

## I.1. Introduction

Un sol soumis à différentes sollicitations externes peut produire plusieurs types de réponses caractéristiques de son comportement vis-à-vis de ces sollicitations, parmi ces comportements on peut citer notamment: La résistance au cisaillement et la résistance au phénomène de liquéfaction.

La liquéfaction statique est un phénomène observé notamment dans les sables lâches. Il correspond à une perte importante et rapide de la résistance au cisaillement du matériau, lors de l'application d'un chargement rapide sur un milieu granulaire saturé et généralement lâche.

Il se manifeste par une augmentation de la surpression interstitielle qui provoque une diminution des contraintes effectives. On dit que le matériau s'effondre, dans le cas extrême, la surpression atteint la valeur de la pression de consolidation initiale. Le matériau se comporte alors comme un liquide, on dit qu'il se liquéfie, c'est le phénomène de liquéfaction totale.

La résistance au cisaillement d'un échantillon, dépend principalement de plusieurs paramètres. Parmi les principaux paramètres on peut citer, densité relative, le degré de saturation, confinement, granulométrie, présence des fines.

## I.2. Comportement a la liquéfaction statique des sables

La liquéfaction statique est un phénomène observé notamment dans les sables lâches. Il correspond à une perte importante et rapide de la résistance au cisaillement du matériau, lors de l'application d'un chargement rapide sur un milieu granulaire saturé et généralement lâche.

Il se manifeste par une augmentation de la surpression interstitielle qui provoque une diminution des contraintes effectives. On dit que le matériau s'effondre, dans le cas extrême, la surpression atteint la valeur de la pression de consolidation initiale. Le matériau se comporte alors comme un liquide, on dit qu'il se liquéfie, c'est le phénomène de liquéfaction totale. La liquéfaction n'est pas nécessairement associée à l'annulation de la pression moyenne effective. Castro (1975), Castro et Poulos (1977) définissent la liquéfaction comme phénomène dans lequel un sable perd une partie de sa résistance au cisaillement sous l'action d'un chargement monotone ou cyclique.

Ce phénomène a provoqué plusieurs glissements de terrain comme:

- Le glissement de l'aéroport de Nice (Octobre 1977) (Seed et al. 1988);
- Le glissement d'un massif de sable destiné à recevoir des plates-formes dans la mer canadienne de Beaufort (1982 et 1983) (Sladen et al. 1985b et 1987; Been et al. 1987; Konrad, 1991; et Lade, 1993).

La figure I.1 illustre le résultat typique d'un essai de liquéfaction statique monotone, obtenu par Canou et al. (1994) sur le sable d'Hostun Rf. Le plus souvent, la liquéfaction est induite par le chargement cyclique résultant des séismes ou de la houle (Niigata 1964, San Fernando 1971, Kobé 1995).

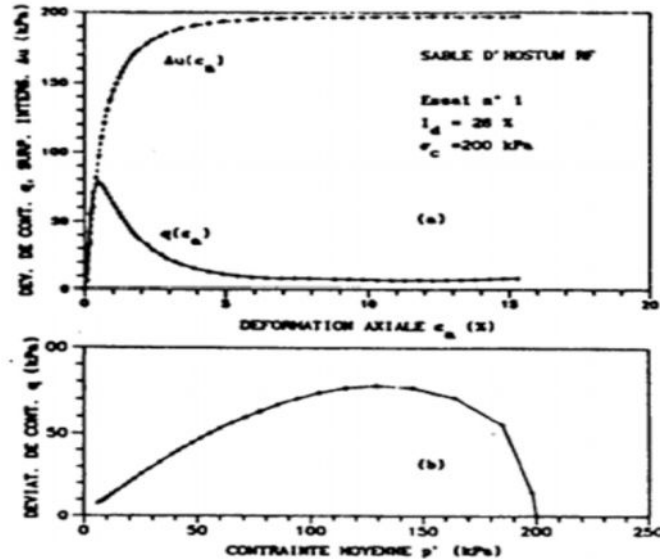


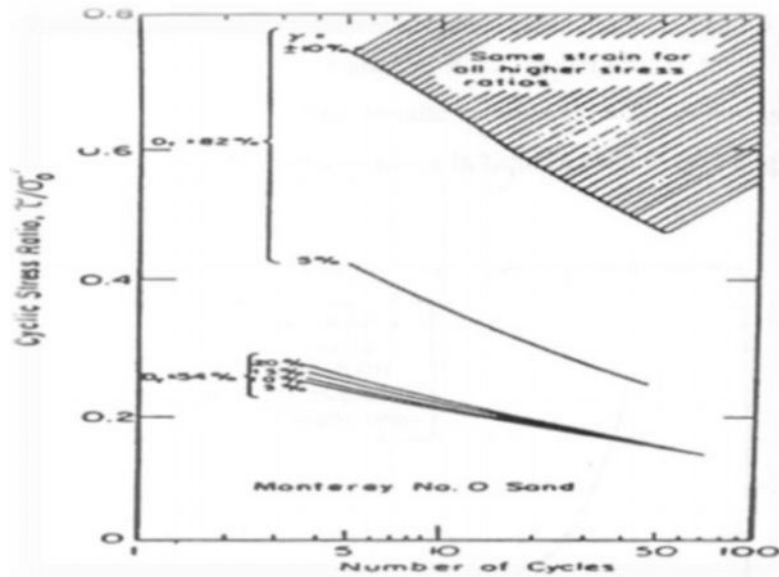
Figure I.1: Essai de liquéfaction statique (Canou et al.1994).

### I.3. Résistance à la liquéfaction

#### I.3.1. Courbe de résistance à la liquéfaction

Le potentiel de liquéfaction est défini par l'amplitude de la contrainte cyclique de cisaillement  $\tau_{cyc}$  conduisant pour un nombre de cycles donné à la liquéfaction totale pour un sable lâche où à une déformation donnée pour un sable dense. Pour caractériser le potentiel de liquéfaction d'un sol, on reporte dans le plan ( $\tau_{cyc}/\sigma'_c$ , nombre de cycles) les points correspondants à différentes amplitudes de déformations (5%, 10%, 20%).

Le lieu de ces points pour une déformation donnée est appelé "Courbe de résistance à la liquéfaction". Pour une amplitude de chargement, cette courbe donne le nombre de cycles nécessaire à la génération des grandes déformations. La figure I.2 représente l'allure de ces courbes pour différentes valeurs de la densité relative (Seed, 1979). On constate que le nombre de cycle augmente sensiblement lorsque l'amplitude des cycles diminue. On observe également que la résistance à la liquéfaction augmente d'une manière sensible avec la densité relative du sable.



**Figure I.2:** Courbe de résistance à la liquéfaction pour différents sables (Seed, 1979).

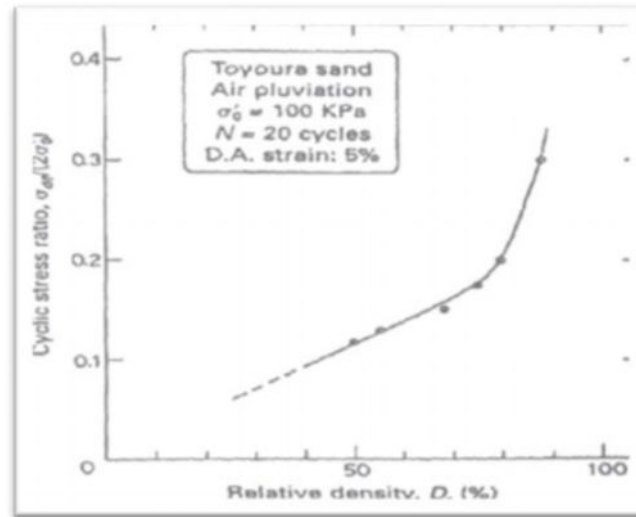
### I.3.2. Paramètres influant sur la résistance au cisaillement

De nombreux facteurs peuvent avoir une influence sur la résistance au cisaillement de sols, qu'ils soient de nature physique ou plus globalement liés à l'environnement. Parmi les principaux paramètres, on peut citer entre autre, la densité relative, le confinement, la granulométrie, la présence des fines, le degré de saturation, Structure du sol... etc.

