

L'optimisation
de la conception
des procédés
et des performances



nouvelles **A**pproches de **R**econnaissance
des **S**ols et de **C**onception des **O**uvrages
géotechniques avec le **P**ressiomètre



Mesure de la pression interstitielle

*Travaux réalisés pour l'ARSCOP dans le cadre de la thèse CIFRE
soutenue par P.G. Karagiannopoulos le 11 décembre 2020*

*Présenté par Michaël PERONNE (encadrant entreprise) et Philippe REIFFSTECK (directeur de thèse)
mperonne@jeanlutzsa.com - philippe.reiffsteck@univ-eiffel.fr*

► **Mesure de la pression interstitielle**

- 1. Problématique et objectifs
- 2. Revue de la littérature
- 3. Méthodologie
- 4. Chambre d'étalonnage
- 5. Résultats des essais monotones
- 6. Résultats des essais cycliques
- 7. Modélisation et simulations
- 8. Essais sur site
- 9. Instrumentation développée
- 10. Conclusions et perspectives

► Problématique

- Rôle prépondérant à la mécanique des sols :
 - Caractérisation du sous-sol.
 - Evaluation de la portance.
- Pas de mesure directe de la pression interstitielle lors des essais pressiométriques.
- Limite l'analyse des contraintes effectives et du drainage du sol.
- Besoin de méthodes fiables pour évaluer le risque de liquéfaction des sols.

► Objectifs

- Développer des prototypes pour mesurer la pression interstitielle.
- Réaliser des essais monotones et cycliques sur différents types de sols.
- Comparer les résultats des essais in situ et en chambre d'étalonnage.
- Développer une méthode pour évaluer le potentiel de liquéfaction des sols.

► Historique de l'essai pressiométrique

- Développement initial par Louis Menard en 1955.
- Devenu indispensable pour mesurer la portance et analyser le comportement des sols.

► État de l'art et évolution des matériels

- Prototypes de pressiomètres avec mesure de la pression interstitielle (PAF LPC, SBP Cambridge *in situ*, Diflupress).
- Innovations récentes et leurs applications : miniaturisation, amélioration de la précision et de la fiabilité.

► Importance de la mesure de la pression interstitielle

- Fournit des informations supplémentaires sur les contraintes effectives et le comportement du sol sous chargement.
- Améliore l'analyse pressiométrique : conception sécurisée des fondations.
- Problèmes et défis : mise en œuvre, fiabilité, précisions.

► Prototypes développés

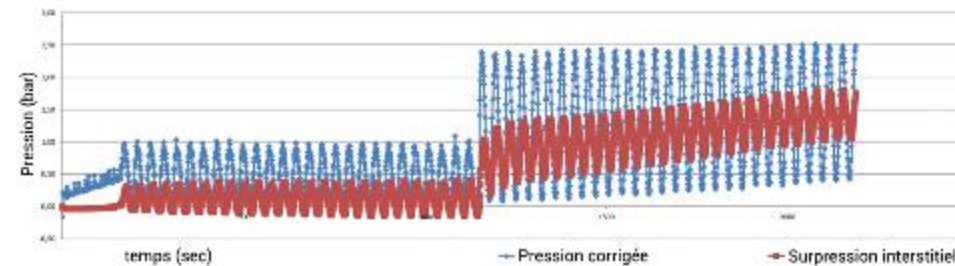
- Sondes utilisées : Menard 60 et 44 (tube fendu), SBP Cambridge *in situ*.
- Intégration d'un capteur de mesure de la pression interstitielle, optimisation de la protection électronique.

