

**Journée commune de l'AFPS et du CFMS**  
**« LIQUEFACTION DES SOLS SOUS SEISME »**  
**CNAM de Paris, 24/03/2010**

***Le pressiomètre cyclique : une autre approche in situ  
des propriétés de liquéfaction des sols***

**J. Canou & J.-C. Dupla**

***Ecole des Ponts ParisTech***

## ***PLAN DE LA PRESENTATION***

- **Contexte et objectifs**
- **Dispositifs expérimentaux**
- **Résultats typiques**
- **Présentation de la méthode proposée**
- **Validation en laboratoire**
- **Validation sur site (en cours)**
- **Conclusions**

## CONTEXTE

**Evaluation du risque de liquéfaction des sols à partir d'essais in situ tels que SPT, CPT, CPTU :**

*Corrélations des observations de liquéfaction avec des paramètres de rupture :  $N$ ,  $q_c$ ,  $\Delta u$*

**Intérêt du pressiomètre :**

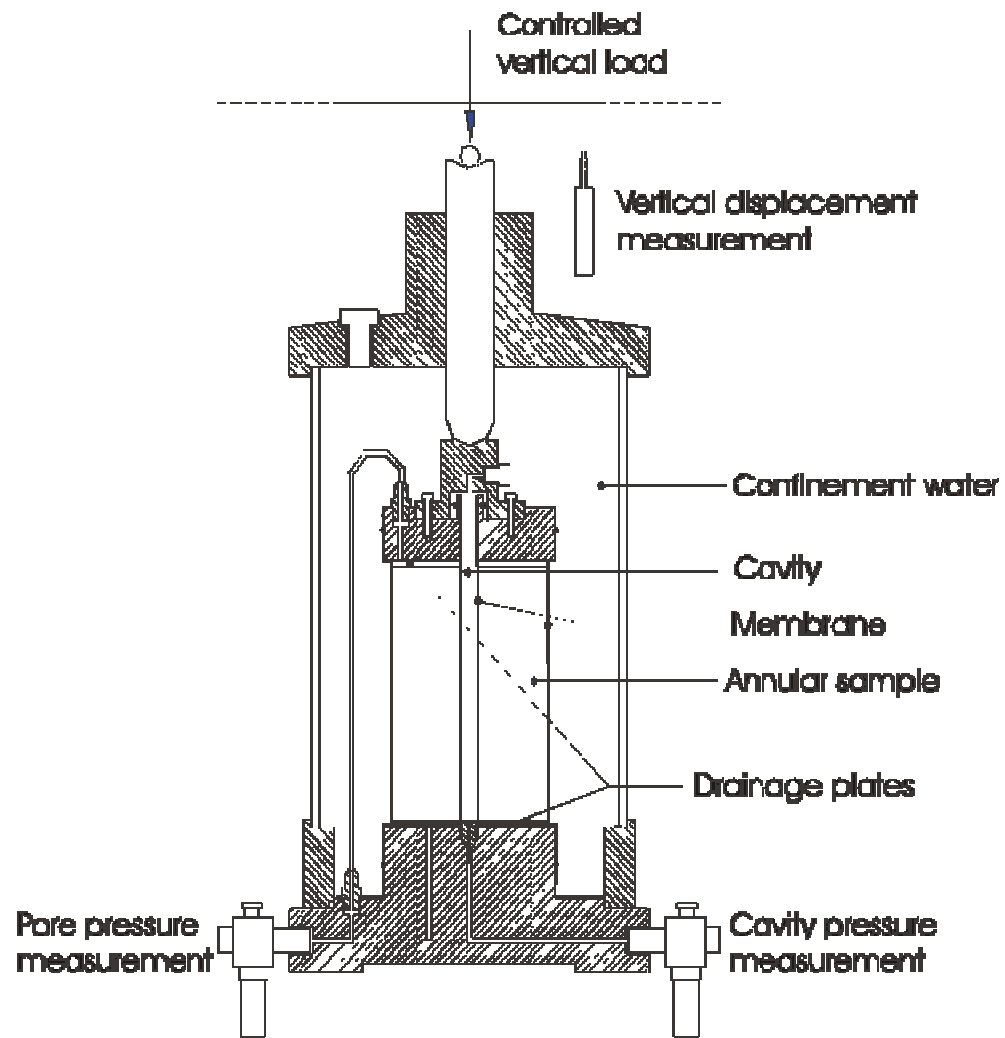
*Accès à des informations sur le comportement au cisaillement du sol (relation contrainte-déformation), intéressant en monotone mais aussi en cyclique : a priori, possibilité d'approcher de manière plus fine le comportement à la liquéfaction qu'avec les essais de type fonçage*

## **OBJECTIF**

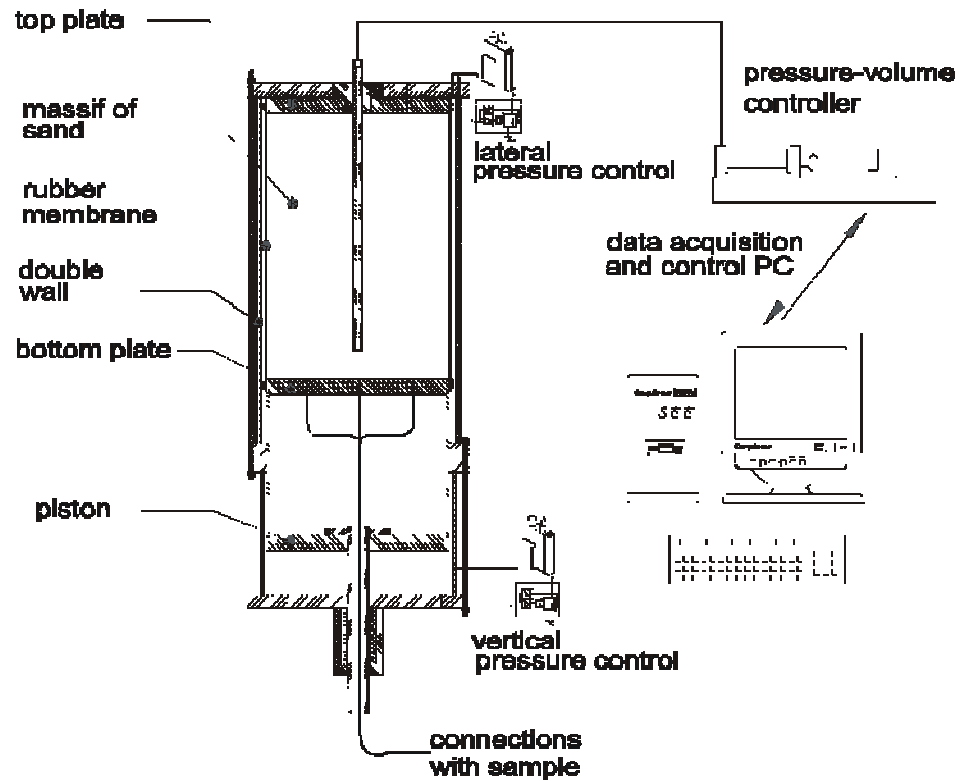
**Développer une méthode basée sur le pressiomètre cyclique pour évaluer les propriétés de liquéfaction des sols sableux**

