menée dans le cadre de notre projet de fin d'études, avait pour objectif d'étudier expérimentalement la variation des caractéristiques mécaniques, en particulier l'angle de frottement et la cohésion, due à l'inclusion des géotextiles dans le sable.

Sur la base des résultats que nous avons obtenus, à travers la campagne expérimentale réalisée au laboratoire de notre école, sur du sable non renforcé et sur du sable renforcé par le géotextile, en utilisant l'appareil de cisaillement direct, nous pouvons conclure ce qui suit :

### **1- Sur le renforcement du sol par le géotextile :**

Quel que soit le type de géotextile (tissé ou non-tissé) insérée dans le sable, dans le but de le renforcer, les valeurs des caractéristiques mécaniques "c" et " $\varphi$ " de celui-ci augmentent.

Quel que soit le nombre de nappes de géotextile (une ou deux) insérée dans le sable, dans le but de le renforcer, les valeurs des caractéristiques mécaniques "c" et " $\varphi$ " de celui-ci augmentent aussi.

L'augmentation de ces caractéristiques mécaniques des sables conduit évidemment à l'amélioration du comportement de ces matériaux, entre autres "les glissements des terrains" (exemple de la recharge amont d'un barrage soumis à une sollicitation sismique), "la capacité portante", ...etc.

Par conséquent, le géotextile est un moyen efficace de renforcement pour l'amélioration des sables utilisés dans le domaine de la construction.

### **2- Sur l'amélioration de l'angle de frottement du sable :**

#### **○ Effet de la quantité de géotextile utilisé pour le renforcement :**

Nos résultats sur l'effet de la quantité de géotextile montrent qu'introduire, une seule nappe de géotextile renforce le sable en augmentant son angle de frottement. Cette augmentation est plus importante dans le cas où le renforcement est assuré par deux nappes de géotextiles.

#### **○ Effet de la granulométrie :**

Nos résultats montrent qu'un gros sable renforcé par le géotextile donne des résultats meilleurs qu'un sable fin renforcé par le même géotextile.

## RECOMMANDATIONS

**1°/** Le renforcement du sol que nous avons testé, a été fait sur un appareil où le plan de cisaillement est imposé. La nappe de géotextile avait une orientation limitée (horizontale par rapport au plan du cisaillement). Cette limitation, qui ne reflète pas la réalité, peut être dépassée en utilisant l'appareil triaxial.

**2°/** Aussi, nous recommandons à élargir l'étude du renforcement des sables par les géotextiles aux cas où la bande de cisaillement est inclinée d'un angle  $0 < \alpha \leq \pi/2$  par rapport à la nappe de géotextile, en utilisant l'appareil triaxial classique.

**3°/** Il serait intéressant d'étudier le renforcement des sols fins comme les argiles par les mêmes géotextiles que nous avons utilisés.

# ANNEXES



MD 30  
01/12/2005

# GEODREN PPST 300 P

Géotextile nontissé en polypropylène de premier choix, blanc, aiguilleté. Produit sans utilisation de liants chimiques.

Référence ASQUAL		7003 CQ 03			
CARACTERISTIQUES DESCRIPTIVES	NORMES	UNITE DE MESURE		Tolérances	
Masse surfacique	[EN ISO 9864]	g/m <sup>2</sup>	$\rho_A$	300	+/- 10%
Épaisseur	2 kPa	[EN ISO 9863-1]	mm	d	3,0 +/- 20%
	20 kPa	[EN ISO 9863-1]	mm	d	2,0 +/- 20%
	200 kPa	[EN ISO 9863-1]	mm	d	1,9 +/- 20%
CARACTERISTIQUES MECANIQUES					
Résistance à la traction	ST	[EN ISO 10319]	kN/m	T <sub>max</sub>	20,0 - 10%
	SP	[EN ISO 10319]	kN/m	T <sub>max</sub>	20,0 - 10%
Allongement à la rupture	ST	[EN ISO 10319]	%	$\epsilon_s$	110 +/- 20%
	SP	[EN ISO 10319]	%	$\epsilon_s$	110 +/- 20%
Résistance au poinçonnement statique		[EN ISO 12236]	kN	F <sub>p</sub>	4 - 10%
Résistance au poinçonnement statique pyramidal		[NF G 38019]	kN		2 - 30%
Résistance au poinçonnement dynamique		[NF EN 918]	mm	D <sub>c</sub>	10 + 20%
CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES					
Indice de vitesse		[EN ISO 11058]	mm/s	v-index	51 - 30%
			m/s	v-index	0,051 - 30%
Capacité de débit dans le plan	20 kPa	[EN ISO 12958]	m <sup>2</sup> /s	q <sub>p</sub>	8,2 - 30%
Ouverture de filtration caractéristique		[EN ISO 12956]	microns	O <sub>90</sub>	64 +/- 30%
CARACTERISTIQUES DE DURABILITE					
Résistance aux agents atmosphériques		[EN 12224]	A couvrir sous les 15 jours après l'exposition.		
Résistance à l'oxydation		[EN ISO 13438]	Prévision de durabilité de minimum 25 ans pour toute application, sauf le renforcement, dans des terrains naturels avec 4<pH<9 et températures < 25°C		

Les valeurs mentionnés ci-dessus correspondent à la moyenne des résultats obtenus dans nos laboratoires et dans des laboratoires indépendants.

Pour avoir des détails supplémentaires sur les tolérances de chaque valeur, calculées avec une PRV de 95%, adressez-Vous aux responsables commerciaux.

Les tolérances sur les caractéristiques hydrauliques résultent de la comparaison parmi différents laboratoires extérieurs.

Edilfloor Spa peut apporter à tout moment des changements sans préavis.