#### I.3.2.1. Variation de densité relative

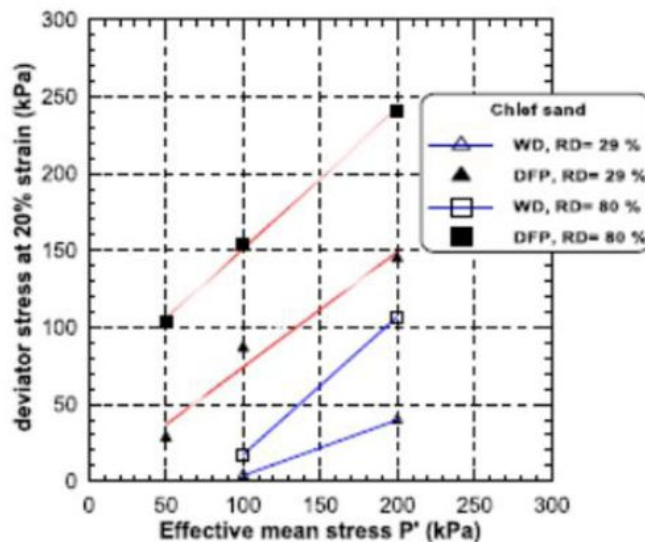
La densité relative affecte d'une manière très sensible le potentiel de liquéfaction des sols. La figure I.3 donne les résultats obtenus par Tatsuoka et al (1986b) sur le sable de Toyoura. On constate que la résistance à la liquéfaction augmente de façon linéaire avec la densité relative jusqu'à une valeur de densité relative  $D_r = 70\%$ . Après cette valeur, on remarque une augmentation importante de la résistance avec l'augmentation de la densité relative.

De plus, plusieurs auteurs ont confirmé ces constatations, Kramer et Seed (1988), Konrad (1990), Verdugo (1992), Meghachou (1993), Benahmed (2001) et Krim et al (2012, 2013) ont observé une augmentation de la résistance avec l'augmentation de la densité relative.



**Figure I.3:** Effet de la densité relative sur la résistance à la liquéfaction (Tatsuoka et al. 1986).

Della et al. (2011) en réalisant des essais triaxiaux drainés et non drainés sur des échantillons du sol de Chlef en utilisant deux méthodes de préparation d'échantillons en laboratoire à savoir le déversement à sec et la pluviation humide, ont trouvé que la résistance augmente avec la densité relative et les échantillons préparés avec le déversement à sec présentent une résistance plus élevée que ceux préparés avec la pluviation humide (Figure I.4).

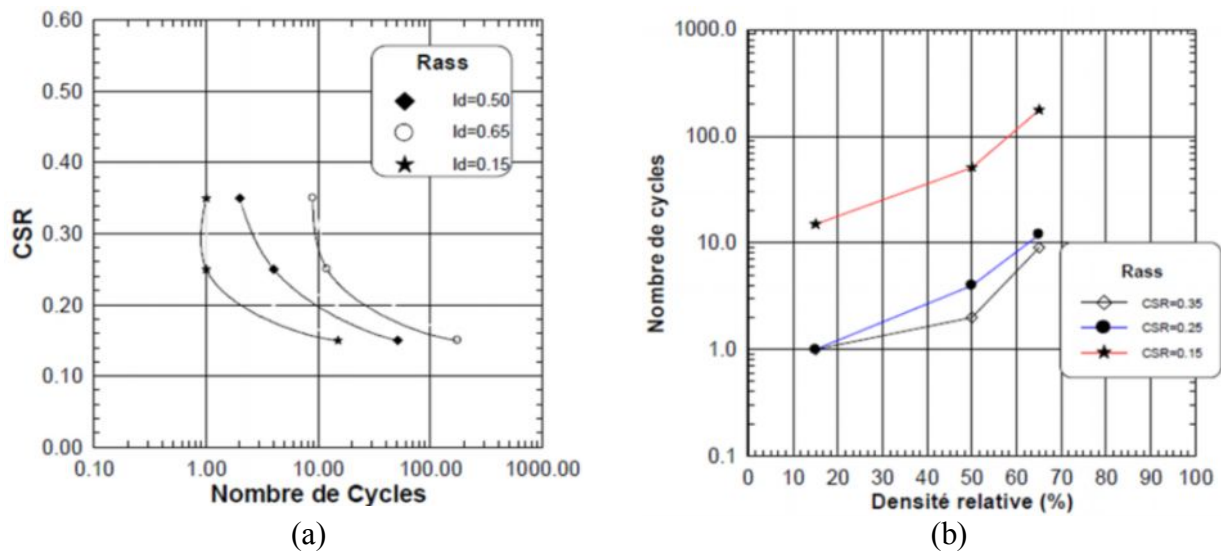


**Figure I.4:** Influence de la densité relative sur la réponse non drainée du sable (Della et al., 2011 ).

Arab et al. (2010) ont réalisé des essais cycliques sur le sable d'Oued Rass, dont les résultats sont représentés sur la figure I.5. La figure I.5a illustre l'influence de la densité relative sur le potentiel de liquéfaction. Elle montre d'une manière très claire que l'augmentation de la densité relative

conduit à une importante translation importante de la courbe de potentiel de liquéfaction vers la droite. C'est-à-dire, que l'augmentation de la densité relative améliore la résistance à la liquéfaction de ce sable.

La figure I.5b montre l'influence de la densité relative sur la résistance à la liquéfaction définie par l'amplitude du chargement induisant la liquéfaction après 15 cycles. Cette figure montre bien que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de la densité relative et la diminution de l'amplitude du chargement.



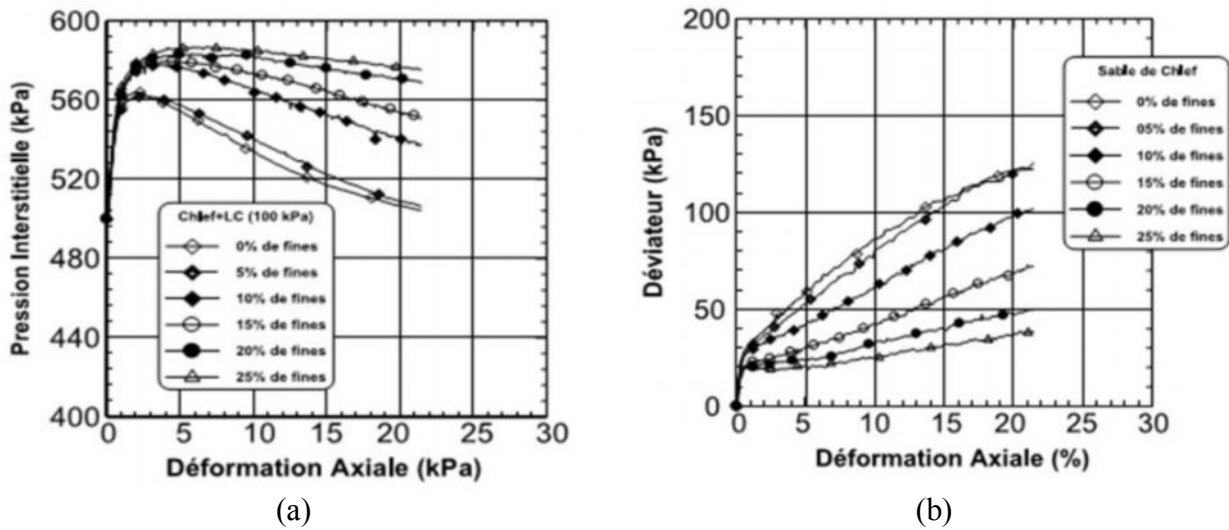
**Figure I.5:** Influence de la densité relative sur le potentiel de liquéfaction du sable d'Oued Rass (Arab et al. 2010).

