

---

# Effet de la Saturation sur le Comportement monotone et Cyclique d'un sable

Ahmed Arab<sup>\*,\*\*</sup> — Isam Shahrour<sup>\*\*</sup>

\* Département Génie Civil, Université de Chlef, Route de Sendjas, BP 151, Chlef ALGERIE (02000), ah\_arab@yahoo.fr

\*\* Laboratoire de Mécanique de Lille (UMR 8107), Université de Lille 1 /Polytech-Lille, 59 655 Villeneuve d'Ascq , France, Isam.shshrour@univ-lille1.fr

---

**RÉSUMÉ.** Cet article présente une étude expérimentale en laboratoire de l'influence du degré de saturation sur la résistance à la liquéfaction d'un sable. L'étude est basée sur des essais triaxiaux monotones drainés et non drainés, et des essais cycliques non drainés qui ont été réalisés sur du sable d'Hostun Rf. Les essais ont été effectués sur des échantillons ayant un indice de densité  $I_d=0,04, 0,50, 0,64$  et  $0,78$  avec un coefficient de Skempton  $B$  variant de  $0,95$  presque saturé à  $0,25$ . Pour toutes les valeurs du coefficient de Skempton  $B$ , les essais ont été réalisés pour différentes amplitudes de chargement. Les essais monotones montrent que l'augmentation du coefficient de Skempton  $B$  mène à une réduction significative de la résistance à la liquéfaction. Les essais cycliques montrent que la résistance à la liquéfaction augmente avec la réduction du coefficient de Skempton  $B$ . Pour les grandes amplitudes de chargement ( $CSR=0,5$ ), le nombre de cycles nécessaire 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 les faibles amplitudes de chargement ( $CSR<0,40$ ), le nombre de cycles nécessaires à la liquéfaction augmente susceptiblement avec la réduction du coefficient de Skempton  $B$ .

**ABSTRACT.** This paper presents a laboratory study of the influence of saturation degree on the liquefaction potential of sand. The study is based on drained, undrained monotonic and cyclic triaxial tests which were carried out on Hostun RF clean sand. Tests were conducted on a medium dense sand with a relative density  $I_d = 0,04, 0,50, 0,64$  and  $0,78$  by varying Skempton's  $B$  between  $0,95$  quasi saturated to  $0,25$ . For all Skempton's  $B$  value, tests will be carried out for different loading level. The monotonic tests show that an increase in the coefficient of Skempton's  $B$  value leads to a reduction of resistance to liquefaction. The tests results show that the liquefaction's resistance increases with the reduction of Skempton's  $B$  coefficient. For the high level of loading ( $RCC= 0,5$ ), the number of cycles necessary to liquefaction varied little with the Skempton's  $B$  ( $N_c=9, 10$  and  $11$  for  $B = 0,67, 0,36$  and  $0,25$  respectively ). For the low level ( $RCC<0,40$ ), the number of cycles needed for liquefaction increases susceptibly with the reduction of coefficient Skempton's  $B$ .

**MOTS-CLÉS :** Sable, saturation, triaxial, non drainé, drainé, monotone, cyclique, Amplitude de chargement

**KEYWORDS:** Sand, saturation, triaxial tests, untrained, drained, monotonic, cyclic, loading level.

## 1. Introduction

Au cours des décennies passées, les recherches avancées nous ont aidé à mieux comprendre la liquéfaction des sols basée sur des expériences menées en laboratoire, la modélisation physique et l'analyse numérique. La majorité des investigations sur la liquéfaction des sols granulaires a été basée sur le matériau complètement saturé. L'étude de l'influence du degré de saturation sur la liquéfaction des sols présente un intérêt pratique, car on trouve souvent des structures construites au dessus de la nappe ; ce qui implique la présence des sols partiellement saturés. L'incidence d'une saturation partielle sur la résistance cyclique a été abordée d'une manière théorique par (Martin et al., 1978). Mullilis et al. (1978) qui ont examiné l'effet du degré de saturation sur la liquéfaction du sable de Monterrey. Ils ont constaté que la variation du coefficient de Skempton B entre 0.91 et 0.97 n'affecte pas d'une manière significative la liquéfaction de ce sable. Chan (1976) trouve qu'une variation de B entre 0.91 et 0.99 peut avoir un effet important sur la liquéfaction des sols. Cette influence dépend du type de sol, de la densité et de la pression confinement initial. Cependant, les résultats des essais in-situ récents incluent les mesures de la vitesse d'ondes de compression ( $V_p$ ), et indiquent que la condition de saturation partielle peut exister au dessus du niveau de la nappe d'eau pour quelques mètres due à la présence de bulles d'air (Ishihara et al. 2001 et Nakawasa et al. 2004) ou la présence de bulles de gaz dans les sédiments marins et les sables contenant des huiles comme noté par Mathiroban et Grozic (2004). Les effets d'une condition de saturation partielle sur la liquéfaction, ont été abordés par quelques chercheurs (comme par ex. Atigh et Byrne 2004 ; Kokusho 2000, Mathiroban et Grozic 2004, Pietruszczak et al. 2003, Yang et Sato 2001). La condition de saturation d'échantillons de sol en laboratoire peut être évaluée en mesurant la valeur du coefficient de Skempton B ou la vitesse d'ondes de compression  $V_p$  comme suggéré par Ishihara et al. (2001). In situ, la saturation peut être évaluée par la mesure de vitesse d'onde de compression ( $V_p$ ). Les résultats d'essais en laboratoire ont montré que la résistance à la liquéfaction des sables augmente quand le degré de saturation diminue (Martin et al. 1978, Yoshimi et al. 1989, Ishihara et al. 2001 et 2004, Yang 2002, Yang et al. 2004, Bouferra et al. 2007). Le degré de saturation est contrôlé lors d'un essai triaxial par le coefficient de Skempton qui peut être lié au degré de saturation par la relation suivante (Lade et Hermandy 1977):

