

République Algérienne Démocratique et Populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**Ecole Nationale Supérieure**  
**des Travaux Publics**  
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Code : .....

# Mémoire

*Pour l'Obtention du Diplôme de Master*  
*Filière : Travaux public*  
*Spécialité : infrastructure de base*

## Thème

**L'influence de la teneur en fines sur le comportement  
mécanique d'un sol sableux**

*Encadré par :*

Pr. Arab Ahmed

*Présenté par :*

ZEGGAOUI Abdelkadir

**Promotion 2015**

*Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. Garidi. Kouba.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **RESUME**

Le travail réalisé dans ce mémoire concerne l'étude en laboratoire du comportement d'un sol (mélange sable-limon) à la boîte de cisaillement. Il comprend trois parties :

La première partie comporte une analyse bibliographique des travaux réalisés sur l'influence des principaux paramètres sur la résistance au cisaillement comme la granulométrie, la densité relative, la présence des fines, la saturation etc.

La seconde partie présente l'appareillage utilisé, le mode opératoire suivi et le matériau utilisé. Des essais de répétabilité effectués ont permis de vérifier le bon fonctionnement de l'appareillage et la bonne maîtrise du mode opératoire.

La troisième partie présente les résultats des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande et discute l'influence de la présence des fines sur le comportement du sol étudié. Les essais montrent que l'augmentation de la contrainte normale augmente d'une manière significative la résistance du sol ; les résultats des mélanges montrent aussi que l'augmentation de la fraction des fines augmente d'une manière très significative la résistance du mélange. Par contre les sols humides présentent une résistance plus faible par rapport au sol sec.

**Mots clés** : sable, mélange, limon, cisaillement, angle de frottement, cohésion.

## Remerciement

*En premier lieu nous remercions le **Bon Dieu** qui nous a donné le courage et la patience pour aller **Jusqu'au bout** de nos études.*

*En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur*

***Pf. ARAB AHMED** Pour son sérieux, sa compétence et ses orientations afin que ce projet ayant eu un impact positif sur le terrain .*

*Mes remerciements vont aussi à toute l'équipe de **laboratoire national de construction et d'habitat de chlef** sans oublier le chef de service **laarbi mohamed et mohamed hadri** pour sa mise tous les ingrédients nécessaires à la bonne réussite de ce projet.*

*Je remercie tous le personnel de l'**ENSTP** ainsi que tous nos enseignants qui nous ont assuré un bon cursus universitaire, sans oublier les responsables de la bibliothèque qui nous ont beaucoup facilité la tâche en vue d'atteindre les objectifs de notre travail.*

*Enfin, mon pensées à tous ceux qui m'a aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.*

# Dédicace

*Je remercie le Bon-Dieu tout puissant de m'avoir motivé à réaliser ce modeste travail*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon très cher père **mohamed** qui a veillé sur moi pendant toute ma vie et pour ses encouragements et son soutien.*

*A ma **très chère mère** qui je ne saurais jamais remercier assez pour le sacrifice qu'elle a consentie pour moi, ainsi que chaque instant de bonheur qu'elle m'a procuré.*

*Que Dieu les gardes et les protèges*

*A toutes mes belles sœurs Asma , Kawther et Arbia .*

*A tous mes confrères de la promotion 2015 spécialement Tadjine Abderrezzaq, Abid Berchi , Brahim Gaga, Brahim Khenniche, Saleh Djebri et Bilal zeroual.*

*A tous mes amis et collègues de EPST tlemcen Toufiq, Brahim tamtoum , Redha , Med Djazouli , sifou, Oussama , Djaafer ,Djamel ,Yasser, mehdi , khalil et redouane.*

*A tous mes amis de l'enfance Ali, yassin , Djamel, Mohamed, redha , Amir, youcef, Imad, miloude, Hamza,lekhal, .....*

*Et à toutes les personnes que j'ai connues.*

*ZEGGAOUI Abdelkadir*

# LISTE DES FIGURES :

## Chapitre 01

Figure 1.1 : Etat de contrainte initiale d'un élément de sol au repo.....	3
Figure 1.2 : Influence de $K_0$ sur la résistance à la liquéfaction (Seed et Peacock, 1971) .....	4
Figure 1.3 : Influence de la densité relative ( $D_r$ ) sur la résistance à la liquéfaction (Mullilis et Al., 1978) .....	5
Figure 1.4 : Influence de la structure sur la résistance (RCC) (d'après Pecker, 1984).....	6
Figure 1.5 : Influence de la contrainte déviatoire appliquée (d'après Alba et Al.1976) .....	7
Figure 1.6 : Influence du degré de saturation sur la résistance à la liquéfaction (D'après Pecker, 1984) .....	8
Figure 1.7 : Influence de la contrainte de confinement sur le potentiel de liquéfaction des sables (Vaid et Sivathayalan, 1995).....	8
Figure 1.8 : Influence de la contrainte de confinement sur le potentiel de liquéfaction des sables (Seed et harder, 1990).....	9
Figure 1.9 : Effet des fines et du confinement sur la résistance à la liquéfaction (Bouckovalas et al., 2002).....	10
Figure 1.10 : Fuseau granulométrique des sables liquéfiables d'après différents auteurs (Pecker, 1984) .....	10
Figure 1.11 : Influence de l'indice de plasticité sur la résistance à la liquéfaction (Ishihara et Kosecki, 1989).....	11
Figure 1.12 : Instabilité initiale des sables lâches avec une faible teneur en éléments fins (Silt) (Yamamuro et Covert, 2001).....	12
Figure 1.13 : Effet de la teneur en fines sur la résistance à la liquéfaction, $D_r = 50\%$ (Amini et Sama 1999).....	13
Figure 1.14 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable (Mullilis et Al., 1977).....	15
Figure 1.15 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable, 1er série avec 30% gravier (Amini et Sama, 1999).....	15
Figure 1.16 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable, 2er série avec 10% gravier (Amini et Sama, 1999).....	16

Figure 1.17 : Effet de la méthode de préparation sur le comportement d'un sol (Zlatovic et Ishihara, 1997).....	17
Figure 1.18 : Influence du mode de reconstitution des éprouvettes sur le comportement non drainé d'un sable lâche (Ben Ahmed N. et Al., 1004).....	17

## **Chapitre 02**

Figure 2.1 : la boîte de cisaillement direct de LNHC .....	19
Figure 2.2 : Composantes d'une boîte de cisaillement carrée.....	20
Figure 2.3 : la courbe granulométrique du sable utilisé.....	21

## **Chapitre 03**

Figure 3.1 : Influence de la contrainte normale sur sable sec.....	24
Figure 3.2 : Influence de la contrainte normale sur mélange sale-limon ( $F_c=5\%$ ).....	25
Figure 3.3 : Influence de la contrainte normale sur mélange sale-limon ( $F_c=10\%$ ).....	25
Figure 3.4 : Influence de la contrainte normale sur mélange sale-limon ( $F_c=20\%$ ).....	26
Figure 3.5 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 1bar) .....	26
Figure 3.6 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 2bar).....	27
Figure 3.7 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 3bar).....	27
Figure 3.8 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement.....	28
Figure 3.9 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (1bar).....	29
Figure 3.10 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (2bar).....	29
Figure 3.11 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (3bar).....	30
Figure 3.12 : Evolution de l'angle de frottement en fonction de la fraction des fines.....	31
Figure 3.13 : Evolution de la cohésion en fonction de la fraction des fines.....	31
Figure 3.14 : Evolution de l'angle de frottement en fonction de la teneur en eau.....	32
Figure 3.15 : Evolution de la cohésion en fonction de la teneur en eau.....	32

# LISTE DES TABLEAUX :

## Chapitre 02

tableaux 2.1 : caractéristique physique du sable naturel .....	22
Figure 1.2 : caractéristique des matériaux utilisé.....	22

# Sommaire

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.chapitre I : paramètre influents la résistance au cisaillement</b>	
1.1 : INTRODUCTION.....	3
1.2 : PARAMETRES INFLUENTS SUR LA RESISTANCE MECANIQUE...	3
1.2.1 : Etat de contrainte initial.....	3
1.2.2 : Influence de l’histoire des contraintes et des déformations.....	4
1.2.3 : Influence de la contrainte déviatoire appliquée.....	6
1.2.4. : Influence de la saturation .....	7
1.2.5 : Influence du confinement.....	8
1.2.6 : Influence de la granulométrie.....	10
1.3 : Présence d’éléments fins.....	11
1.3.1 : Influence des fines et graves.....	12
1.3.2 : Mode de préparation des échantillons.....	14
<b>2.chapitre II : description de dispositif expérimental et des mode opérationnel</b>	
2.1 : Introduction.....	18
2.2 : DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	18
2.2.1 : Essai de cisaillement à la boite de Casagrande.....	18
2.2.2 : Objectif et Exigences.....	18
2.2.3 : Composantes de l’appareil de cisaillement.....	19
2.3 : Caractéristique des matériaux utilisés.....	20
2.3.1 : Sable naturel d’O/Chlef.....	21
2.3.2 : Mélanges sable propre d’O/Chlef et fines.....	22
2.4 : Préparation de L’échantillon.....	22
2.4.1 : Lecture.....	23
2.5 : Conclusion .....	23
<b>3. chapitre III : résultats d’essais et interprétation</b>	
3.1 : Introduction.....	24
3.2 : Influence de la contrainte normale.....	24

3.3 : Influence de la teneur en fines.....	26
3.3 : Influence de la teneur en eau .....	28
3.4 : Influence de la teneur en fines sur l'angle de frottement et la cohésion.....	30
3.5 : Influence de la teneur en eau sur l'angle de frottement et la cohésion .....	32
<b>Conclusion général</b> .....	33

## **INTRODUCTION GENERALE**

La prévention des risques naturels ou industriels fait partie intégrante des préoccupations des pouvoirs publics en matière d'aménagement du territoire. Le risque de l'instabilité des sols prend une part grandissante dans les projets d'aménagement du territoire et de construction.

Le comportement mécanique d'un sol est en grande partie contrôlé par sa résistance au cisaillement. L'étude du comportement mécanique d'un sol, ou encore son comportement en contrainte-déformation permet en autres, de déterminer sa charge portante sous des sollicitations induites par une structure ou un ouvrage. L'analyse de la résistance au cisaillement d'un sol est nécessaire pour calculer la stabilité externe des ouvrages ; par exemple, les murs de soutènement, les pentes, talus naturels ou artificiels, etc.

On trouve des résultats controversés sur l'effet de la fraction des fines sur la résistance au cisaillement d'un sol. Certaines études ont montré que l'augmentation de la fraction des fines améliore la résistance, d'autres montrent que cette augmentation réduit la résistance au cisaillement d'un sol ; d'autres études montrent que l'augmentation des fines réduit d'abord la résistance, puis elle améliore cette résistance. Face à ce controversé, on propose d'étudier sur plusieurs types de mélanges sables-sols fins l'influence des fines sur la résistance au cisaillement. On va également analyser l'influence de certains paramètres sur la résistance (contrainte normale, teneur en eau).

Le travail est présenté en trois chapitres :

Le premier chapitre comporte une analyse bibliographique des travaux réalisés sur la présence des fines. On présente l'influence des certains paramètres sur la résistance au cisaillement.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de l'appareillage utilisé dans ce travail. Après une description de cet appareillage, on présente le mode opératoire et le matériau utilisé.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des essais de cisaillement. Dans ce chapitre, on présente les résultats des essais réalisés et on discute de l'influence de la présence des fines et la teneur en eau sur le comportement des mélanges étudiés. Nous mettons en évidence le rôle de certains paramètres sur la résistance à savoir la présence des fines, contrainte de cisaillement et teneur en eau.

# CHAPITRE

## (I)

*PARAMETRES INFLUENTS LA RESISTANCE AU  
CISAILLEMENT*

## 1.1 INTRODUCTION

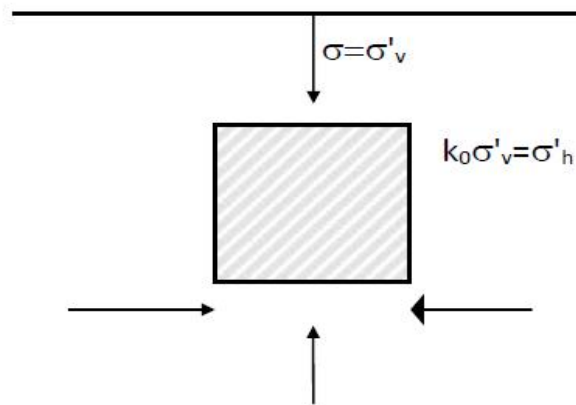
Dans ce premier chapitre on va présenter les principaux paramètres influents sur la résistance au cisaillement et on va mettre en évidence l'influence des fines sur le comportement des sols.

## 1.2 PARAMETRES INFLUENTS SUR LA RESISTANCE MECANIQUE

La résistance au cisaillement monotone et cyclique non drainé, c'est à dire la résistance à la liquéfaction d'un échantillon, dépend principalement de plusieurs paramètres. Parmi ces principaux paramètres on peut citer, l'état de contrainte initial, l'histoire des contraintes et des déformations, le degré de saturation, confinement granulométrie, présence des fines.

### 1.2.1 Etat de contrainte initial

L'état de contrainte initial d'un élément de sol au repos à une profondeur  $H$ , est défini par les contraintes effectives  $\sigma'_h$  et  $\sigma'_v$  régnant à cette profondeur. Ces contraintes effectives s'appliquent respectivement sur la facette verticale et sur la facette horizontale. (Voir figure ci-dessous).