a) Courbe de potentiel de liquéfaction, b) Résistance à la liquéfaction

### I.3.2.2. Présence de fines

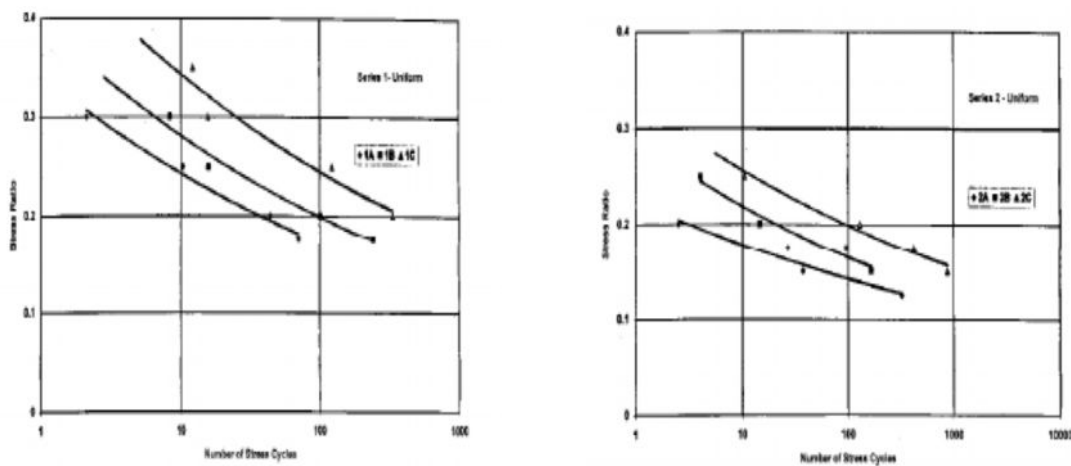
Des études en laboratoire ont montré que l'augmentation de la teneur en fines dans un sable augmente la résistance à la liquéfaction (Amini et Qi 2000, Seed et al. 1985), tandis que d'autres résultats montrent qu'elle diminue la résistance à la liquéfaction des sables (Chien et al. 2002, Xenaki et al. 2003, Rahman et al. 2014). D'autres ont trouvé que la résistance à la liquéfaction diminue initialement jusqu'à une certaine teneur en fines puis elle réaugmente avec l'augmentation de cette teneur (Polito et al. 2001, Wang 2010, ChoySoon Tana et al. 2015).

Les essais non drainés réalisés par Arab (2009) sur un mélange du sable de Chlef (Algérie) et du limon de l'Oued de Chlef pour différentes valeurs de fraction des fines (entre 0 et 50%) à une pression de confinement initial de 100kPa. La figure I.6 montre que l'augmentation de la fraction des fines conduit à une augmentation de la pression d'eau et par conséquent à une réduction de la résistance du mélange au déviateur comme l'illustre la figure I.6a.



**Figure I.6:** Influence de la teneur des fines sur le comportement non drainé d'un mélange Sable-limon (Arab, 2009).

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 I.7. 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>ère</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%.



**Figure I.7:** Effet de la teneur en fines sur la résistance à la liquéfaction ( $D_r = 50\%$ ) (Amini et Sama, 1999).

### I.3.2.3. 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 I.8 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.

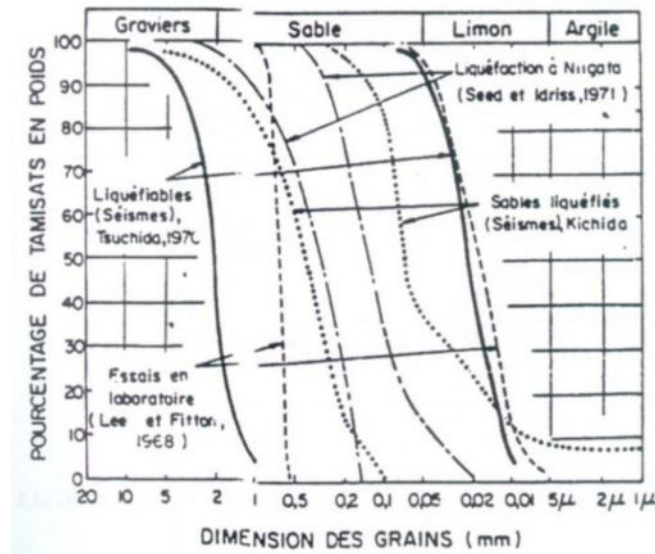
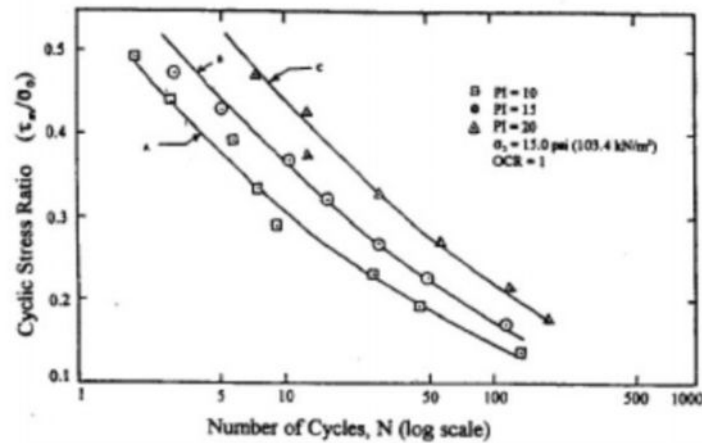


Figure I.8: Fuseau granulométrique des sables liquéfiables (Pecker, 1984).

### I.3.2.4. Plasticité

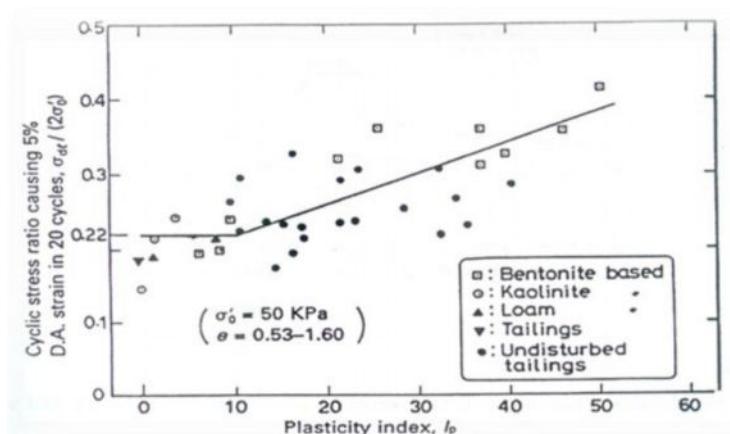
L'influence de la plasticité peut être évaluée à l'aide des limites d'Atterberg qui permettent de définir l'indice de plasticité ( $I_p = w_L - w_p$ ) associée à la gamme des teneurs en eau à l'intérieur de laquelle le sol se comporte en matériau plastique. Les sols présentant un indice de plasticité  $I_p$  modéré à élevé ne sont pas sujets à la liquéfaction bien qu'ils puissent subir un ramollissement cyclique (Kramer, 1996). La résistance à la liquéfaction augmenterait avec la valeur de l'indice de plasticité.

Puri (1984, 1990) a réalisé des essais triaxiaux sur des échantillons remaniés de limon et mélange argile-limon avec un indice de plasticité variant de 10 à 20% (Figure I.9). La principale conclusion de cette étude est que la résistance du mélange dans le domaine 10-20% augmente avec l'augmentation de l'indice de plasticité.



**Figure I.9:** Influence de l'indice de plasticité sur la résistance à la liquéfaction (Puri, 1984).

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 1.10. 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.



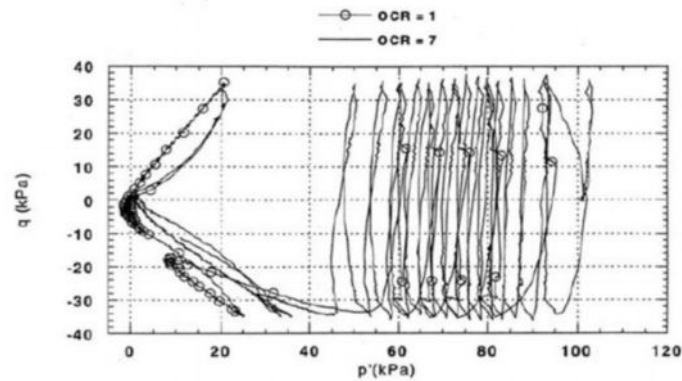
**Figure I.10:** Influence de l'indice de plasticité sur la résistance à la liquéfaction (Ishihara et Kosecki, 1989).