$$B = \frac{1}{1+nK_s} \left( \frac{S_r}{K_w} + \frac{(1-S_r)}{U_a} \right) \quad [1]$$

$K_s$  et  $K_w$  désignent les modules de déformation volumiques du squelette solide et de l'eau pure ;  $n$  est la porosité du sol,  $u_a$  est la pression interstitielle.

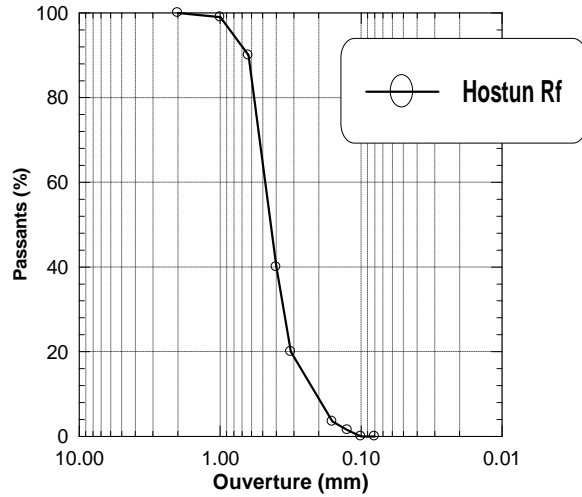
Mullilis et al. (1978) et Tatsuoka et al. (1986) ont montré que dans le cas des sables lâches, une bonne saturation requiert des valeurs élevées du coefficient B. Par contre, pour des matériaux plus raides, le problème semble moins critique. Shérif et al. (1977) montrent qu'un sable fin ou argileux peut être considérés saturé si la valeur de B dépasse 0,8., Chaney (1978) précise que le coefficient B doit dépasser

0,96 pour que le sol soit bien saturé. Par contre, P.Giroud et D.Cordary dans les annales de ITBTP N°335 de Janvier 1976 note que pour des valeurs de B supérieures à 0,85 le degré de saturation est très voisin de 1. Des essais de liquéfaction ont été effectués sur le sable de Toyoura de densité moyenne ( $D_r = 0,60$ ) avec des échantillons ayant différents degrés de saturation (Yochimi et al., 1989). On note que le degré de saturation affecte d'une manière sensible la résistance à la liquéfaction des sols: Avec un coefficient B supérieur à 0,8, il suffit d'appliquer trois cycles pour la liquéfaction; par contre, il faut huit cycles pour la liquéfaction du sol ayant un coefficient B proche de 0,5.

Dans cet article, on présente les résultats d'une étude en laboratoire de l'influence du degré de saturation évalué en terme du coefficient de Skempton B sur le comportement d'un sable granulaire. Ces essais permettent de mieux comprendre l'influence de la saturation sur la résistance sur le potentiel de liquéfaction du sable d'Hostun RF. L'article est composé de deux parties. Dans la première partie on présente le matériau utilisé, la seconde donne une analyse des résultats expérimentaux monotones et cycliques des essais réalisés et discute de l'influence du degré de saturation évalué en terme de coefficient de Skempton (B sur la résistance à la liquéfaction.

## **2. Matériau et dispositif expérimental**

Les essais ont été réalisés sur du sable d'Hostun RF (France), considéré un matériau de référence dans de nombreux laboratoires en France. Beaucoup d'essais ont été réalisés sur ce sable (Colliat 1986, Fargeix 1986, Flavigny and al. 1990, Biarezes and Zianis 1991, Lancelots and als. 1996, Doanhs and als. 1997, Al mahmoud 1997, Hoque and Tatsuoka 1998). C'est un sable moyen avec un diamètre moyen  $D_{50}=0,471$  (Figure 1). Les caractéristiques physiques de ce sable sont données dans le tableau 1. Les essais ont été réalisés sur des échantillons avec une densité initiale moyenne  $I_d=0,50$  avec un coefficient de Skempton B variant de 0,90 presque saturé à 0,25. Pour chaque valeur du coefficient de Skempton, des essais ont été effectués pour différentes amplitudes de chargement afin de construire la courbe de liquéfaction pour les différentes valeurs de B.