**Idée de base : développer des corrélations entre le comportement du sol « observé » dans un essai pressiométrique cyclique drainé et celui observé dans un essai triaxial cyclique non drainé**

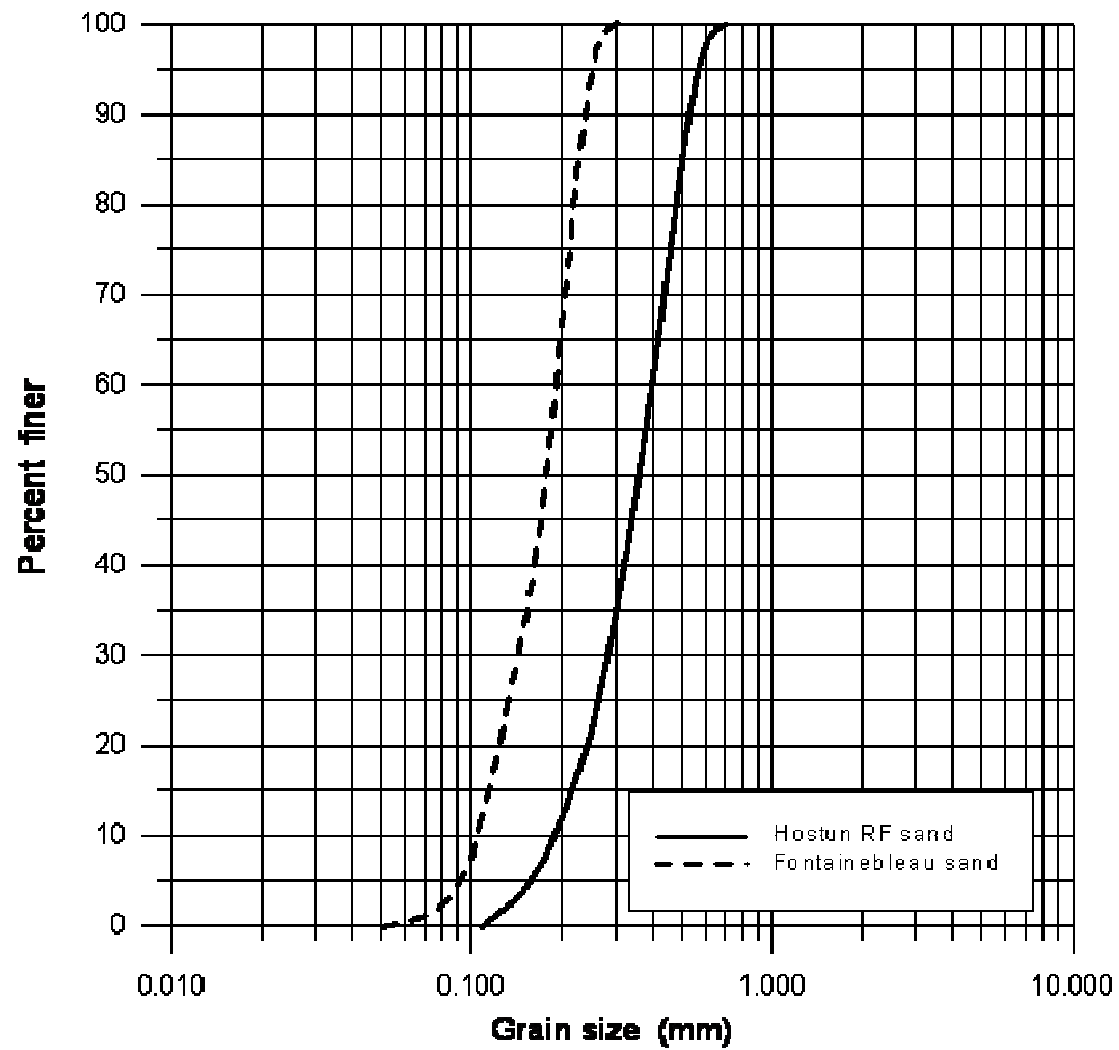
## ESSAI D'EXPANSION AU CYLINDRE CREUX



# DISPOSITIF D'ESSAI EN CHAMBRE D'ETALONNAGE



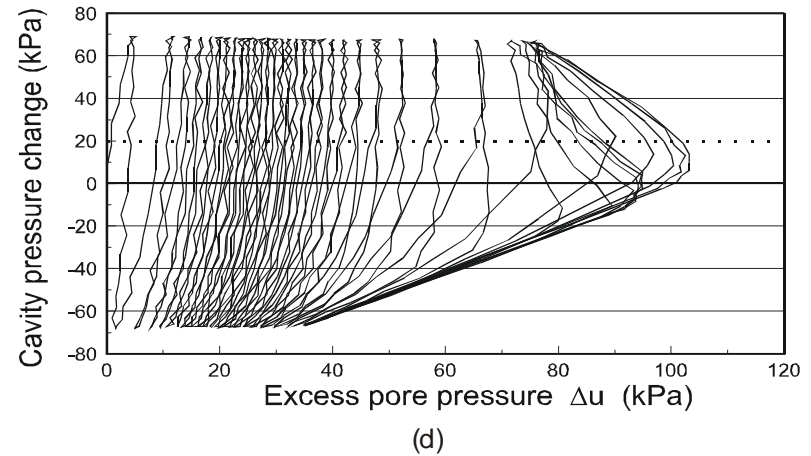