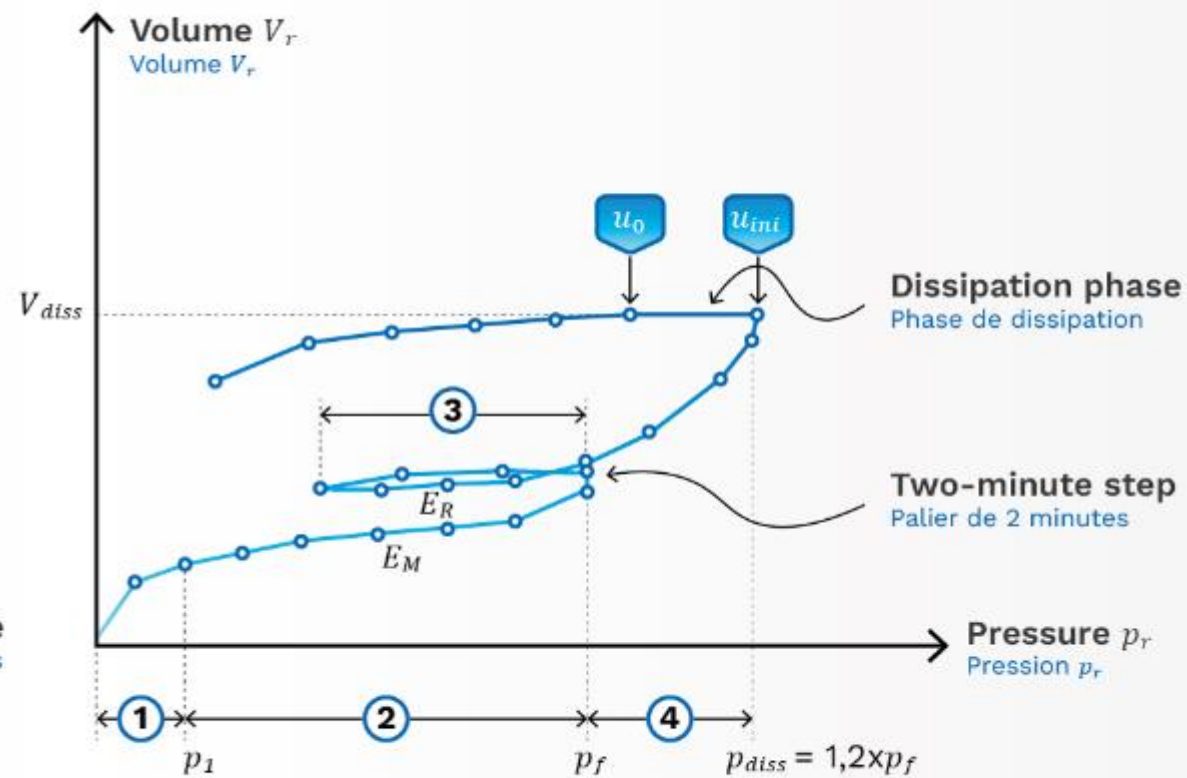
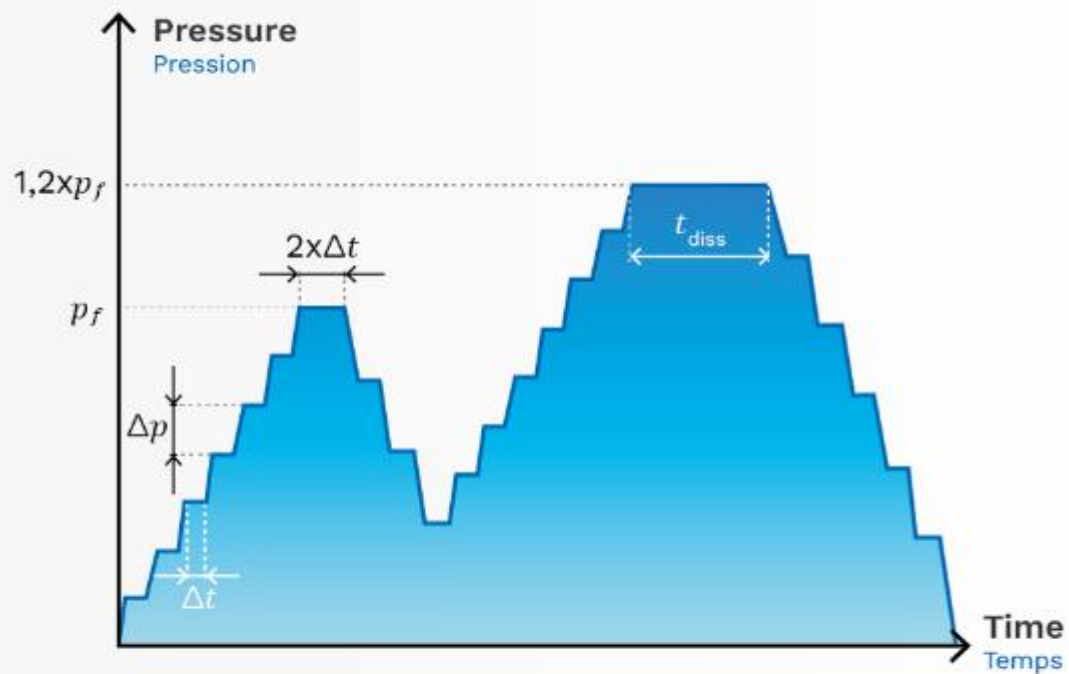
► Procédure des essais