### 1.3.2.5. Surconsolidation

Plusieurs chercheurs ont montré que le rapport de surconsolidation a un effet significatif sur la résistance à la liquéfaction des sols (Seed et al. 1975; Seed et Peacock, 1971). Bouferra a étudié l'influence de la surconsolidation sur la résistance cyclique d'un mélange sable-argile avec 15% d'argile. Il a noté que la résistance à la liquéfaction augmente considérablement après la surconsolidation. Pour un rapport de surconsolidation de 7, la liquéfaction est atteinte au 17<sup>ème</sup> cycle alors qu'elle est atteinte au bout de six (06) cycles pour un échantillon normalement consolidé



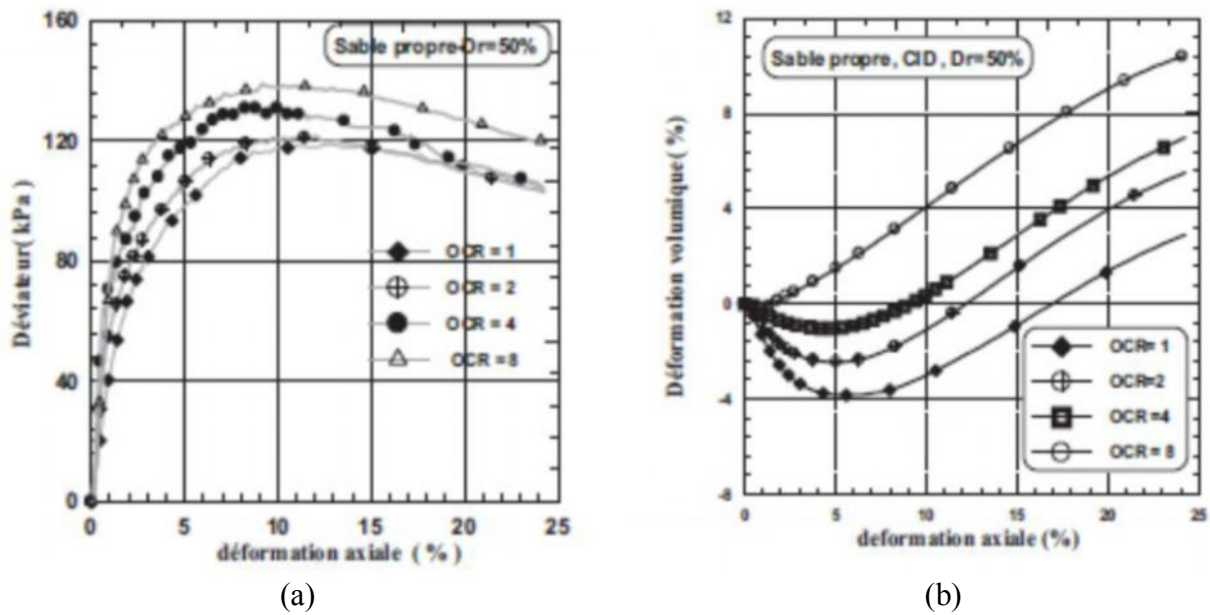
(Figure I.11). Une diminution de la tendance à la contractance a été observée, ce qui a induit une réduction du taux de développement de la pression interstitielle.



**Figure I.11:** Influence de la surconsolidation sur la liquéfaction d'un sable argileux (Bouferra, 2001).

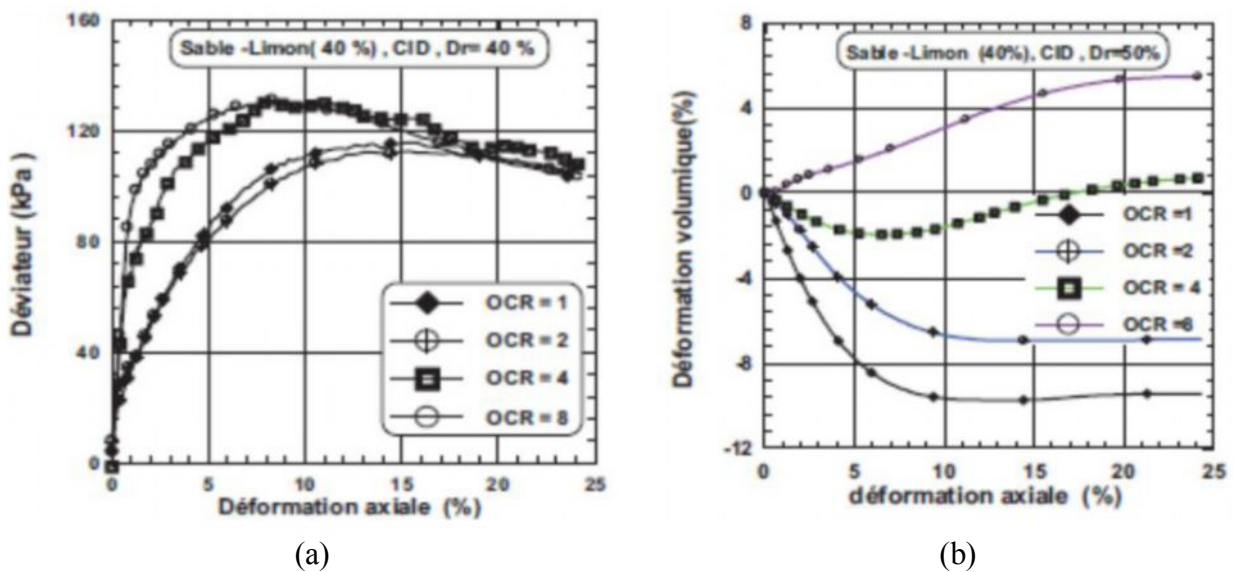
Récemment (KhinSwe Tint et al. 2007, 2009), en réalisant des essais triaxiaux drainés et non drainés sur le sable de Nakdong River, ils ont constaté que la résistance à la liquéfaction diminue progressivement lorsque OCR augmente. Dans le but d'évaluer l'influence de la surconsolidation sur le comportement drainé du sable de Chlef A. Djafar et al.(2011) ont réalisé des essais triaxiaux drainés sur le sable propre et sur un mélange à 40% de limon avec des rapports de surconsolidation (OCR) variant de 1 à 8. On note que pour tous les essais réalisés, la résistance au cisaillement caractérisée par le déviateur de contrainte augmente d'une manière très sensible avec l'augmentation du rapport de surconsolidation. On constate aussi que l'augmentation de la fraction des fines de 0 à 40% induit une diminution de la raideur initiale du sol et de la résistance du sol (Déviateur maximal) (Figure I.12a, I.13a). Les pics du déviateur pour le sable propre varient entre 119kPa (OCR = 1) et 138.26kPa (OCR = 8). Pour les sables à 40% de limon, le déviateur au pic varie entre 115.29kPa (OCR =1) et 130.6kPa (OCR = 8).

Djafar et al. (2011) note que les échantillons avec un rapport de surconsolidation (OCR) égale à 1, 2 et 4 présentent une phase de contractance suivie par une phase de dilatance; cette phase de dilatance tend à disparaître avec l'augmentation de la fraction des fines ( $F_c$ ); pour les échantillons avec un rapport de surconsolidation égale à 8, et observe uniquement une phase de dilatance pour toutes les fractions des fines. On remarque que pour l'essai avec  $F_c = 40\%$ , la phase de dilatance tend à disparaître pour les échantillons avec des rapports de surconsolidation (OCR) égaux à 1 et 2. Pour les échantillons avec un OCR égaux 4 et 8, ces phases de dilatance tendent à diminuer d'intensité (Figure I.13b), cette diminution avec l'augmentation de la fraction des fines résulte du rôle des fines dans l'augmentation de la contractance du sol.



