

# REMBLAIS SUR SOLS LIQUEFIABLES: EVALUATION DU RISQUE ET INCIDENCE SUR LA STABILITE

FZ. ZERFA
FONDASOL



#### **SOMMAIRE**

Eléments influençant le potentiel de liquéfaction

Principales méthodes d'investigation,

- CPT, CPTU
- SPT,
- Essais de laboratoire.

Evaluation du risque : études de cas

- Comparaison des résultats SPT CPT
- Comparaison des résultats CPT Triaxial cyclique

Influence sur la stabilité des remblais.

Conclusion et recommandations



- Granulométrie
- Densité relative
- Intensité de la secousse et le nombre de cycles
- Contrainte de confinement
- Niveau de la nappe
- Perméabilité du sol
- Histoire et degré de consolidation





#### Nature et Granulométrie

#### Caractère liquéfiable

# 1. **Sables :**

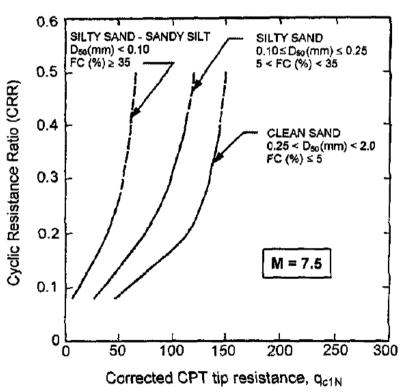
Degré de saturation proche de 1 Cu = D60/D10 < 150.05 < D50 < 1.5 mm

# 2. Argiles:

D15 <u>></u> 0.005 mm Limite de liquidité LL <u><</u> 35% Teneur en eau <u>></u> 0.9 LL ésentatif dans le diagramme au

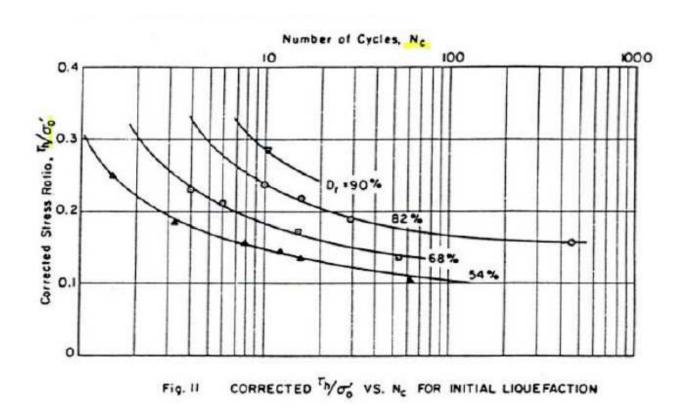
Point représentatif dans le diagramme au dessur de la ligne A

# Résistance à la liquéfaction





# Influence de la densité relative





#### Influence de l'indice de plasticité

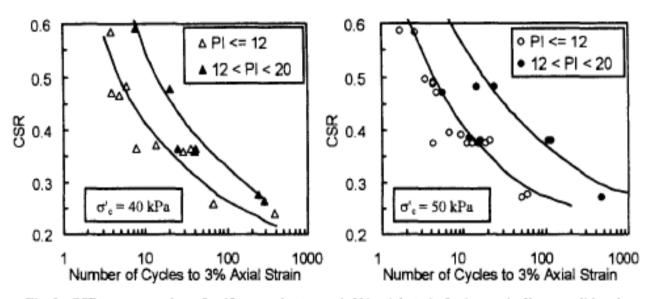


Fig. 3: CSR versus number of uniform cycles to reach 3% axial strain for isotropically consolidated specimens to (a) 40 kPa and (b) 50 kPa, that have PI ≤ 12 (empty symbols) and PI > 12 (filled in symbols). Note that soils with PI > 20 did not generate significant pore pressures or axial strain.