**Figure 1.** Courbe granulométrique du sable.

Propriétés	Masse spécifique $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{\max}$	$e_{\min}$	Cu ( $D_{60}/D_{10}$ )	$D_{10}$	$D_{50}$	Forme des particules
Hostun RF	2.654	0.983	0,622	2,27	0,19.	0,47 1	Angulaire

**Tableau1.** Propriétés du sable utilisé.

### 2.1. Mode opératoire

Le dispositif expérimental utilisé comprend :

- Une cellule triaxiale dynamique de marque GDS 2H
- Deux contrôleurs de pression /volume de marque GDS (200cc),
- Une pompe à vide relié à un réservoir afin de désaérer l'eau déminéralisée,
- Une centrale d'acquisition,
- Un micro-ordinateur équipé d'un logiciel permettant le pilotage de l'essai et l'acquisition des données.

## **2.2. Saturation de l'échantillon**

La saturation est une étape importante dans la procédure expérimentale car de sa qualité dépend la réponse de l'échantillon sous chargement non drainé. Pour obtenir un bon degré de saturation, on utilise la technique du gaz carbonique élaborée par Lade et Duncan (1973). L'échantillon est balayé par du gaz carbonique pendant vingt minutes, ensuite on fait circuler l'eau désaérée et déminéralisée jusqu'à recueillir un volume d'eau supérieur à une fois et demi le volume de l'échantillon. Pour pouvoir obtenir des échantillons avec différents degrés de saturation, on a fait varier le temps de passage du gaz carbonique et de l'eau désaérée.

## **3. Résultats des essais réalisés**

### **3.1. Essais de compression monotone drainée et non drainée**

La figure 2 montre l'évolution du déviateur en fonction de la déformation axiale. On note la présence d'un pic de déviateur pour une déformation de l'ordre de 7 à 8% de déformation pour les échantillons avec une densité relative  $D_r = 65$  et  $84\%$  coïncidant avec le taux de dilatance maximal, suivi par une diminution du déviateur (radoucissement). Ensuite les courbes se dirigent vers un état de contrainte de cisaillement constant à partir de 20% déformation axiale, cet état est défini par Casagrande (1936) comme étant un état critique ; il correspond à l'état où le sol se déforme d'une façon continue sous une contrainte de cisaillement constante en condition drainée. La figure 3 montre l'évolution du déviateur en fonction de la déformation axiale en condition non drainée sur le sable d'Hostun RF pour trois densités ( $I_d = 8, 64$  et  $78\%$ ). Pour les trois densités, on note la présence de deux phases de variation de la pression d'eau. Celle-ci – augmente dans un premier temps à cause de la contractance du sable ensuite, elle diminue à cause de la dilatance. Cette dernière est bien entendu faible pour le sable lâche. Dans le plan ( $p', q$ ), les chemins de contrainte s'alignent bien sur la courbe d'état limite de pente ( $\eta = q/p'$ ) égale à 1.43 (correspondant à un angle de frottement à la rupture ( $\varphi$ ) égal à  $35^\circ$ ).

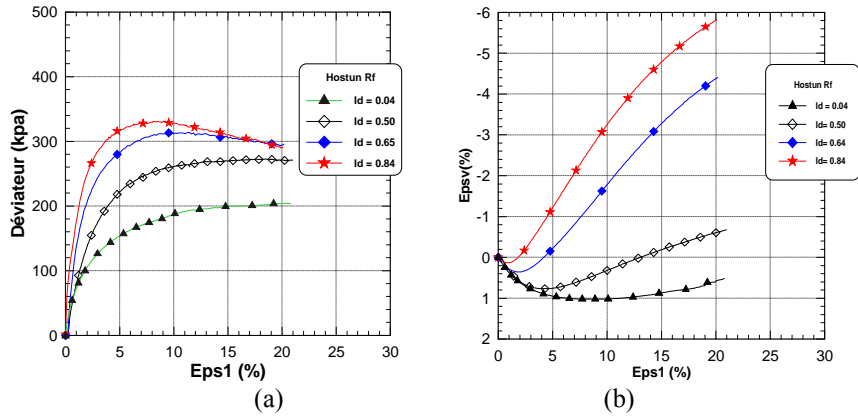


Figure 2. Essais triaxiaux de compression drainés.