- Essais monotones : mesures qualitatives (type de sol, drainage) et quantitatives (portance en contraintes effectives).
- Essais cycliques : simulation des conditions réelles pour évaluer la fatigue et la liquéfaction des sols.

► Chambre d'étalonnage

- Environnement contrôlé, conception étanche, répartition des capteurs.
- Procédures expérimentales : installation sonde, étanchéité, choix du type d'essai.
- Validation : homogénéité des contraintes, comparaison avec des essais triaxiaux et simulations numériques.





► Conception et utilité

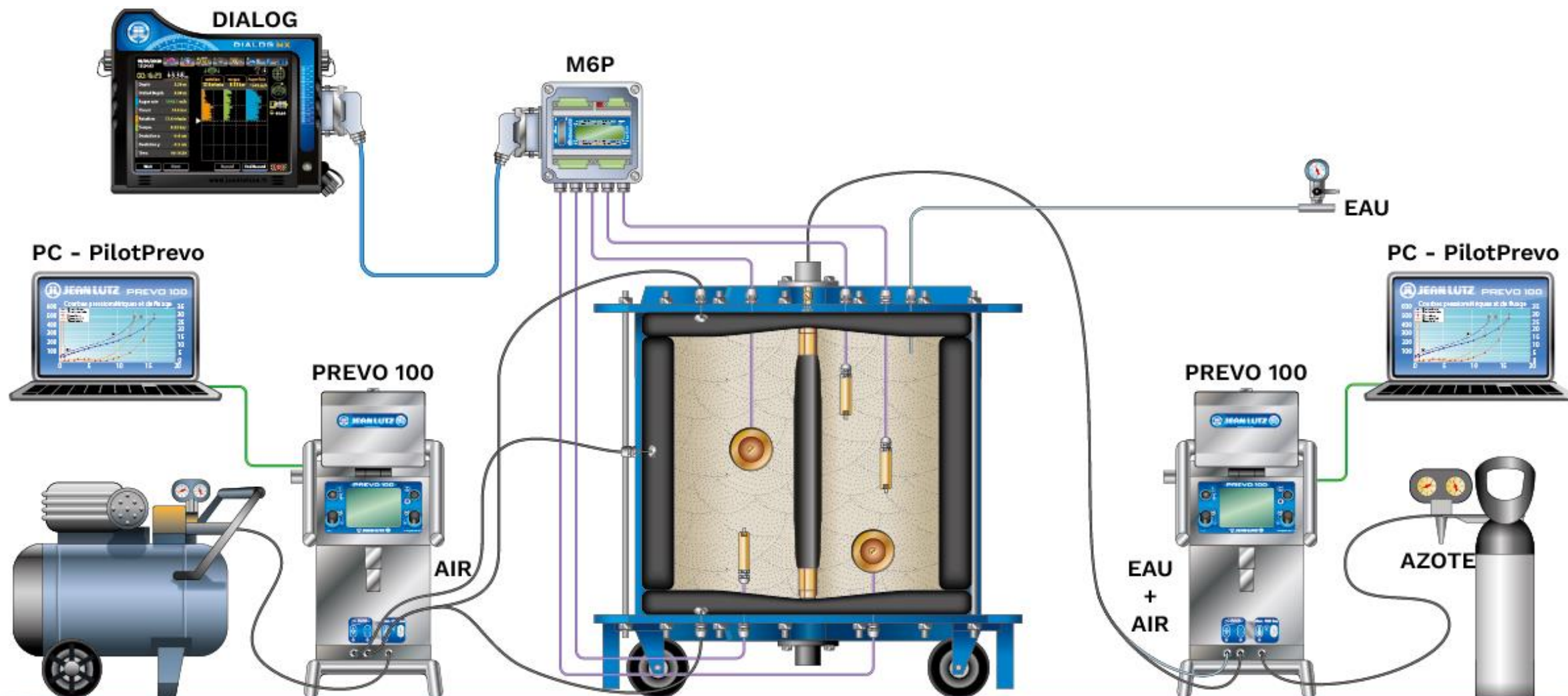
- Construction d'une chambre d'étalonnage pour des essais sous conditions contrôlées.
- Conception étanche avec capteurs de pression et de déformation.
- Utilisation des sondes Menard et SBP Cambridge *in situ*.
- Étude des pressions totales et interstitielles, isolation des paramètres influents.