**Figure I.12:** Réponse drainée du sable propre d'Oued Chlef  
(Confinement =100kPa,  $e = 0.694$ ) (Djafar et al. 2011).

a) Déviateur-déformation axiale, b) Déformation volumique-déformation axiale



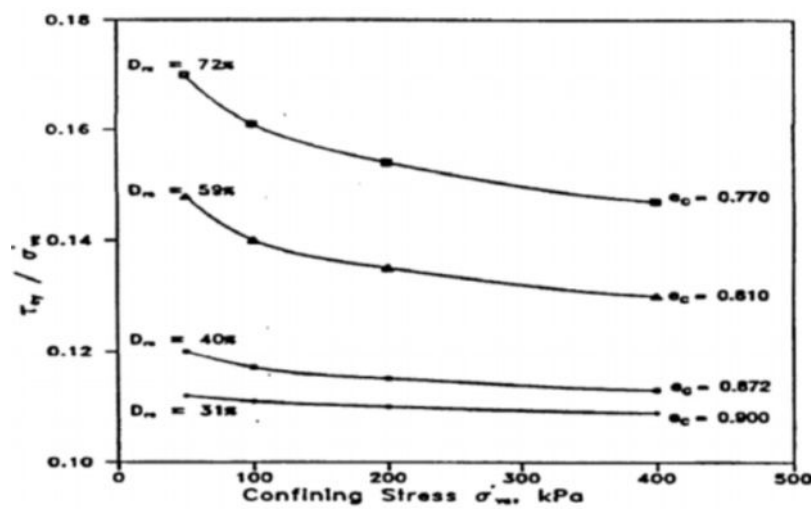
**Figure I.13:** Réponse drainée mélange à 40% fines  
(Confinement =100kPa,  $e = 0.605$ ) (Djafar et al. 2011).

a) Déviateur-déformation axiale, b) Déformation volumique-déformation axiale

### I.3.2.6. Confinement

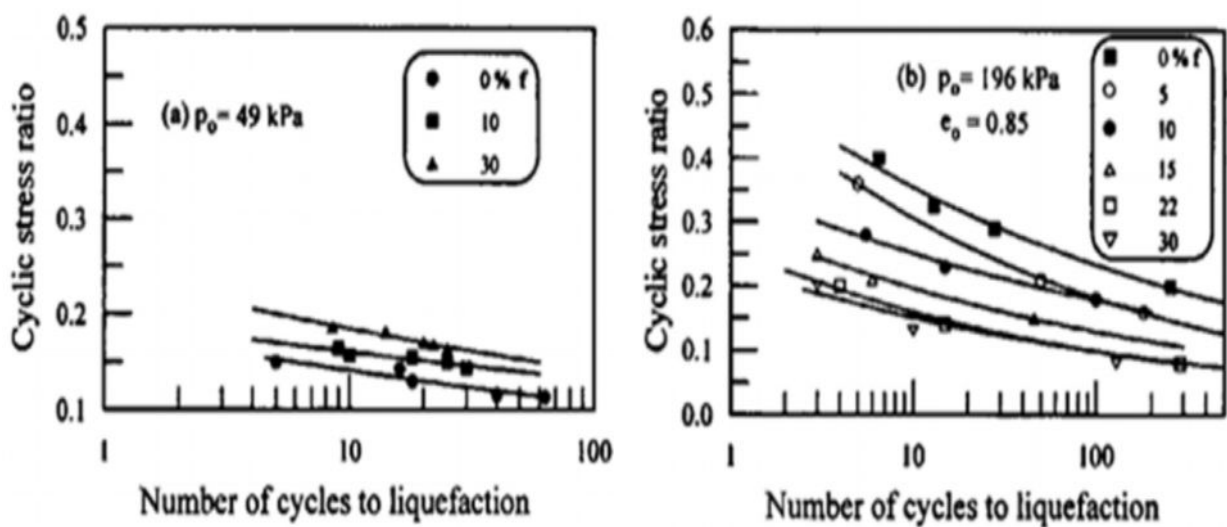
Le potentiel de liquéfaction des sables est influencé par la contrainte de confinement. Les résultats obtenus par Vaid et Sivathayalan (1995) montrent que la contrainte de confinement n'influe pas beaucoup sur la résistance à la liquéfaction des sables lâches ( $D_r = 31\%$ ); par contre pour les sables denses, on remarque que la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation

de la contrainte de confinement (Figure I.14). En effet, on sait que la dilatance des sols denses augmente avec la diminution du confinement.



**Figure I.14:** Influence de la contrainte de confinement sur le potentiel de liquéfaction des sables (Vaid et Sivathayalan, 1995).

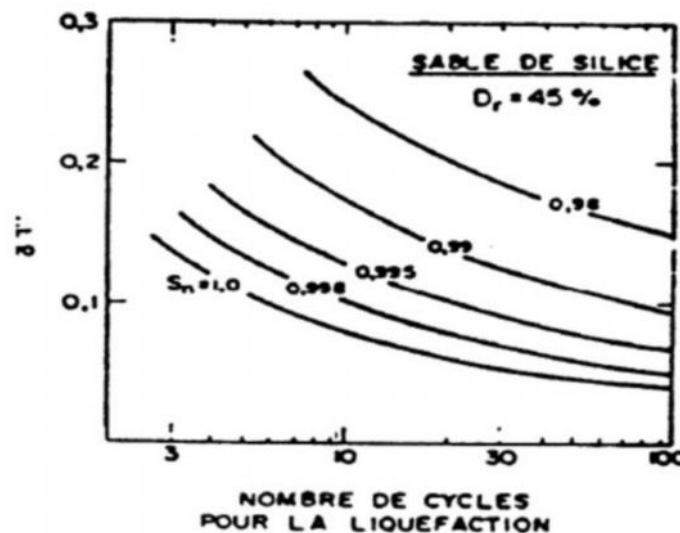
Bouckovalas et al. (2002) ont trouvé que la résistance à la liquéfaction est très influencée par la contrainte de confinement. La figure I.15 montre l'évolution de la résistance à la liquéfaction en fonction du nombre de cycles (Contrainte de confinement de 49kPa). On note que la résistance à la liquéfaction augmente avec l'augmentation de teneur en fines. Par contre pour un confinement de 196kPa, on observe la tendance inverse, la résistance à la liquéfaction diminue avec l'augmentation de la teneur en fines.



**Figure I.15:** Effet des fines et du confinement sur la résistance à la liquéfaction (Bouckovalas et al. 2002).

### I.3.2.7. Saturation

Le degré de saturation d'un échantillon peut être déterminé expérimentalement à l'aide du coefficient de Skempton B qui vise à caractériser la réponse du sol sur lequel une contrainte isotrope est appliquée. Une valeur de B proche de l'unité indique une bonne saturation, l'effet de la contrainte appliquée étant directement relié à la réponse du sol. Yang et al. (2004) ont traité de nombreux résultats provenant d'études sur le degré de saturation et ont conclu que la résistance à la liquéfaction était significativement augmentée lors de la diminution du coefficient de Skempton B. La figure I.16 montre l'incidence d'une saturation partielle sur la résistance au cisaillement cyclique, cette influence a été étudiée par Martin et al. (1978). On constate que la résistance à la liquéfaction augmente d'une manière sensible avec la diminution du degré de saturation.