**I) Résultats d'essais sur Gros sable de l'oued de DAMOUS non renforcé :**

- **Etat lâche** : Hauteur de chute (H= 0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d = 15.05 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (division)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,51	50	69,3	24,51
30sec	0,96	74	102,564	36,27
45sec	1,436	88	121,968	43,14
60sec	1,976	95	131,67	46,57
1mn15sec	2,502	100	138,6	49,02
1mn30sec	3,014	102	141,372	50,00
2mn	3,68	105	145,53	51,47
2mn15sec	4,036	107	148,302	52,45
2mn15sec	4,32	106	146,916	51,96

**Essai N° : 02**

Charge verticale : 280N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 100 KPa

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,224	45	62,37	22,06
30sec	0,476	90	124,74	44,12
45sec	0,76	115	159,39	56,37
60sec	1,182	145	200,97	71,08
1mn15sec	1,718	170	235,62	83,33
1mn30sec	2,196	185	256,41	90,69
1mn45sec	2,716	190	263,34	93,14
2mn	3,224	197	273,042	96,57
2mn15sec	3,844	205	284,13	100,49
2mn30sec	4,264	205	284,13	100,49
2mn45sec	4,444	203	281,358	99,51

**Essai N° : 03**

Charge verticale : 570N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 200 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,564	120	166,32	58,82
30sec	1,082	185	256,41	90,69
45sec	1,656	259	358,974	126,96
60sec	2,186	300	415,8	147,06
1mn15sec	2,668	330	457,38	161,77
1mn30sec	3,178	349	483,714	171,08
1mn45sec	3,41	355	492,03	174,02
2mn	3,616	362	501,732	177,45
2mn15sec	3,884	365	505,89	178,92
2mn30sec	4,118	370	512,82	181,37
2min45sec	4,358	375	519,75	183,82
3min	4,5	374	518,364	183,33

➤ **Etat dense :**

Hauteur de chute (H= 40.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=17.05 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,264	24	33,264	11,76
30sec	0,526	50	69,3	24,51
45sec	0,786	62	85,932	30,39
60sec	1,024	74	102,564	36,27
1mn15sec	1,294	86	119,196	42,16
1mn30sec	1,52	95	131,67	46,57
1mn45sec	1,778	103	142,758	50,49
2mn	2,014	112	155,232	54,90
2min15sec	2,28	120	166,32	58,82
2mn30sec	2,556	125	173,25	61,27
2mn45sec	2,808	130	180,18	63,73
3mn	3,07	135	187,11	66,18
3min15sec	3,32	140	194,04	68,63
3min30sec	3,596	144	199,584	70,59
3min45sec	3,862	147	203,742	72,06
4min	4,114	151	209,286	74,02
4min15 sec	4,384	151	209,286	74,02

**Essai N° : 02**

Charge verticale : 280N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 100 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,616	110	152,46	53,92
30sec	1,1	145	200,97	71,08
45sec	1,636	186	257,796	91,18
60sec	2,064	212	293,832	103,92
1mn15sec	2,538	222	307,692	108,82
1mn30sec	3,058	226	313,236	110,78
1mn45sec	3,604	222	307,692	108,82
2mn	4,04	222	307,692	108,82

**Essai N° : 03**

Charge verticale : 570N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 200 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,248	132	182,952	64,71
30sec	0,488	188	260,568	92,16
45sec	0,708	238	329,868	116,67
60sec	0,926	280	388,08	137,26
1mn15sec	1,17	318	440,748	155,88
1mn30sec	1,41	360	498,96	176,47
1mn45sec	1,656	386	534,996	189,22
2mn	1,894	415	575,19	203,43
2mn15sec	2,12	438	607,068	214,71
2mn30sec	2,36	435	602,91	213,24

**II) Résultats d'essais sur gros sable renforcé par géotextile non tissé :****a) Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par une nappe horizontale :****➤ Etat lâche :**

Hauteur de chute ( $H=0.00$  cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=14.48$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale  $N = 140$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,636	45	62,37	22,06
30sec	1,158	76	105,336	37,25
45sec	1,618	95	131,67	46,57
60sec	2,12	107	148,302	52,45
1mn15sec	2,68	116	160,776	56,86
1mn30sec	3,18	121	167,706	59,31
1mn45sec	3,69	122	169,092	59,80
2mn	4,216	122	169,092	59,80

**Essai N° : 02**

Charge verticale  $N = 280$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,532	45	127,512	45,10
30sec	1,052	76	200,97	71,08
45sec	1,378	95	256,41	90,69
60sec	1,888	107	286,902	101,47
1mn15sec	2,364	116	307,692	108,82
1mn30sec	2,844	121	309,078	109,31
1mn45sec	3,36	122	309,078	109,31

**Essai N° : 03**Charge verticale  $N = 280 \text{ N}$ Contrainte verticale  $\sigma = 100 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,52	148	205,128	72,55
30sec	1,056	222	307,692	108,82
45sec	1,57	276	382,536	135,29
60sec	2,106	316	437,976	154,90
1mn15sec	2,454	357	494,802	175,00
1mn30sec	2,8	388	537,768	190,20
1mn45sec	3,16	407	564,102	199,51
2mn	3,352	422	584,892	206,86
2mn15sec	3,64	432	598,752	211,77
2mn30sec	4	435	602,91	213,24
2mn45sec	4.48	435	602,91	213,24

➤ **Etat dense :**

Hauteur de chute (H= 40.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=17.05 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,26	30	41,58	14,71
30sec	0,524	50	69,3	24,51
45sec	0,792	77	106,722	37,75
60sec	1,024	95	131,67	46,57
1mn15sec	1,284	112	155,232	54,90
1mn30sec	1,56	135	187,11	66,18
1mn45sec	1,808	145	200,97	71,08
2mn	2,05	150	207,9	73,53
2mn15sec	2,316	155	214,83	75,98
2mn30sec	2,558	156	216,216	76,47
2mn45sec	2,8	156	216,216	76,47