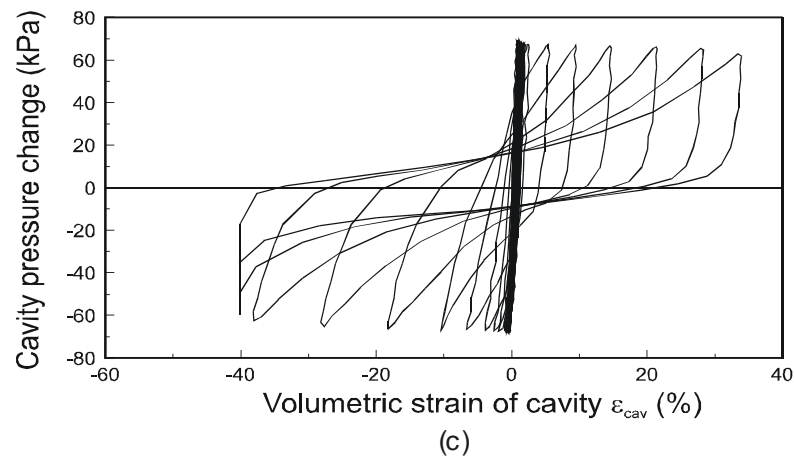
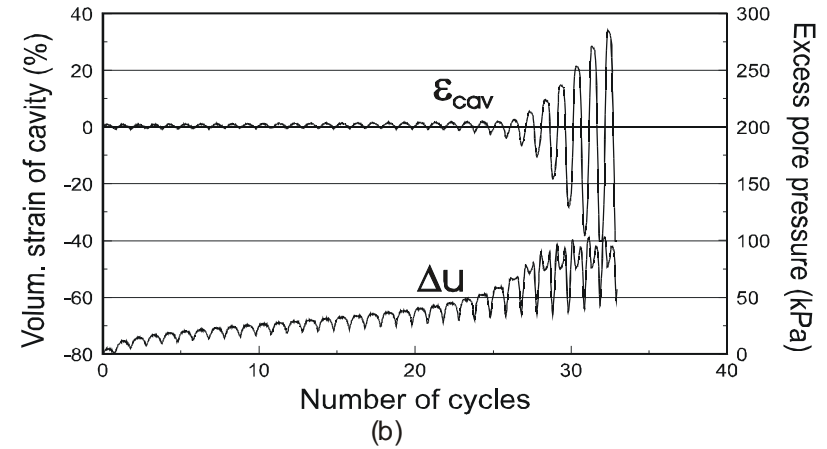
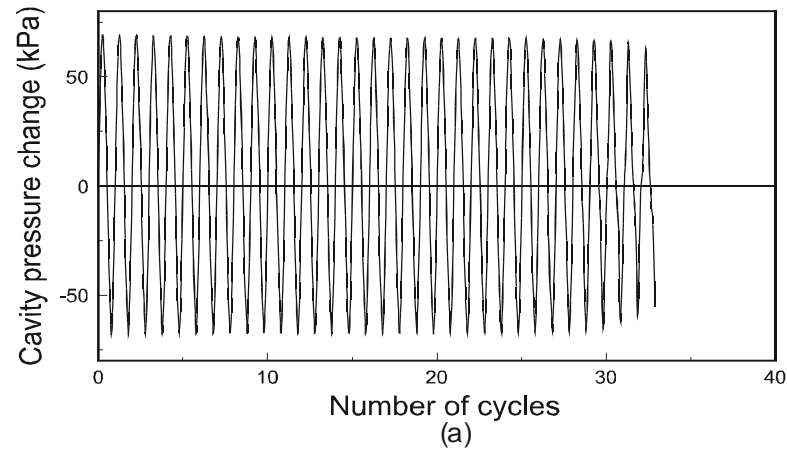
# COURBES GRANULOMETRIQUES DES SABLES ETUDIES



# RESULTAT TYPIQUE D'ESSAI D'EXPANSION NON DRAINE AU CYLINDRE CREUX

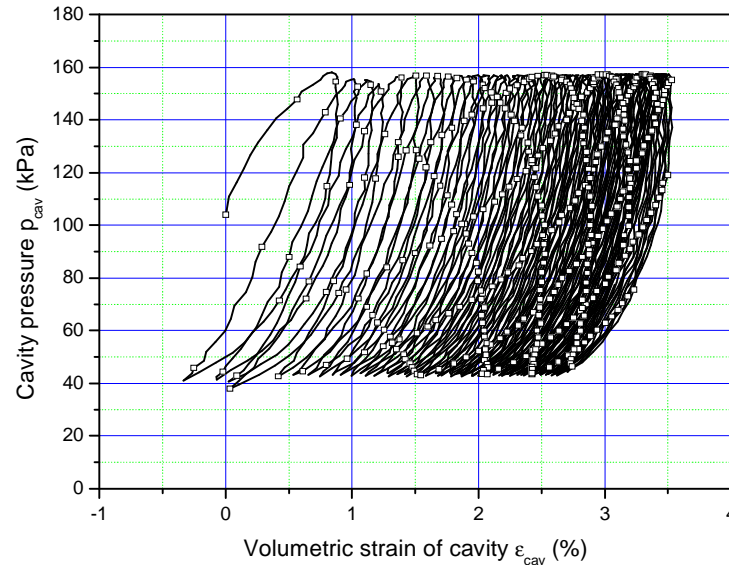
Sable d'Hostun RF,  $I_D = 0,72$ ,  $p'_c = 100$  kPa,  $R_{cyc} = \Delta p_{cyc} / p'_c = 0,70$