**Figure 1.1** : Etat de contrainte initiale d'un élément de sol au repos

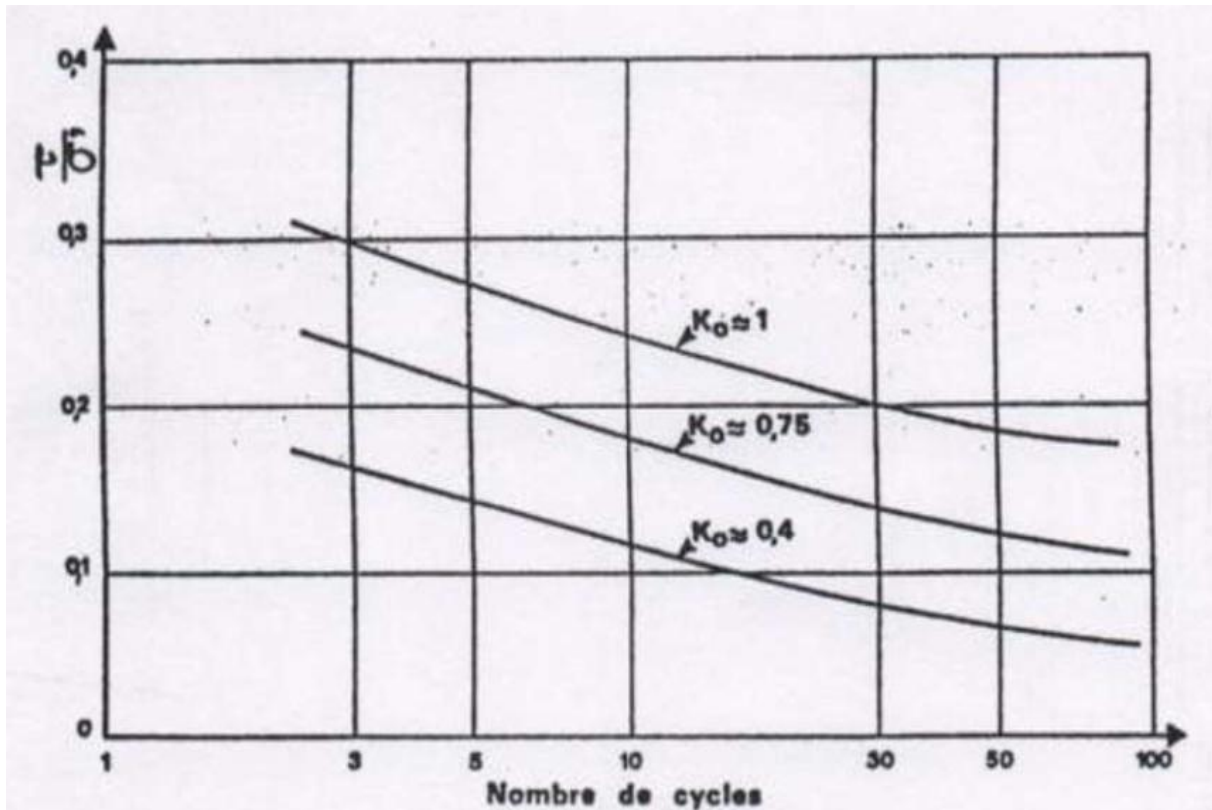
$K_0$  = Coefficient des terres au repos.

$\sigma'_h$  = Contrainte effective horizontale.

$\sigma'_v$  = Contrainte effective verticale.

La résistance au cisaillement cyclique est fortement influencée par le coefficient  $K_0$ , nous pouvons remarquer sur la figure (1.2) établie par Seed et Peacock (1971) que la résistance au cisaillement cyclique augmente avec  $K_0$ .

Comme le coefficient  $K_0$  croît avec la compacité du sol et que celle-ci augmente avec la profondeur, ceci va procurer une amélioration de la résistance au cisaillement cyclique pour les couches de sol les plus profondes.



**Figure 1.2 :** Influence de  $K_0$  sur la résistance à la liquéfaction (Seed et Peacock, 1971)

$\sigma_{hv}$ : Contrainte de cisaillement cyclique.

$\sigma'_0$ : Contrainte effective verticale.

N : Nombre de cycles nécessaires pour atteindre la liquéfaction de l'échantillon.

## 1.2.2 Influence de l'histoire des contraintes et des déformations

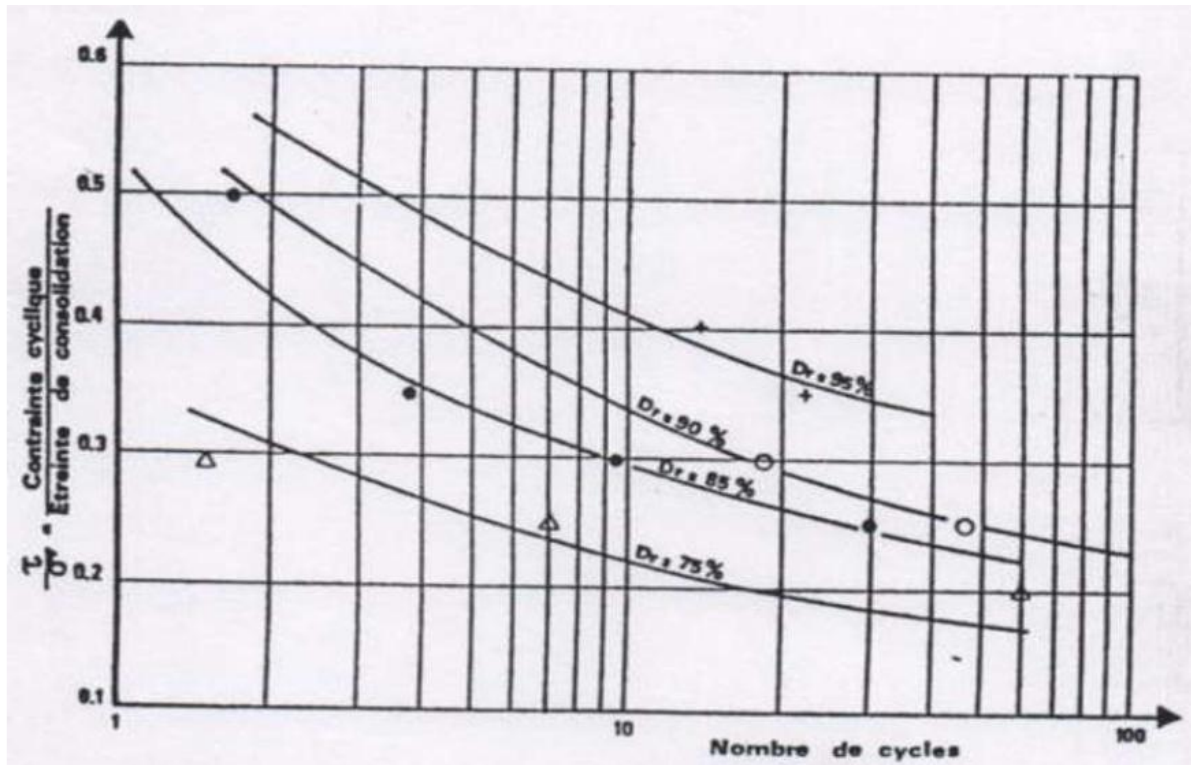
L'histoire des contraintes procure au sol une structure caractérisée par une certaine densité et un certain arrangement des grains.

### 1.2.2.1 Influence de la densité du sable

La résistance au cisaillement cyclique est d'autant plus élevée que la densité de l'échantillon du sable est élevée. La (figure 1.3) établie par Mullilis et al. (1978), met en évidence l'influence de la densité relative du sable sur la résistance à la liquéfaction.

La condition de liquéfaction est définie par  $\Delta U = \sigma'_3$  (quand la variation de la pression Interstitielle sera égale à la pression effective initiale de confinement).

Cette condition de liquéfaction est atteinte par le sable dense et par le sable lâche, mais pour le premier les déformations sont limitées, par contre pour le second ces dernières peuvent atteindre des grandes valeurs.



**Figure 1.3 :** Influence de la densité relative ( $D_r$ ) sur la résistance à la liquéfaction (Mullilis et Al., 1978)

### 1.2.2.2 Influence de la structure du sol

L'histoire des contraintes et des déformations subies par un dépôt de sable, ainsi que son mode de déformation, confèrent à celui-ci une structure caractérisée par un certain type d'arrangement et une certaine forme des grains.

Ainsi pour une même densité relative du sable, nous pouvons avoir au laboratoire plusieurs arrangements des grains, obtenus par différents modes dans la confection des échantillons de sables. La (figure 1.4) établie par Mullilis et Al. d'après Alain Pecker (1984), met en évidence l'influence de l'arrangement des grains sur la résistance à la liquéfaction (R.C.C.). Nous remarquons que la résistance au cisaillement cyclique peut passer du simple au double entre un arrangement minimal et un arrangement maximal.

L'arrangement minimal est obtenu par un déversement à sec sans vibration, et au contraire l'arrangement maximal est obtenu par vibration sous haute fréquence de l'échantillon déjà humide.

Nous pouvons aussi constater sur la (figure 1.4) que la différence entre la résistance à la liquéfaction est beaucoup plus prononcée pour les contraintes de cisaillement élevées, et que la liquéfaction instantanée n'est observée que pour les échantillons dont les grains ont subi un arrangement minimal.

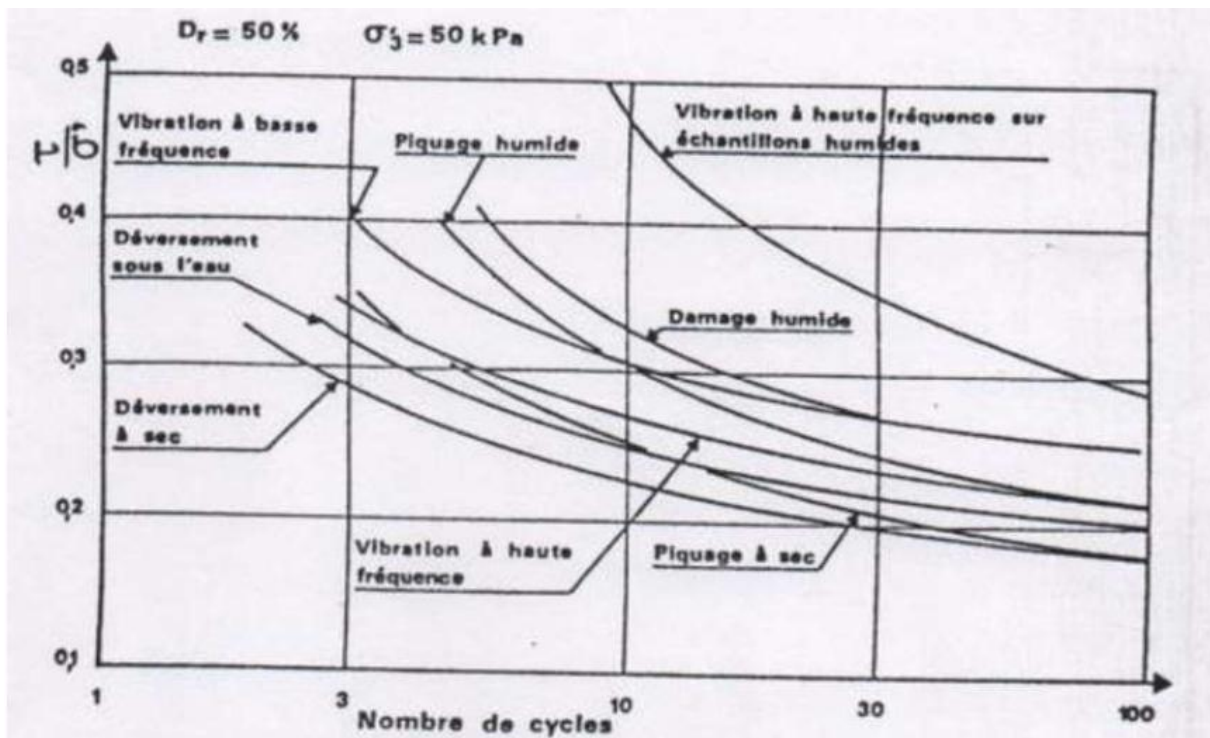


Figure 1.4 : Influence de la structure sur la résistance (RCC) (d'après Pecker, 1984)

### 1.2.3 Influence de la contrainte déviatoire appliquée

La résistance à la liquéfaction d'un échantillon de sable est représentée par une courbe qui relie les contraintes déviatoire appliquées au nombre de cycles nécessaires à la liquéfaction de cet échantillon. Pour les sables lâches, une forte augmentation de la contrainte déviatoire mène à une liquéfaction instantanée (entre 1 et 2 cycles). Par contre et comme nous le verrons ultérieurement pour les sables denses, un accroissement de la contrainte déviatoire peut engendrer une augmentation du nombre de cycles nécessaires à la liquéfaction, car en effet le chemin des contraintes déviatoire en fonction des contraintes moyennes effectives, ( $P'$ ), dans le plan ( $P'$ ,  $Q$ ), va rencontrer plutôt la droite caractéristique  $L_{cet}$  et de ce fait la période de stabilisation sera augmentée.

Cependant la résistance au cisaillement cyclique obtenue par des essais au laboratoire sous des sollicitations unidirectionnelles, doit être corrigée in situ, Sur la figure 1.9 établie par Alba et al. (1976).

Nous remarquerons pour une même densité relative, une chute de la résistance au cisaillement cyclique obtenue à la table vibrante, qui induit des sollicitations horizontales dans les deux directions. Le rapport ( $C_r$ ) entre les deux résistances à la liquéfaction qui est égal ici à 0.63, montre bien la nécessité de tenir compte du type des sollicitations in situ.

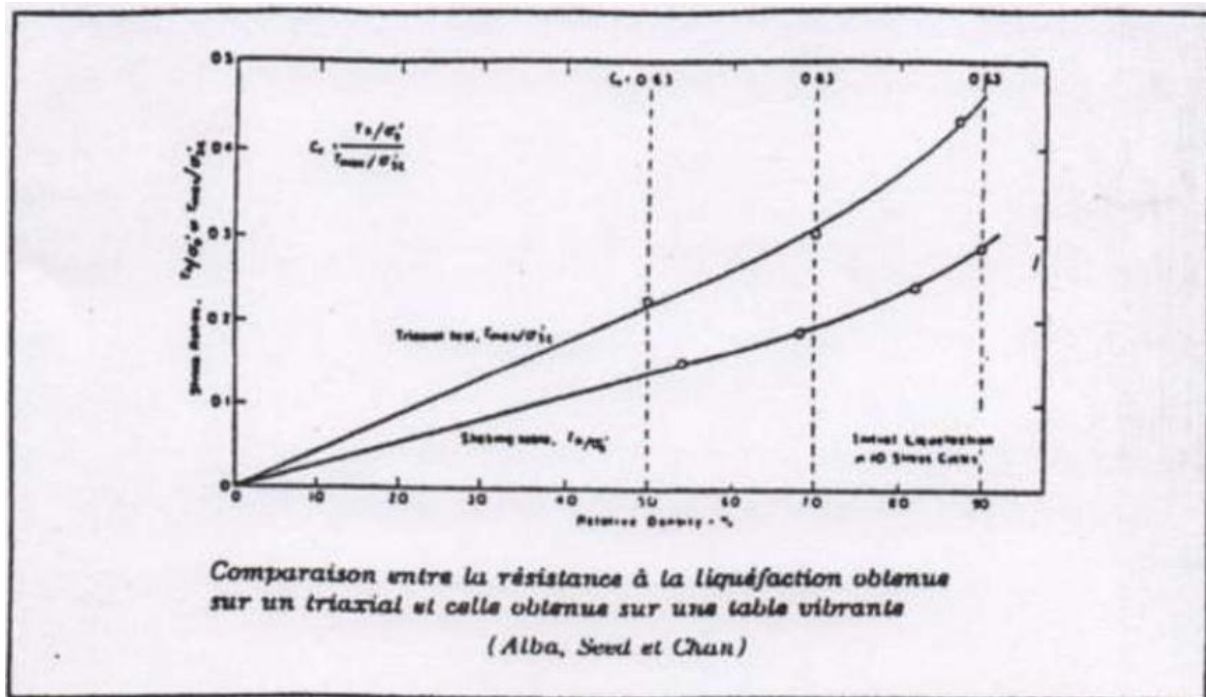


Figure 1.5 : Influence de la contrainte déviatoire appliquée (d’après Alba et Al., 1976)

**1.2.4. Influence de la saturation**

La résistance à la liquéfaction d’un échantillon non saturé (avec un degré de saturation  $S_r$  plus proche de 1), est plus élevée que celle de l’échantillon saturé. La (figure 1.6) élaborée par Pecker (1984) montre que pour une diminution de 2% du degré de saturation, la résistance à la liquéfaction croit de 50%. Donc au cours des essais à effectuer au niveau du laboratoire, il est impératif de s’assurer de la parfaite saturation des échantillons.