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,256	36	49,896	17,65
30sec	0,514	80	110,88	39,22
45sec	0,76	108	149,688	52,94
60sec	1,016	132	182,952	64,71
1mn15sec	1,268	159	220,374	77,94
1mn30sec	1,526	181	250,866	88,73
1mn45sec	1,776	202	279,972	99,02
2mn	2,018	215	297,99	105,39
2min15sec	2,244	230	318,78	112,75
2mn30sec	2,484	240	332,64	117,65
2mn45sec	2,726	244	338,184	119,61
3mn	2,972	248	343,728	121,57
3min15sec	3,238	248	343,728	121,57
3min30sec	3,52	248	343,728	121,57

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,298	77	106,722	37,75
30sec	0,546	133	184,338	65,20
45sec	0,798	175	242,55	85,78
60sec	1,06	208	288,288	101,96
1mn15sec	1,306	243	336,798	119,12
1mn30sec	1,556	278	385,308	136,27
1mn45sec	1,804	316	437,976	154,90
2mn	2,048	348	482,328	170,59
2min15sec	2,304	376	521,136	184,31
2mn30sec	2,568	402	557,172	197,06
2mn45sec	2,838	428	593,208	209,80
3mn	3,078	444	615,384	217,65
3mn15sec	3,332	458	634,788	224,51
3mn30sec	3,582	466	645,876	228,43
3mn45sec	3,844	468	648,648	229,41
4mn	4,07	472	654,192	231,37
4mn15sec	4,36	470	651,42	230,39

**b) Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par deux nappes :****➤ Etat lâche :**

Hauteur de chute (H=0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=13.50 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,576	57	79,002	27,94
30sec	1,072	90	124,74	44,12
45sec	1,624	110	152,46	53,92
60sec	2,154	120	166,32	58,82
1mn15sec	2,498	125	173,25	61,27
1mn30sec	3,064	127	176,022	62,26
1mn45sec	3,52	128	177,408	62,75
2mn	3,996	128	177,408	62,75

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,568	69	95,634	33,82
30sec	0,89	110	152,46	53,92
45sec	1,43	155	214,83	75,98
60sec	1,946	192	266,112	94,12
1mn15sec	2,244	212	293,832	103,92
1mn30sec	2,804	222	307,692	108,82
1mn45sec	3,338	225	311,85	110,29
2mn	3,678	229	317,394	112,26
2mn15sec	4,01	231	320,166	113,24
2mn30sec	4,214	230	318,78	112,75

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,546	92	127,512	45,10
30sec	1,092	185	256,41	90,69
45sec	1,48	242	335,412	118,63
60sec	1,778	294	407,484	144,12
1mn15sec	2,11	337	467,082	165,20
1mn30sec	2,68	368	510,048	180,39
1mn45sec	3,25	401	555,786	196,57
2mn	3,68	410	568,26	200,98
2min15sec	4,06	436	604,296	213,73
2mn30sec	4,38	440	609,84	215,69
2mn45sec	4,51	455	630,63	223,04
3mn	4,99	470	651,42	230,39
3mn15sec	5,28	471	652,806	230,88
3mn30sec	5,45	470	651,42	230,39

➤ **Etat dense :**

Hauteur de chute (H=40.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.22 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,282	45	62,37	22,06
30sec	0,568	78	108,108	38,24
45sec	0,83	108	149,688	52,94
60sec	1,092	132	182,952	64,71
1mn15sec	1,352	150	207,9	73,53
1mn30sec	1,6	155	214,83	75,98
1mn45sec	1,884	158	218,988	77,45
2mn	2,34	160	221,76	78,43
2min15sec	2,61	162	224,532	79,41
2mn30sec	2,88	161	223,146	78,92

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	140	69,3	24,51
30sec	0,536	268	103,95	36,76
45sec	0,798	399	141,372	50,00
60sec	1,042	521	166,32	58,82
1mn15sec	1,306	653	203,742	72,06
1mn30sec	1,556	778	228,69	80,88
1mn45sec	1,796	898	249,48	88,24
2mn	2,056	1028	274,428	97,06
2min15sec	2,296	1148	293,832	103,92
2mn30sec	2,558	1279	311,85	110,29
2mn45sec	2,826	1413	325,71	115,20
3mn	3,082	1541	340,956	120,59
3min15sec	3,346	1673	346,5	122,55
3min30sec	3,602	1801	356,202	125,98
3min45sec	3,866	1933	367,29	129,90
4min	4,124	2062	368,676	130,39
4min30sec	4,914	273	378,378	133,82
4mn45sec	5,158	273	378,378	133,82

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,266	89	123,354	43,63
30sec	0,514	194	268,884	95,10
45sec	0,774	275	381,15	134,80
60sec	1,028	340	471,24	166,67
1mn15sec	1,28	357	494,802	175,00
1mn30sec	1,522	396	548,856	194,12
1mn45sec	1,764	434	601,524	212,75
2mn	2,008	464	643,104	227,45
2min15sec	2,252	488	676,368	239,22
2mn30sec	2,486	484	670,824	237,26

### III) Résultats d'essais sur gros sable renforcé par géotextile tissé :

#### a) Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par une seule nappe horizontale :

##### ➤ Etat lâche :

Hauteur de chute (H=0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.05 \text{ KN/m}^3$ ).