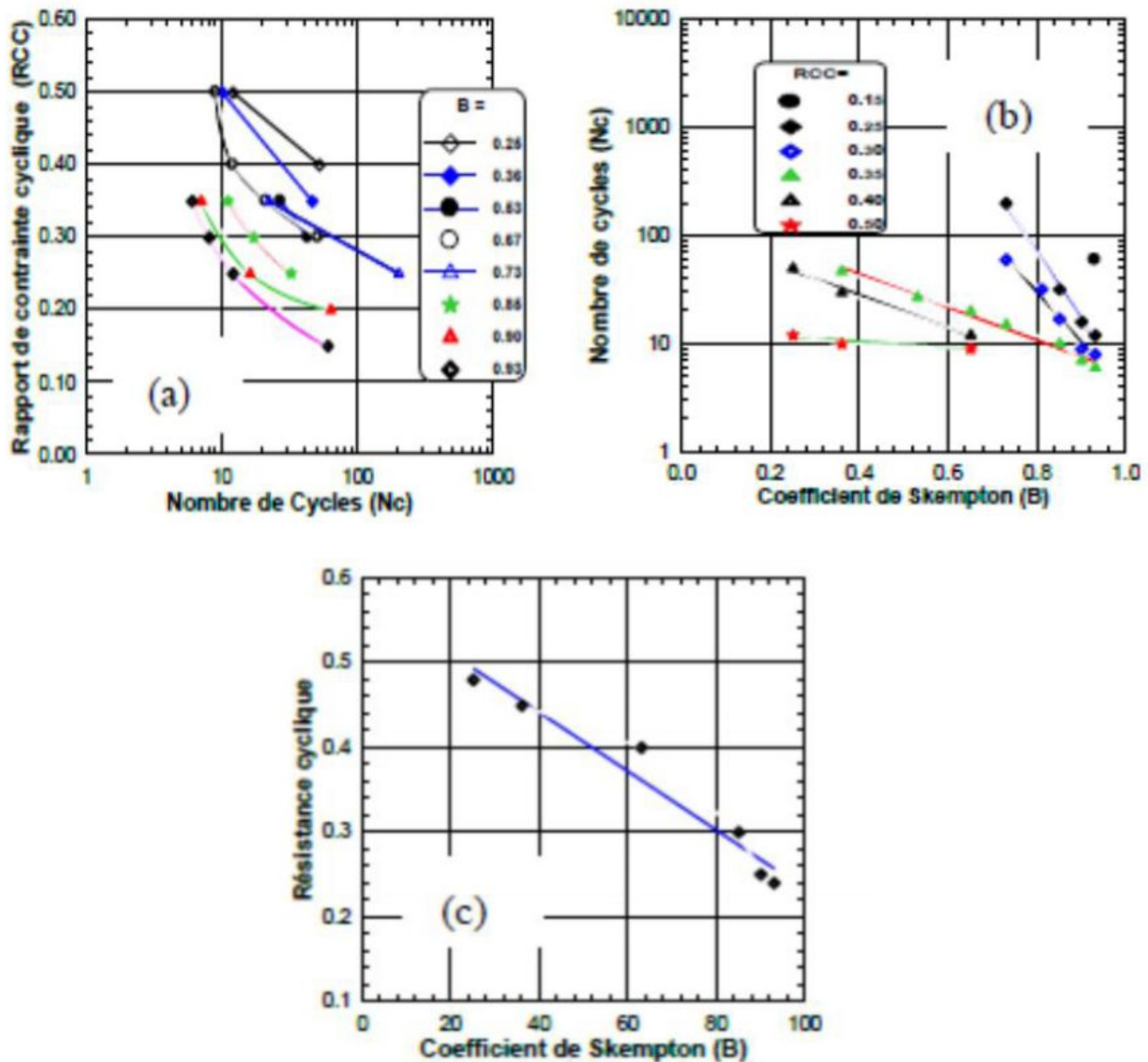


**Figure I.16:** Influence de la saturation sur la résistance au cisaillement cyclique  
(Martin et al. 1978)

Arab et al. (2012) ont réalisé des essais sur du sable d'Hostun Rf (France), pour étudier l'influence du degré de saturation évalué en termes de coefficient de Skempton B sur le comportement d'un sable granulaire. L'étude a comporté des essais triaxiaux non drainés cycliques qui ont été réalisés à une densité relative initiale  $D_r = 65\%$  pour des coefficients de Skempton B variant entre 25 et 95%.

La figure I.17a montre les échantillons ayant un faible coefficient de Skempton B (Degré de saturation) présentent un potentiel de liquéfaction très élevé par rapport aux échantillons préparés avec un coefficient de Skempton B très élevés. Ceci est illustré dans la figure I.11c qui montre que la résistance à la liquéfaction (défini par Ishihara comme étant la liquéfaction initiale à 15 cycles) augmente avec la diminution du coefficient de Skempton B selon une régression linéaire ( $C_c =$

0.95). La figure I.17b montre l'influence du coefficient de Skempton B sur l'évolution du nombre de cycles nécessaires à la liquéfaction pour les différents rapports de contrainte cyclique (RCC). On remarque que pour le chargement de grande amplitude (RCC = 0.5), le nombre de cycles nécessaires à la liquéfaction varie peu avec le coefficient de Skempton B ( $N_c = 9, 10$  et  $11$  pour  $B = 0.67, 0.36$  et  $0.25$  respectivement). Pour des chargements plus faibles (RCC < 0.40), le nombre de cycles nécessaire à la liquéfaction augmente sensiblement avec la diminution de B.



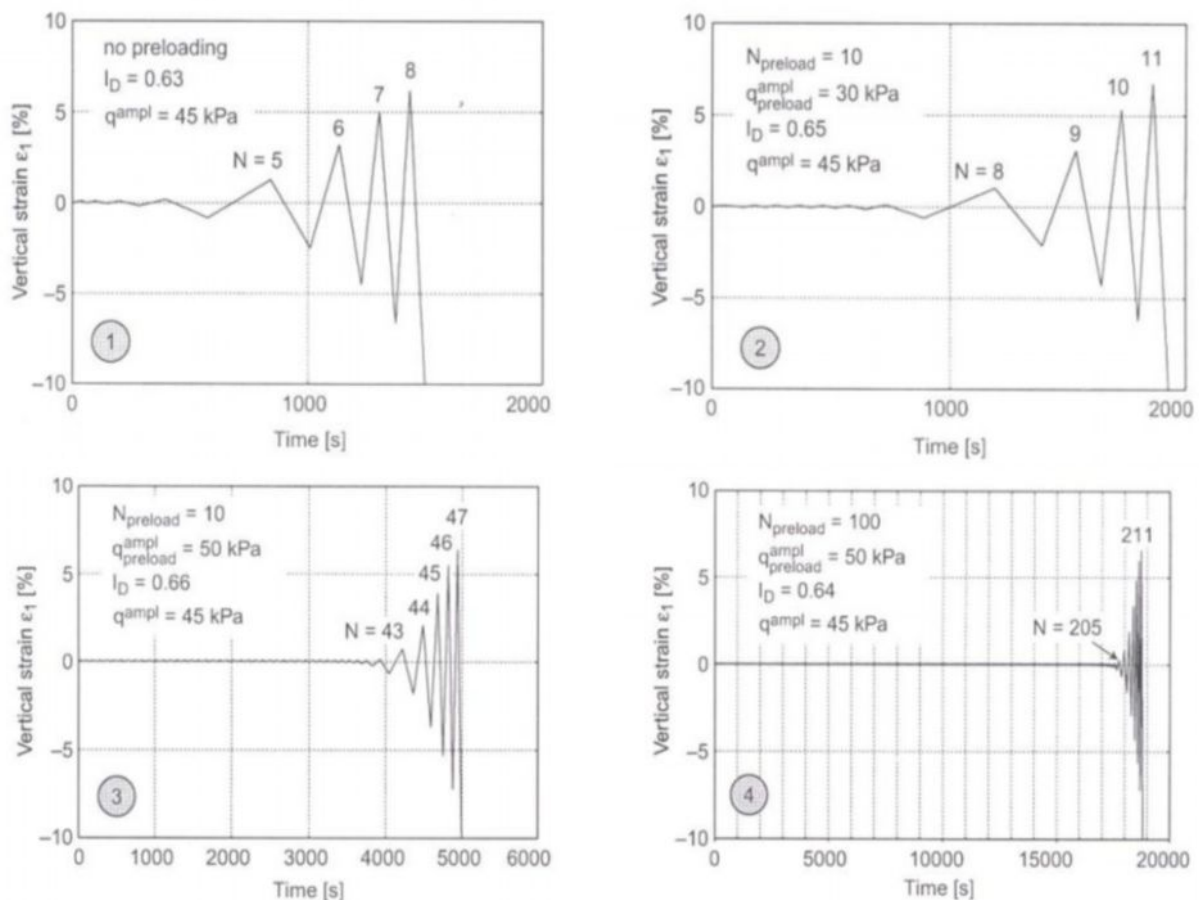
**Figure I.17:** Influence du coefficient de Skempton B (Degré de saturation) sur la résistance cyclique (Arab et al. 2012).

### I.3.2.8. Pré-cisaillement

Dans certaines applications, le sol peut être initialement soumis à un pré cisaillement (ouvrages de soutènement, fondations, pentes,...). Dans ce cas, il est nécessaire d'analyser l'influence du Pré-cisaillement sur le potentiel de liquéfaction.