# Intensité de la secousse et nombre de cycles

	To Cause I	Table 5.1 Accelerations (g) Re nitial Liquefaction B ed Seed-Idriss Appro	ased on				
Relative	Cycles of Strong Ground Shaking						
Density (%)	15	10	4	1			
25	0.065	0.073	0.089	0.131			
40	0.103	0.116	0.141	0.208			
50	0.128	0.145	0.177	0.260			
60	0.154	0.174	0.212	0.312			
70	0.179	0.203	0.248	0.364			



# Evaluation du risque de liquéfaction

# PRINCIPALES METHODES D'EVALUATION DU RISQUE DE LIQUEFACTION

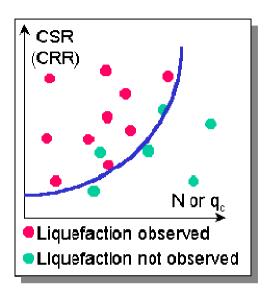


# Evaluation du risque de liquéfaction

# Plusieurs approches

- Approche par sondages CPT
- Approche par sondages SPT, piézocône
- Approche par mesure de Vs

$$F_s = \frac{Contra \text{ int } e \text{ } de \text{ } cisaillement \text{ } conduisant \text{ } \grave{a} \text{ } la \text{ } liquéfaction}{Contra \text{ int } e \text{ } de \text{ } cisaillement \text{ } \acute{e}quivalente \text{ } g\acute{e}n\acute{e}r\acute{e}e \text{ } par \text{ } le \text{ } s\acute{e}isme} = \frac{CRR}{CSR}$$



Approche par essais cycliques de cisaillement

$$F_s = \frac{Nombre \ de \ cycles \ conduisan \ t \ \grave{a} \ la \ liqu\'efaction}{Nombre \ de \ cycles \ g\'en\'er\'e \ par \ le \ s\'eisme} = \frac{N_L}{N_{eq}}$$

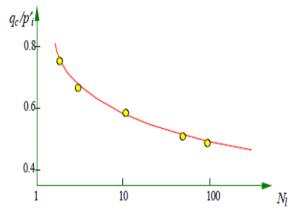
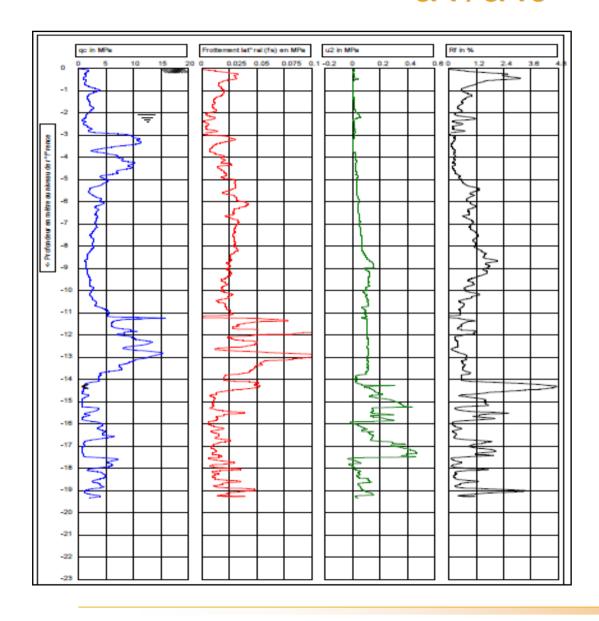