#### Essai N° : 01

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,252	40	55,44	19,61
30sec	0,506	58	80,388	28,43
45sec	0,764	72	99,792	35,29
60sec	1,016	86	119,196	42,16
1mn15sec	1,266	97	134,442	47,55
1mn30sec	1,516	107	148,302	52,45
1mn45sec	1,77	115	159,39	56,37
2mn	2,004	120	166,32	58,82
2mn15sec	2,24	125	173,25	61,27
2mn30sec	2,508	129	178,794	63,24
2mn45sec	2,784	132	182,952	64,71
3mn	3,042	134	185,724	65,69
3min15sec	3,308	134	185,724	65,69
3min30sec	3,552	134	185,724	65,69

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,274	67	92,862	32,84
30sec	0,528	106	146,916	51,96
45sec	0,784	128	177,408	62,75
60sec	1,036	146	202,356	71,57
1mn15sec	1,294	161	223,146	78,92
1mn30sec	1,544	174	241,164	85,29
1mn45sec	1,794	184	255,024	90,20
2mn	2,032	193	267,498	94,61
2min15sec	2,276	205	284,13	100,49
2mn30sec	2,522	212	293,832	103,92
2mn45sec	2,792	218	302,148	106,86
3mn	3,048	220	304,92	107,84
3min15sec	3,312	223	309,078	109,31
3min30sec	3,568	220	304,92	107,84

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,258	82	47,124	16,67
30sec	0,51	133	103,95	36,76
45sec	0,76	175	155,232	54,90
60sec	1,008	212	187,11	66,18
1mn15sec	1,272	240	241,164	85,29
1mn30sec	1,516	268	288,288	101,96
1mn45sec	1,778	292	325,71	115,20
2mn	2,018	308	352,044	124,51
2min15sec	2,26	325	385,308	136,27
2mn30sec	2,508	343	415,8	147,06
2mn45sec	2,778	356	449,064	158,82
3mn	3,034	361	476,784	168,63
3mn15sec	3,294	366	501,732	177,45
3mn30sec	3,56	364	526,68	186,27
3mn45sec	3,826	366	543,312	192,16
4mn	3,642	418	564,102	199,51
4mn15sec	3,894	426	579,348	204,90
4mn30sec	4,122	432	598,752	211,77

➤ **Etat dense :**

Hauteur de chute (H=40.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=17.48 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,298	30	41,58	14,71
30sec	0,534	52	72,072	25,49
45sec	0,792	75	103,95	36,76
60sec	1,004	92	127,512	45,10
1mn15sec	1,256	111	153,846	54,41
1mn30sec	1,516	125	173,25	61,27
1mn45sec	1,778	135	187,11	66,18
2mn	2,034	145	200,97	71,08
2mn15sec	2,288	148	205,128	72,55
2mn30sec	2,548	154	213,444	75,49
2mn45sec	2,8	156	216,216	76,47
3mn	3,056	158	218,988	77,45
3mn15sec	3,32	158	218,988	77,45
3mn60sec	3,58	156	216,216	76,47

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,256	34	47,124	16,67
30sec	0,512	70	97,02	34,31
45sec	0,74	102	141,372	50,00
60sec	0,972	131	181,566	64,22
1mn15sec	1,216	155	214,83	75,98
1mn30sec	1,476	176	243,936	86,27
1mn45sec	1,75	195	270,27	95,59
2mn	1,984	208	288,288	101,96
2mn15sec	2,22	219	303,534	107,35
2mn30sec	2,484	225	311,85	110,29
2mn45sec	2,742	232	321,552	113,73
3mn	2,996	238	329,868	116,67
3mn15sec	3,276	241	334,026	118,14
3mn30sec	3,512	241	334,026	118,14
3mn45sec	3,76	244	338,184	119,61
4mn	4,024	245	339,57	120,10
4mn15sec	4,274	244	338,184	119,61

**Essai N° : 03**

Charge verticale : 570N

Contrainte verticale  $\sigma : 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,536	100	138,6	49,02
30sec	1,096	215	297,99	105,39
45sec	1,41	318	440,748	155,88
60sec	1,934	402	557,172	197,06
1mn15sec	2,398	450	623,7	220,59
1mn30sec	2,916	476	659,736	233,33
1mn45sec	3,456	485	672,21	237,75
2mn	3,956	485	672,21	237,75

2mn15sec	4,44	485	672,21	237,75
----------	------	-----	--------	--------

**b) Gros sable de l'oued de DAMOUS renforcé par deux nappes horizontales :**

- **Etat lâche :** Hauteur de chute ( $H=0.00$  cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.59$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale  $N = 140$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,252	40	55,44	19,61
30sec	0,506	58	80,388	28,43
45sec	0,764	72	99,792	35,29
60sec	1,016	86	119,196	42,16
1mn15sec	1,266	97	134,442	47,55
1mn30sec	1,516	107	148,302	52,45
1mn45sec	1,77	115	159,39	56,37
2mn	2,004	120	166,32	58,82
2min15sec	2,24	125	173,25	61,27
2mn30sec	2,508	129	178,794	63,24
2mn45sec	2,784	132	182,952	64,71
3mn	3,042	134	185,724	65,69

**Essai N° : 02**

Charge verticale  $N = 280$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,576	67	92,862	32,84
30sec	1,112	127	176,022	62,26
45sec	1,628	163	225,918	79,90
60sec	2,192	190	263,34	93,14
1mn15sec	2,724	212	293,832	103,92
1mn30sec	3,284	230	318,78	112,75
1mn45sec	3,838	240	332,64	117,65
2mn	4,378	244	338,184	119,61
2min15sec	4,972	248	343,728	121,57

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	35	48,51	17,16
30sec	0,53	85	117,81	41,67
45sec	0,778	167	231,462	81,86
60sec	1,014	230	318,78	112,75
1mn15sec	1,26	288	399,168	141,18
1mn30sec	1,49	324	449,064	158,82
1mn45sec	1,726	355	492,03	174,02
2mn	1,98	374	518,364	183,33
2mn15sec	2,22	394	546,084	193,14
2mn30sec	2,46	410	568,26	200,98
2mn45sec	2,72	429	594,594	210,29
3mn	2,96	438	607,068	214,71
3mn15sec	3,2	446	618,156	218,63
3mn30sec	3,44	446	618,156	218,63
3mn45sec	3,68	445	616,77	218,14