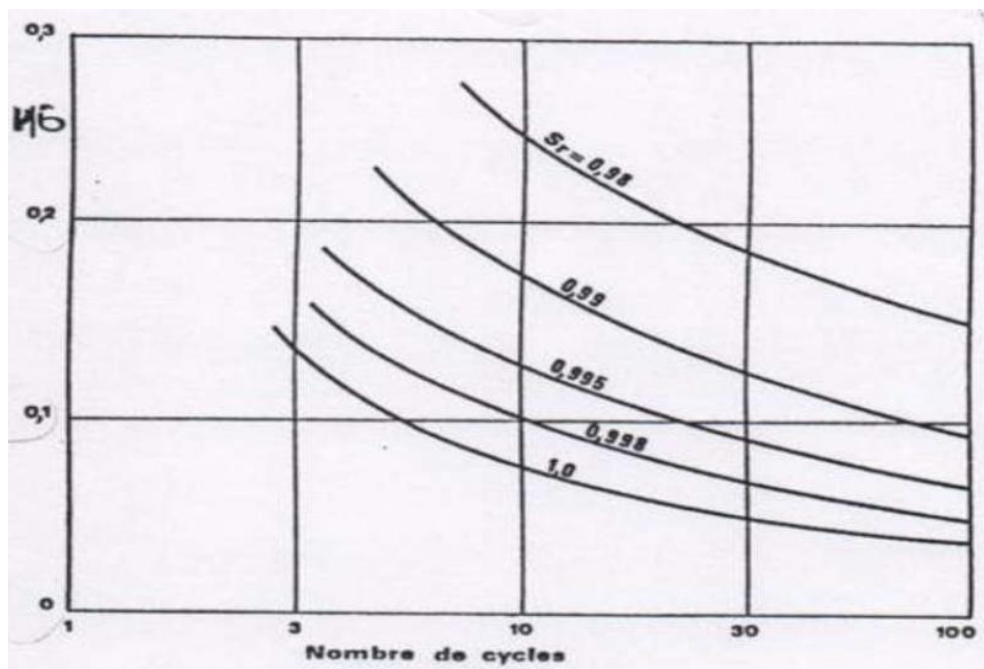


Figure 1.6 : Influence du degré de saturation sur la résistance à la liquéfaction (D'après Pecker, 1984)

1.2.5 Influence du confinement

Le potentiel de liquéfaction des sables est influencé par la contrainte de confinement.

Les résultats obtenus par Vaid et Sivathayalan (1995) montrent que la contrainte de confinement n'influe pas beaucoup sur la résistance à la liquéfaction des sables lâches ( $D_r = 0.31$ ); par contre pour les sables denses, on remarque que la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation de la contrainte de confinement (figure 1.7). En effet, on sait que la dilatance des sols denses augmente avec la diminution du confinement.

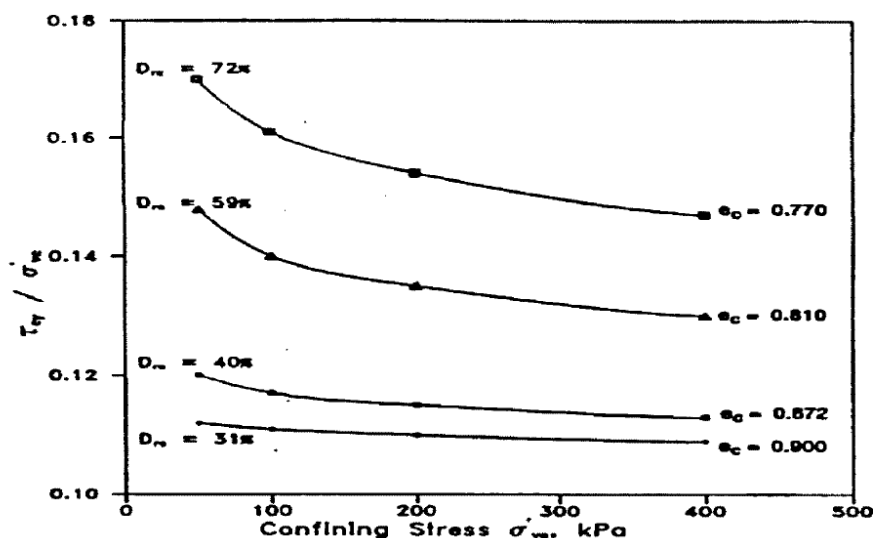


Figure 1.7 : Influence de la contrainte de confinement sur le potentiel de liquéfaction des sables (Vaid et Sivathayalan, 1995).

D'autre part, afin de prendre en compte l'influence du confinement sur la résistance à la liquéfaction, Seed et Harder (1990) ont introduit la notion de facteur de correction  $K_{vc}$  qui désigne le rapport entre la résistance à la liquéfaction pour un confinement donné ( $\sigma'_{vc}$ ) et la résistance à la liquéfaction pour  $\sigma'_{vc} = 100$  kPa. La résistance à la liquéfaction est définie par le niveau de contrainte causant la liquéfaction après dix cycles de chargement. La (figure 1.8) montre la variation  $K_{vc}$  avec la contrainte de confinement et pour différentes densités relatives. On remarque que le facteur  $K_{vc}$  est proche de l'unité pour les sables lâches. Pour les sables denses, on note une diminution de  $K_{vc}$  avec l'augmentation de la contrainte de confinement. Cette diminution s'amplifie avec la densité relative.

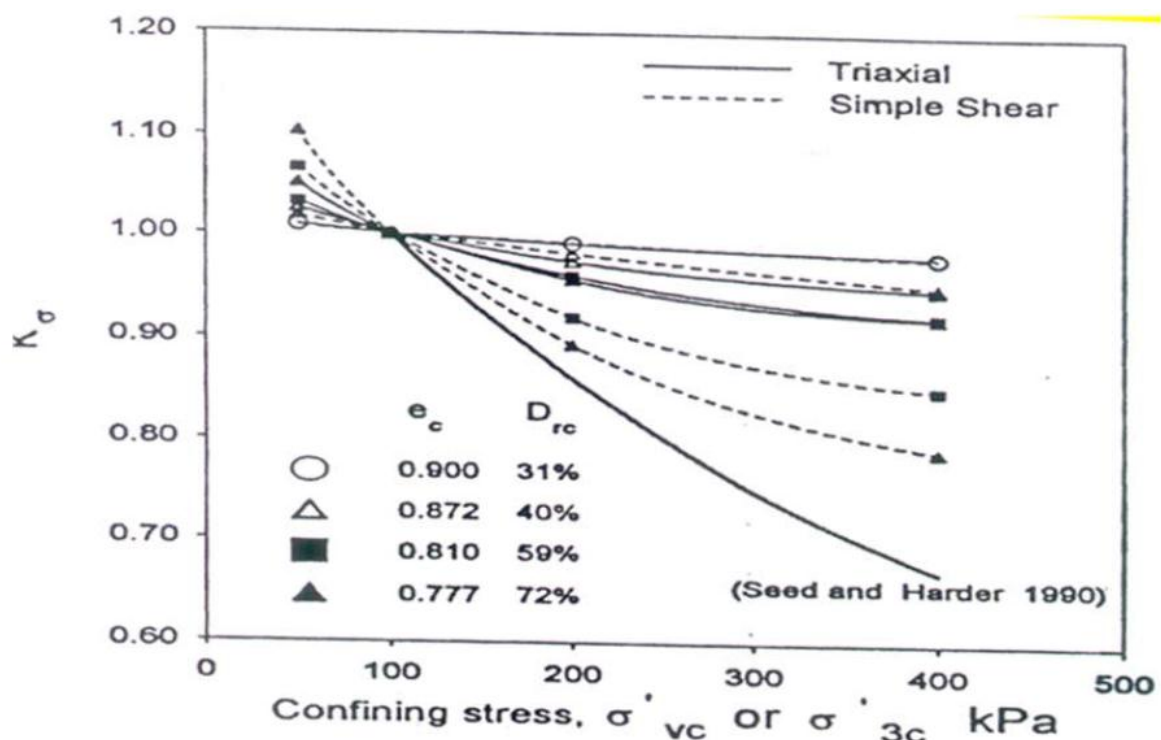


Figure 1.8 : Influence de la contrainte de confinement sur le potentiel de liquéfaction des sables (Seed et Harder, 1990).

Bouckovalas et al. (2002) ont trouvé que la résistance à la liquéfaction est très influencée par la contrainte de confinement. La (figure 1.9) montre l'évolution de la résistance à la

liquéfaction en fonction du nombre de cycles (contrainte de confinement de 49 kPa). On note que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de teneur en fines. Par contre pour un confinement de 196 kPa, on observe la tendance inverse, la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation de la teneur en fines.

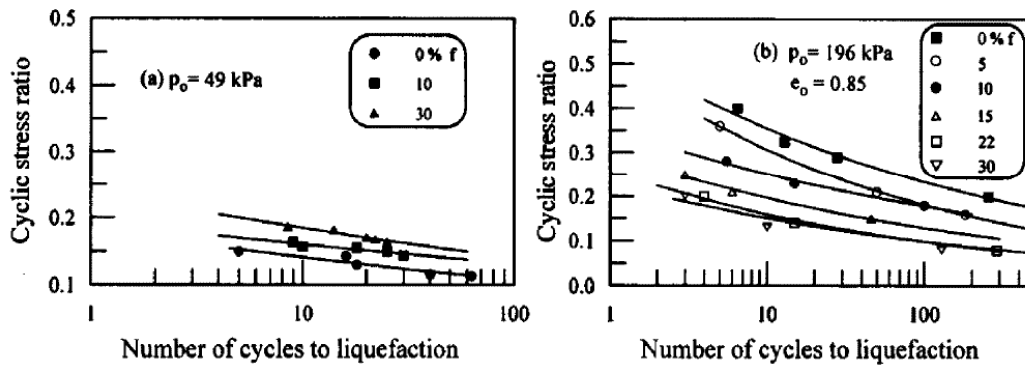


Figure 1.9 : Effet des fines et du confinement sur la résistance à la liquéfaction (Bouckovalas et al., 2002).

### 1.2.6 Influence de la granulométrie

Il est connu dans la littérature que la granulométrie affecte d'une manière significative la résistance à la liquéfaction des sols. Que ce soit à partir des études menées au laboratoire (Lee et Fitton 1968) ou des observations in-situ (Tsuchida, 1970; Seed et Idriss 1971), plusieurs fuseaux ont été proposés pour les sols liquéfiables. La (figure 1.10 montre des exemples de ces courbes. On note que les graves et sols avec de gros éléments ne présentent pas de risque de liquéfaction grâce à leur grande perméabilité.

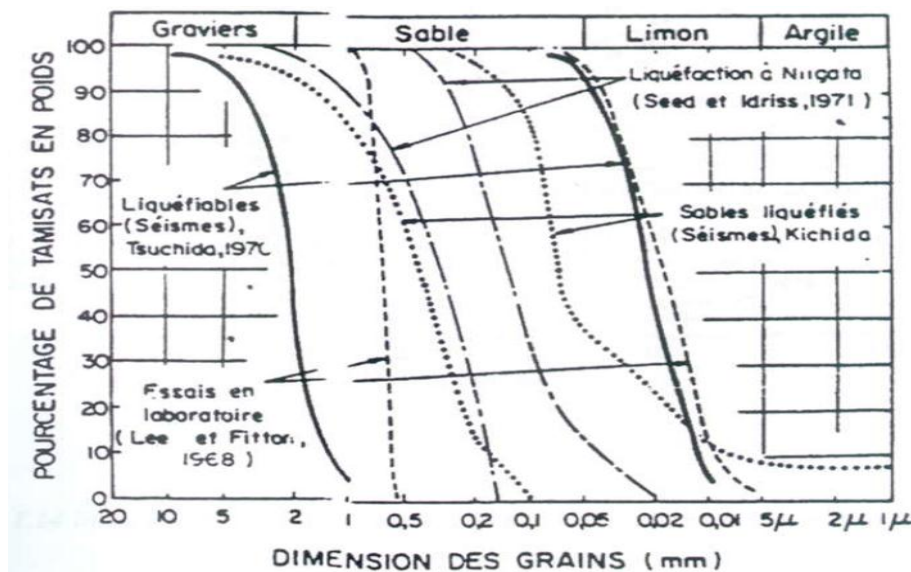
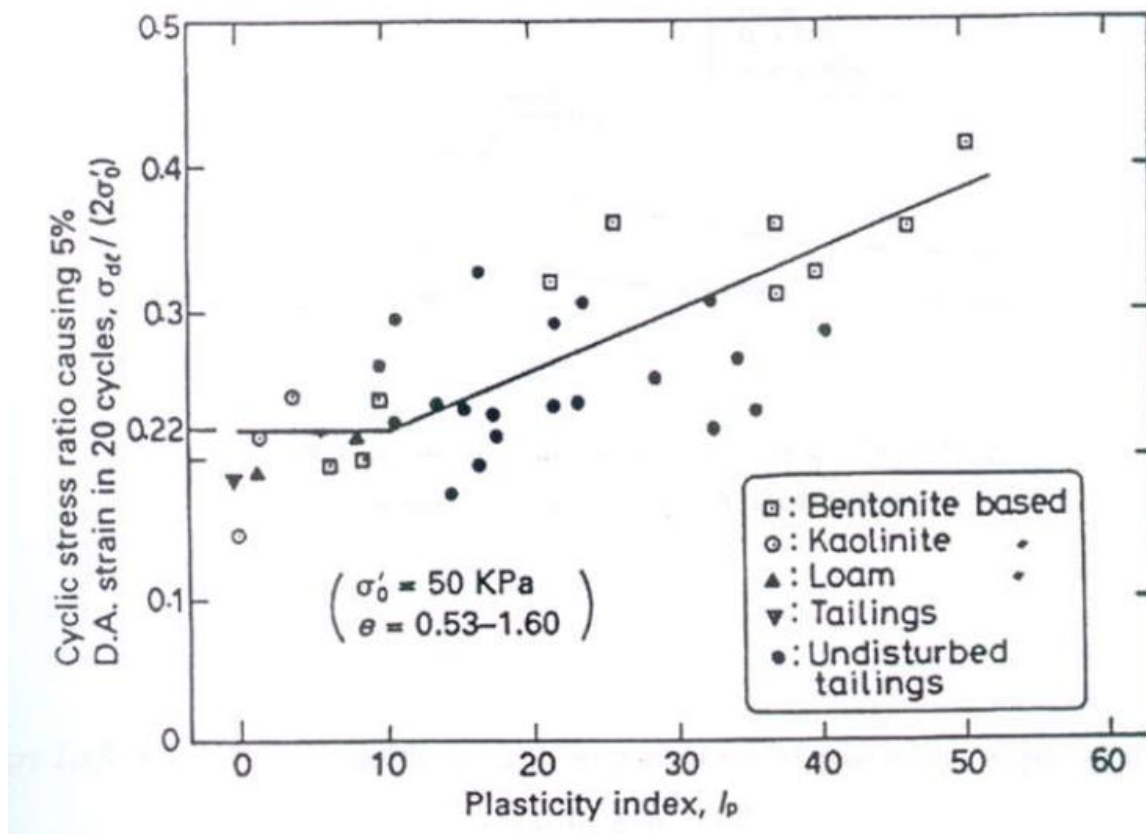


Figure 1.10 Fuseau granulométrique des sables liquéfiables d'après différents auteurs (Pecker, 1984)

### 1.3 Présence d'éléments fins

La résistance à la liquéfaction des sables dépend aussi de la présence d'éléments fins.