Fig. 2.8: Typical results from undrained cyclic triaxial test (Kaggwa,



#### CPT / CPTU



# Caractéristiques mesurées :

# **Mécanique**

- -Résistance de pointe q<sub>c</sub>
- -résistance au frottement q<sub>s</sub>

# Nature du sol :

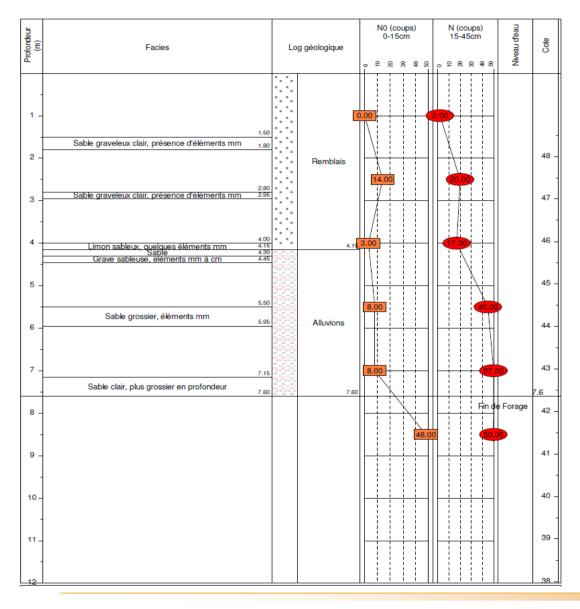
 $R_f = q_c/q_f \Rightarrow indication sur la$  nature

-B<sub>q</sub> ⇒ perméabilité et contenance en fines

Temps: 40 m/jour



#### SPT



# <u>Caractéristiques</u> <u>mesurées :</u>

# **Mécanique**

- Nombre de coups N<sub>60.</sub>

# **Nature**

- Prélèvement des échantillons pour identification au laboratoire

Temps : 20 m / jour + essais de laboratoire



#### ESSAIS DE CISAILLEMENT CYCLIQUE

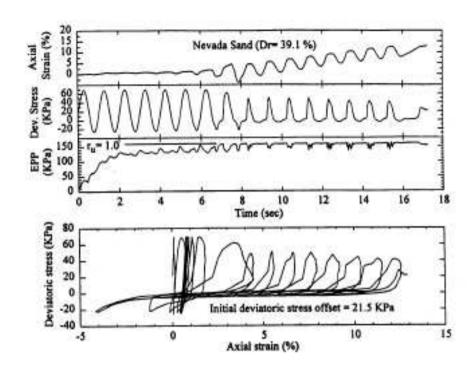


Figure 7.9. Stress, strain and excess pore pressure measured in undrained, stress-controlled cyclic triaxial test of Nevada sand of relative density close to 40%, with an imposed static (initial) deviatoric stress (After Arulmoli et al., 1992)

# <u>Caractéristiques mesurées</u> <u>:</u>

- -Nombre de cycles à la liquéfaction
- Evolution de la pression interstitielle en fonction du nombre de cycle

# Temps:

- Sondage carotté pour prélèvement de El
- Essai cyclique : plusieurs jours



#### **CONCLUSION**

- CPT : mesures continues, rapides, permet une classification des sols, plusieurs corrélations disponibles
- SPT : mesures discontinues, moins rapide que le CPT nécessite la réalisation d'essais d'identification des sols, plusieurs corrélations disponibles, remanie le sol.
- Essais cycliques : reconnaissances discontinues avec prélèvement d'EI, lent, les résultats obtenus ne caractérisent que l'échantillon testé. Il permet de décrire l'évolution des pressions interstitielle en fonction du nombre de cycles. Les terrains stratifiés peuvent nécessiter plusieurs essais. L'approche convient pour caractériser les terrains homogènes.



#### **ETUDES DE CAS**

#### **ETUDES DE CAS**

1- Comparaison CPT- SPT

Investigations: 2 CPT + 2 SPT

Ces sondages ont été réalisés dans un rayon de 8 m

2- Comparaison CPT- Essais triaxiaux cycliques Investigations : 1 CPT + un essai triaxial cyclique