$f = 0,017$  Hz ( $T = 60$  s), chargement alterné





# RESULTAT TYPIQUE D'ESSAI D'EXPANSION DRAINE AU CYLINDRE CREUX



**Sable d'Hostun RF**

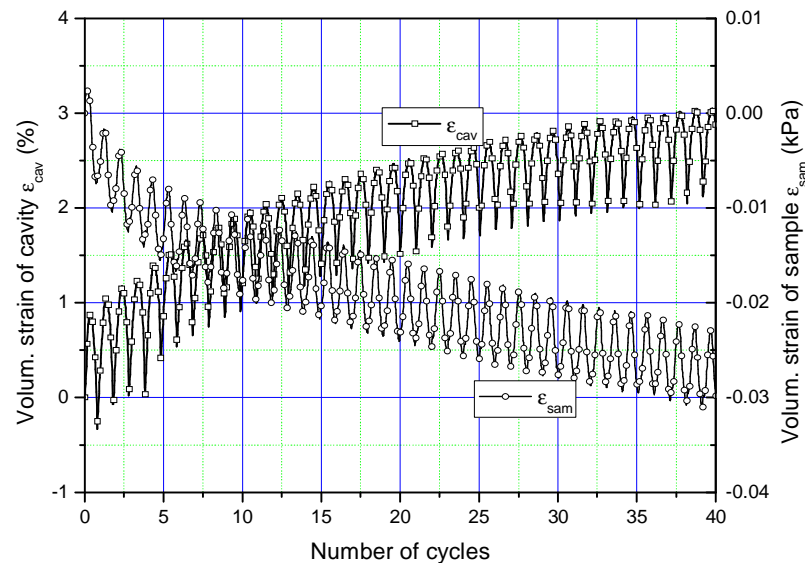
**$I_D = 0,47$**

**$p'_c = 100$  kPa**

**$R_{cyc} = \Delta p_{cyc} / p'_c = 0,60$**

**$f = 0.017$  Hz ( $T = 60$  s)**

**Chargement alterné ( $\pm \Delta p_{cyc}$ )**



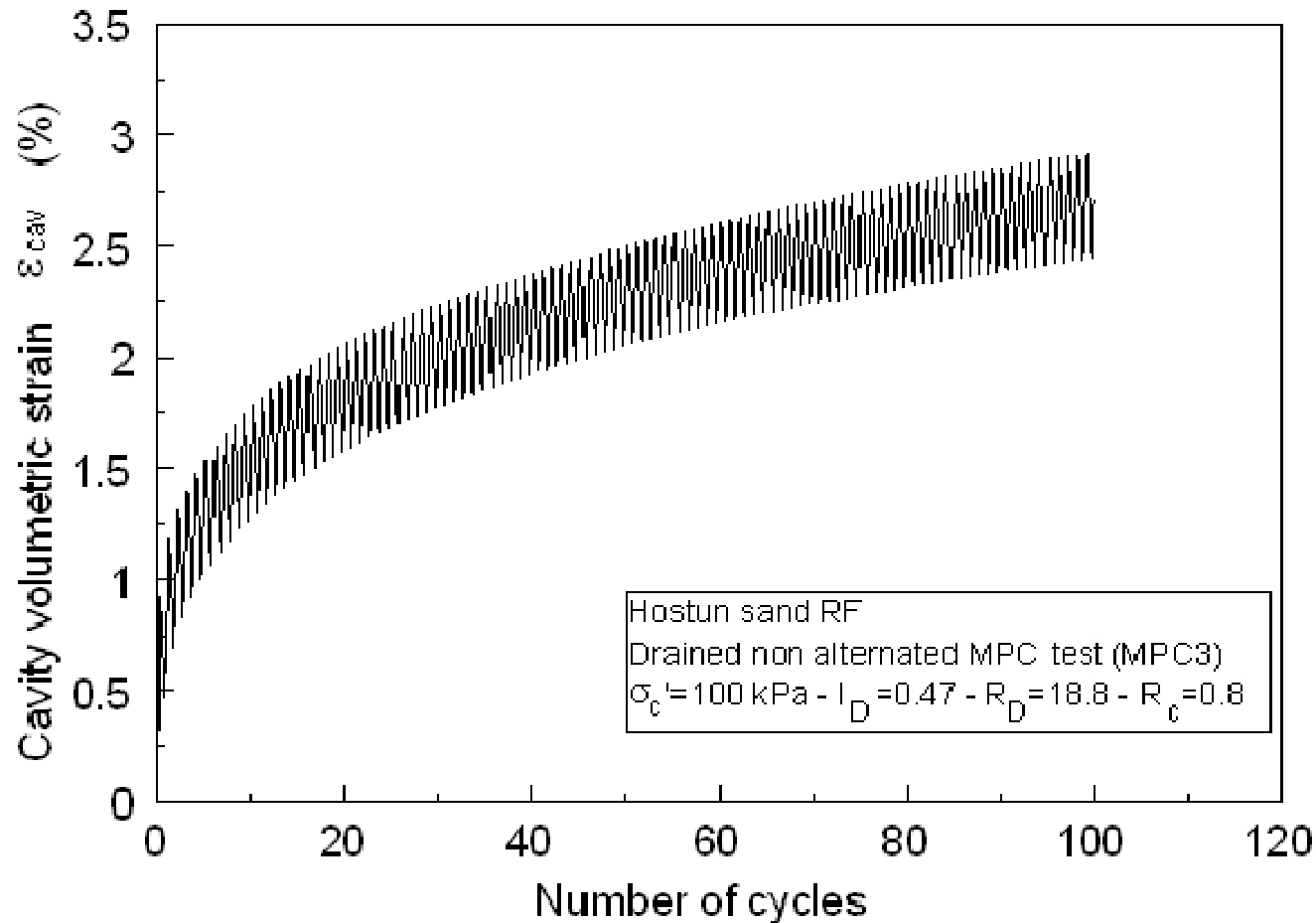
$$\epsilon_{sam} = \Delta V_{sam} / V_{sam}$$