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=40.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=16.52$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,318	63	87,318	30,88
30sec	0,566	90	124,74	44,12
45sec	0,88	107	148,302	52,45
60sec	1,116	120	166,32	58,82
1mn15sec	1,342	135	187,11	66,18
1mn30sec	1,534	147	203,742	72,06
1mn45sec	1,656	155	214,83	75,98
2mn	1,908	159	220,374	77,94
2mn15sec	2,164	161	223,146	78,92
2mn30sec	2,248	162	224,532	79,41
2mn45sec	2,506	161	223,146	78,92

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,326	57	79,002	27,94
30sec	0,58	118	163,548	57,84
45sec	0,63	130	180,18	63,73
60sec	0,86	170	235,62	83,33
1mn15sec	1,15	200	277,2	98,04
1mn30sec	1,36	235	325,71	115,20
1mn45sec	1,42	244	338,184	119,61
2mn	1,69	268	371,448	131,37
2mn15sec	1,94	269	372,834	131,86
2mn30sec	2,18	270	374,22	132,35
2mn45sec	2,45	270	374,22	132,35

**Essai N° : 03**Charge verticale  $N = 570 \text{ N}$ Contrainte verticale  $\sigma = 200 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	42	58,212	20,59
30sec	0,53	104	144,144	50,98
45sec	0,778	165	228,69	80,88
60sec	1,014	220	304,92	107,84
1mn15sec	1,26	268	371,448	131,37
1mn30sec	1,49	314	435,204	153,92
1mn45sec	1,726	352	487,872	172,55
2mn	1,98	387	536,382	189,71
2mn15sec	2,22	414	573,804	202,94
2mn30sec	2,46	439	608,454	215,20
2mn45sec	2,72	459	636,174	225,00
3mn	2,96	470	651,42	230,39
3mn15sec	3,2	478	662,508	234,31
3mn30sec	3,44	484	670,824	237,26
3mn30sec	3,68	496	687,456	243,14
3min45sec	4,14	496	687,456	243,14

**IV) Résultats d'essais sur le sable fin de HASSI BAH-BAH non renforcé :**

- **Etat lâche** : Hauteur de chute (H=0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=14.30 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,26	24	33,264	11,76
30sec	0,524	36	49,896	17,65
45sec	0,806	44	60,984	21,57
60sec	1,05	49	67,914	24,02
1mn15sec	1,34	54	74,844	26,47
1mn30sec	1,61	58	80,388	28,43
2mn	1,892	60	83,16	29,41
2mn15sec	2,144	62	85,932	30,39
2mn30sec	2,42	64	88,704	31,37
2mn45sec	2,688	65	90,09	31,86
3mn	2,976	66	91,476	32,35
3mn15sec	3,2	67	92,862	32,84
3mn30sec	3,536	67	92,862	32,84
3mn45sec	3,772	66	91,476	32,35

**Essai N° : 02**

Charge verticale : 280N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 100 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,272	45	62,37	22,06
30sec	0,54	68	94,248	33,33
45sec	0,818	88	121,968	43,14
60sec	1,076	93	128,898	45,59
1mn15sec	1,35	100	138,6	49,02
1mn30sec	1,634	108	149,688	52,94
2mn	1,908	113	156,618	55,39
2mn15sec	2,176	119	164,934	58,33
2mn30sec	2,454	122	169,092	59,80
2mn45sec	2,722	125	173,25	61,27
3mn	2,98	127	176,022	62,26
3mn15sec	3,224	130	180,18	63,73
3mn30sec	3,526	132	182,952	64,71
3mn45sec	3,77	135	187,11	66,18
4mn	4,074	134	185,724	65,69

**Essai N° : 03**

Charge verticale : 570N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 200 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,272	45	58,212	20,59
30sec	0,54	68	130,284	46,08
45sec	0,818	88	185,724	65,69
60sec	1,076	93	217,602	76,96
1mn15sec	1,35	100	242,55	85,78
1mn30sec	1,634	108	263,34	93,14
2mn	1,908	113	275,814	97,55
2mn15sec	2,176	119	288,288	101,96
2mn30sec	2,454	122	297,99	105,39
2mn45sec	2,722	125	304,92	107,84
3mn	2,98	127	307,692	108,82
3mn15sec	3,224	130	313,236	110,78
3mn30sec	3,526	132	318,78	112,75
3mn45sec	3,77	135	324,324	114,71
4mn	4,074	134	332,64	117,65
4mn15sec	4,288	247	342,342	121,08
4mn30sec	4,506	245	339,57	120,10

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=60.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.75 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,528	31	42,966	15,20
30sec	1,092	49	67,914	24,02
45sec	1,67	59	81,774	28,92
60sec	2,188	69	95,634	33,82
1mn15sec	2,756	74	102,564	36,27
1mn30sec	3,288	79	109,494	38,73
1mn45sec	3,876	81	112,266	39,71
2mn	4,476	81	112,266	39,71
2mn15sec	4.49	79	109.494	38.73

**Essai N° : 02**

Charge verticale : 280N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 100 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,548	73	101,178	35,78
30sec	1,08	108	149,688	52,94
45sec	1,656	134	185,724	65,69
60sec	2,196	153	212,058	75,00
1mn15sec	2,738	162	224,532	79,41
1mn30sec	3,494	164	227,304	80,39
1mn45sec	3,894	164	227,304	80,39
2mn	4,06	163	225,918	79,90