Ishihara et Kosecki (1989) ont montré que pour des teneurs élevées en éléments fins, l'indice de plasticité est un paramètre significatif pour la liquéfaction des sables. Ces résultats sont illustrés dans la (figure 1.11) La résistance à la liquéfaction est constante jusqu'à une valeur inférieure à 10%, au-delà de cette valeur, la résistance augmente d'une manière significative avec l'indice de plasticité. Lade et Yamamuro (1997) ont mené une étude à l'appareil triaxiale sur un mélange de sable lâche de Nevada et 20% ATC silt. La (figure 1.12) donne les résultats de cette expérience. On note qu'au début du chargement les deux échantillons ( $D_r = 40$  et  $44\%$ ) présentent une instabilité initiale; seule la liquéfaction statique est observée pour l'échantillon avec une densité  $D_r = 40\%$ . A partir de ces résultats, Yamamuro et Covert (2001) concluent que la présence de petites quantités de silts semble induire un comportement contractant pendant le cisaillement initial. L'échantillon ayant une densité  $D_r = 44\%$  ne subit pas la liquéfaction statique, en effet le sol mobilise le caractère dilatant dû à la présence de larges grains de sables ; ce qui conduit à une augmentation de la résistance à la liquéfaction.



**Figure 1.11 :** Influence de l'indice de plasticité sur la résistance à la liquéfaction (Ishihara et Kosecki, 1989)

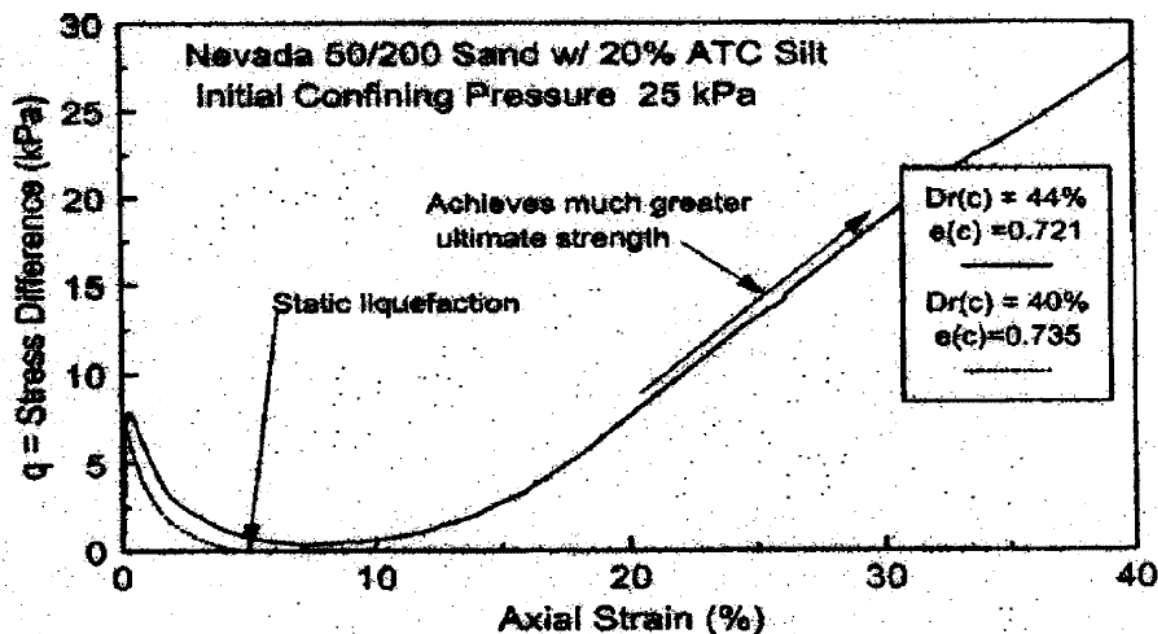


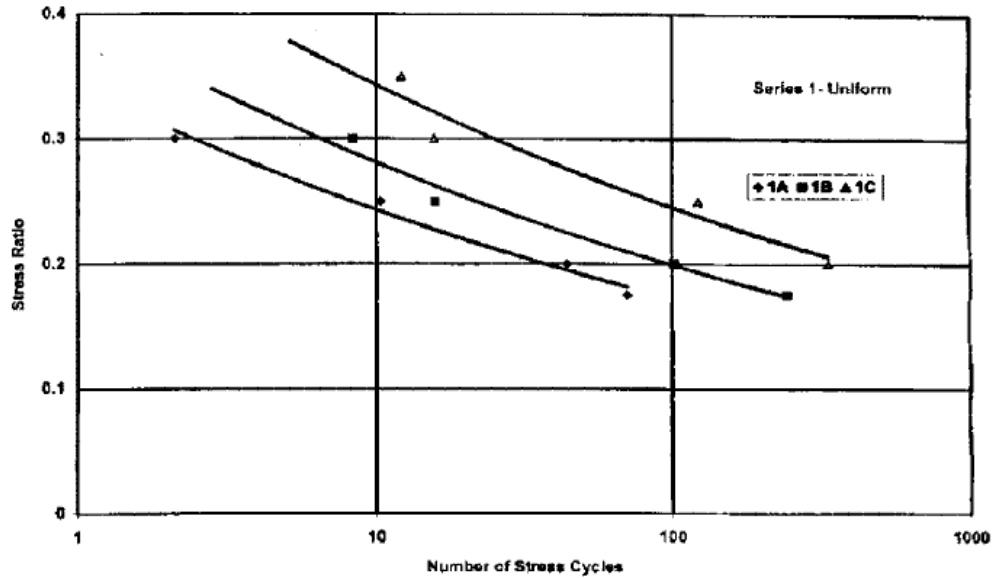
Figure 1.12 : Instabilité initiale des sables lâches avec une faible teneur en éléments fins (Silt) (Yamamuro et Covert, 2001)

### 1.3.1 Influence des fines et graves

Plusieurs travaux de recherches ont été menés sur le comportement des sables et sables argileux. Cependant, nombreux cas de liquéfaction de sables graveleux (mélange de sable avec gravier) ont été enregistrés (Harder et Seed, 1986; Wang, 1984; Tamura et Ling, 1983; Youd et al., 1985; Andrus et Youd, 1986; Evans et Harder, 1993). Récemment, plusieurs chercheurs ont étudié au laboratoire le comportement des sables avec graves (Nicholson et al., 1993; Evans, 1992; Evans et Al., 1992; Seed et al., 1989; Hynes, 1988; Benerjee et al., 1979) et aussi par Evans et Zhou (1995), Siddiqi (1984), Wang (1984) et Haga (1984). Evans et Zhou (1995) ont conclu que la résistance à la liquéfaction des sables graveleux augmente d'une manière significative avec l'augmentation de la teneur en gravier. Amini et Sama (1999) ont étudié le comportement stratifié d'une composition de sable, argile et gravier. Le but de cette recherche était de comparer le comportement stratifié et homogène argile-sable-gravier durant un séisme. Les teneurs considérées sont dans une gamme de 0-50% (1B et 2B = 25%, 1C et 2C = 50%) pour les fines (limon) et 10-30% (1A = 30%, 2A = 10%) pour les graves. Ces résultats sont reportés dans la (figure 1.13) On note que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de la teneur en éléments fins. On remarque aussi sur la 1<sup>er</sup> série, que le changement de la teneur de 25 à 50% a causé une augmentation de 23% dans le rapport

de contrainte causant la liquéfaction au bout de 10 cycles; pour la 2<sup>ème</sup> série, il a causé une augmentation de 16%

-a-



-b-

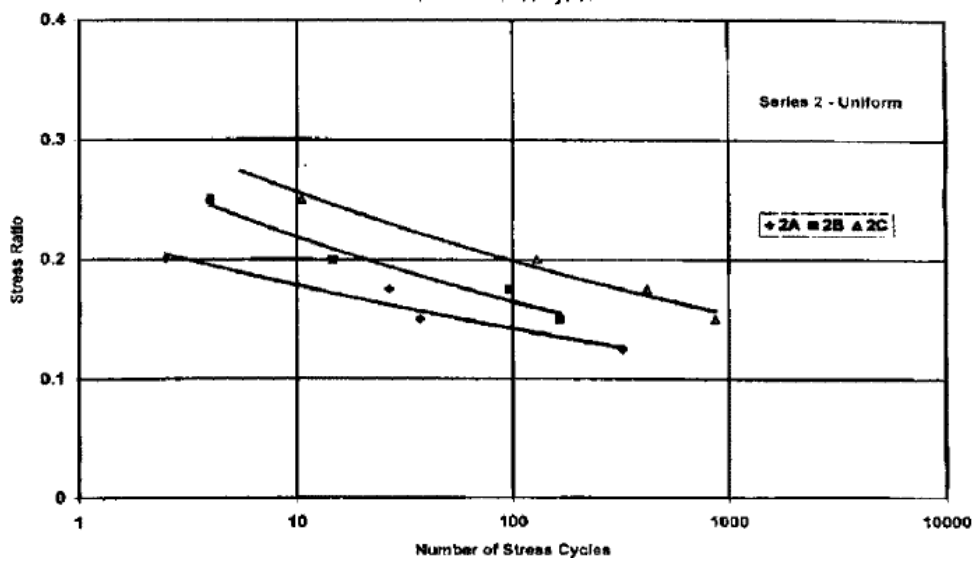


Figure 1.13 : Effet de la teneur en fines sur la résistance à la liquéfaction,  $D_r = 50\%$  (Amini et Sama 1999)

(a) Echantillons 1A, 1B et 1C

(b) Echantillons 2A, 2B et 2C

### 1.3.2 Mode de préparation des échantillons

Plusieurs chercheurs ont analysé l'influence du mode de préparation des échantillons sur le potentiel de liquéfaction (Lade 1974; Mulilis et al. 1977; Tatsuoka et al. 1986a; Amini et Sama 1999). La (figure 1.14) montre que la résistance à la liquéfaction est plus élevée pour des échantillons préparés par damage humide que par illuviation à sec. Amini et Sama (1999) lors de leur étude sur le comportement d'un mélange d'argile-sable-grave, ont utilisé deux méthodes pour la préparation des échantillons à savoir la préparation par damage humide et sédimentation. La préparation humide (damage) est utilisée pour obtenir des échantillons homogènes tandis que la sédimentation entraîne une stratification du sol. Les résultats montrent que pour la 1<sup>ere</sup> série (30% graviers), la résistance à la liquéfaction au début du chargement est plus élevée pour les échantillons obtenus par damage (compactage) humide que par sédimentation puis elle diminue avec l'augmentation du nombre de cycles (figure 1.15). La 2<sup>eme</sup> série (10% graviers) montre que la résistance à la liquéfaction est plus élevée pour les échantillons obtenus par damage humide que par sédimentation; et elles ne sont significativement différentes malgré le fait que le mode de préparation des échantillons est totalement différent ; cela peut être expliqué par le fait que la perméabilité horizontale est plus élevée que la perméabilité verticale dans le cas des échantillons stratifiés. On remarque qu'il n'y a pas de différence notable pour les courbes de résistance à la liquéfaction (figure 1.16).

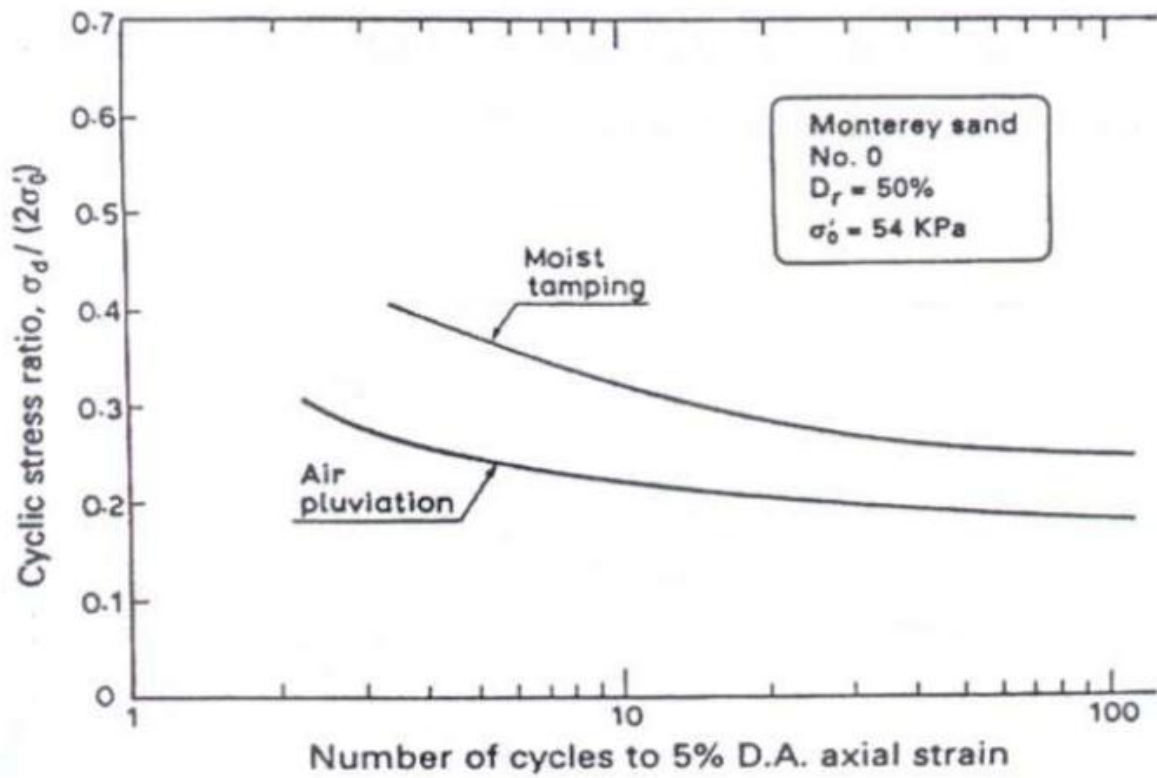


Figure 1.14 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable (Mulilis et Al., 1977).