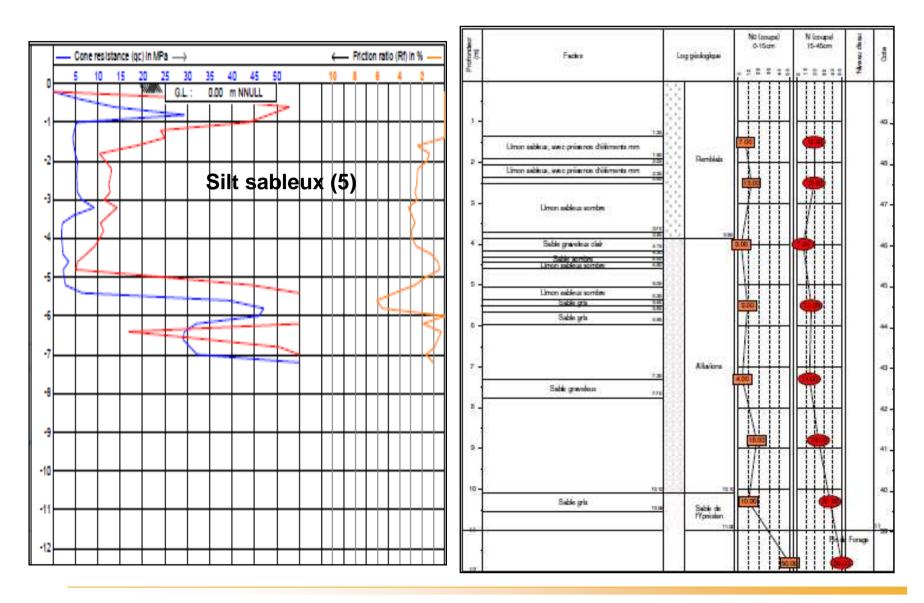


# CAS 1: COMPARAISON DU RISQUE CPT/SPT

# **Premier cas**

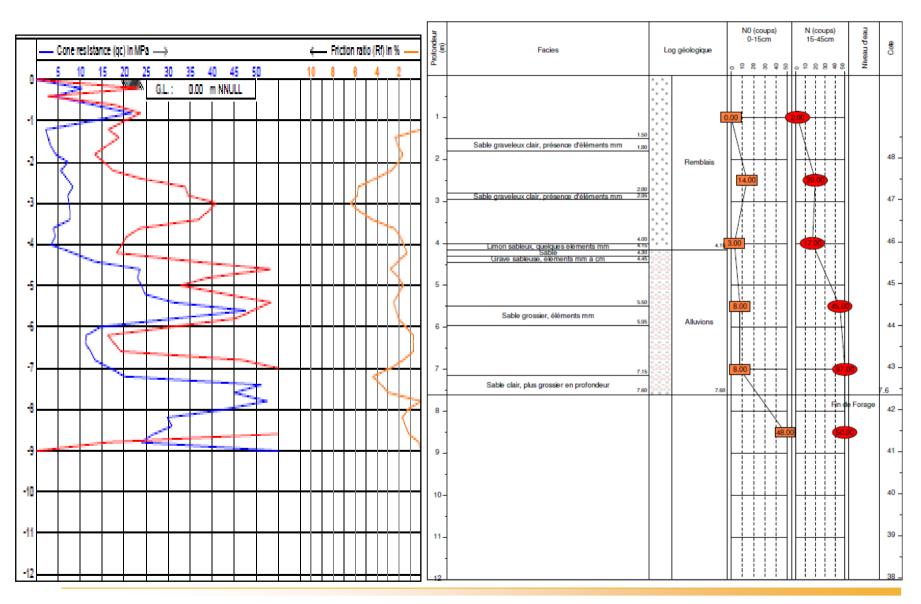


#### CAS 1: COMPARAISON DU RISQUE CPT/SPT





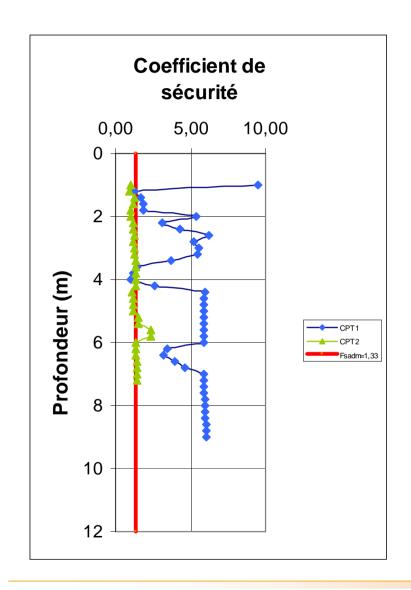
#### COMPARAISON D'ANALYSE DU RISQUE CPT/SPT

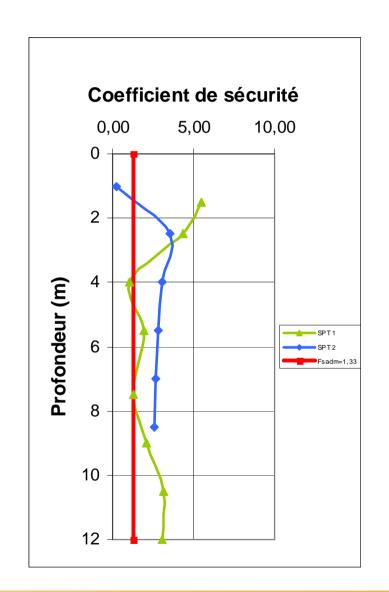


REMBLAIS SUR SOLS LIQUEFIABLES: EVALUATION DU RISQUE ET INCIDENCE SUR LA STABILITE CFMS 24/03/2010



#### COMPARAISON D'ANALYSE DU RISQUE CPT / SPT







# COMPARAISON D'ANALYSE DU RISQUE CPT / SPT

Site	étudié	est tre	ès h	étérog	ène	du	point	de	vue	nature	et	résistan	се	des	sol	S
				_	,											

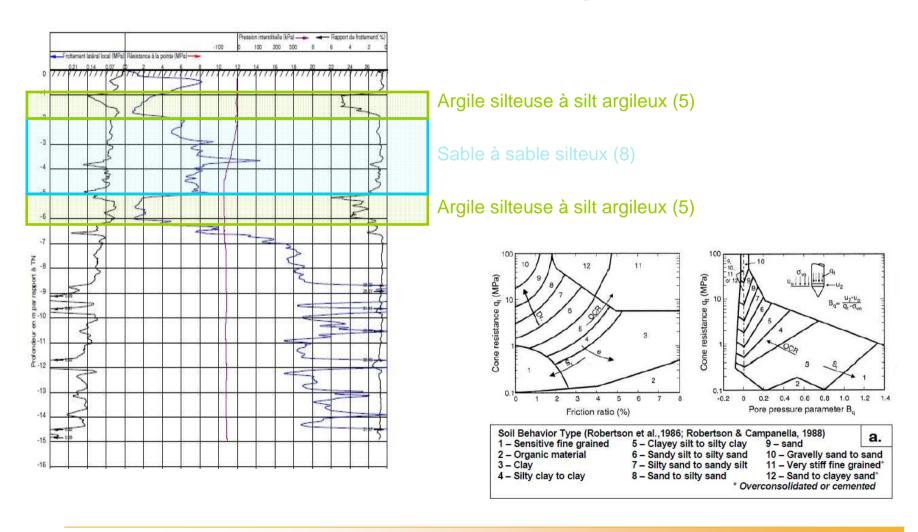
On peut dire que globalement les résultats concordent



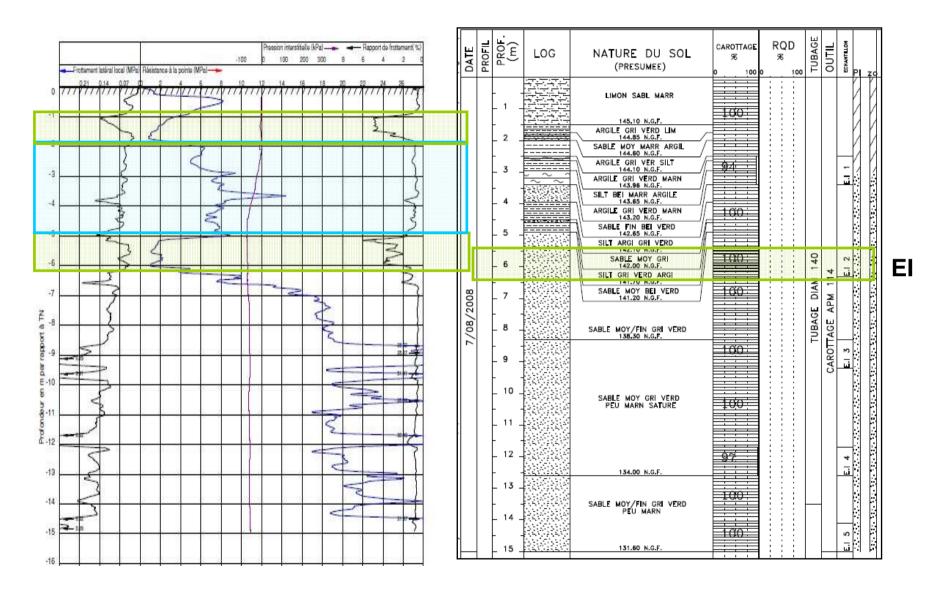
# **Second cas**



# 1- Prélèvement de l'échantillon : reconnaissance préalables ?



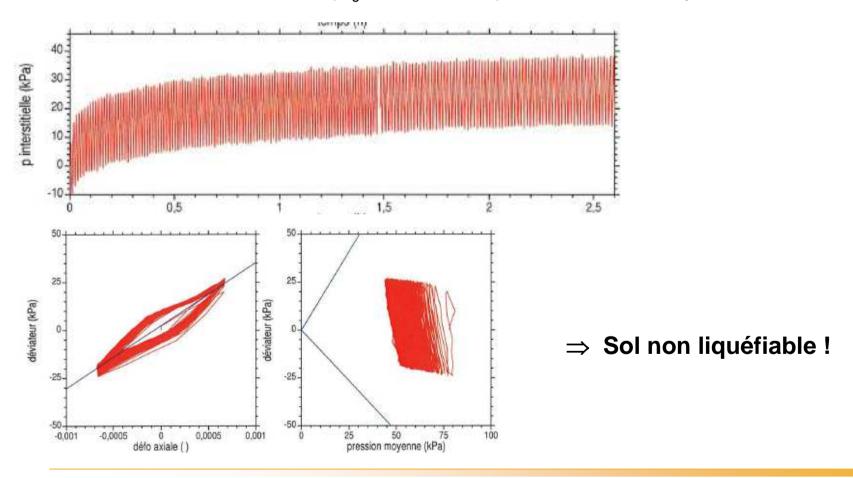






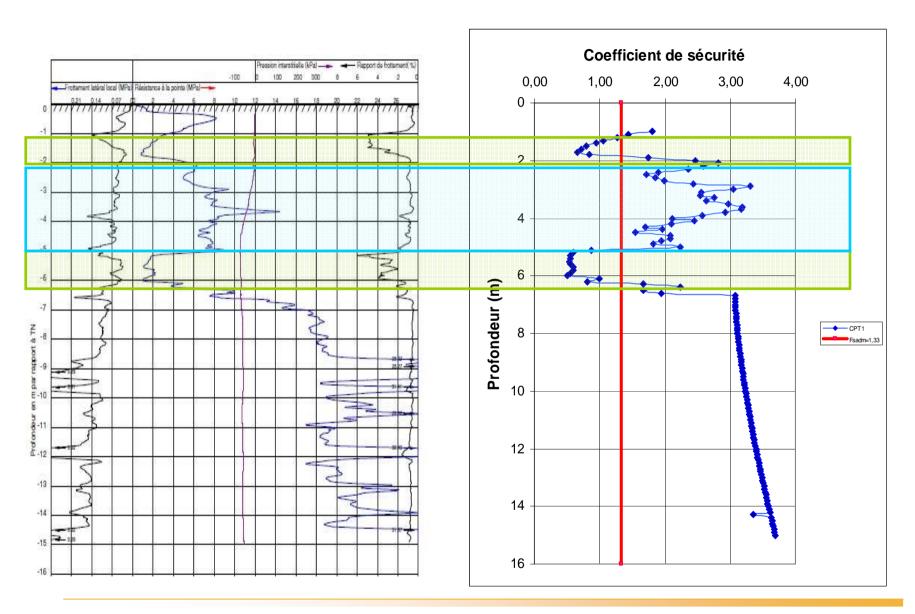
Échantillon intact prélevé entre 5 et 6 m/TN Argile silteuse

Paramètres de l'essai : p'<sub>0</sub>=78 KPa , q=25 KPa , 530 cycles



REMBLAIS SUR SOLS LIQUEFIABLES: EVALUATION DU RISQUE ET INCIDENCE SUR LA STABILITE CFMS 24/03/2010







Les résultats obtenus par le CPT et l'essai triaxial sont divergents :

- qc < 3 MPa ⇒ argiles et limons mous
- l'essai cyclique montre un comportement avec faibles accumulation de déformation

Que conclure ? Argile très plastique ? Aucun essai d'identification n'a été réalisé sur l'échantillon

Risques sur l'ouvrage



Influence de la présence d'une lentille liquéfiée sur la stabilité des remblais



# Cas de ruptures































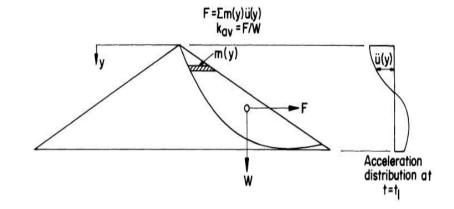
# APPLICATION AU CALCUL DES REMBLAIS : Influence d'une lentille liquéfiée

# Méthode pseudo-statique

Deux combinaisons

 $F_H = 0.5 \alpha W$  en direction horizontale et

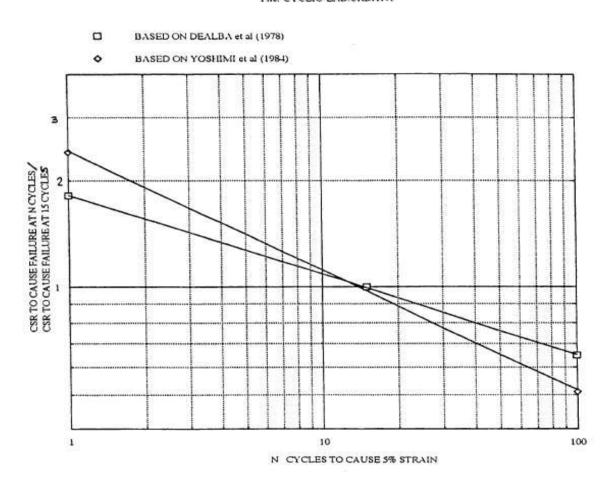
 $F_V = \pm 0.5 F_H$  en direction verticale



- 1 Prendre en compte les pressions interstitielles générées par le séisme
- 2 Prendre en compte la dégradation de la résistance au cisaillement du sol par l'intermédiaire de Su



#### IDRISS PROPOSED CORRECTION FOR NUMBER OF CYCLES TO LIQUEFACTION File: CYCLIC-LAB.CRDATA





# Estimation des pressions interstitielles

$$r_{u} = \frac{u_{g}}{\sigma_{o}!} = \frac{2}{\pi} \arcsin\left(\frac{N}{N_{l}}\right)^{\frac{1}{2\theta}}$$

$$u_{g}$$

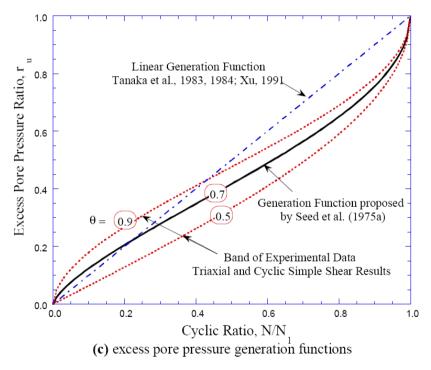
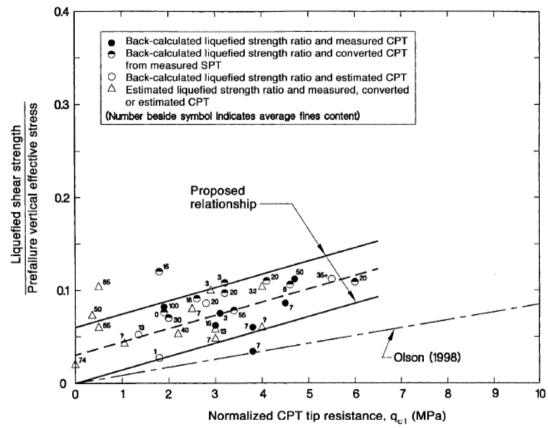


Figure 3.2: Rate of pore water pressure build-up in cyclic tests

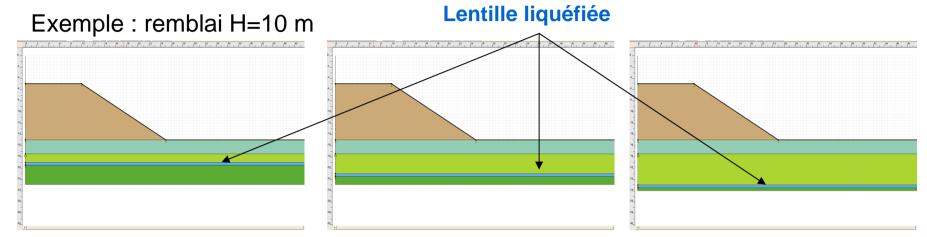


# Estimation de la résistance non drainée à la liquéfaction

Fig. 5. A comparison of liquefied strength ratio relationships based on normalized CPT tip resistance.







Remblai : c=2 KPa , φ'=33°

Sol d'assise : c=1 KPa ,  $\phi$ '=30°, avec différents taux de pressions interstiti elles ru=0.5 dans la couche surmontant la lentille liquéfiable

3 profondeurs de la couche liquéfiable : 4-4.5 m/TN ; 6-6.5 m/TN ; 8-8.5 m/TN

#### Calculs du coefficient de sécurité pour 4 cas :

- 1- Sans prise en compte des pressions interstitielles
- 2 Avec prise en compte des pressions interstitielles Fs=1.25 et ru=0.7 dans la lentille liquéfiable
- 3 Avec prise en compte des pressions interstitielles Fs=1 et ru=0.9 dans la lentille liquéfiable
- 4 Avec prise en compte des pressions interstitielles FS=1 et Su=0.05  $\sigma'_{v0}$



# Tableau récapitulatif des coefficients de sécurité

Cas	1	2	3	4
Profil				
1	1.48	0.88	0.87	0.86
2	1.56	1.01	0.87	0.84
3	1.67	1.07	0.96	0.95



#### **CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS**

La méthode d'évaluation du risque utilisant le CPT permet de détecter les lentilles liquéfiables et de les prendre en compte.

Ces lentilles peuvent avoir un effet important vis-à-vis de la stabilité des remblais.

Sans liquéfaction, les pressions interstitielles peuvent générer un glissement.

La stabilité des remblais sur sols liquéfiables nécessite une estimation minutieuse du risque de liquéfaction et des pressions interstitielles générées par le séisme.



Merci de votre attention