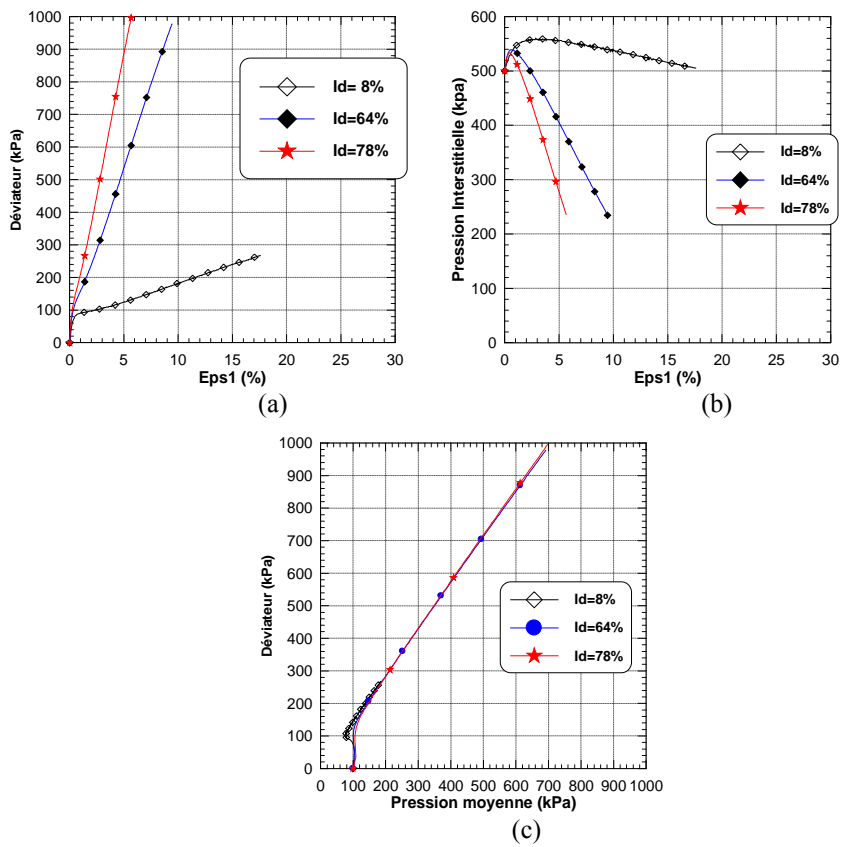


Figure 3. Essais triaxiaux de compression non drainés.

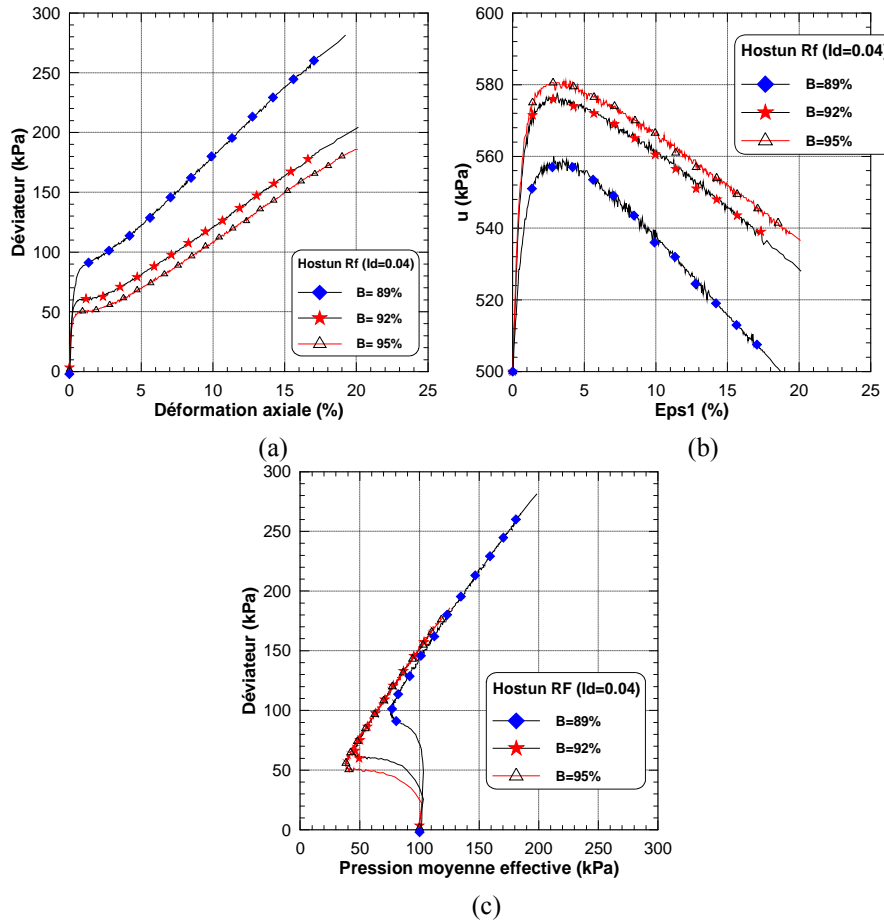
### 3.1.2. Influence de la saturation

La figure 4 montre les résultats des essais non drainés réalisés pour différentes valeurs de coefficient de Skempton B (entre 89 et 95%) à une densité initial  $I_d=0,04$  et une pression de confinement initial de 100kPa. On note que l'augmentation du degré de saturation caractérisé par le coefficient de Skempton B conduit à une diminution de la résistance du déviateur (Figure 4a) et par conséquent à une augmentation de la pression d'eau (Figure 4b). Cette augmentation de la pression d'eau résulte du rôle du degré de saturation dans l'augmentation de la phase de contractance. L'augmentation de la pression interstitielle conduit à une réduction de la contrainte effective de confinement et par conséquent à une réduction de la résistance au déviateur comme l'illustre la figure 4b. Le chemin de contrainte dans le plan ( $p'$ ,  $q$ ) montre bien le rôle du degré de saturation dans la réduction de la pression moyenne effective et du déviateur maximal (Figure 4c).

L'augmentation du coefficient de skempton B de 89 à 95 induit une diminution de l'effort résiduel de 40 à 22 kPa. Le tableau 2 présente une récapitulation du programme d'essais réalisé avec les paramètres de base (indice des vides initial, contrainte, indice de densité, coefficient de Skempton, angle de frottement....).