► Procédures expérimentales

- Préparation des échantillons de sol, installation et vérification des sondes.
- Essais monotones (atteinte rupture) et cycliques.
- Contrôle des conditions de drainage pour des essais drainés et non drainés.

► Validation et homogénéité des contraintes

- Vérification de la précision et de la fiabilité des mesures.
- Comparaison avec les essais triaxiaux et autres méthodes de laboratoire, simulations numériques.



► Types de sols testés

- Argile (plastique, peu perméable, courant).
- Sable (perméable, faible cohésion, impacté par les conditions de drainage).
- Limon (intermédiaire, commun : affecte la stabilité des structures).

► Analyse qualitative

- Identification rapide du type de sol.
- Indication sur le niveau de drainage (perméabilité et dissipation).

► Analyse quantitative

- Calcul de la portance réelle en contraintes effectives.
- Obtention des déformations et contraintes.

► Phénomènes observés

- Comportements différents des sols sous sollicitations monotones (argile, sable, limon).
- Impact de la pression interstitielle sur les résultats : évaluation des risques (liquéfaction, déformation).

► Types de chargements

- Chargements statiques :
 - Evaluer la capacité portante du sol, les déformations associées.
 - Charge monotone jusqu'à rupture (application progressive), mesure des pressions interstitielles.
- Chargements cycliques :
 - Evaluer la fatigue du sol sous des cycles répétés de charge et de décharge (conditions dynamiques réelles : vagues, vent, séismes).
 - Cycles de charge-décharge contrôlés en amplitude et en fréquence, surveillance continue.

► Phénomènes observés

- Fatigue du sol, liquéfaction :
 - Diminution de la résistance au cisaillement, augmentation des déformations.
 - Analyse des cycles critiques, impacts sur la stabilité du sol (conception des fondations).
- Comportement à la rupture :
 - Observation des déformations et de la résistance sous charges cycliques.
 - Identification des seuils critiques, comparaisons avec les essais monotones.