**Essai N° :03**

Charge verticale : 570N

Contrainte verticale  $\sigma$  : 200 KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,26	50	69,3	24,51
30sec	0,522	90	124,74	44,12
45sec	0,794	108	149,688	52,94
60sec	1,072	145	200,97	71,08
1mn15sec	1,334	167	231,462	81,86
1mn30sec	1,572	184	255,024	90,20
2mn	1,856	200	277,2	98,04
2mn15sec	2,116	220	304,92	107,84
2mn30sec	2,378	231	320,166	113,24
2mn45sec	2,654	245	339,57	120,10
3mn	2,952	255	353,43	125,00
3mn15sec	3,222	262	363,132	128,43
3mn30sec	3,492	268	371,448	131,37
3mn45sec	3,762	274	379,764	134,31
4mn	4,036	276	382,536	135,29
4mn15sec	4,306	278	385,308	136,27
4mn30sec	4,574	276	382,536	135,29

**II) Résultats d'essais sur sable fin renforcé par géotextile non tissé :****a) Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par une nappe horizontale :**

- **Etat lâche** : Hauteur de chute (H=0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=13.41 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,342	33	45,738	16,18
30sec	0,618	44	60,984	21,57
45sec	0,888	49	67,914	24,02
60sec	1,162	51	70,686	25,00
1mn15sec	1,456	57	79,002	27,94
1mn30sec	1,724	60	83,16	29,41
2mn	1,986	65	90,09	31,86
2mn15sec	2,238	66	91,476	32,35
2mn30sec	2,496	68	94,248	33,33
2mn45sec	2,792	69	95,634	33,82
3mn	3,062	72	99,792	35,29
3mn15sec	3,308	74	102,564	36,27
3mn30sec	3,618	75	103,95	36,76
3mn45sec	3,876	75	103,95	36,76
4mn	4,144	74	102,564	36,27

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,502	56	77,616	27,45
30sec	1,058	91	126,126	44,61
45sec	1,59	107	148,302	52,45
60sec	2,076	112	155,232	54,90
1mn15sec	2,596	130	180,18	63,73
1mn30sec	3,118	136	188,496	66,67
1mn45sec	3,656	140	194,04	68,63
2mn	4,142	140	192,654	68,14

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,538	77	106,722	37,75
30sec	1,086	143	198,198	70,10
45sec	1,636	184	255,024	90,20
60sec	2,086	212	293,832	103,92
1mn15sec	2,64	220	304,92	107,84
1mn30sec	3,196	238	329,868	116,67
1mn45sec	3,718	252	349,272	123,53
2mn	4,252	264	365,904	129,41
2mn15sec	4,716	270	374,22	132,35
2mn30sec	4,972	272	376,992	133,33
3mn	5,526	275	381,15	134,80
3mn15sec	5,68	274	379,764	134,31

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=60.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.05 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	16	22,176	7,84
30sec	0,536	32	44,352	15,69
45sec	0,848	42	58,212	20,59
60sec	1,092	51	70,686	25,00
1mn15sec	1,368	59	81,774	28,92
1mn30sec	1,618	63	87,318	30,88
1mn45sec	1,898	69	95,634	33,82
2mn	2,152	74	102,564	36,27
2mn15sec	2,414	78	108,108	38,24
2mn30sec	2,698	79	109,494	38,73
2mn45sec	2,988	82	113,652	40,20
3mn	3,25	84	116,424	41,18
3mn15sec	3,546	84	116,424	41,18
3mn30sec	3,81	83	115,038	40,69

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,27	39	54,054	19,12
30sec	0,548	60	83,16	29,41
45sec	0,816	83	115,038	40,69
60sec	1,088	98	135,828	48,04
1mn15sec	1,618	125	173,25	61,27
1mn30sec	1,904	135	187,11	66,18
1mn45sec	2,132	145	200,97	71,08
2mn	2,382	153	212,058	75,00
2min15sec	2,638	158	218,988	77,45
2mn30sec	2,916	162	224,532	79,41
2mn45sec	3,178	166	230,076	81,37
3mn	3,472	167	231,462	81,86
3min15sec	3,316	168	232,848	82,35
3min30sec	4,016	166	230,076	81,37

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,282	45	62,37	22,06
30sec	0,534	100	138,6	49,02
45sec	0,808	145	200,97	71,08
60sec	1,058	180	249,48	88,24
1mn15sec	1,338	214	296,604	104,90
1mn30sec	1,5	238	329,868	116,67
1mn45sec	1,652	260	360,36	127,45
2mn	1,906	275	381,15	134,80
2min15sec	2,166	288	399,168	141,18
2mn30sec	2,436	296	410,256	145,10
2mn45sec	2,722	300	415,8	147,06
3mn	2,978	302	418,572	148,04
3min15sec	3,276	298	413,028	146,08

**b) Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par deux nappes horizontales :**

- **Etat lâche :** Hauteur de chute ( $H=0.00$  cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=14.05$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale  $N = 140$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,244	33	45,738	16,18
30sec	0,512	42	58,212	20,59
45sec	0,852	55	76,23	26,96
60sec	1,126	61	84,546	29,90
1mn15sec	1,416	67	92,862	32,84
1mn30sec	1,708	69	95,634	33,82
1mn45sec	1,946	71	98,406	34,80
2mn	2,192	74	102,564	36,27
2mn15sec	2,454	76	105,336	37,25
2mn30sec	2,744	78	108,108	38,24
2mn45sec	2,992	80	110,88	39,22
3mn	3,258	81	112,266	39,71
3mn15sec	3,55	82	113,652	40,20
3mn30sec	3,814	80	110,88	39,22

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,558	57	79,002	27,94
30sec	1,116	88	121,968	43,14
45sec	1,718	110	152,46	53,92
60sec	2,228	124	171,864	60,78
1mn15sec	2,848	138	191,268	67,65
1mn30sec	3,486	145	200,97	71,08
1mn45sec	4,068	149	206,514	73,04
2mn	4,612	149	206,514	73,04