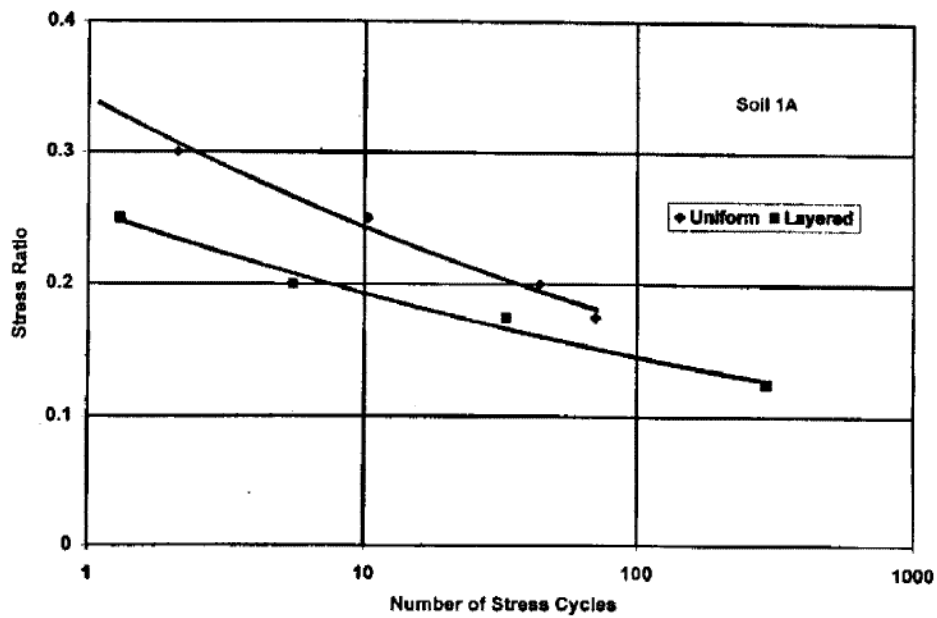


Figure 1.15 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable, 1er série avec 30% gravier (Amini et Sama, 1999).

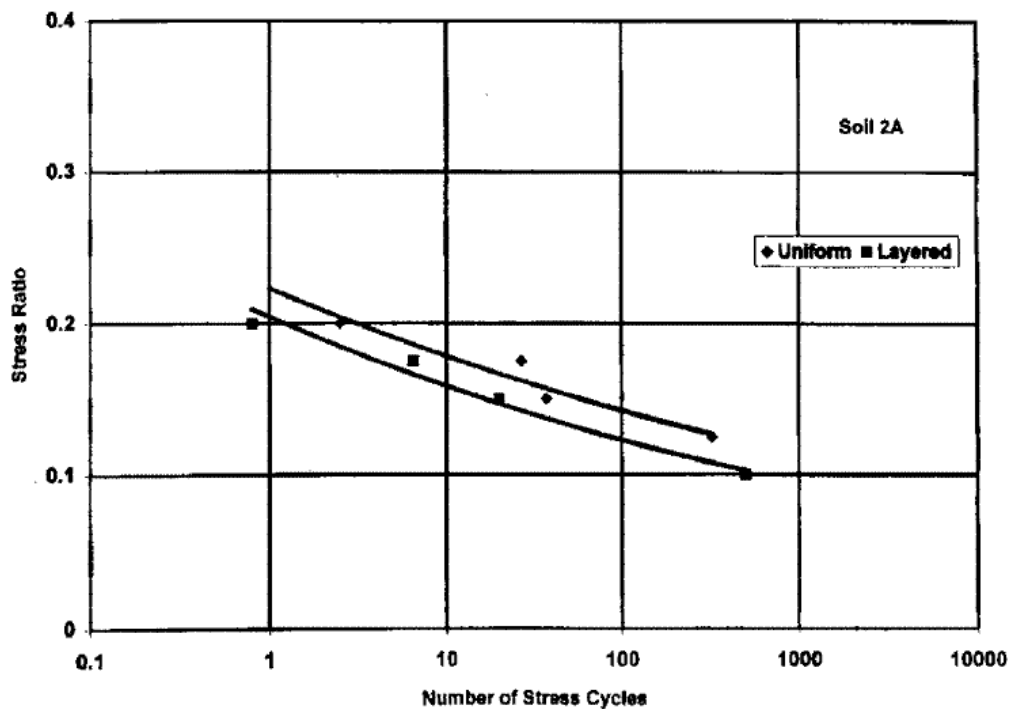


Figure 1.16 : Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable, 2er série avec 10% gravier (Amini et Sama, 1999).

Une autre étude a été réalisée sur un sable limoneux par Zlatovic et Ishihara (1997) et a montré que la méthode de préparation a un effet sur le comportement du sol. En préparant l'échantillon par la méthode de déversement à sec, la résistance au cisaillement du mélange diminue avec l'augmentation de la fraction des fines ; en optant pour une autre méthode à savoir la déposition par sédimentation, l'échantillon montre un autre comportement : la résistance diminue jusqu'à une teneur en fines  $F_c = 30\%$  puis elle ré-augmente (figure 1.17 a et 17 b).

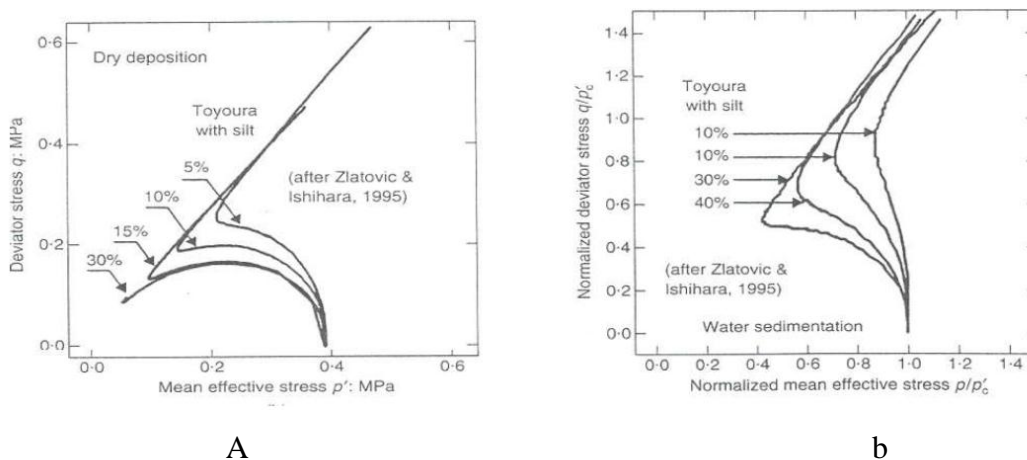
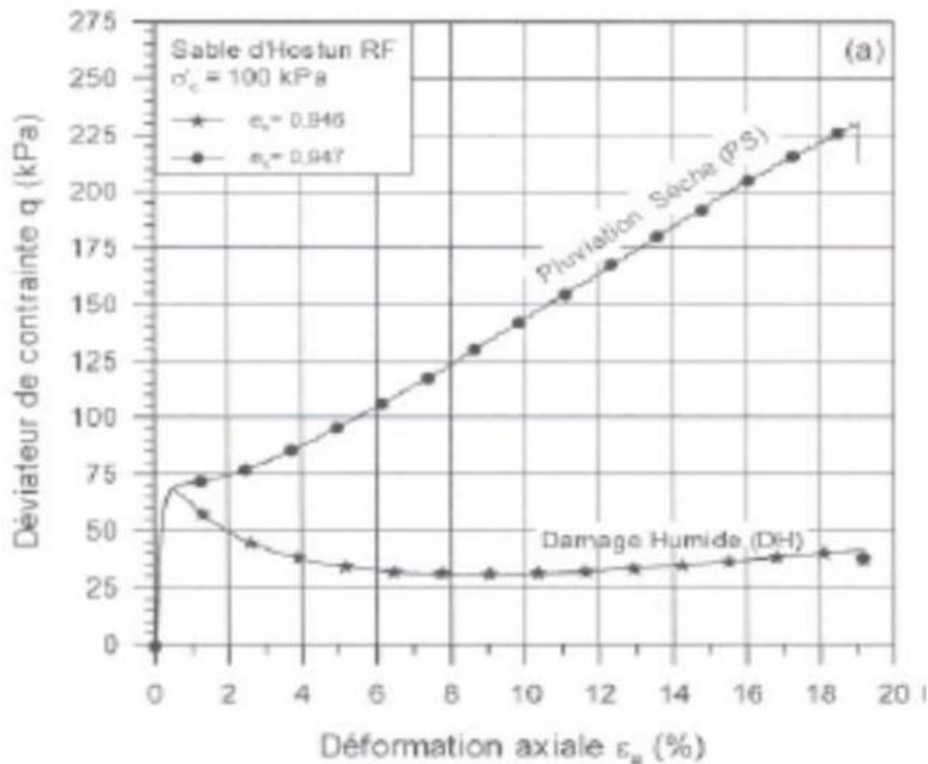


Figure 1.17 : Effet de la méthode de préparation sur le comportement d'un sol (Zlatovic et Ishihara, 1997).

(a) Diminution de la résistance avec l'augmentation de la teneur en fines.

(b) Diminution de la résistance puis ré-augmentation avec l'augmentation de la teneur en fines.

Ben Ahmed et al., (2004) ont mis en évidence, sur le sable HostunRf, des différences de comportement significatives vis-à-vis du phénomène de liquéfaction statique. Le damage humide favorise l'initiation de l'instabilité par liquéfaction alors que la pluviométrie à sec favorise un comportement plus stable (figure 1.18).



**Figure 1.18** : Influence du mode de reconstitution des éprouvettes sur le comportement non drainé d'un sable lâche (Ben Ahmed N. et Al., 1004)

## 1.4 Conclusion

Ce chapitre a comporté une présentation des travaux antérieurs sur le comportement des sols où on a mis en évidence l'influence de certains paramètres sur la résistance au cisaillement à savoir densité relative, confinement, degré de saturation, présence d'éléments fins etc.

Dans le prochain chapitre on va présenter le dispositif expérimental suivi et le matériau utilisé dans cette étude expérimentale.

# **CHAPITRE**

## **(II)**

**Description du dispositif expérimental et  
du mode opérationnel**

## 2.1 Introduction :

L'étude du comportement des sols nécessite la réalisation des essais en laboratoire en utilisant des dispositifs bien instrumentés et un mode opératoire fiable.

Dans ce chapitre, on présente d'abord le dispositif utilisé, il s'agit de la boîte de cisaillement direct appareil de Casagrande. On donne la description de cette boîte ainsi que son mode opératoire, la préparation de l'échantillon et les caractéristiques des matériaux étudiés.

## 2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais ont été effectués au moyen de l'appareillage du laboratoire national de l'habitat et de construction de Chlef.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer son angle de frottement interne  $\nu$  et sa cohésion  $C$ .

Ces valeurs servent entre autre à déterminer la contrainte admissible par le sol dans le cas, par exemple, de fondations superficielles et la poussée du sol sur un mur de soutènement.

### 2.2.1 Essai de cisaillement à la boîte de Casagrande :

Cet essai est issu après des expériences de Coulomb, s'effectue à l'aide d'une boîte de cisaillement. Cette boîte est constituée de deux parties se déplaçant l'une par rapport à l'autre dans un plan horizontal.

L'essai consiste à placer un échantillon de sol dans une boîte de cisaillement et à la soumettre à une charge verticale  $N$ , et à une charge horizontale  $T$ . que l'on augmente progressivement jusqu'à la rupture.

Le plan de rupture se développe progressivement le long du plan horizontal imposé par le déplacement de la partie supérieure de la boîte de cisaillement sur sa partie inférieure.

La charge horizontale maximale  $T$  enregistrée définit les conditions de rupture mesurant l'aire corrigée ( $A_c$ ) sur laquelle agissent les charges  $N$  et  $T$ , on peut calculer directement la contrainte normale effective ( $\sigma_{nrupt}$ ) et la résistance au cisaillement effective à la rupture ( $\tau_{rup}$ ).

### 2.2.2 Objectif et Exigences :

L'essai de cisaillement direct permet de mesurer les résistances au cisaillement direct de pic et résiduelle en fonction de la contrainte normale au plan de cisaillement.

Lorsqu'on détermine les caractéristiques de surface d'une discontinuité qui déterminent la résistance au cisaillement, il convient de réaliser une description précise de l'essai,

comportant le type et la rugosité du joint, le type et l'épaisseur du matériau de remplissage et la présence d'eau dans le joint.

Les éléments suivants doivent être spécifiés, en plus des exigences indiquées à

- l'orientation de l'éprouvette et ses dimensions.
- les spécifications de la machine d'essai.
- la vitesse de déplacement de cisaillement pendant l'essai.
- les valeurs de la contrainte normale à imposer pendant les essais de cisaillement direct.

### 2.2.3 Composantes de l'appareil de cisaillement

Les essais ont été effectués au moyen de l'appareillage du laboratoire national de l'habitat et de construction de Chlef. (Figure 2.1).