Finn et al. (1970) ont étudié l'influence de l'histoire de chargement sur la résistance à la liquéfaction des sables, ils ont montré que cette résistance augmente lorsque l'échantillon est soumis préalablement à des petits cycles de chargement suivi d'un drainage; d'autres auteurs ont montré par contre qu'un pré-cisaillement avec de grandes amplitudes peuvent conduire à une diminution de la résistance cyclique. Ishihara et Okada (1978) ont interprété ce comportement à l'aide du concept de ligne de transformation de phase / état caractéristique, tout en précisant que tout chargement cyclique, suivi d'un drainage dans la zone contractante conduit à une densification du matériau sans que la structure soit fortement modifiée; ceci donne une augmentation de la résistance au cisaillement cyclique. A l'inverse, si le chargement préalable comporte un trajet dans le domaine dilatant, il y'a un désenchevêtrement qui conduit à une nouvelle structure avec une résistance est plus faible.

Wichmann et al. (2005) trouve qu'un échantillon sans pré-cisaillement initial atteint la liquéfaction au bout de 5 cycles, alors qu'il l'atteint après 8 cycles pour un échantillon pré-cisaillé avec un déviateur d'amplitude  $q_{am} = 30\text{kPa}$  et un nombre de cycles  $N_{précis} = 8$ . Le pré-cisaillement avec un  $q_{am} = 50\text{kPa}$  et  $N_{précis} = 10$  cycles retarde la liquéfaction et l'atteint après 43 et 205 cycles pour le  $q_{am} = 50\text{kPa}$  et  $N_{précis} = 100$  cycles (Figures I.18).

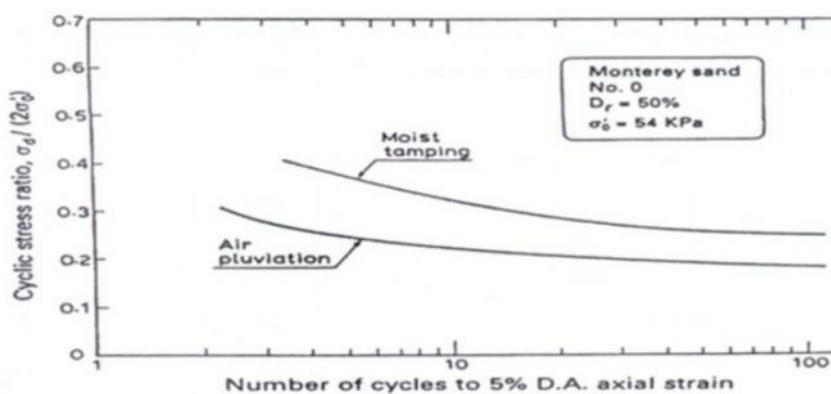


**Figure I.18:** Influence du pré-cisaillement initial sur la résistance à la liquéfaction

(Wichmann et al. 2005).

### I.3.2.9. Effet des modes de déposition des échantillons

Plusieurs chercheurs ont analysé l'influence du mode de préparation des échantillons sur le potentiel de liquéfaction (Lade 1974; Mullilis et al. 1977; Tatsuoka et al. 1986a; Amini et Sama 1999). La figure I.19 montre que la résistance à la liquéfaction est plus élevée pour des échantillons préparés par damage humide que par pluviation 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.



**Figure I.19 :** Influence du mode de préparation sur le potentiel de liquéfaction d'un sable (Mullilis et al. 1977).

La méthode de préparation des échantillons en laboratoire peut engendrer des variations significatives au niveau de la structure d'un sol par rapport à une déposition naturelle. Ce paramètre peut influencer la tendance d'un sol à se dilater ou à se contracter (Thevanayagam et al. 2000). La méthode de déposition hydraulique de sols pulvérulents, telle que celle préconisée pour les résidus miniers tend à augmenter fortement le potentiel à la liquéfaction (McNeilman et al. 1988; James, 2009).

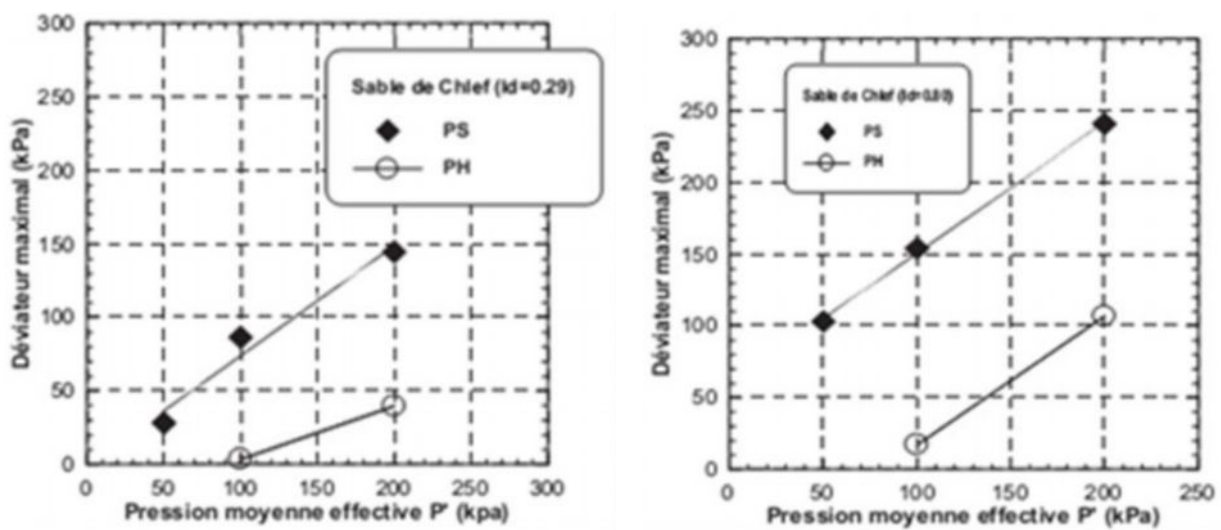
Dans le but d'évaluer l'influence de la méthode de préparation des échantillons sur le comportement non drainé du sable de Chlef, Della et al. (2009) ont réalisé des essais triaxiaux non drainés selon deux méthodes de préparation: Pluviation à sec (PS) et placement humide (PH) avec une teneur en eau de 3%.

La figure I.20 montre l'influence de la méthode de déposition sur le déviateur maximal. On note que la méthode de déposition par pluviation à sec (PS) donne des valeurs du déviateur maximal beaucoup plus importants donc une résistance à la liquéfaction beaucoup plus grande, à l'inverse de

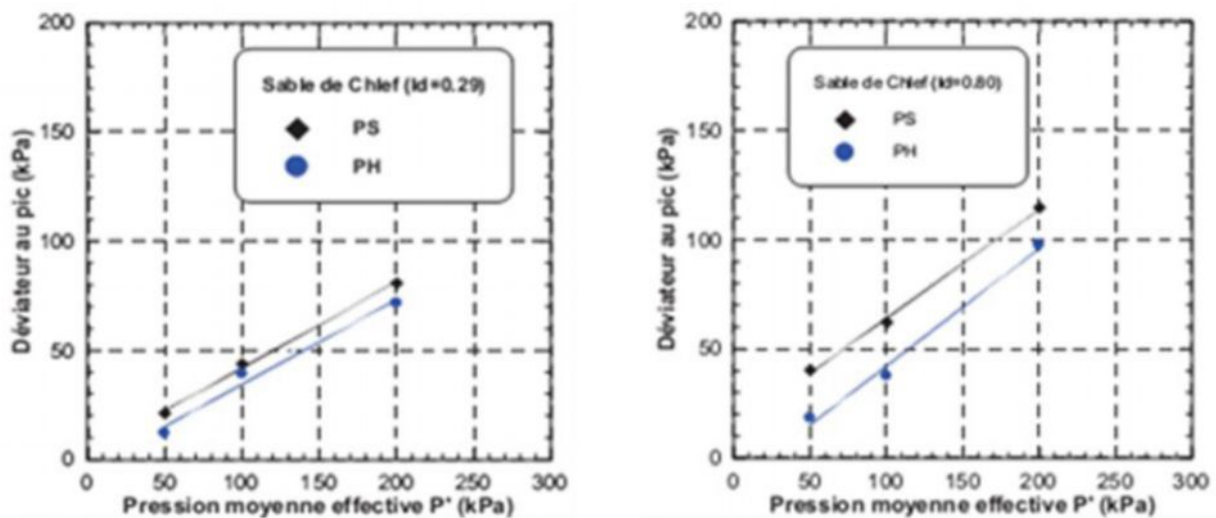


la méthode de placement humide (PH) où l'on constate des valeurs du déviateur maximal plus faibles pour des densités faibles ou modérée (Etat lâche pour  $I_d = 0.29$ ) avec stabilisation progressive autour d'une valeur ultime stationnaire très faible ou nulle signifiant la liquéfaction de l'échantillon (Della et al. 2009).