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,566	130	180,18	63,73
30sec	1,116	182	252,252	89,22
45sec	1,694	220	304,92	107,84
60sec	2,224	248	343,728	121,57
1mn15sec	2,75	265	367,29	129,90
1mn30sec	2,996	273	378,378	133,82
1mn45sec	3,268	279	386,694	136,77
2mn	3,536	285	395,01	139,71
2mn15sec	3,852	289	400,554	141,67
2mn30sec	4,108	290	401,94	142,16
2min45sec	4,394	288	399,168	141,18

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=60.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.95$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,262	34	47,124	16,67
30sec	0,542	59	81,774	28,92
45sec	0,808	78	108,108	38,24
60sec	1,08	98	135,828	48,04
1mn15sec	1,36	112	155,232	54,90
1mn30sec	1,618	119	164,934	58,33
1mn45sec	1,676	120	166,32	58,82
2mn	2,162	120	166,32	58,82
2min15sec	2,26	119	164,934	58,33

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	68	94,248	33,33
30sec	0,456	95	131,67	46,57
45sec	0,716	117	162,162	57,35
60sec	0,99	145	200,97	71,08
1mn15sec	1,248	168	232,848	82,35
1mn30sec	1,462	170	235,62	83,33
1mn45sec	1,734	172	238,392	84,31
2mn	2,004	173	239,778	84,80
2min15sec	2,262	172	238,392	84,31

**Essai N° : 03**Charge verticale  $N = 570 \text{ N}$ Contrainte verticale  $\sigma = 200 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,248	34	47,124	16,67
30sec	0,486	85	117,81	41,67
45sec	0,72	132	182,952	64,71
60sec	1,016	172	238,392	84,31
1mn15sec	1,262	204	282,744	100,00
1mn30sec	1,516	234	324,324	114,71
1mn45sec	1,772	258	357,588	126,47
2mn	2,008	273	378,378	133,82
2min15sec	2,256	289	400,554	141,67
2mn30sec	2,496	299	414,414	146,57
2mn45sec	2,772	305	422,73	149,51
3mn	3,026	309	428,274	151,47
3min15sec	3,288	309	428,274	151,47

**III) Résultats d'essais sur sable fin renforcé par géotextile tissé :****a) Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par une seule nappe horizontale :**

- **Etat lâche** : Hauteur de chute ( $H=0.00$  cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=14.55$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale  $N = 140$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,56	32	44,352	15,69
30sec	0,948	52	72,072	25,49
45sec	1,45	65	90,09	31,86
60sec	1,8	77	106,722	37,75
1mn15sec	2,34	82	113,652	40,20
1mn30sec	2,64	83	115,038	40,69
1mn45sec	3,03	84	116,424	41,18
2mn	3,64	83	115,038	40,69

**Essai N° : 02**

Charge verticale  $N = 280$  N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,56	55	76,23	26,96
30sec	1,13	95	131,67	46,57
45sec	1,63	115	159,39	56,37
60sec	2	125	173,25	61,27
1mn15sec	2,6	132	182,952	64,71
1mn30sec	3,1	133	184,338	65,20
1mn45sec	3,44	128	177,408	62,75
2mn	4	125	173,25	61,27

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,55	70	97,02	34,31
30sec	1,09	140	194,04	68,63
45sec	1,65	197	273,042	96,57
60sec	2,13	228	316,008	111,76
1mn15sec	2,7	244	338,184	119,61
1mn30sec	3,24	262	363,132	128,43
1mn45sec	3,78	272	376,992	133,33
2mn	4,31	273	378,378	133,82
2min15sec	4,9	265	367,29	129,90

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=60.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.25$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,26	30	41,58	14,71
30sec	0,55	42	58,212	20,59
45sec	0,78	58	80,388	28,43
60sec	1,1	68	94,248	33,33
1mn15sec	1,37	79	109,494	38,73
1mn30sec	1,64	84	116,424	41,18
1mn45sec	1,912	89	123,354	43,63
2mn	2,18	92	127,512	45,10
2min15sec	2,43	95	131,67	46,57
2mn30sec	2,71	95	131,67	46,57
2mn45sec	2,98	93	128,898	45,59

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,27	40	55,44	19,61
30sec	0,55	75	103,95	36,76
45sec	0,83	100	138,6	49,02
60sec	1,35	122	169,092	59,80
1mn15sec	1,78	138	191,268	67,65
1mn30sec	2,03	150	207,9	73,53
1mn45sec	2,5	158	218,988	77,45
2mn	2,76	165	228,69	80,88
2min15sec	3,03	168	232,848	82,35
2mn30sec	3,31	166	230,076	81,37

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,266	40	55,44	19,61
30sec	0,53	105	145,53	51,47
45sec	0,8	158	218,988	77,45
60sec	1,07	195	270,27	95,59
1mn15sec	1,34	228	316,008	111,76
1mn30sec	1,78	250	346,5	122,55
1mn45sec	2,036	272	376,992	133,33
2mn	2,304	288	399,168	141,18
2min15sec	2,76	293	406,098	143,63
2mn30sec	3,036	300	415,8	147,06
2mn45sec	3,3	303	419,958	148,53
3mn	3,87	305	422,73	149,51
3min15sec	4,33	303	419,958	148,53

**b) Sable fin de HASSI BAH-BAH renforcé par deux nappes horizontales :**

- **Etat lâche** : Hauteur de chute (H=0.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=14.34 \text{ KN/m}^3$ ).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50 \text{ KPa}$ .