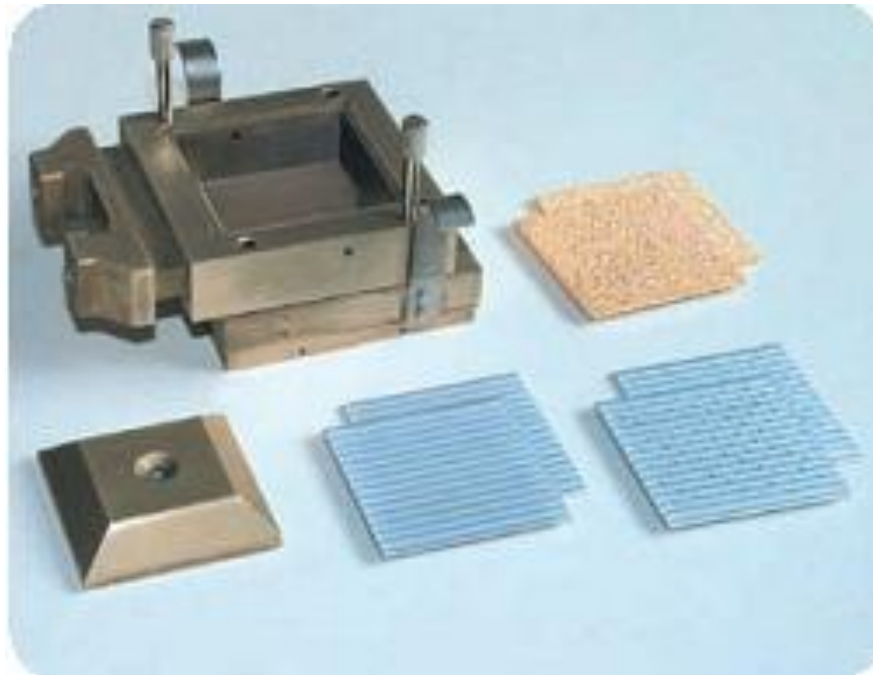
Le dispositif de cisaillement utilisé contient :



**Figure 2.1** : la boîte de cisaillement direct de LNHC

- ✓ Un comparateur pour mesurer l'effort de cisaillement.
- ✓ Un chariot sur lequel, on vient placer la boîte de Casagrande, le chariot est animé par un moteur d'un mouvement de translation à vitesse réglable (figure 2.1).
- ✓ Un plateau et un bras de levier

- ✓ des masses, pour créer la charge verticale (0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8) kg
- ✓ Une boîte de cisaillement carrée (60\*60) mm comporte (figure 2.2):
  - deux demi-boîtes inférieure et supérieure
  - un piston, transmettant à l'éprouvette l'effort vertical exercé,
  - deux plaques striées
  - deux goupilles, solidarissant les deux demi-boîtes, avant l'essai.



**Figure 2.2 :** Composantes d'une boîte de cisaillement carrée

### **2.3 Caractéristique des matériaux utilisés :**

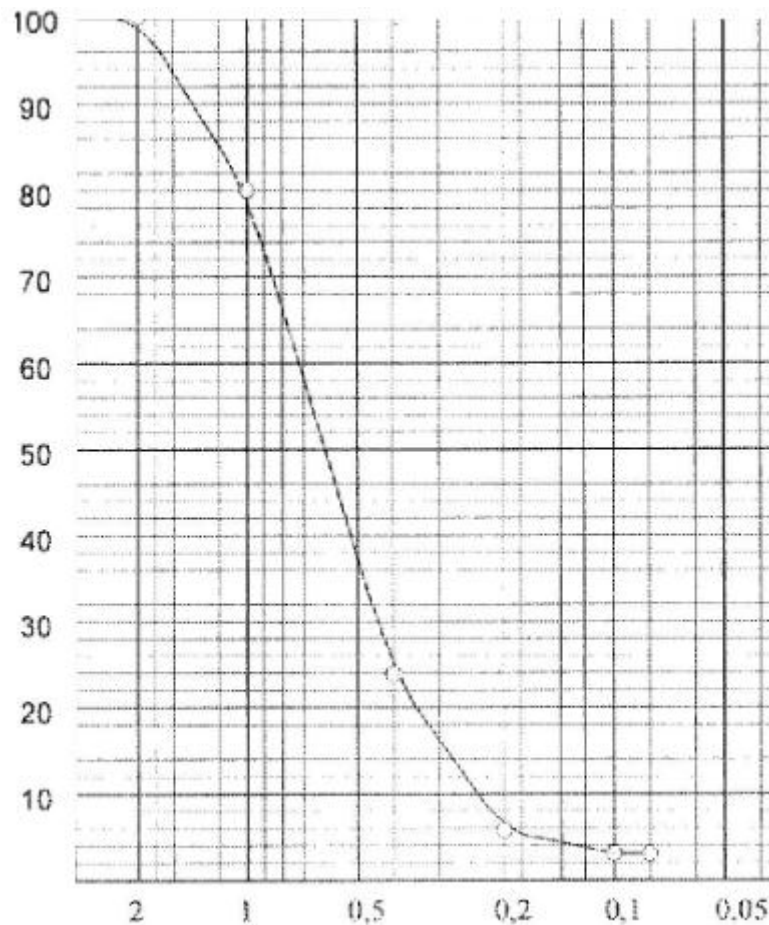
Deux types de Matériaux ont été utilisés pour la réalisation de la série d'essais de l'effet de la teneur en eau sur le comportement au cisaillement du sol. Ces matériaux proviennent de la même source qui est le sable d'O/Chlef, située dans la zone de confluence des deux rivières d'O/Chlef et d'O/Fodda.

Le choix de cette zone n'est pas fortuit, car elle a connu lors du séisme d'El-Asnam (Chlef actuellement) d'Octobre 1980, l'apparition d'un phénomène appelé Liquéfaction par le surgissement de petits cratères de sable et d'eau. Ce phénomène était accompagné d'affaissements, de fissures et de glissements dans le sol et sur les berges, d'où la gravité de ce phénomène qui pourrait provoquer des dommages très graves sur les constructions et les ouvrages.

Les séries d'essais ont été réalisées pour deux modes de déposition à savoir la pluviation à sec (PS) et le placement humide (PH), avec une densité initiale moyennement dense ( $D_r=50\%$ ) et pour trois confinements de 100 kPa, 200 kPa et 300 kPa.

### 2.3.1 Sable naturel d'O/Chlef

Le sable de chlef comme son nom l'indique provient du lit de l'oued chlef qui traverse la ville de chlef. Il est ramené dans son état brut, séché à l'étuve puis passé au tamis de 2 mm pour éliminer les gros éléments et les cailloux. La figure 2.3 montre la courbe de distribution de la taille des grains (La courbe granulométrique). Le sable de Chlef est un sable moyen, subarrondi avec un diamètre moyen  $D_{50} = 0,60$  mm. Les caractéristiques physiques de ce sable sont représentées sur le tableau 3.1.



**Figure 2.3 :** la courbe granulométrique du sable utilisé

**Tableau 2.1 :** Caractéristiques physiques du sable naturel

$e_{min}$	$e_{max}$	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	Cu (D60/D10)	D10 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	Forme des grains
0.534	0.854	2.68	2.88	0.25	0.60	0.72	Subarrondi

**2.3.2 Mélanges sable propre d'O/Chlef et fines :**

D'autres séries d'essais de cisaillement ont été effectuées sur des matériaux composés de mélanges de sable propre d'O/Chlef et différents pourcentages de fines extraites auparavant du sol naturel (5%, 10%, 20%). Le tableau 2.2 donne les caractéristiques physiques des deux matériaux.

**Tableau 2.2 :** Caractéristiques des matériaux utilisés

Sable propre de chlef		Limon de chlef	
Masse spécifiques (g/cm <sup>3</sup> )	2.68	Masse spécifiques (g/cm <sup>3</sup> )	2.7
$e_{min}$	0.534	$e_{min}$	0.73
$e_{max}$	0.854	$e_{max}$	1.42
Cu(D60/D10)	2.88	Limite de liquidité (Wl)	27.06
D10 (mm)	0.25	Limite de plasticité (WP)	22.25
D50 (mm)	0.60	Indice de plasticité (IP)	4.81s
D60 (mm)	0.72		
Forme des grains	subarrondi		

**2.4 Préparation de L'échantillon :**

On prélève un échantillon de sol représentatif en quantité suffisante pour effectuer au moins trois essais avec des charges verticales différentes ( $\sigma_n = 100, 200$  et  $300\text{kPa}$ ) et de moyenne densité. On choisit la boîte de cisaillement en fonction du type de sol.

La boîte dont la section intérieure est carrée convient parfaitement aux sols pulvérulents, tandis que qu'il est préférable d'employer la boîte circulaire avec les sols cohérents. La largeur ou diamètre intérieur de la boîte devrait être supérieure à 5cm, sans jamais être inférieur à dix fois.

Le diamètre équivalent des plus grosses particules dans les cas des sables; on se sert couramment de la boîte de cisaillement carrée de 6 cm de côté, et une hauteur de 2,5cm.

On assemble solidement les deux parties de la boîte de cisaillement au moyen de deux vis de blocage et on mesure sa hauteur (H), sa longueur (L) et sa largeur (l) à l'intérieur on présume que la longueur est parallèle à la direction du déplacement. On installe ensuite la plaque de soutien au fond de la boîte, puis on place une pierre poreuse et une plaque rainurée perforée par-dessus. On dépose le sol dans la boîte suivant une méthode qui permet de reproduire le plus fidèlement possible les conditions que l'on veut mesurer.

#### **2.4.1 Lecture :**

Pour tous les essais on lit les déformations de l'anneau des déplacements toutes les 15 secondes pour les vitesses 0.9 mm /mu Arrêter d'un essai lorsque la contrainte de cisaillement devient constante ou quand les valeurs lues décroissent. A la fin de l'essai :

- Enlever les poids du plateau de la charge.
- Débloquer l'anneau dynamométrique
- enlever la boîte du chariot de l'appareil
- Sortir l'éprouvette de la boîte

#### **2.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons présenté l'appareillage utilisé pour l'étude du comportement des sables et des mélanges sable propre-limon. Ce dispositif est fondé sur l'utilisation de la boîte de cisaillement direct communément appelée boîte de Casagrande. Le mode opératoire suivi a été élaboré. Il permet de confectionner des échantillons homogènes et de réaliser des essais de bonne qualité.

Il a été aussi présenté dans ce chapitre les caractéristiques des deux types de matériaux utilisés à savoir le sable propre de O/Chlef et les mélanges sable – limons de O/Chlef.

# **CHAPITRE**

## **(III)**

**Résultats d'essais et interprétation**

### 3.1 Introduction

Ce chapitre présente et discute les résultats des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande, en mettant en évidence l'influence de la contrainte normale et la présence des fines sur la résistance au cisaillement du mélange sable-limon.

### 3.2 Influence de la contrainte normale

La figure 3.1 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale (fig.3.1a), les résultats montrent que la résistance au cisaillement augmente avec l'augmentation de la contrainte normale d'une manière très remarquable. La figure 3.1b illustre l'évolution de la contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) en fonction de la contrainte normale, on note ici que l'évolution de la contrainte tangentielle en fonction de la contrainte normale suit une progression quasi linéaire.

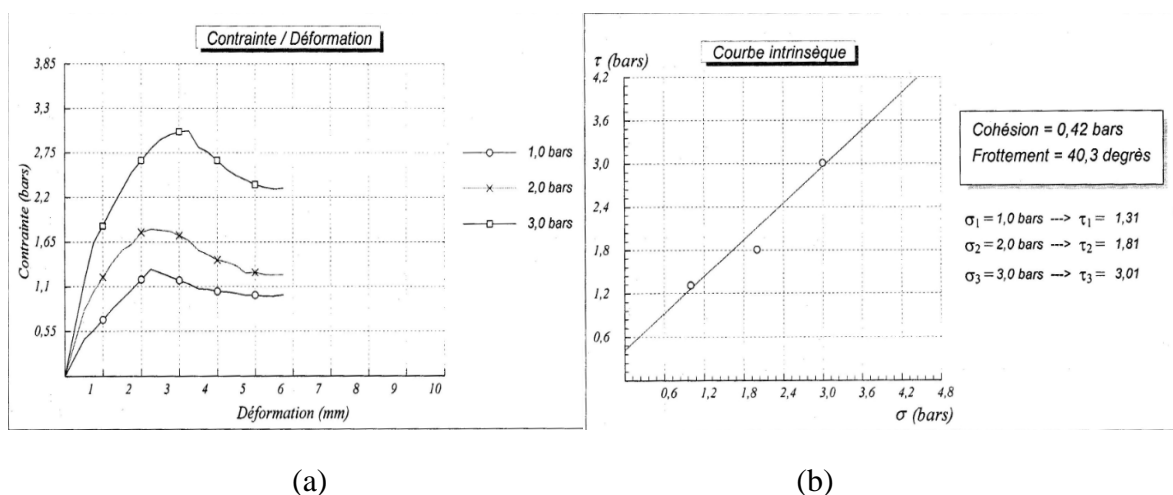


Figure 3.1 : Influence de la contrainte normale sur sable sec

La figure 3.2 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale (fig.3.2a) pour le sol (sable-limon), les résultats montrent que la résistance au cisaillement augmente aussi avec l'augmentation de la contrainte normale d'une manière très significative. La figure 3.2b illustre l'évolution de la contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) en fonction de la contrainte normale, on remarque ici que l'évolution de la contrainte tangentielle en fonction de la contrainte normale suit aussi une progression quasi linéaire.

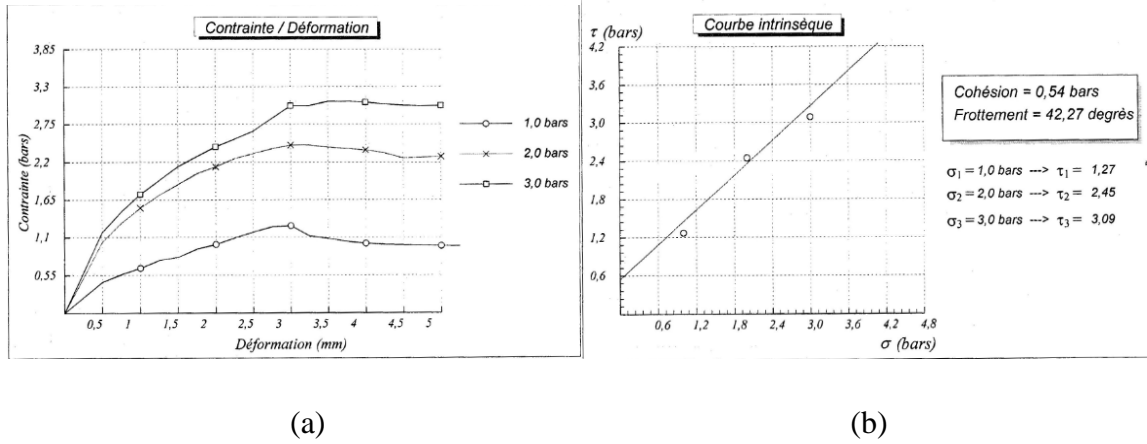


Figure 3.2 : Influence de la contrainte normale sur mélange sable-limon (Fc=5%)

La figure 3.3 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale (fig.3.3a) pour le sable mélangé avec 10% de fines, les résultats montrent que la résistance au cisaillement augmente aussi avec l'augmentation de la contrainte normale d'une manière très Considérable. La figure 3.3b illustre l'évolution de la contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) en fonction de la contrainte normale, on remarque ici que l'évolution de la contrainte tangentielle en fonction de la contrainte normale suit aussi une progression quasi linéaire.