Nom d'essai	$e_0$	B (%)	$q_{max}$ (kPa)	$P'$ (kPa)	$\eta$ ( $q/p'$ )	$\phi$ (°)	$q_{ins}$ (kPa)	$P'_{ins}$ (kPa)	$\eta_{ins}$ ( $q_{ins}/p'_{ins}$ )	$\phi$ (°)	Sus (kPa)
CIU1B	0,968	89	280	200	1,40	35	95	75	1,27	32	40,3
CIU2B	0,966	92	200	140	1,428	35	60	48	1,25	31	25,7
CIU3B	0,967	95	180	130	1,423	35	52	40	1,25	31	22,3

**Tableau 2.** Caractéristiques des essais non drainés



**Figure 4.** Influence du coefficient de Skempton  $B$  sur la réponse non drainée du sable d'Hostun RF

### 3.2. Essais cycliques

#### 3.2.1. Influence de la saturation

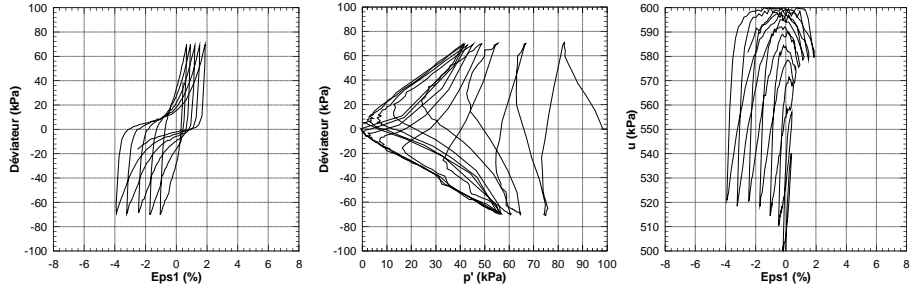
Les essais ont été réalisés sur un sable à densité moyenne  $I_d = 0,65$  en faisant varier le coefficient de Skempton  $B$  entre 0,90 (quasi saturé) à 0,25. Pour chaque valeur du coefficient de Skempton, des essais ont été effectués pour différentes amplitudes de chargement afin de construire la courbe de liquéfaction pour les différentes valeurs de  $B$ . Le programme expérimental est détaillé dans le tableau 3. Les résultats des essais réalisés pour une amplitude  $q_m = 70$  kPa et pour les sept valeurs de  $B$  (0,90, 0,85, 0,73, 0,67, 0,53, 0,36 et 0,25) sont présentés dans les figures 5 à 11. L'analyse de ces figures montre clairement que le degré de saturation affecte d'une manière importante l'évolution de la pression d'eau et par conséquent



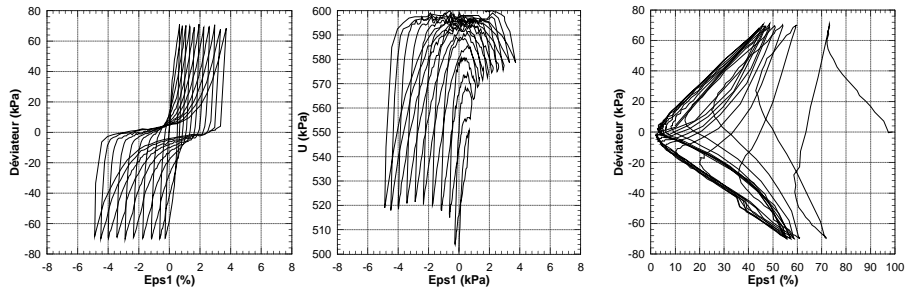
la subtilité à la liquéfaction du sol. A titre d'exemple, pour un sol quasi saturé ( $B = 0,90$ ) la pression d'eau augmente rapidement et induit la liquéfaction totale du sol après 7 cycles. Quand  $B$  décroît légèrement (à 0,85), il faut 11 cycles pour la liquéfaction du sol, ce nombre croît à 22 pour  $B = 0,73$  à 27 pour  $B = 0,53$  et à 46 pour  $B = 0,36$ . Pour une très faible valeur de  $B = 0,25$ , on n'obtient pas la liquéfaction (Figure 11). En effet, après quelques cycles, la pression d'eau se met à décroître, ce qui provoque une augmentation de la rigidité du sol. Ainsi, pour  $B = 0,25$ , on n'a pas obtenu de liquéfaction pour un chargement ayant une amplitude inférieure à 80 kPa. Pour  $B = 0,36$  la liquéfaction a été obtenue pour une amplitude supérieure à 80 kPa.