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,278	32	44,352	15,69
30sec	0,55	50	69,3	24,51
45sec	0,82	62	85,932	30,39
60sec	1,1	72	99,792	35,29
1mn15sec	1,39	83	115,038	40,69
1mn30sec	1,62	88	121,968	43,14
1mn45sec	1,9	92	127,512	45,10
2mn	2,16	93	128,898	45,59
2mn15sec	2,24	94	130,284	46,08
2mn30sec	2,53	94	130,284	46,08
2mn45sec	2,82	92	127,512	45,10

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	58	80,388	28,43
30sec	0,56	78	108,108	38,24
45sec	0,8	94	130,284	46,08
60sec	1,3	108	149,688	52,94
1mn15sec	1,57	117	162,162	57,35
1mn30sec	1,84	125	173,25	61,27
1mn45sec	2,1	132	182,952	64,71
2mn	2,36	139	192,654	68,14
2min15sec	2,63	142	196,812	69,61
2mn30sec	2,93	145	200,97	71,08
2mn45sec	3,19	148	205,128	72,55
3mn	3,45	148	205,128	72,55
3min15sec	3,72	147	203,742	72,06

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,28	115	159,39	56,37
30sec	0,56	142	196,812	69,61
45sec	0,82	168	232,848	82,35
60sec	1,08	192	266,112	94,12
1mn15sec	1,36	212	293,832	103,92
1mn30sec	1,62	228	316,008	111,76
1mn45sec	1,92	240	332,64	117,65
2mn	2,14	255	353,43	125,00
2min15sec	2,41	265	367,29	129,90
2mn30sec	2,66	270	374,22	132,35
2mn45sec	2,94	275	381,15	134,80
3mn	3,2	278	385,308	136,27
3mn15sec	3,51	278	385,308	136,27
3mn30sec	3,76	275	381,15	134,80

- **Etat dense** : Hauteur de chute (H=60.00 cm) et le poids volumique ( $\gamma_d=15.38$  KN/m<sup>3</sup>).

**Essai N° : 01**

Charge verticale N = 140 N

Contrainte verticale  $\sigma = 50$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparteur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,264	39	54,054	19,12
30sec	0,54	60	83,16	29,41
45sec	0,81	80	110,88	39,22
60sec	1,08	92	127,512	45,10
1mn15sec	1,54	100	138,6	49,02
1mn30sec	1,82	107	148,302	52,45
1mn45sec	2,06	109	151,074	53,43
2mn	2,34	110	152,46	53,92
2min15sec	2,62	108	149,688	52,94

**Essai N° : 02**

Charge verticale N = 280 N

Contrainte verticale  $\sigma = 100$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,288	65	90,09	31,86
30sec	0,55	85	117,81	41,67
45sec	0,82	100	138,6	49,02
60sec	1,38	110	152,46	53,92
1mn15sec	1,64	120	166,32	58,82
1mn30sec	1,92	130	180,18	63,73
1mn45sec	2,17	140	194,04	68,63
2mn	2,42	147	203,742	72,06
2mn15sec	2,72	152	210,672	74,51
2mn30sec	2,96	156	216,216	76,47
2mn45sec	3,26	159	220,374	77,94
3mn	3,76	162	224,532	79,41
3mn15sec	3,98	164	227,304	80,39
3mn30sec	4,266	163	225,918	79,90

**Essai N° : 03**

Charge verticale N = 570 N

Contrainte verticale  $\sigma = 200$  KPa.

Durée	Déplacement $\Delta L$ (mm)	Comparateur anneau (div)	T(KN)	$\tau$ (KPa)
0 sec	0	0	0	0,00
15sec	0,272	78	108,108	38,24
30sec	0,534	120	166,32	58,82
45sec	0,812	154	213,444	75,49
60sec	1,08	178	246,708	87,26
1mn15sec	1,352	208	288,288	101,96
1mn30sec	1,6	228	316,008	111,76
1mn45sec	1,87	250	346,5	122,55
2mn	2,144	268	371,448	131,37
2mn15sec	2,4	290	401,94	142,16
2mn30sec	2,92	302	418,572	148,04
2mn45sec	3,14	308	426,888	150,98
3mn	3,4	312	432,432	152,94
3mn15sec	3,71	314	435,204	153,92
3mn30sec	3,96	314	435,204	153,92
3mn30sec	4,26	311	431,046	152,45

## **Bibliographie**

- [1] **LARIBI Mohamed Amine et LARBI Mohamed** « amélioration des caractéristiques des sols par les géotextiles ». Thèse de MFE encadré par M<sup>r</sup>: Z. ZITOUNI (BLIDA 2007).
- [2] **ANDRE L.ROLLIN, PATRICK PIERSON et STEPHANE LAMBERT** « GEOMEMBRANES Guide de choix ». Presses internationales POLYTECHNIQUE (Québec, CANADA 2002).
- [3] **J. COSTET et G. SONGLERAT** « Cours pratiques de mécanique des sols 2. Calcul des ouvrages ». DUNOD (FRANCE 1969).
- [4] **Denis TREMBLAY et Vincent ROBITAILLE** « Mécanique des sols théorie et pratique ». MODULO (Québec, CANADA 1997).
- [5] **SOLMAX – Texel géosynthétiques inc (11 Avril 2005)**, « Les géosynthétiques au cœur des structures composites : histoire, état actuel et avenir ».
- [6] **DEMLAS P, GOURC J.P et GIROUP J.P** «Analyse expérimentale de l'interaction mécanique sol-géotextile» C.R. Coll. Int. Renforcement des sols. Paris 1979, PP 29 – 34.
- [7] **GIROUP J.P et PERFETTI J.** «Classification des géotextiles et mesure de leur propriétés en vue de leur utilisation en géotechnique» C.R. Coll. Int. Sols Textiles. Paris 1977, PP 345 – 357.
- [8] **LEFLAIVE E.** «Le rôle mécanique des textiles dans le sol» C.R. Coll. Int. Sols Textiles. Paris 1977, PP 155 – 159.

### **Les sites internet consultés**

[WWW.géotechnique.com](http://WWW.géotechnique.com)

[WWW.solmax-texel.com](http://WWW.solmax-texel.com)