$$\epsilon_{cav} = \Delta V_{cav} / V_{cav}$$

$$\Delta V_{cav,r} \approx \Delta V_{sam,r}$$

**$\Delta V_{sam,r}$  : contractance cyclique  
globale du sol**

**RESULTAT TYPIQUE D'ESSAI AU MINI PRESSIOMETRE EN CHAMBRE  
D'ETALONNAGE**



**Sable d'Hostun RF**

**$I_D = 0,47$**

**$p'_c = 100 \text{ kPa}$**

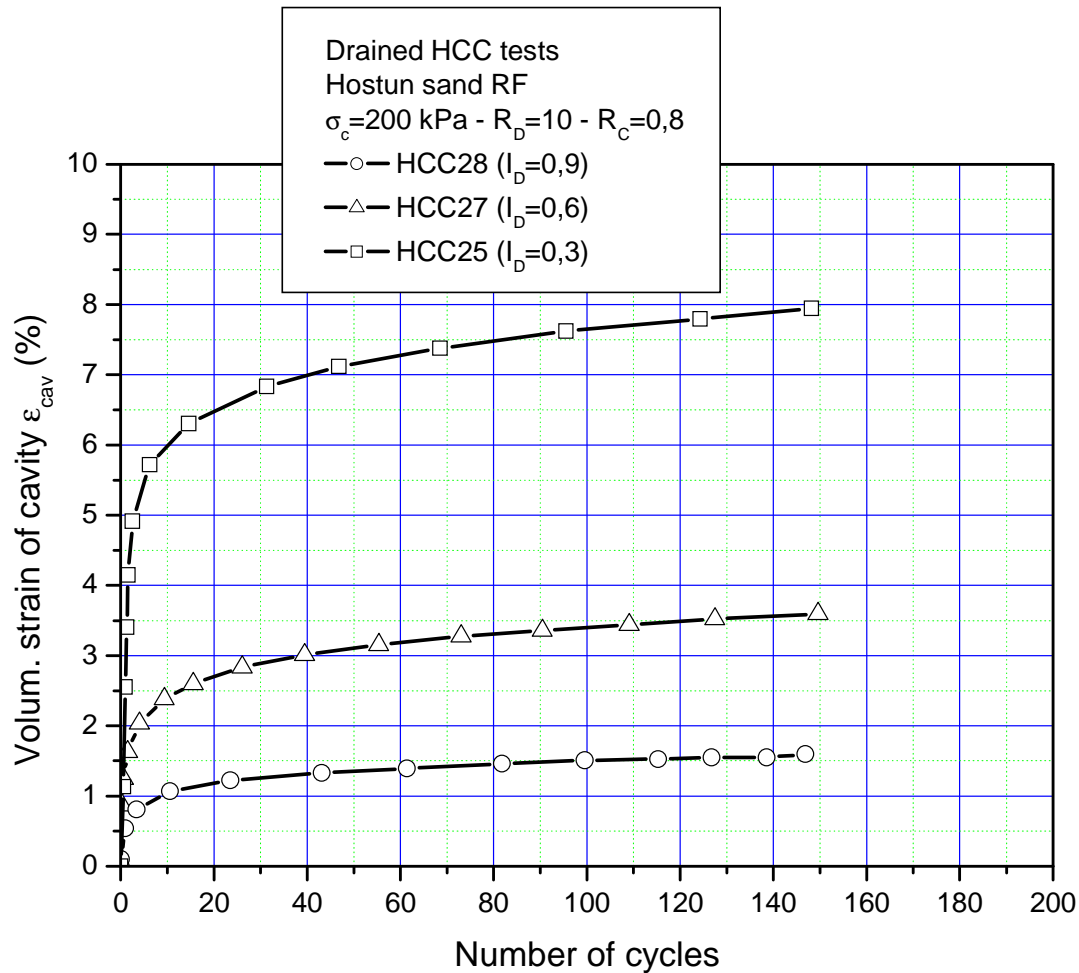
**$R_{cyc} = \Delta p_{cyc} / p'_c = 0,80$**

**$f = 0.017 \text{ Hz} (T = 60 \text{ s})$**

**Chargement non alterné**

**$(+\Delta p_{cyc})$**

## Influence de l'indice de densité sur l'accroissement relatif du volume de cavité dans l'essai au cylindre creux



**Sable d'Hostun RF**

**$p'_c = 200 \text{ kPa}$**

**$R_{cyc} = \Delta p_{cyc} / p'_c = 0,80$**

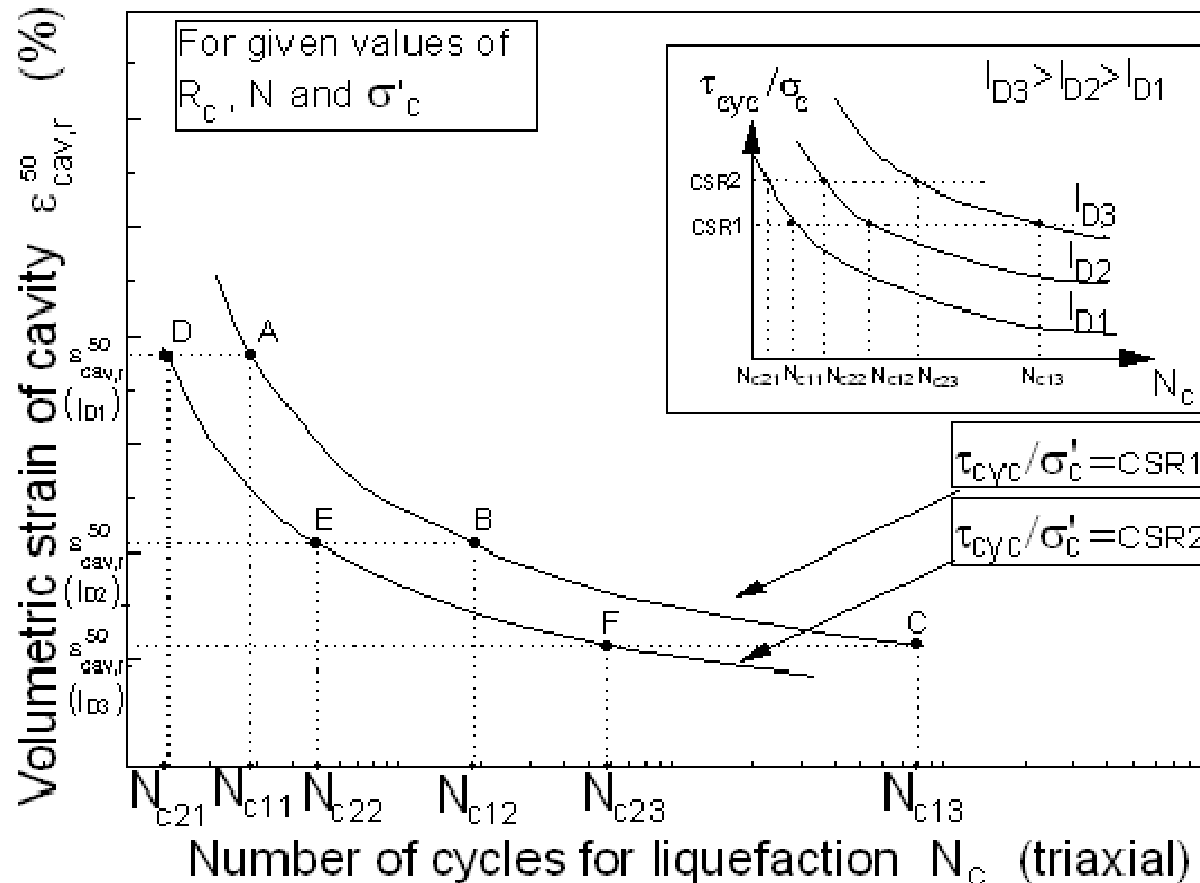
**$f = 0.017 \text{ Hz} (T = 60 \text{ s})$**

**Chargement non alterné ( $+\Delta p_{cyc}$ )**

**Autres paramètres étudiés :  $R_{cyc}$ ,  $p'_c$ , signal alterné/non alterné**

## PRINCIPE DE LA METHODE PROPOSEE

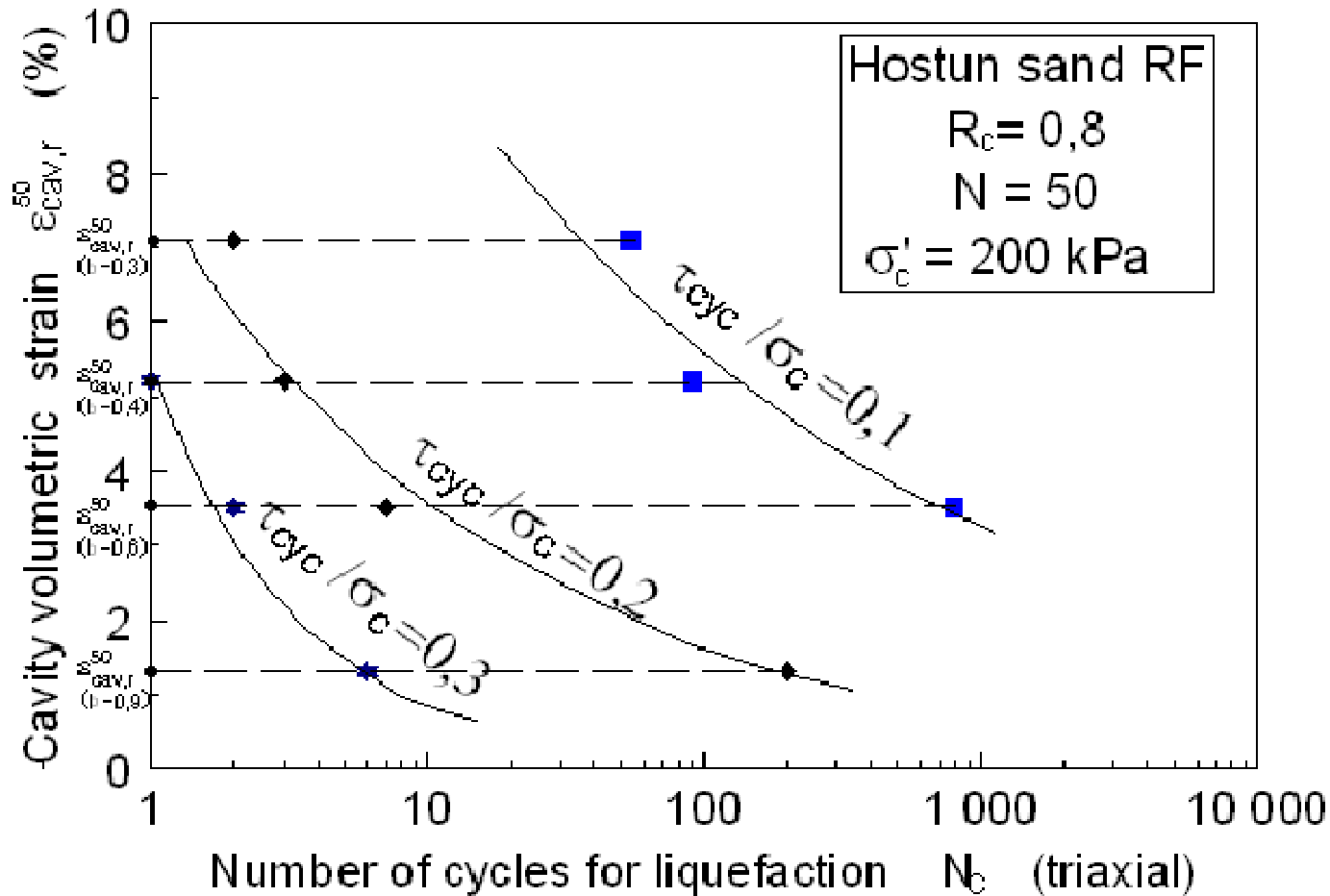
**Corrélation entre l'accroissement relatif du volume de cavité mesuré au pressiomètre  $\varepsilon_{cav,r}^N$  et le nombre de cycles à liquéfaction au triaxial  $N_C$**



*Pour des valeurs fixées de la sollicitation pressiométrique :*

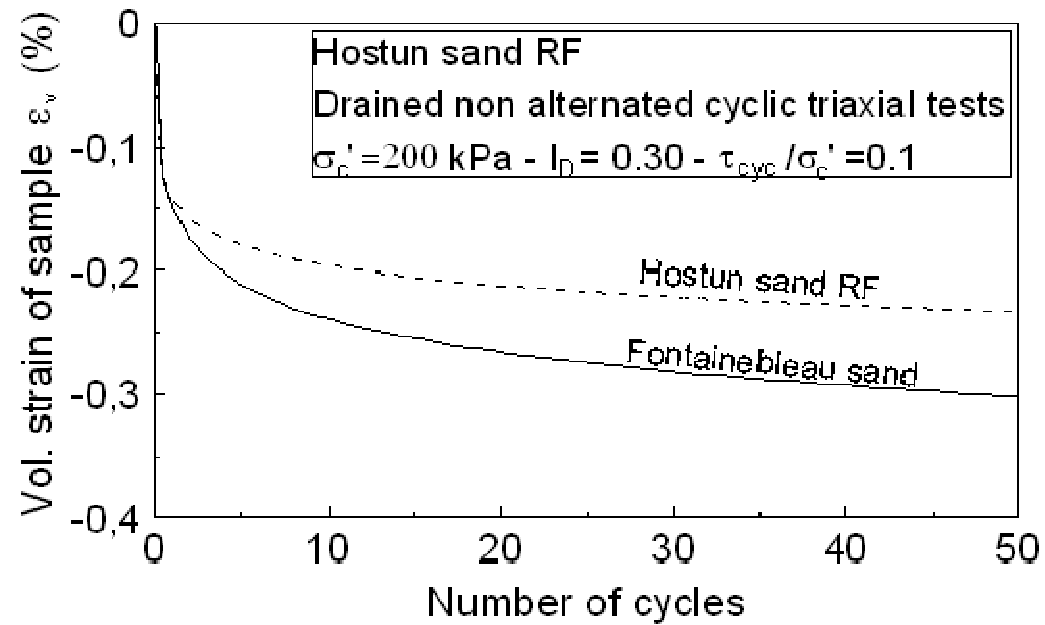
- $N_{pres}$  (ex :  $N_{pres} = 50$ )
- $R_{cyc}$  (ex :  $R_{cyc} = 0,80$ )
- $f$  (ex :  $f = 0,017$  Hz,  $T=60$  s)

**Construction de courbes de corrélation basées sur les résultats obtenus sur le sable d'Hostun RF**

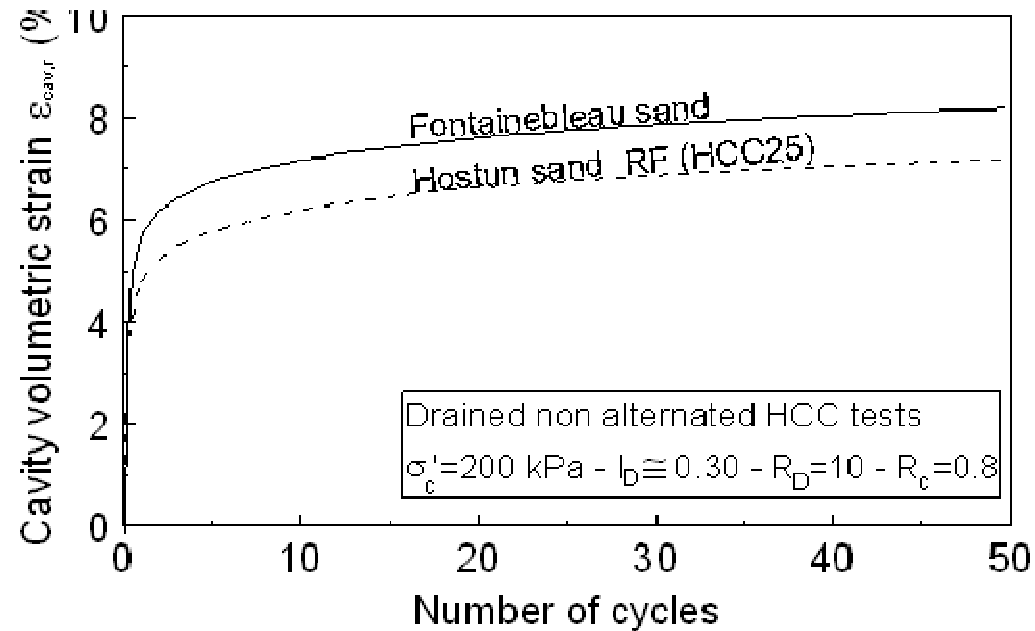


**Hypothèse : les courbes de corrélation obtenues sont raisonnablement uniques pour une gamme assez étendue de sables**

## Evaluation de la méthode sur le sable de Fontainebleau

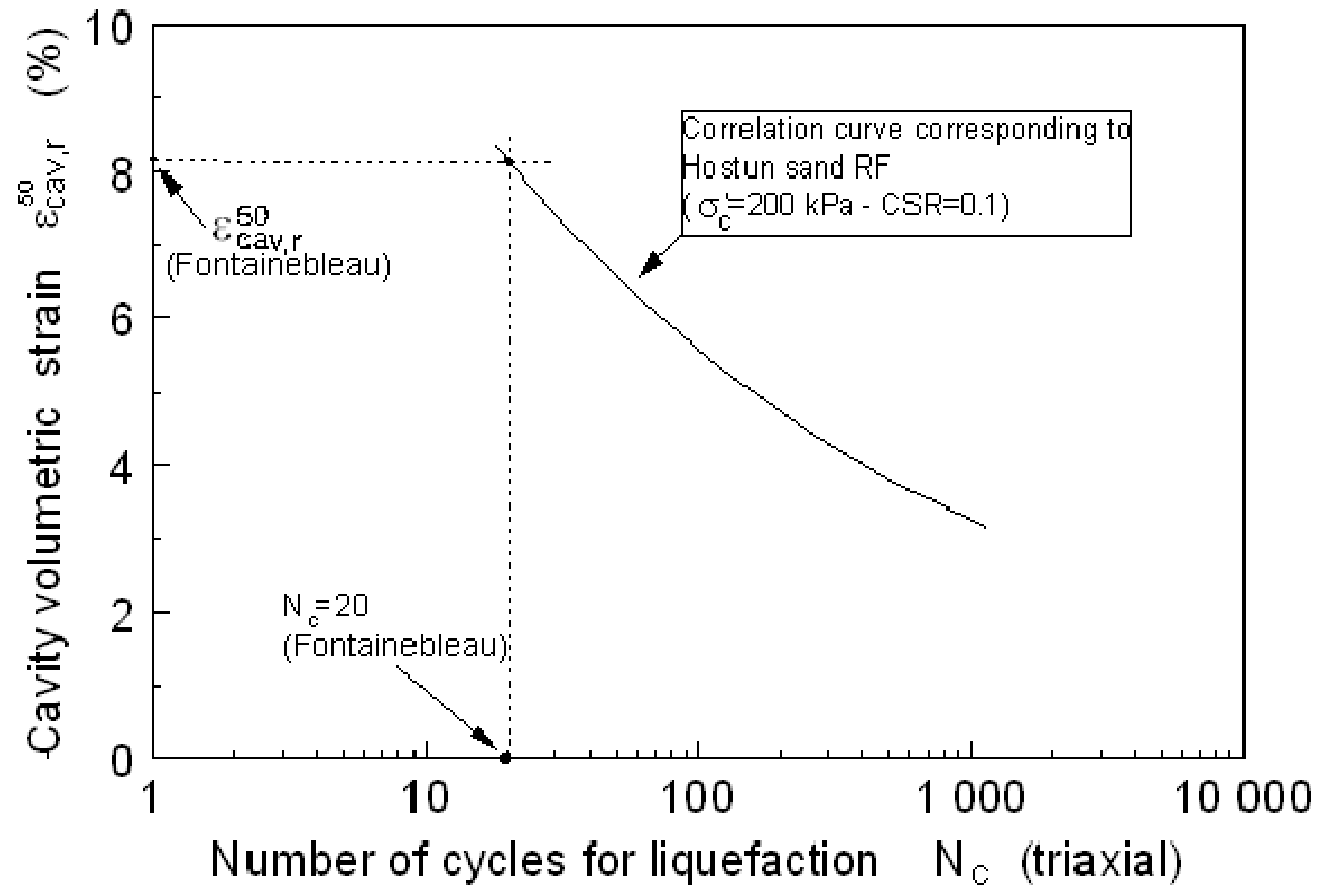


*Essais triaxiaux  
cycliques drainés*

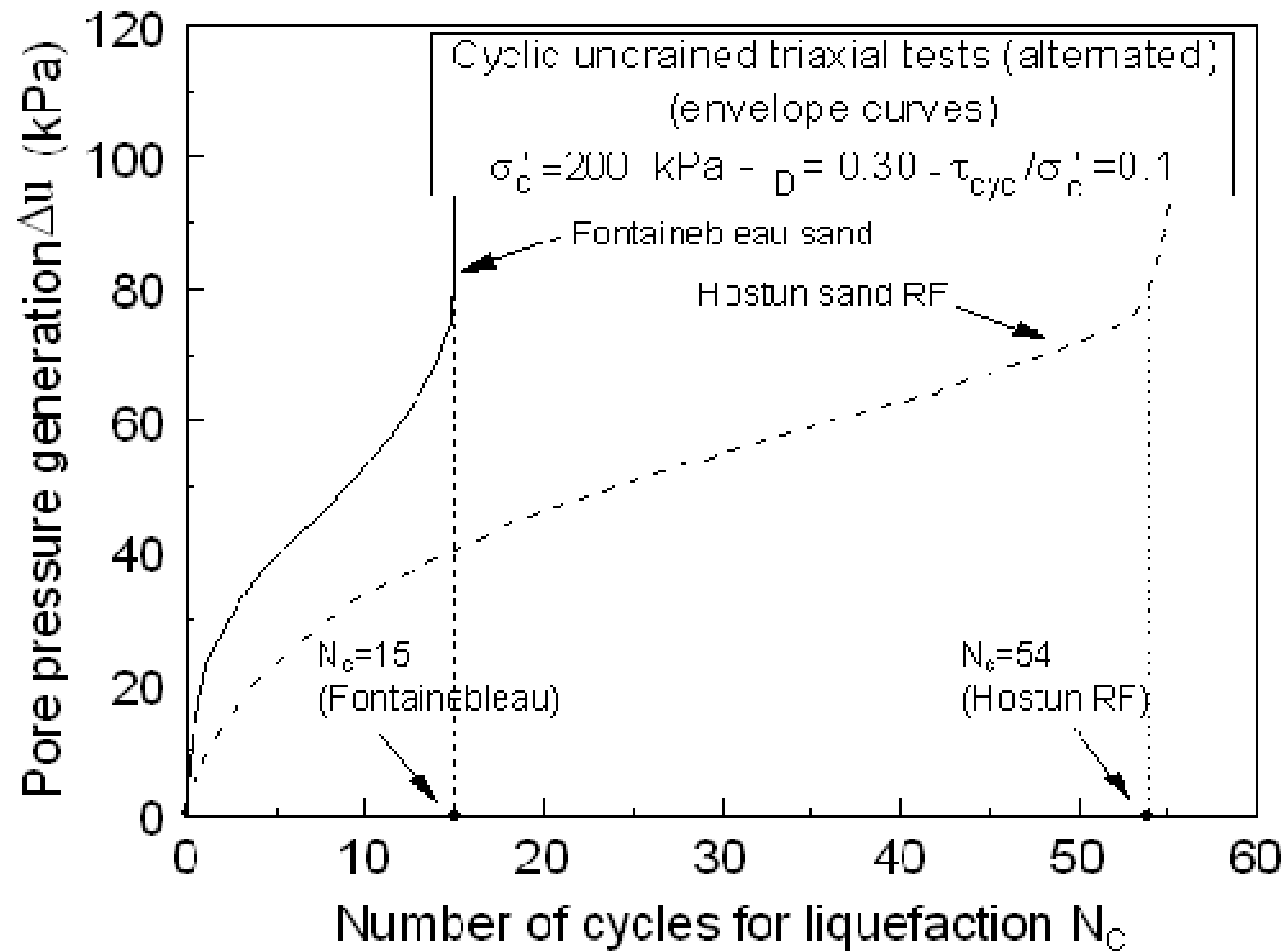


*Essais cycliques  
drainés au cylindre  
creux*

**Estimation de  $N_c$  pour le sable de Fontainebleau sur la base de la courbe de corrélation obtenue pour le sable d'Hostun**



**Obtention directe de  $N_c$  à partir de l'essai triaxial non drainé**





## ***EVALUATION SUR SITE DE LA METHODE PROPOSEE***

- **Composante du projet ANR Belle-Plaine (présentation d'E. Foerster cet après-midi)**
- **Site sableux instrumenté à la Guadeloupe (site de Gosier)**
- **Détermination des courbes de RCC du sol sableux du site (réalisé)**
- **Campagne d'essais au pressiomètre cyclique sur le site (sonde Ménard et pressiomètre autoforeur du LCPC) – Collaboration ENPC/LCPC (réalisé, 15-22/02/2010)**
- **Evaluation de la méthode proposée sur la base des résultats obtenus sur le site (en cours)**

## **CONCLUSIONS**

- **Intérêt de l'essai pressiométrique cyclique pour l'évaluation des propriétés de liquéfaction des sables**
- **Premier niveau de validation, au laboratoire, de la méthode proposée, encourageant. Programme d'essais complémentaires à réaliser**
- **Possibilité de développement de corrélations robustes entre les mesures au pressiomètre cyclique et le comportement à la liquéfaction des sables**
- **Première évaluation de la méthode à partir d'essais in situ en cours (projet Belle-Plaine, pressiomètre Ménard et pressiomètre autoforeur).**

## **QUELQUES REFERENCES**

**Dupla, J.-C., 1995. Application de la sollicitation d'expansion de cavité cylindrique à l'évaluation des caractéristiques de liquéfaction d'un sable. *Thèse de doctorat de l'ENPC.***

**Dupla, J.-C., Canou, J., 2003. Cyclic pressuremeter loading and liquefaction properties of sands. *Soils & Foundations, vol.43, n°2, pp.17-31.***

**Juran, I., Bensaïd, M., 1987. Cavity expansion tests in a hollow cylinder test. *Geotech. Testing J.,ASTM, vol.10, n°4, pp.203-212.***

**Schwab, E., Dormieux, L., 1985. Liquefaction due to expansion of a cylindrical cavity. *Proc. 11th ICSMFE, San Francisco, vol.2, pp.1049-1054.***

***MERCI DE VOTRE ATTENTION***