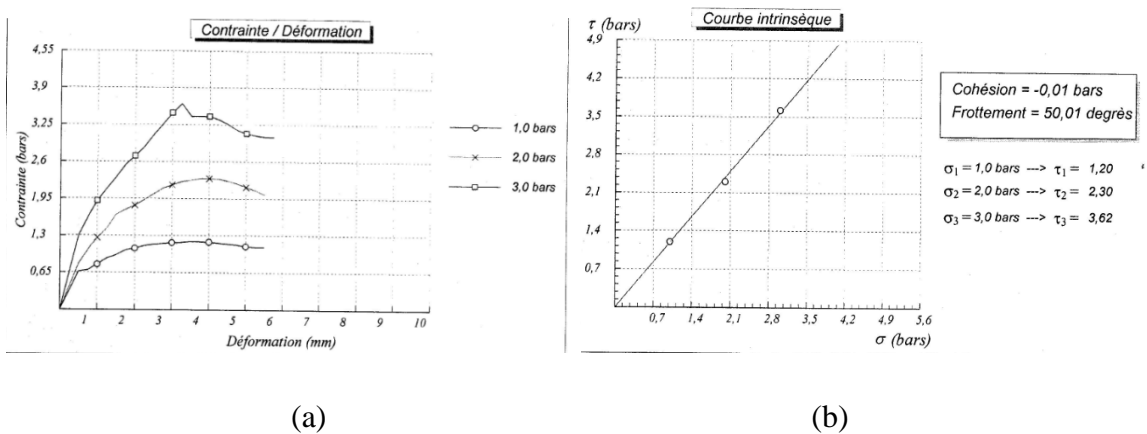
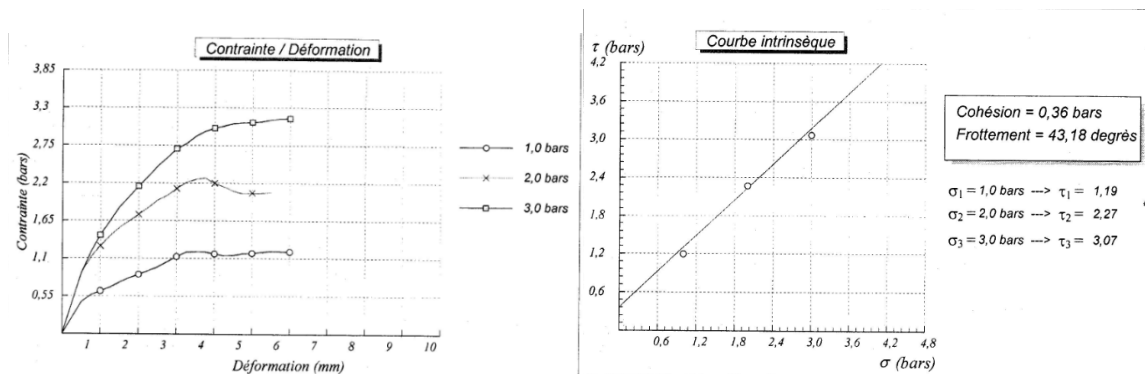


Figure 3.3 : Influence de la contrainte normale sur mélange sable-limon (Fc=10%)

Mêmes constatations sont faites pour le mélange sable-limon (Fc=20%) à savoir que la résistance augmente avec l'augmentation de la contrainte normale (fig.3.4a) et aussi une augmentation linéaire de la contrainte de cisaillement ( $\tau$ ) avec la contrainte normale (fig.3.4b)



(a) (b)  
Figure 3.4 : Influence de la contrainte normale sur mélange sale-limon (Fc=20%)

### 3.3 Influence de la teneur en fines :

La figure 3.5 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale pour le sable mélangé cisailé sous une contrainte normale de 1 bar, les résultats montrent qu'il n'y a pas d'influence des fines sur la résistance au cisaillement pour les faibles déformations horizontales jusqu'à 3mm au-delà on note une augmentation sensible de la résistance au cisaillement avec l'augmentation de la fraction des fines.

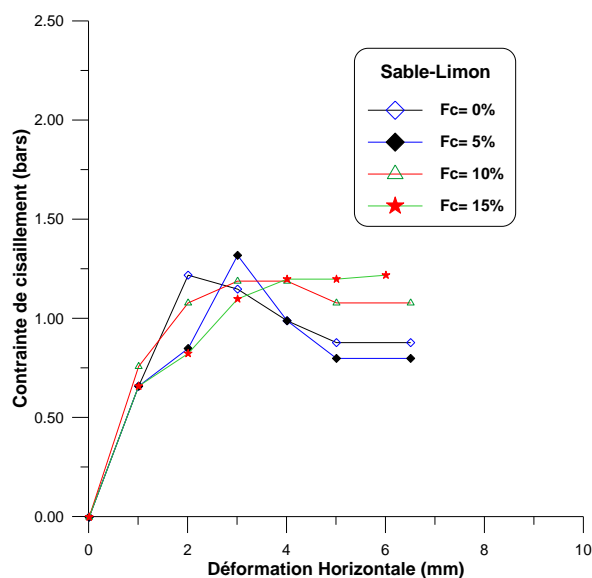


Figure 3.5 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 1bar)

La figure 3.6 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale pour le sable mélangé cisailé sous une contrainte normale de 2 bar,

ici les résultats montrent qu'il y a une augmentation de la résistance pour le mélange sable-limon (5%), au-delà de 5% on note une diminution de la résistance avec l'augmentation de la fraction des fines.

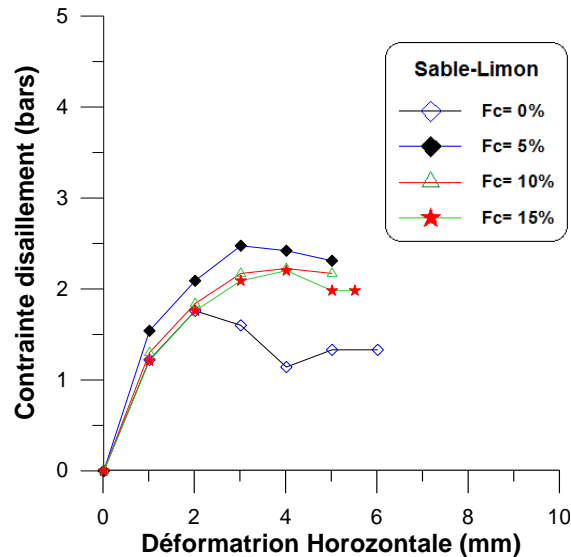


Figure 3.6 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 2bar)

La figure 3.7 montre l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la déformation horizontale pour le sable mélangé cisailé sous une contrainte normale de 3 bar, ici les résultats montrent qu'il y a une augmentation de la résistance pour le mélange sable-limon jusqu'à 10%, au-delà de 10% on note une diminution de la résistance avec l'augmentation de la fraction des fines.

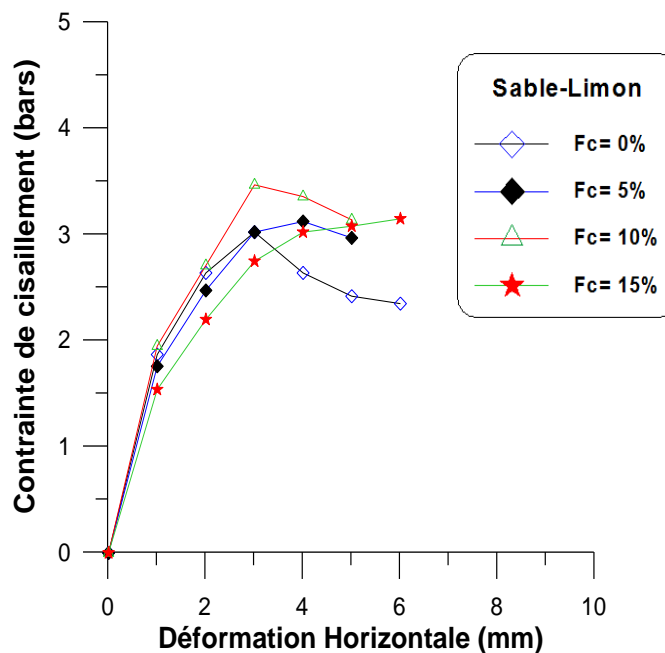


Figure 3.7 : Evolution de la résistance en fonction de la déformation pour le mélange (Cont. 3bar)

**3.3 Influence de la teneur en eau :**

La figure 3.8 illustre l'influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du sable propre. Les résultats montrent qu'il y a une diminution de la résistance pour le sable humide par rapport au sable sec pour les faibles déformations jusqu'à 3mm, au-delà de 4mm on note une inversion de la résistance qui augmente pour le sable humide par rapport au sable sec.

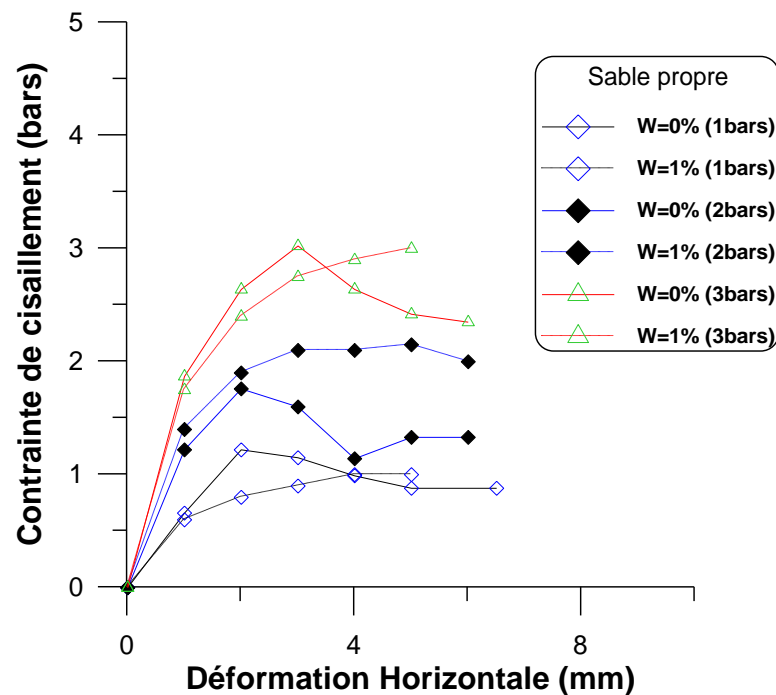


Figure 3.8 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement

Les figures 3.9, 3.10 et 3.11 illustrent l'évolution de la résistance au cisaillement des mélanges (sable-limon) en fonction de la déformation horizontale pour les trois contraintes normales ( $\sigma_n=1, 2$  et  $3$ ). On remarque que pour les trois graphes qu'il y a une diminution de la résistance au cisaillement pour les faibles déformations, au-delà de 4mm on note une augmentation peu importante de la résistance.

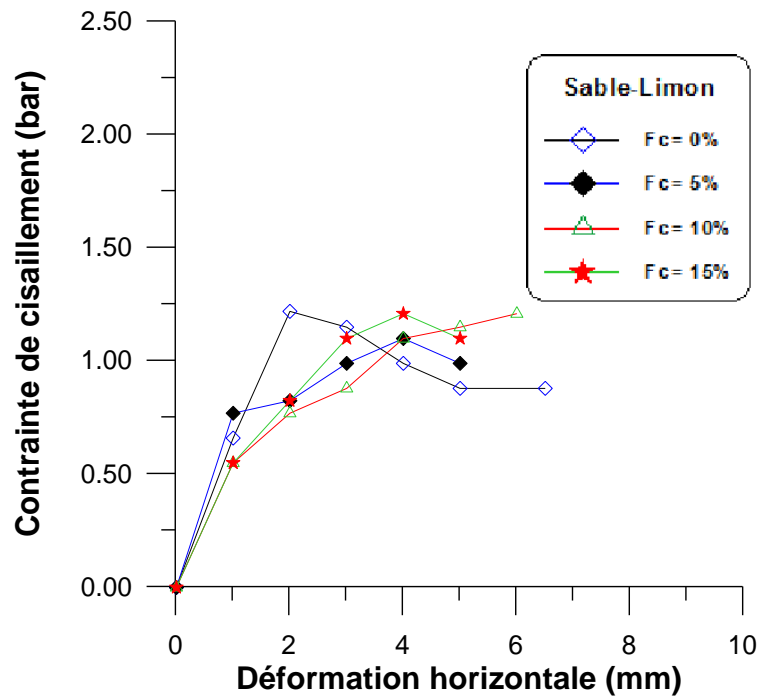


Figure 3.9 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (1bar)

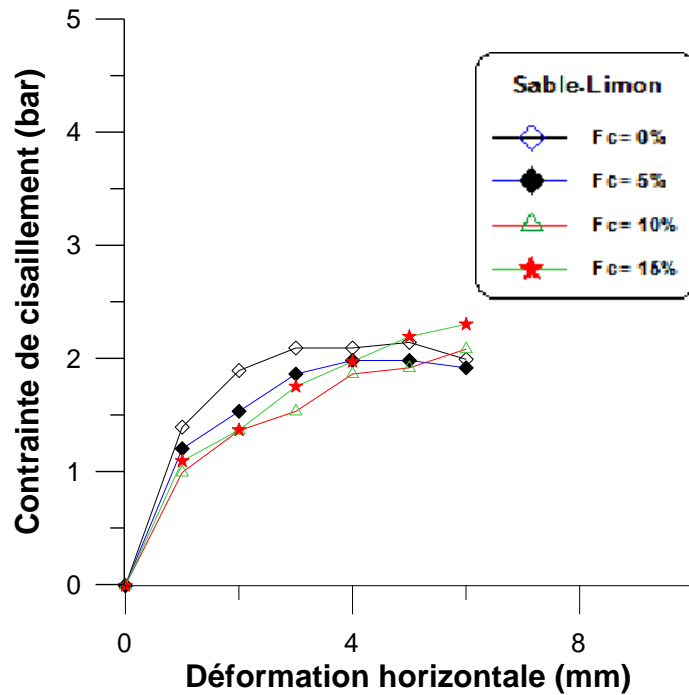


Figure 3.10 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (2bar)