► Simulations numériques avec Cesar-LCPC

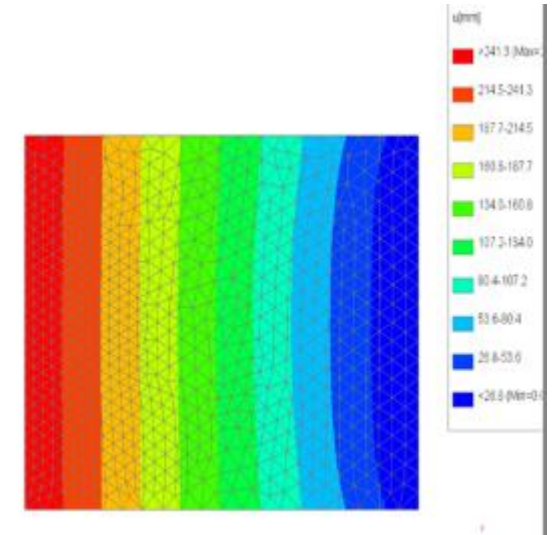
- Modélisation des essais pressiométriques.
- Utilisation de lois de comportement rhéologique pour les matériaux.

► Modélisation analytique avec Python

- Développement de modèles pour analyser les résultats des essais.
- Calcul des paramètres principaux du sol.

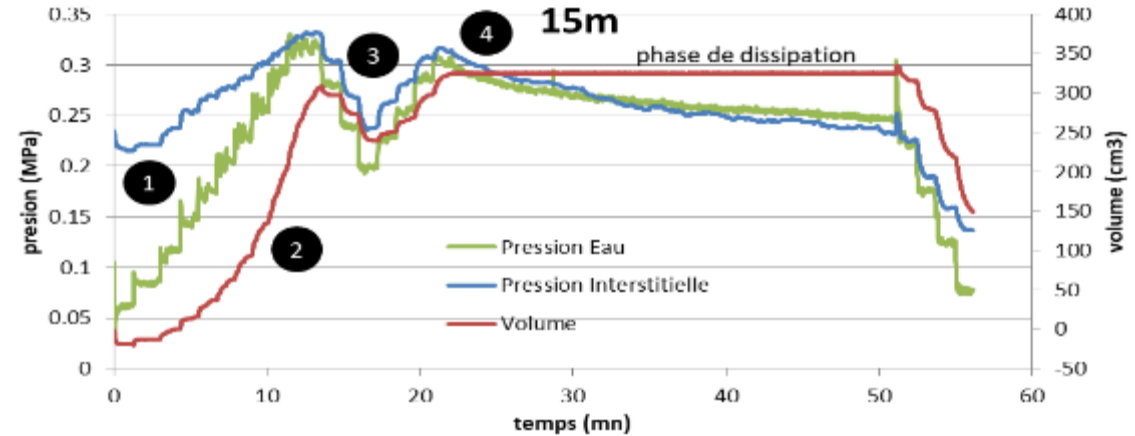
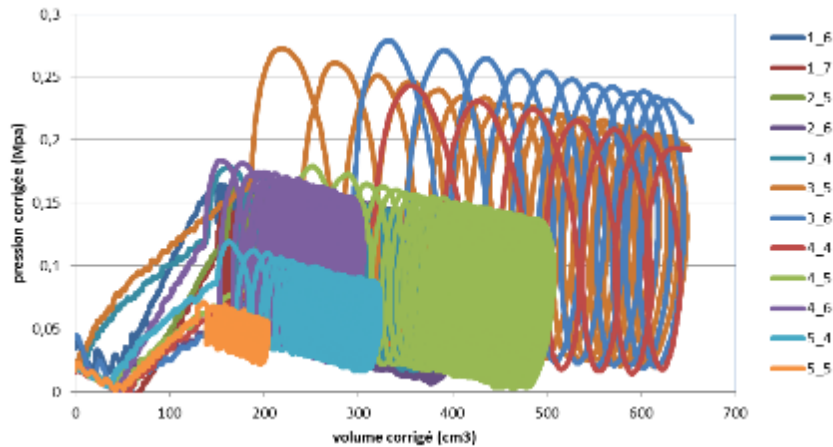
► Comportement rhéologique des matériaux

- Analyse des résultats expérimentaux, analytiques, et numériques.