Numéro	Nom de l'essai	Rapport de contrainte cyclique (RCC)	Coefficient de Skempton B (%)	Nombre de cycles
1	CUMH1	0.35	90	7
2	CUMH2	0.25	90	16
3	CYCH1	0.20	90	63
4	CUMH3	0.15	90	NL
5	CUMH4	0.35	85	11
6	CYCH5	0.30	85	17
7	CYCH7	0.25	85	32
8	CYCH3	0.35	73	22
9	CMH3	0.25	73	200
10	CMH19	0.50	67	9
11	CMH16	0.40	67	12
12	CYCH2	0.35	67	21
13	CMH10	0.30	53	51
14	CUMH6	0.35	53	27
15	CYCH6	0.30	53	43
16	CMH15	0.25	36	NL
17	CMH21	0.50	36	10
18	CMH12	0.35	36	46
19	CMH14	0.50	25	12
20	CUMH9	0.40	25	52
21	CYCH4	0.35	25	NL

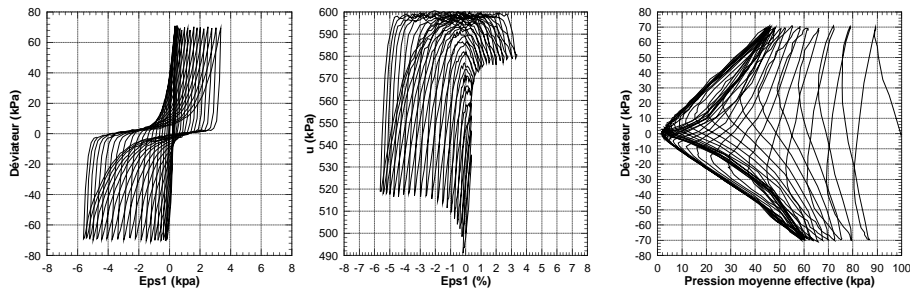
**Tableau 3.** Récapitulatif des essais cycliques sur le sable d'Hostun (Influence de la saturation)



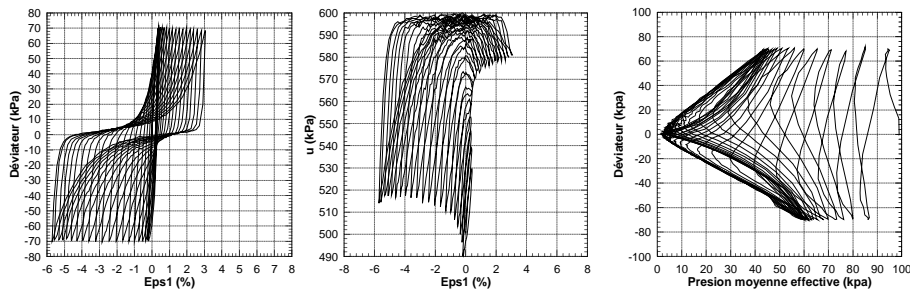
**Figure 5.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,90$ ,  $q_m = 70$  kPa)



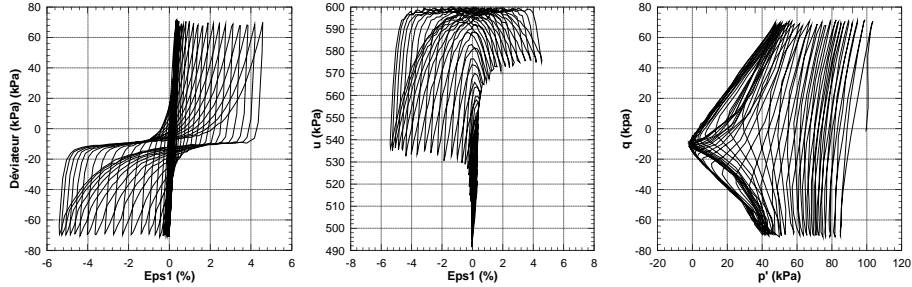
**Figure 6.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,85$ ,  $q_m = 70$  kPa)



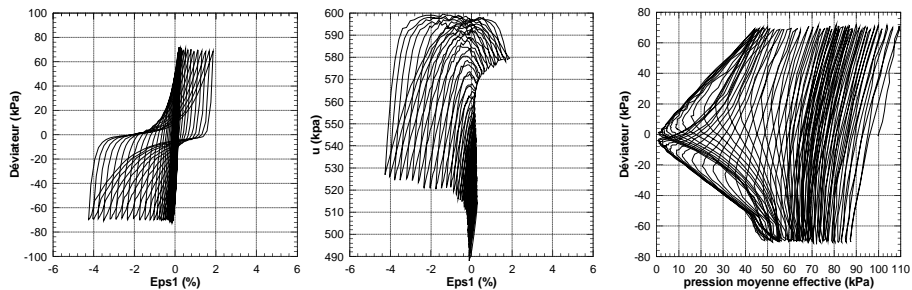
**Figure 7.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,73$ ,  $q_m = 70$  kPa)



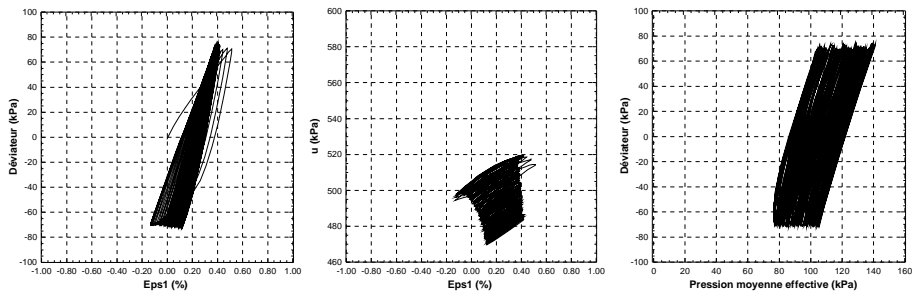
**Figure 8.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,67$ ,  $q_m = 70$  kPa)



**Figure 9.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,53$ ,  $q_m = 70$  kPa)



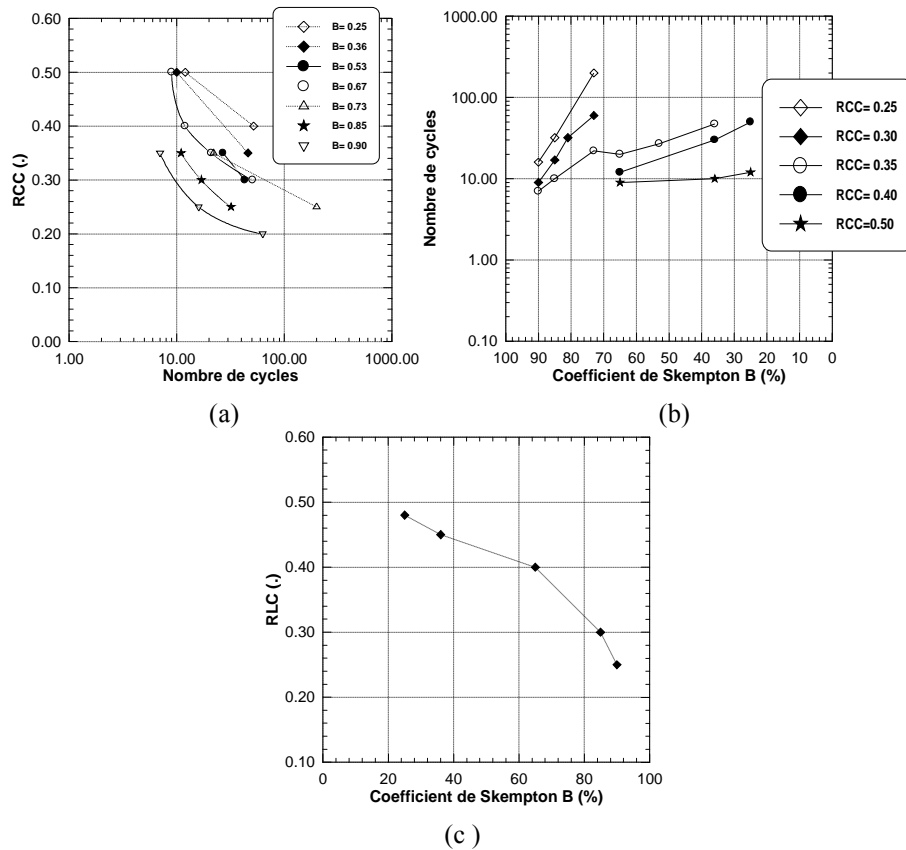
**Figure 10.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,36$ ,  $q_m = 70$  kPa)



**Figure 11.** Influence de la saturation - sable d'Hostun ( $B=0,25$ ,  $q_m = 70$  kPa)

La figure 12a montre l'influence du coefficient de Skempton B sur le potentiel de liquéfaction. On note que les échantillons ayant un faible coefficient de Skempton B (degré de saturation) présentent un potentiel de liquéfaction très élevé par rapport aux échantillons confectionnés à un coefficient de Skempton B très élevés. Ceci est illustré dans la figure 12c qui montre que la résistance à la liquéfaction augmente avec la diminution du coefficient de Skempton B. La figure 12b 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 nécessaires à la liquéfaction augmente sensiblement avec la diminution de B.



**Figure 12.** Influence du coefficient de Skempton B (degré de saturation) sur le comportement non drainé du sable d'Hostun Rf

#### 4. Conclusion

Cet article a comporté une présentation des résultats d'une étude en laboratoire de l'influence de la saturation caractérisé par le coefficient de Skempton B sur le comportement d'un sable granulaire. L'étude a comporté des essais triaxiaux drainés et non drainés qui ont été réalisés à une densité relative initiale  $I_d = 0,04, 0,50, 0,64$  et  $0,78$  pour des coefficient de Skempton B variant entre 25 et 95%.

Les essais monotones non drainés montrent que l'augmentation du coefficient de Skempton B de 89 à 95% induit une diminution de la raideur initiale du sol et de la résistance (déviateur maximal) ; accroît la phase de contractance et par conséquence la pression interstitielle. L'augmentation du coefficient de skempton B de 89 à 95 induit une diminution de l'effort résiduel de 40 à 22 kPa.

Les résultats des essais cycliques montrent que la résistance à la liquéfaction augmente avec la diminution du coefficient de Skempton B. Les échantillons ayant un faible coefficient de Skempton B (degré de saturation) présentent un potentiel de liquéfaction très élevé par rapport aux échantillons confectionnés à un coefficient de Skempton B très élevés. 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 (Nc = 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 nécessaires à la liquéfaction augmente sensiblement avec la diminution de B.

## 5. Bibliographie

- Al Mahmoud M. « Etude en laboratoire du comportement des sables sous faibles contraintes », Thèse de doctorat en génie civil à l'USTL, Lille, 1997.
- Atigh E. and Byrne, P. M. « Liquefaction flow of submarine slopes under partially undrained conditions: an effective stress approach. » *Can. Geotechnical J.*, V. 41, 2004, p. 154-165.
- Biarez J. & Ziani F. « Introduction aux lois de comportement des sables très peu denses », *Revue Française de Géotechnique*, Vol. 54, 1991, p. 65-73.
- Bishop A. W. & Wesley L.D. « A hydraulic triaxial apparatus for controlled stress path testing », *Geotechnique*, Vol.25, N° 4, 1975, p. 657-670.
- Bouferra Rachid « Etude en laboratoire de la liquéfaction des sols », Thèse de doctorat, Ecole Universitaire des Ingénieurs de Lille USTLille, 2000, p. 95 et p. 111.
- Bouferra R., Benseddiq N., & Shahrour I. « Saturation preloading effects on the cyclic behaviour of sand », *International journal of geomechanics*, ASCE, 2007, p.396-401
- Colliat J.L. « Comportement des matériaux granulaires sous forte contraintes, influence de la nature minéralogique du matériau étudié », Thèse de doctorat de spécialité, IMG, 1986, Grenoble.
- Flavigny E., Desrues J.& Palayer B. « Le sable d'Hostun Rf », *Revue Française de Géotechnique*, N°53, 1990, p.67-70.
- Hoque E. & Tatsuoka F. « Anisotropy in the elastic deformation of granular materials », *Soils and Foundations*, Vol.38, N° 1, 1998, p. 163-179.
- Ishihara K., Sodekawa M., & Tanaka Y. « Effects of surconsolidation on liquefaction characteristics of sands containing fines », *Dynamic Geotechnical testing*, ASTM STP 654, 1978, p.246-264.

- Ishihara, K., Tsuchiya, H., Huang, Y. and Kamada, K. «Recent studies on liquefaction resistance of sand effect of saturation. » *Proc. 4th Conf. Recent Advances in Geotech. Earth. Engg.*, Keynote Lecture, 2001.
- Ishihara, K., Tsukamoto, Y., and Kamada, K., «Undrained behavior of near-saturated sand in cyclic and monotonic loading. » *Proc. Conf., Cyclic Behavior of Soils and Liquefaction Phenomena*, 2004, p.27-39.
- Lade P.V. & Duncan J.M. « Cubical triaxial tests on cohesionless soil» *Journal Soil Mech. And Found. Eng. Div. ASCE*, vol. 99, N° SM, 1973, p.793-812
- Lade P.V. & Hernandez S.B. (1977): « Membrane penetration effects in undrained tests», *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol.103, NGT2, February 1977, pp. 109-125
- Lancelot L., Shahroui I. & Al Mahmoud M. « Comportement du sable d'Hostun sous faibles contraintes», *Revue Française de Geotechnique*, N°74, Janvier, 1996 ; p.63-74.
- Martin G.R., Finn W.D.L. & Seed H.D. (1978): « Effects of system compliance on liquefaction tests», *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, vol. CIV, NGT4,
- Mathiroban S., and Grozic, J., «A model to predict the undrained behaviour of loose gassy sand. » *Proceeding 57<sup>th</sup> Geotech. Conf.*, Session 6G, 2004, p. 16-22.
- Mullilis J.P., Townsend F.C., & Horz R.C. « triaxial testing techniques and sand liquefaction», *ASTM STP 654, Dynamic Geotechnical Testing*, 1978, p. 265-279.
- Nakazawa, H., Ishihara, K., Tsukamoto, Y., and Kamata, T., « Case studies on evaluation of liquefaction resistance of imperfectly saturated soil deposits. » *Proc., Conf., Cyclic Behavior of Soils and Liquefaction Phenomena*, 2004, Germany.
- Pietruszczak, S., Pande, G. and Oulapour M., «A hypothesis for mitigation of risk of liquefaction.» *Geotechnique*, 53(9), 2003, p. 833-838.
- Seed H.B., Idriss I.M. & Lee K.L. « Dynamics analysis of the slide in the lower San Fernando dam during the earthquake of February 1971», *Journal Geotechnical Engineering, division ASCE*, vol. 101, GT 9, 1975, P. 889-911.
- Seed H.B & Peacock W.H. « Test procedures for measuring soil liquefaction characteristics», *Journal of the Soils Mechanics and Foundation Division. ASCE*, vol.97 (8), 1971, p.1099-1119
- Yang, J., «Liquefaction resistance of sand in relation to P-wave velocity. » *Geotechnique*, 52(4), 2002, p.295-298.
- Yang, J., and Sato, T. «Analytical study of saturation effects on seismic vertical amplification of a soil layer. » *Geotechnique*, 51(2), 2001, p. 161-165.
- Yang, J., Savidis, S. and Roemer M., «Evaluating liquefaction strength of partially saturated sand. », *Journal of Geotech. and Geoenviron.Engg.*, ASCE, 130(9), 2004, p.975-979.
- Yoshimi Y. Tanaka K.& Tokimatsu K. « Liquefaction resistance of partially saturated sand», *Soils and foundations*, vol.29, n°3, 1989, p.157-162.