Les mêmes tendances sont constatées pour les variations des valeurs au pic du déviateur données sur la figure I.21, où l'on remarque que les échantillons conçus par la méthode de pluviation à sec montrent une résistance au cisaillement monotone supérieure ( $q_{\max} = 240.97\text{kPa}$  à l'état dense et à un confinement de  $200\text{kPa}$ ) à ceux fabriqués par placement humide ( $q_{\max} = 106.73\text{kPa}$  à l'état dense et à un confinement de  $200\text{kPa}$ ).



**Figure I.20:** Influence de la méthode de déposition sur le déviateur maximal  
(Della et al. 2009).



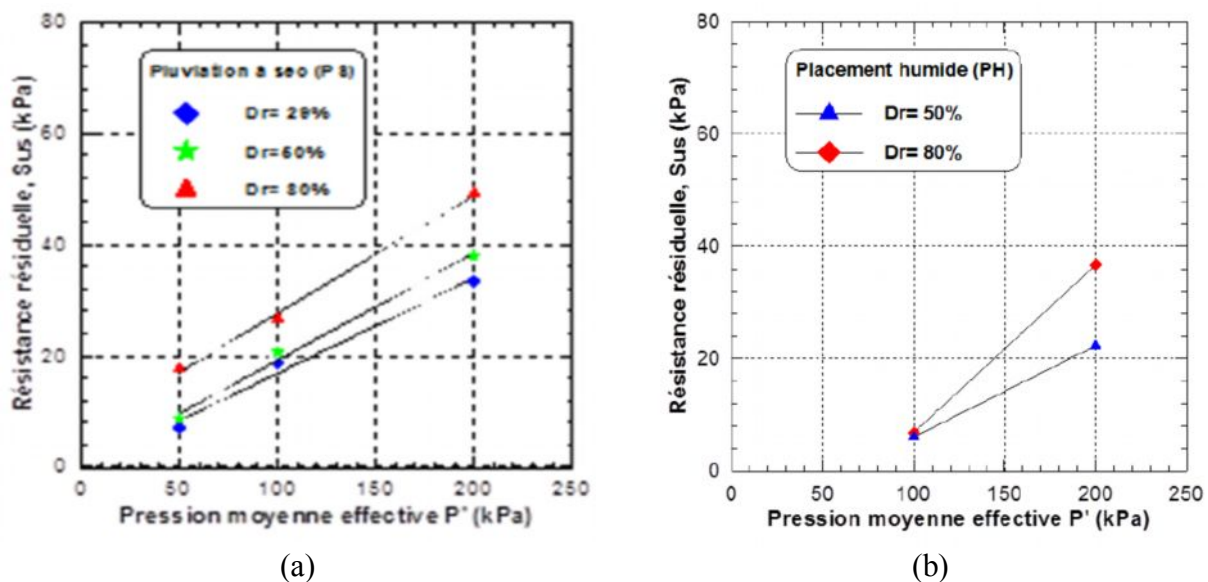
**Figure I.21:** Influence de la méthode de déposition sur le déviateur au pic  
(Della et al. 2009).



Les résultats obtenus par Della et al. (2009) sont conformes à ceux trouvés par Benahmed et al. (2004) et Canou (1989). Les figures I.22a et I.22b décrivent l'évolution de l'effort résiduel en fonction de la pression de confinement effective.

On constate sur la figure I.22a que l'effort résiduel des échantillons préparés par la méthode de pluviation à sec augmente d'une manière linéaire avec l'augmentation de la pression de confinement effective et avec la densité relative initiale ( $D_r$ ). En revanche, pour les échantillons préparés avec la méthode de placement humide (Figure I.22b), on note que l'effort résiduel augmente avec l'augmentation de la pression de confinement effective de 100 à 200kPa pour des indices de densité relative  $D_r = 50$  et 80%. Pour la contrainte de confinement effective  $P'_c = 50$ kPa et pour l'indice de densité relative  $D_r = 29\%$ , cet effort résiduel est nul même pour la contrainte de confinement effective 200kPa.

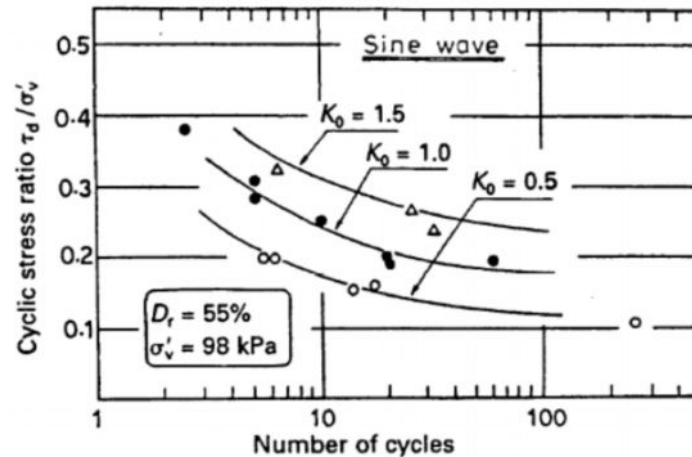
Ces différences de comportement constatées entre les deux méthodes de déposition, peuvent s'expliquer par le fait que les échantillons préfabriqués par la méthode de pluviation à sec présentent un comportement dilatant et stable, tandis que ceux préparés par la méthode de placement humide sont plutôt contractants et instables. Cette instabilité peut provenir de la présence d'une certaine quantité d'eau qui permet d'avoir des échantillons foisonnés avec des macropores facilement compressibles et vulnérables à la liquéfaction (Della et al. 2010).



**Figure I.22:** Influence de la méthode de déposition des échantillons sur la résistance résiduelle (Della et al. 2010)  
a) Pluviation à sec, b) Placement humide

### I.3.2.10. Coefficient des terres au repos

Ishihara (1985) a effectué des essais de torsion sur le sable de Fuji pour différentes valeurs du coefficient des terres au repos  $K_0$ . Les résultats obtenus sont représentés dans la figure I.23, il ressort de cette analyse que la résistance à la liquéfaction croît avec le coefficient des terres au repos  $K_0$ .



**Figure I.23:** Influence du rapport  $K_0$  sur la résistance à la liquéfaction des sols (Ishihara, 1985).

### 1.3. Conclusion

La résistance au cisaillement des sols est un domaine très important dans l'étude des sols soumis à des chargements monotone ou cyclique. C'est un phénomène très complexe, car il fait intervenir les caractéristiques de résistance et de déformation du sol. Aussi, il dépend de plusieurs paramètres, notamment la granulométrie, de la présence d'éléments fins densité relative, confinement, pré-chargement, saturation, surconsolidation. Pour évaluer le comportement mécanique d'un sol ; cela dépend des combinaisons des propriétés du sol, des facteurs environnants, géologie, profondeur de la nappe ainsi que les caractéristiques de chargement.

La bonne compréhension de ce phénomène et la détermination des facteurs influents sont d'une plus grande importance pour l'analyse et la stabilité des sols. A la lumière de cette recherche bibliographique et dans le but d'améliorer les caractéristiques du sol, on va s'intéresser dans notre futur travail de recherche dans le cadre du projet de master, à l'étude de l'effet des ajouts et d'autres paramètres, sur la résistance au cisaillement du sol de la région de Chlef à travers des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande.