

EVALUATION DES TASSEMENTS POST-LIQUEFACTION PAR LA METHODE SIMPLIFIEE A PARTIR DES ESSAIS *IN SITU* SPT ET CPT

POST-LIQUEFACTION RECONSOLIDATION SETTLEMENT EVALUATED BY APPLICATION OF THE SIMPLIFIED METHOD BASED ON SPT AND CPT

Emmanuel JAVELAUD¹, Manuel HOCDE², Denis MOIRIAT³, Pierre MIRAILLET¹

¹ EDF DI-TEGG, Aix-en-Provence, France

² TERRASOL, Paris, France

³ IRSN-SCAN, Fontenay-aux-Roses, France

RÉSUMÉ – Des méthodes simplifiées permettent d'évaluer les tassements post-liquéfaction des sables sous nappe à partir des essais géotechniques *in situ* de type SPT ou CPT, et des facteurs de sécurité à la liquéfaction FS_L obtenus par application de la méthode simplifiée de Seed. Pour chaque type d'essai SPT ou CPT, cet article compare les résultats de deux méthodes courantes d'évaluation des tassements post-liquéfaction.

ABSTRACT – Post-liquefaction reconsolidation settlements can be evaluated by simplified methods based on *in situ* SPT or CPT testing, and factors of safety for liquefaction FS_L obtained by the Seed's simplified method. For each kind of geotechnical test SPT or CPT, this paper compares the settlements obtained by two methods.

1. Introduction

Les sables saturés ont tendance à tasser lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations sismiques. Il existe trois grandes approches pour évaluer le tassement sismo-induit des milieux pulvérulents. La première consiste à utiliser des méthodes simplifiées. La seconde consiste à utiliser des essais cycliques de laboratoire. Enfin, la troisième approche consiste à utiliser des méthodes numériques en contraintes effectives.

Cet article s'intéresse à la première approche qui consiste à utiliser des méthodes simplifiées permettant d'évaluer le tassement sismo-induit sous nappe de sables propres à partir des essais au carottier poinçonneur SPT ou au pénétromètre statique CPT.

Pour chaque type d'essai SPT ou CPT, il compare les résultats de deux méthodes courantes d'évaluation des tassements : les méthodes de Tokimatsu & Seed (1987) et d'Idriss & Boulanger (2008) pour l'essai SPT, et celles de Zhang, Robertson & Brachman (2002) et d'Idriss & Boulanger (2008) pour l'essai CPT. Le tableau 1 récapitule les domaines de validité de principales méthodes utilisées.

En pratique, des corrélations (par ex. Youd *et al.*, 2001) peuvent permettre de prendre en compte la présence de fines et l'utilisation des paramètres q_{c1n-cs} et $(N_1)_{60-cs}$ dans les équations. Dans cet article, ils sont utilisés indifféremment de q_{c1n} et $(N_1)_{60}$.

Tableau 1. Méthodes simplifiées pour évaluer le tassement sismo-induit et leurs limites de validité.

Méthode		Données nécessaires et limites de validité de ces méthodes			
		Dr	$(N_1)_{60}$	q_{c1N}	Donnée complémentaire
Tokimatsu et Seed (1987)		-	0,6-50	-	Utilise le $CSR_{7,5}$ en complément de $(N_1)_{60}$
Ishihara et Yoshimine (1992)	Zhang <i>et al.</i> (2002)	30-90%		q_{c1N-cs} 33-200	Utilise le FS_L en complément de q_c
	Idriss & Boulanger (2008)	30-90%	4-37	q_{c1N} 60-235	Utilise le FS_L en complément de Dr , N_{SPT} et q_c

2. Présentation des méthodes

2.1. Méthode de Tokimatsu et Seed (1987)

L'évaluation de la déformation volumique ε_v peut être faite grâce à l'abaque de Tokimatsu et Seed (1987) à partir de la résistance SPT normalisée $(N_1)_{60}$ (ex. Youd *et al.*, 2001) et du taux de cisaillement cyclique $CSR_{(éq. M=7,5)}$ à une magnitude de 7,5.

La résistance du sol SPT normalisée $(N_1)_{60}$ doit être comprise entre 0,6 (plus petite valeur utilisée dans l'exemple d'application présenté par Tokimatsu et Seed, 1987) et 50.

Pour une magnitude M du séisme différente de 7,5, le taux de cisaillement cyclique CSR_M doit être ramené à une magnitude 7,5, selon l'équation (1) suivante :

$$CSR_{(éq. M=7,5)} = \frac{CSR_M}{MSF} \quad (1)$$

où le CSR_M déterminé par application de la méthode simplifiée de Seed et le facteur de correction de magnitude MSF sont calculés pour le séisme considéré de magnitude M . En pratique, si les relations données par Youd *et al.* (2001) sont utilisées pour évaluer le MSF , les magnitudes doivent être exprimées en magnitudes de moment M_w .

2.2. Méthode d'Ishihara et Yoshimine (1992)

L'évaluation de la déformation volumique ε_v peut être faite grâce à l'abaque d'Ishihara et Yoshimine (1992) pour un sable propre à partir des densités relatives Dr . Cette méthode utilise d'une part le facteur de sécurité à la liquéfaction FS_L déterminé par application de la méthode simplifiée de Seed (1971) et d'autre part, les résultats des sondages SPT ou CPT. La mise en équation de l'abaque d'Ishihara et Yoshimine (1992) est précisée par Yoshimine *et al.* (2006). La déformation volumique sismo-induite ε_v s'écrit alors :

$$\varepsilon_v = 1,5 e^{-0,025Dr} \min(8 ; \gamma_{max}) \quad (2)$$

où Dr est la densité relative en pourcent, et γ_{max} est la déformation de cisaillement maximale en pourcent, avec :

- si $FS_L < F_{ult}$ -> γ_{max} est infini ;
- si $FS_L \geq 2$ -> $\gamma_{max} = 0$;
- si $F_{ult} \leq FS_L < 2$ -> $\gamma_{max} = 3,5 (2 - FS_L) \frac{1 - F_{ult}}{FS_L - F_{ult}}$.

(3)

avec si $Dr_{r,ini} \geq 39,2\%$ alors $F_{ult} = 0,032 + 0,047 Dr_{r,ini} - 0,0006 Dr_{r,ini}^2$, où Dr est la densité relative en pourcent, sinon $F_{ult} = +0,9524$.

2.2.1. Apports de Zhang, Robertson et Brachman (2002)

L'apport de Zhang *et al.* (2002) au travail d'Ishihara & Yoshimine (1992) est de présenter les résultats sous une forme différente. Zhang *et al.* (2002) utilisent par ailleurs la même relation de Tatsuoka *et al.* (1990) pour lier la densité relative Dr aux mesures faites *in situ* avec les sondages CPT. La relation de Tatsuoka *et al.* (1990) est la suivante :

$$Dr = -85 + 76 \log(q_{c1N}), \text{ où } Dr \text{ est en pourcent} \quad (4)$$

Le tableau 2 compare les corrélations $Dr-q_{c1N}$ de Tatsuoka *et al.* (1990) présentées sur l'abaque d'Ishihara & Yoshimine (1992) avec celles calculées à partir de l'équation (4).

Tableau 2. Comparaison des corrélations $Dr-q_{c1N}$ de Tatsuoka *et al.* (1990) présentées sur l'abaque d'Ishihara et Yoshimine (1992) et résultant de l'application de l'équation (4).

Corrélation de Tatsuoka <i>et al.</i> (1990)		Dr (%)						
		30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
q_{c1N-cs} (-)	Correspondance sur abaque d'Ishihara & Yoshimine (1992)	33	45	60	80	110	147	200
	Equation de Tatsuoka <i>et al.</i> (1990) (4)	32,6	44,1	59,7	80,9	109,5	148,3	200,7

2.2.2. Apports d'Idriss et Boulanger (2008)

L'apport d'Idriss & Boulanger (2008) au travail d'Ishihara & Yoshimine (1992) est d'avoir révisé les corrélations liant la densité relative D_r aux mesures faites *in situ* avec les sondages SPT et CPT. Les domaines de validité de ces relations correspondent à une résistance $(N_1)_{60}$ comprise entre 4 et 37 et une résistance q_{c1N} comprise entre 60 et 235. Les relations utilisées par Idriss et Boulanger (2008) sont les suivantes :

$$\text{Pour l'essai SPT : } D_r = \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{46}} \text{ où } D_r \text{ est exprimé en chiffre décimal ;} \quad (5)$$

$$\text{Pour l'essai CPT : } D_r = 0,975 * 0,478 (q_{c1N})^{0,264} - 1,063 \quad (6)$$

avec D_r également en chiffre décimal.

Nous avons fait le choix d'ajouter dans l'équation (6) le coefficient 0,975 à la relation donnée par Idriss et Boulanger (2008) afin d'assurer une meilleure cohérence entre la relation D_r - q_{c1N} présentée par les auteurs sur leur abaque (rappelée dans le tableau 3 à la 2^{ème} ligne) et celle obtenue par le calcul (les 3^{ème} et 4^{ème} lignes du tableau 3 présentent les q_{c1N} obtenus par application de l'équation (6) sans ou avec ajout du coefficient 0,975).

Tableau 3. Comparaison des corrélations D_r - q_{c1N} présentées sur l'abaque d'Idriss & Boulanger (2008) et des équations associées.

Idriss et Boulanger (2008)		Dr (%)						
		30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
q_{c1N} (-)	Correspondance sur abaque	60	80	100	125	160	195	235
	Corrélation Idriss & Boulanger (2008)	52,9	69,2	88,9	112,5	140,3	172,9	210,8
	Corrélation Idriss & Boulanger (2008) corrigée	58,3	76,2	97,9	123,8	154,4	190,3	232,0

3. Evaluation du tassement sismo-induit à partir de l'essai SPT

3.1. Exemple d'application

Les résultats d'un essai *in situ* fictif de pénétration au carottier sont présentés dans les cinq premières colonnes du tableau 4. Les mesures SPT sont réalisées dans des sols de poids volumique saturé γ_{sat} et non-saturé γ_{humide} respectivement égaux à 20 kN/m³ et 18,5 kN/m³. On considère un niveau de la nappe lors de la réalisation du forage à - 1 m par rapport au niveau du terrain naturel, un carottier de diamètre intérieur 35 mm, et un diamètre de forage compris entre 65 et 115 mm.

L'évaluation du rapport de cisaillement cyclique CSR induit par le séisme est effectuée en considérant un séisme de magnitude M_w égale à 7,5, une accélération maximale égale à 0,17 g, et un niveau d'eau concomitant avec le séisme de projet affleurant.

La procédure de calcul du facteur de sécurité à la liquéfaction FS_L selon la méthode simplifiée (Youd *et al.*, 2001) est présentée dans Javelaud *et al.* (2019). Les deux dernières colonnes du tableau 4 présentent les résultats obtenus.

Tableau 4. Présentation des données brutes du cas test pour les essais de pénétration au carottier SPT et résultats synthétiques du calcul du facteur de sécurité FS_L (Javelaud *et al.*, 2019).

Profondeur (m)	$N_{SPT}/30\text{cm}$	Rapport d'énergie E_r (%)	Fraction fines FC (%)	Hauteur sous enclume (m)	$CSR_{7,5}$	FS_L
1,5	14	40	4	3,8	0,215	0,61
3	9	55	5	4,8	0,212	0,58
4,5	13	60	7	5,8	0,210	0,77
6	15	90	9	7,8	0,208	1,58
7,5	11	58	5	8,8	0,205	0,60
9	17	64	8	10,8	0,200	1,00
10,5	19	68	8	12,8	0,194	1,15
12	13	51	25	13,8	0,186	0,87
13	70	49	4	14,8	0,179	Non liquéfiable

La figure 1 (gauche) présente les déformations volumiques évaluées par le calcul conformément aux équations présentées aux paragraphes 2.2 et 2.2.2, et reportées sur l'abaque d'Idriss & Boulanger (2008) pour permettre leur comparaison visuelle avec cet abaque. Sur la figure 1 (droite), les 9 points de calcul sont reportés sur l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987) où les déformations volumiques peuvent être lues.

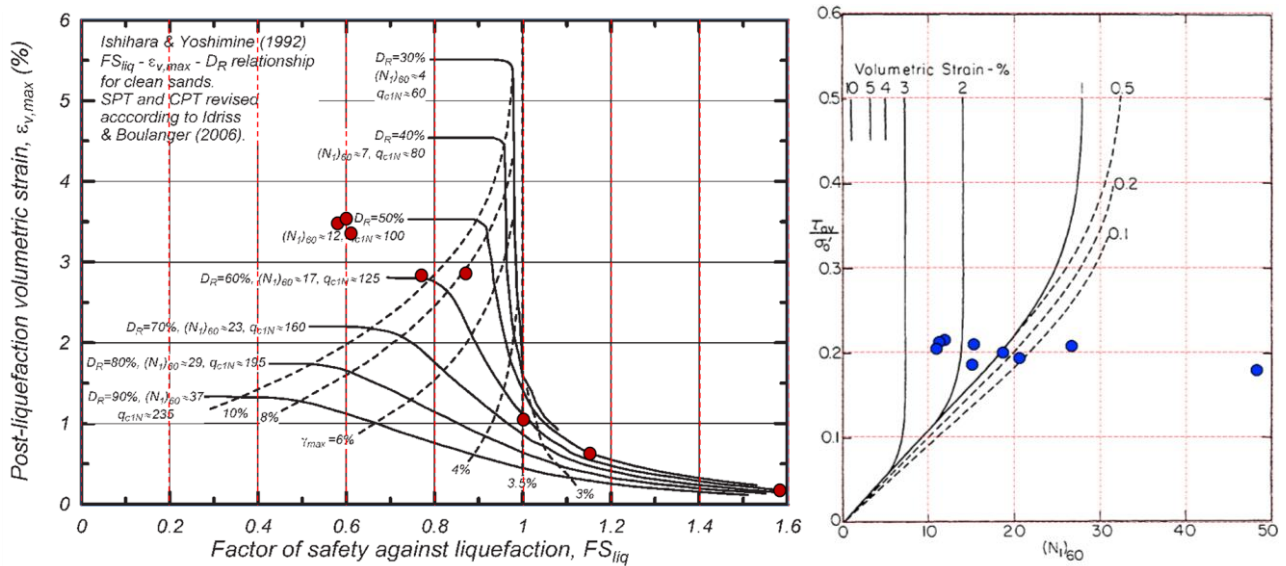


Figure 1. Gauche - Evaluation des déformations volumique par essai (points rouges) sur l'abaque d'Idriss & Boulanger(2008). Droite - Report des déformations volumiques évaluées par essai (points bleus) sur l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987).

La figure 2 compare les déformations volumiques évaluées à chaque profondeur par les deux méthodes testées utilisant l'essai SPT. Elle met en évidence que les tassements évalués par l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987) sont environ 40 % plus faibles que ceux évalués par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008), et de 35 % plus faibles si sont exclues les déformations inférieures au pourcent.

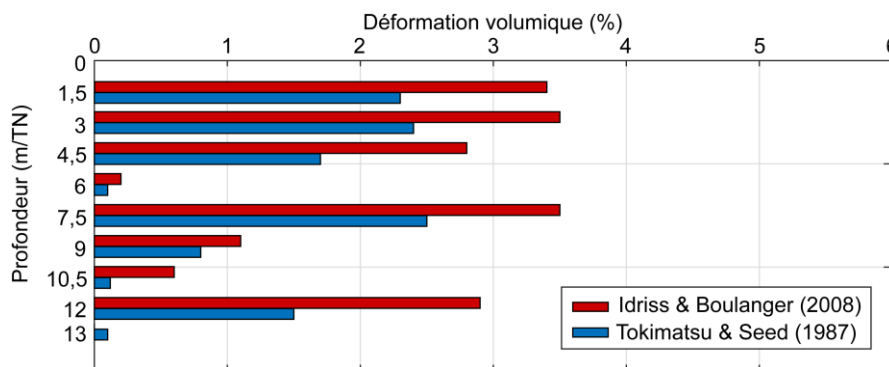


Figure 2. Présentation synthétique des déformations volumiques (en %) évaluées à chaque profondeur par la méthode de Tokimatsu & Seed (1987) et celle d'Idriss & Boulanger (2008).

3.2. Comparaison systématique des deux méthodes

Les déformations volumiques sont évaluées par le calcul de façon systématique, selon la méthode d'Idriss & Boulanger (2008) présentée au paragraphe 2.2.2, pour des valeurs de $(N_1)_{60}$ de 4, 7, 12, 17, 23 et 29 et pour des facteurs de sécurité à la liquéfaction FS_L compris entre 0,25 et 1,6, ce qui permet de couvrir ainsi tout le diagramme d'Idriss et Boulanger (figure 3, gauche).

Pour pouvoir replacer ces points sur l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987), la résistance au cisaillement cyclique normalisée $CRR_{7,5}$ est d'abord calculée par la méthode de Youd

et al. (2001), puis le taux de cisaillement cyclique $CSR_{7,5}$ est ensuite obtenu à partir de la résistance au cisaillement cyclique normalisée $CRR_{7,5}$ et du facteur de sécurité FS_L . Connaissant $(N_1)_{60}$ et le $CSR_{7,5}$ associés à chaque point de calcul, les déformations volumiques sont lues sur l'abaque de Tokimatsu et Seed (1987) de la figure 3 (droite). Ainsi, pour chaque couple $(N_1)_{60}$ - FS_L sont associées les déformations volumiques évaluées selon les abaques de Tokimatsu & Seed (1987) et d'Idriss & Boulanger (2008).

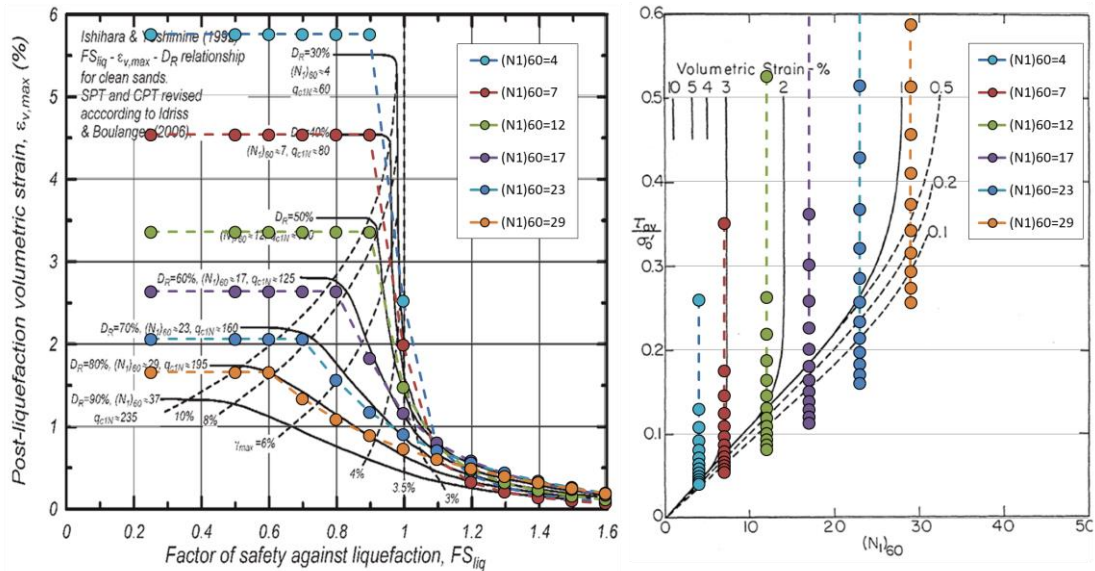


Figure 3. Représentation des points de calcul utilisés pour la comparaison systématique des déformations volumiques évaluées par les abaques de Tokimatsu & Seed (1987) et d'Idriss & Boulanger (2008).

La figure 4 présente sous une forme similaire les déformations volumiques évaluées par les deux méthodes. Elle met en évidence que les tassements évalués avec l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987) sont en moyenne 30 à 40 % plus faibles que ceux évalués par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008).

Le seul cas particulier est limité aux couples (coefficient de sécurité $FS_L \geq 1$; nombre de coups $(N_1)_{60} \leq 7$). Dans cette zone, les courbes d'isovaleurs des déformations volumiques

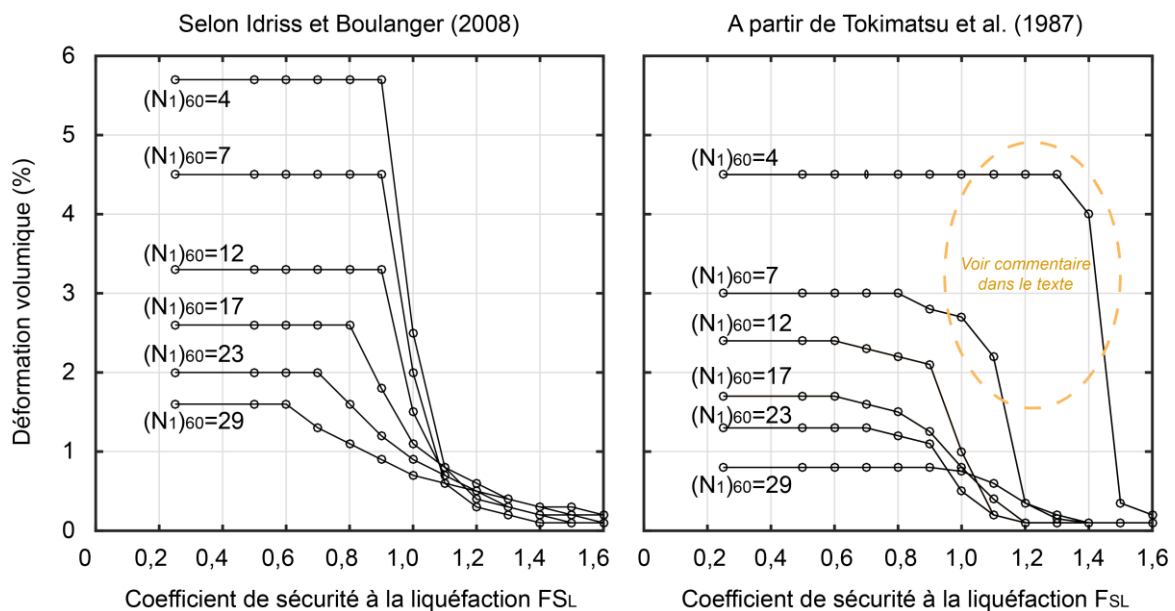


Figure 4. Présentation similaire des déformations volumiques (en %) évaluées par les méthodes de Tokimatsu & Seed (1987) et d'Idriss & Boulanger (2008).

sont très proches, voire confondues sur l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987). Les déformations volumiques sont ainsi difficiles à lire sur l'abaque, et peuvent être supérieures à celles évaluées par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008). Dans ces cas particuliers, le lecteur pourra se référer à un second abaque proposé par Tokimatsu & Seed (1987), valable lorsque FS_L est supérieur à 1, qui présente un intérêt pratique. Son utilisation permet de généraliser la conclusion sur les différences entre les deux méthodes.

4. Evaluation du tassement sismo-induit à partir de l'essai CPT

4.1. Exemple d'application

Les résultats d'un essai *in situ* fictif au pénétromètre statique CPT sont présentés dans le tableau 5 où les résistances de pointe q_c et les frottements latéraux f_s mesurés par pas de 2 cm sont donnés à quatre profondeurs. Les poids volumiques des sols et la cote du niveau de la nappe sont les mêmes que pour l'essai SPT (cf. §3.1.).

L'évaluation du rapport de cisaillement cyclique CSR induit par le séisme est effectuée en considérant un séisme de magnitude M_w égale à 7,5, une accélération PGA égale à 0,14 g, et un niveau d'eau concomitant avec le séisme de projet affleurant.

La procédure de calcul du facteur de sécurité à la liquéfaction FS_L selon la méthode simplifiée (Youd *et al.*, 2001) est présentée dans Javelaud *et al.* (2019). La dernière colonne du tableau 5 présente les résultats de FS_L obtenus.

Tableau 5. Données brutes du cas test pour les essais de pénétration au cône CPT en sondage et résultats synthétiques du calcul du facteur de sécurité FS_L (Javelaud *et al.*, 2019).

Profondeur/terrain naturel (m)	Résistance de pointe (q_c) en kPa	Frottement (f_s) en kPa	Facteur de sécurité à la liquéfaction FS_L
1	3087	80	1,01
2	1919	25	0,63
3	1985	85	1,51
4	1007	13	0,59

La figure 5 compare les déformations volumiques évaluées par les méthodes de Zhang *et al.* (2002) et d'Idriss & Boulanger (2008). Elle met en évidence que les tassements évalués par l'abaque de Zhang *et al.* (2002) sont environ 35 % plus faibles que ceux évalués par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008), si on exclut l'essai à 3 m de profondeur où les déformations volumiques arrondies au dixième de pourcent ne permettent pas la comparaison.

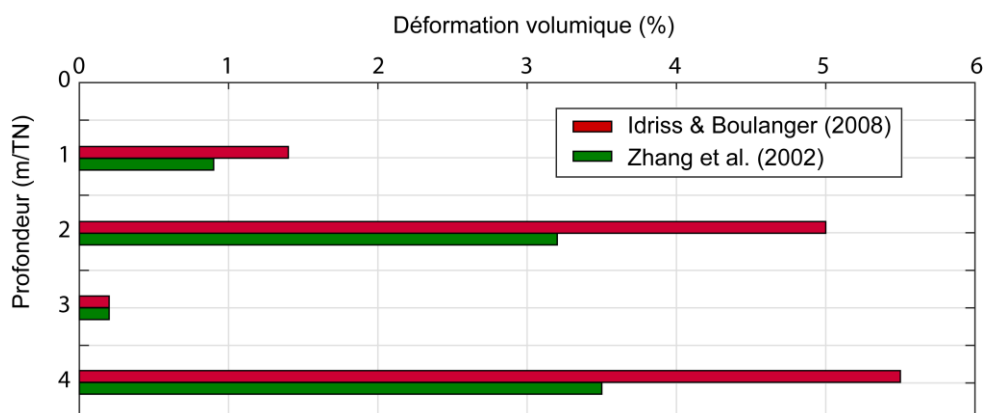


Figure 5. Présentation synthétique des déformations volumiques (en %) évaluées à différentes profondeurs par les applications de l'abaque d'Ishihara et Yoshimine (1992) faites par Zhang *et al.* (2002) et par Idriss & Boulanger (2008).

4.2. Comparaison systématique des deux méthodes

Nous avons vu au paragraphe 2.2 que la seule différence entre les méthodes de Zhang *et al.* (2002) et d'Idriss & Boulanger (2008) est la corrélation utilisée pour lier la densité relative et la résistance du sol normalisée q_{c1N} , hormis une présentation différente des résultats. La comparaison des résistances de pointes normalisées q_{c1N} associées à des densités relatives D_r identiques est faite dans le tableau 6, sur la base des tableaux 2 et 3 : pour une densité relative D_r identique, il apparait que les résistances de pointes normalisées q_{c1N} retenues par Zhang *et al.* (2002) sont systématiquement inférieures à celles retenues par Idriss & Boulanger (2008). Exprimé différemment, ce choix de corrélations différentes implique qu'à une résistance de pointe normalisée q_{c1N} mesurée *in situ*, la méthode de Zhang *et al.* (2002) associera systématiquement une densité relative D_r supérieure, et donc une déformation volumique ε_v inférieure.

Tableau 6. Comparaison des corrélations D_r - q_{c1N} utilisées par Zhang *et al.* (2002) et Idriss & Boulanger (2008).

		D_r (%)						
		30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
q_{c1N}	Zhang <i>et al.</i> (2002) (Corrélation de Tatsuoka <i>et al.</i> (1990))	32,6	44,1	59,7	80,9	109,5	148,3	200,7
	Idriss & Boulanger (2008) (Corrélation corrigée)	58,3	76,2	97,9	123,8	154,4	190,3	232,0

Les déformations volumiques ε_v sont évaluées par les deux méthodes à des valeurs identiques de q_{c1N} de 60, 80, 100, 125, 160 et 195, auxquelles sont ajoutées la valeur de q_{c1N} de 33 pour la méthode de Zhang *et al.* (2002) et la valeur de q_{c1N} de 235 pour la méthode d'Idriss & Boulanger (2008) afin de couvrir les plages d'utilisation, et pour des coefficients de sécurité à la liquéfaction FS_L compris entre 0,2 et 2.

La figure 6 présente sous une forme similaire les déformations volumiques évaluées par les deux méthodes. Elle met en évidence que les tassements évalués par l'abaque de Zhang *et al.* (2002) sont en moyenne environ 30% plus faibles que ceux évalués par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008).

Le seul cas particulier est limité aux couples (coefficient de sécurité $FS_L > 1$; résistances de pointes normalisées $q_{c1N} < 100$) du fait d'une mise sous forme d'équations différentes des deux abaques et du croisement des courbes de l'abaque d'Idriss & Boulanger (2008). L'effet est cependant faible en pratique car ce sont des cas où les tassements évalués sont au plus de l'ordre du pourcent.



Figure 6. Présentation homogène des déformations volumiques (en %) évaluées par la méthode de Zhang *et al.* (2002) et par celle d'Idriss & Boulanger (2008) (utilisant l'équation 6).

5. Conclusion

Cet article compare les résultats de deux méthodes courantes d'évaluation des tassements sismo-induits des sables saturés sous nappe, pour chacun des deux types d'essais *in situ* SPT et CPT. De manière générale, il apparaît que les tassements évalués à partir des abaques de Tokimatsu & Seed (1987) pour l'essai SPT et de Zhang *et al.* (2002) pour l'essai CPT sont en moyenne 30% à 40% plus faibles que ceux évalués par la méthode d'Idriss & Boulanger (2008) appliquée aux essais SPT ou CPT.

La comparaison systématique des méthodes a révélé la présence de cas particuliers.

Pour l'essai SPT, ils sont liés aux limites de la définition des courbes d'isovaleurs de déformation volumique qui sont très proches, voire confondues sur l'abaque de Tokimatsu & Seed (1987) pour de faibles nombres de coups (N_1)₆₀. Un second abaque présenté par Tokimatsu & Seed (1987), valable lorsque FS_L est supérieur à 1, présente un intérêt pratique. Son utilisation permet de généraliser la conclusion sur les différences entre les deux méthodes.

Pour l'essai CPT, le seul cas particulier est limité aux couples (coefficient de sécurité $FS_L > 1$; résistances de pointes normalisées $q_{c1N} < 100$) du fait d'une mise sous forme d'équations différentes des deux abaques et du croisement des courbes de l'abaque d'Idriss & Boulanger (2008). L'effet est cependant faible en pratique car ce sont des cas où les tassements évalués sont au plus de l'ordre du pourcent.

6. Références bibliographiques

- Idriss I.M. et Boulanger R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes, Earthquake Engineering Research Institute, 237p.
- Ishihara K. et Yoshimine M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes - Soils and Foundations, Vol.32, N°1, March 1992, pp. 173-188.
- Javelaud E., Moiriat D., Serratrice J.-F., Dufour N., Folliard D., Fry J.-J., Gaal A., Hocde M., Miraillet P. et S. Reynaud (2019). Banc de qualification pour une application de la méthode simplifiée d'analyse du risque de liquéfaction des sols à partir des essais *in situ* SPT et CPT. 10^{ème} colloque national de l'AFPS, Strasbourg, 24-27 septembre 2019.
- Javelaud E., Serratrice J.-F. (2018). La liquéfaction des sols sous l'effet des séismes. Article C261 de l'Encyclopédie des Techniques de l'Ingénieur.
- Seed H.B., Idriss I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, vol. 97, pp 1249-1272
- Tatsuoka, F., Zhou, S., Sato, T., and Shibuya, S. (1990). Method of evaluating liquefaction potential and its application. In Report on seismic hazards on the ground in urban areas, Ministry of Education of Japan, Tokyo. (en Japonais)
- Tokimatsu K. et Seed H. B. (1987). Evaluation of settlements in sand due to earthquake shaking - Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 113 , N0°8, pp. 861-878.
- Yoshimine, M., Nishizaki, H. , Amano, K. et Hosono Y. (2006). Flow deformation of liquefied sand under constant shear load and its application to analysis of flow slide of infinite slope. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 253-264.
- Youd T.L., I.M. Idriss, R.D. Andrus, I. Arango, G. Castro, J.T. Christian, R. Dobry, W.D. Liam Finn, L.F. Harder Jr, M.E. Hynes, K. Ishihara, J.P. Koester, S.S.C. Liao, W.F. Marcusson III, G.R. Martin, J.K. Mitchell, Y. Moriwaki, M.S. Power, P.K. Robertson, R.B. Seed, K.H. Stokoe II (2001). - Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. J. Geotech. and Geoenviron. Engng., vol. 127, n° 10, pp. 817-833.
- Zhang G., Robertson P.K. et R.W.I. Brachman (2002). Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. Can. Geotech. J., Vol.39:1168-1180.