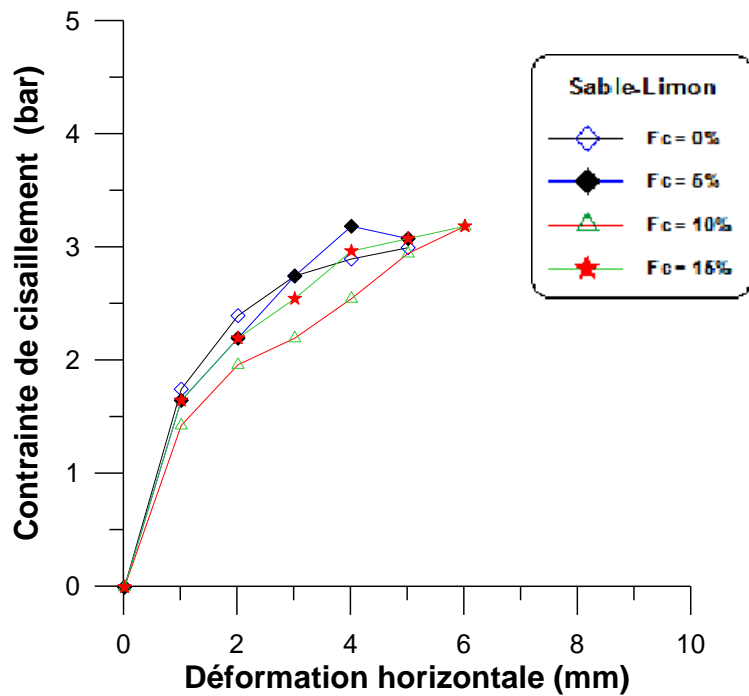


Figure 3.11 : Influence de la teneur en eau sur la résistance au cisaillement du mélange (3bar)

### 3.4 Influence de la teneur en fines sur l'angle de frottement et la cohésion :

Les figures 3.12 et 13 illustrent l'évolution de l'angle de frottement et de la cohésion en fonction de la fraction des fines. On constate d'après la figure 3.12 que l'angle de frottement augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la fraction des fines jusqu'à 10% ensuite il diminue. Pour la cohésion (fig.3.13) on note une légère augmentation jusqu'à 5% de fines puis elle diminue brutalement avec l'augmentation de la fraction des fines jusqu'à 20%.

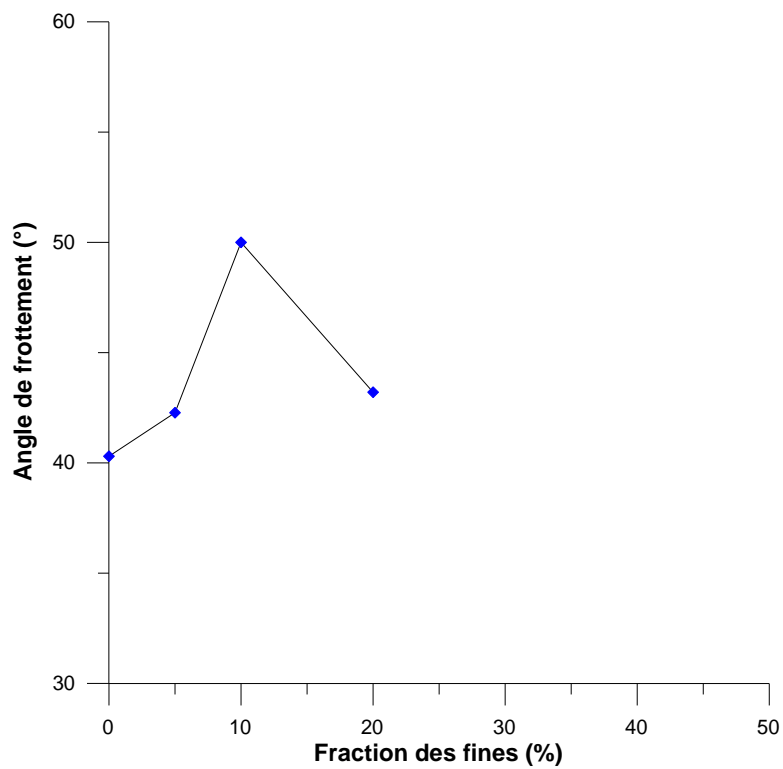


Figure 3.12 : Evolution de l'angle de frottement en fonction de la fraction des fines

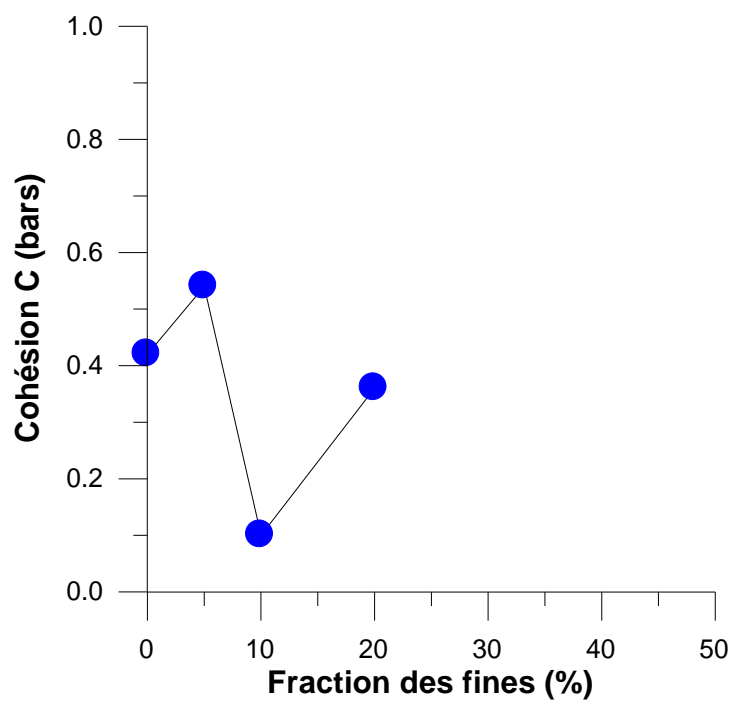


Figure 3.13 : Evolution de la cohésion en fonction de la fraction des fines

**3.4 Influence de la teneur en eau sur l'angle de frottement et la cohésion :**

Les figures 3.14 et 15 illustrent l'évolution de l'angle de frottement et de la cohésion en fonction de la teneur en eau. On constate d'après la figure 3.12 que l'angle de frottement augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la teneur en eau jusqu'à 1% ensuite il diminue. Pour la cohésion (fig.3.13) on note une diminution avec l'augmentation de la teneur en eau.

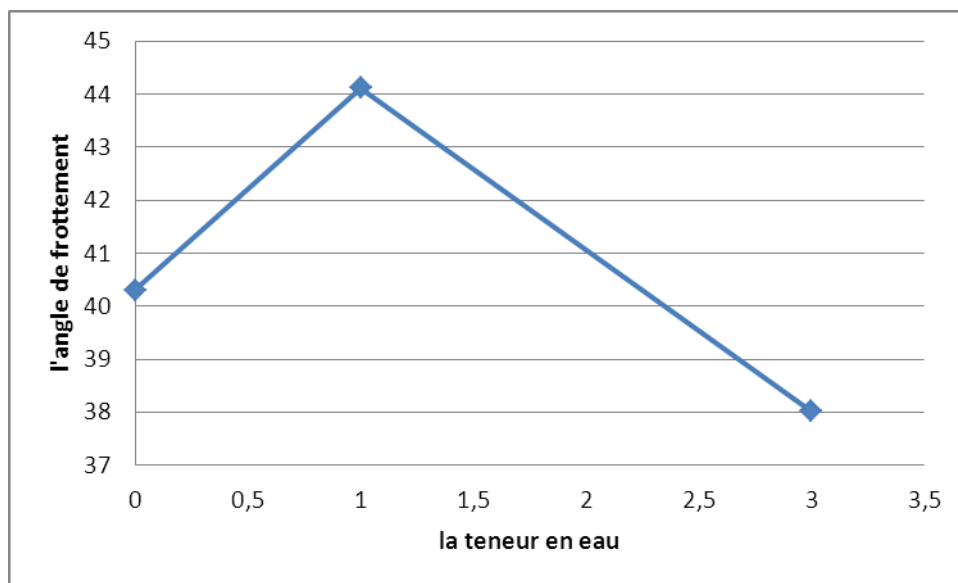


Figure 3.14 : Evolution de l'angle de frottement en fonction de la teneur en eau

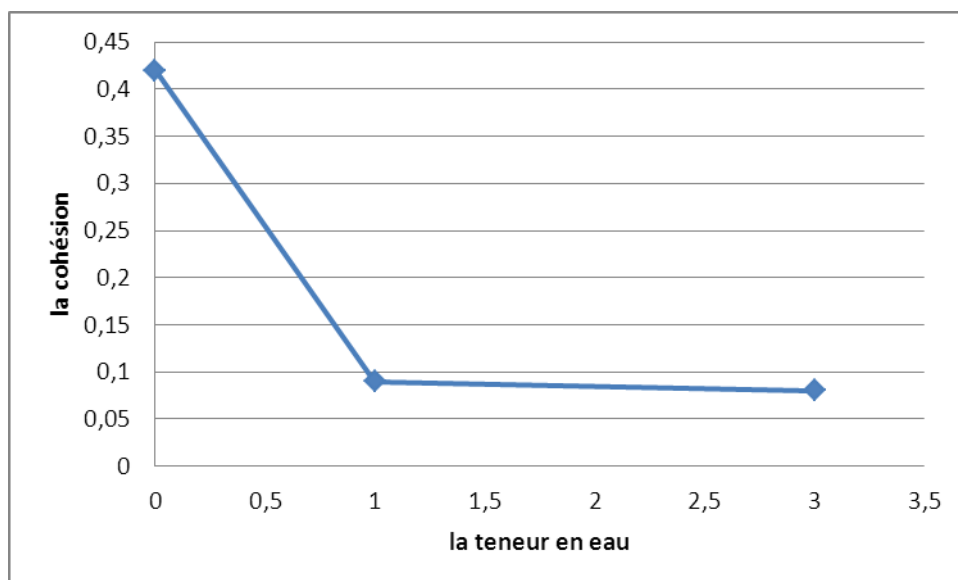


Figure 3.15 : Evolution de la cohésion en fonction de la teneur en eau

## Conclusion Générale

Ce mémoire de master a comporté une étude en laboratoire à l'appareil de Casagrande, en mettant en évidence de la contrainte normale, de la fraction des fines et la teneur en eau. Les échantillons ont été reconstitués en laboratoire en faisant varier la fraction des fines de 0 à 20%

Les résultats des essais de cisaillement ont montré que la résistance au cisaillement du sable et mélange sable limon augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la contrainte normale. La contrainte tangentielle augmente d'une manière quasi linéaire avec l'augmentation de la contrainte normale.

Les essais sur les échantillons de sol (mélange sable-limon) ont montré que la résistance varie peu jusqu'à un certain niveau de déformation horizontale puis la résistance augmente avec l'augmentation de la fraction des fines.

Les essais sur des échantillons de sol secs et humides ont montré que la présence de l'eau dans le sol diminue la résistance. La présence d'eau dans le sol rend ce dernier plus instable.

L'angle de frottement augmente avec l'augmentation de la fraction des fines jusqu'à 10% puis diminue, par contre La cohésion augmente jusqu'à 10% de teneur en fines puis diminue

L'angle de frottement augmente avec l'augmentation de la teneur en eau jusqu'à 1% puis diminue, par contre La cohésion diminue avec l'augmentation de la teneur en eau .

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Amini F. & Sama K.M. (1999):** « Behaviour stratified sand-silt-gravel composites under seismic liquefaction conditions», *Soil Dynamic Earthquake Engineering*, 18, 445-455.

**Benahmed N. Canou J. & Dupla J.C. (2004):** « structure initiale et propriétés de liquéfaction statique d'un sable», *Comptes Rendus de Mécanique*, Elsevier, 332, pp. 887-894.

**Bouckovalas G.D, Andrianopoulos K. I., Papadimitriou A.G. (2003) :** « A critical state interpretation for the cyclic liquefaction resistance of silty sands», *Soil Dynamic and earthquake engineering*», Vol. 23, Issue 2, pp. 115-125.

**Lade R.S. (1974) :** « Specimen preparation and liquefaction of sands», *Journal Geotechnical Engineering*, vol. 100, GT 10, PP. 1180-1184.

**Lade P.V. & Yamamuro J.A. (1997):** « Effects of nonplastic fines on static liquefaction sands», *Canad. Geotech. Journal*, Ottawa 34, 918-928.

**Lee K.L., & Fitton J.A. (1968):** «Factors effecting the dynamic strength of soil. Vibration affects on soil and foundation » *ASTM, STP450*, American society for testing and materials.

**Mullilis J.P., Townsend F.C., & Horz R.C. (1978):** « triaxial testing techniques and sand liquefaction», *ASTM STP 654, Dynamic Geotechnical Testing*, pp. 265-279.

**Seed H.B., & Harder L.F. (1990):** «SPT based analysis of cyclic pore pressure generation an undrained residual strength, *Proceedings, Memorial Symposium of H.B. Seed*», vol.2, pp. 351-376.

**Seed H.B., & Idriss I.M. (1971):** «Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential», *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division. ASCE*, vol.97, SM9, pp. 1249-1274.

**Seed H.B & Peacock W.H. (1971):** « Test procedures for measuring soil liquefaction characteristics», *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division. ASCE*, vol.97 (8), 1099-1119

**Tatsuoka F., Toki S., Okamoto M., Yasuda S., & Tanizawa F. (1986a) :** « Some factors affecting cyclic undrained triaxial strength of sand », *Soils and foudations*, 26, 99-116.

**Tsuchida H. (1970) :** « Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits », *Abstract of the Seminar in the Port and Harbord Recherche Institute (Japon)*,

**Vaid P.V. & Sivathayalan S., (1995):** «Errors in estimates of void ration of laboratory sand specimens», Canadian Geotechnical Journal, vol. 33, pp.1017-1020.

**Yamamuro J.A. & Covert K.M. (2001):** «Monotonic and cyclic liquefaction of very loose sands with high silt content», », Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol., 127, N°4, pp. 314-324.

**Zlatovic S.& Ishihara K. (1997):** « Normalised behaviour of very loose nonplastic soil/ Effects of fabric», Soils and Foundations, Tokyo, 37(4), pp. 47-56.