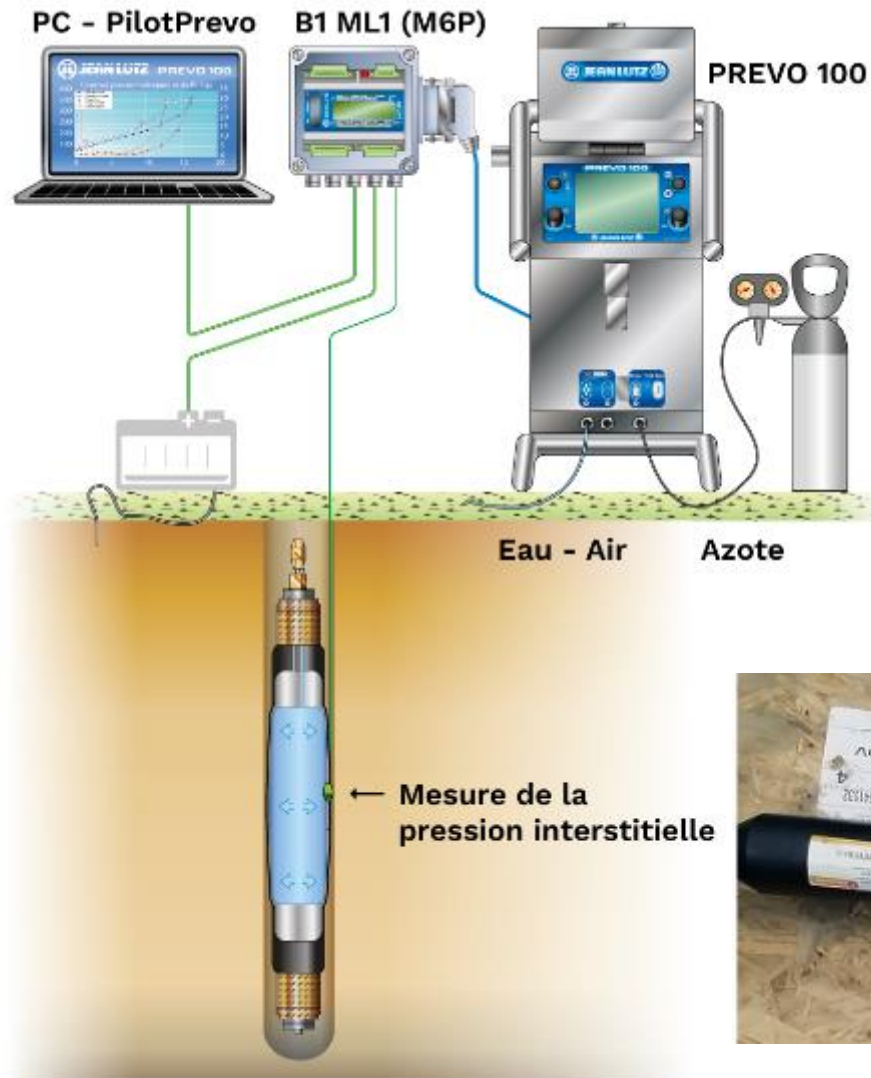
► Résultats des essais *in situ*

- Réalisation d'essais sur différents sites (Newington, Saint Malo, Saint Benoit des Ondes, Messanges).
- Comparaison des résultats des essais monotones et cycliques.



► Nécessité de la mesure de la pression interstitielle

- Importance de cette mesure pour une meilleure compréhension du comportement du sol.
- Apport à la caractérisation des sols et à l'évaluation du risque de liquéfaction.



► Conclusions principales

- La mesure de la pression interstitielle améliore significativement l'analyse des essais pressiométriques.
- Les essais cycliques permettent d'évaluer la liquéfaction des sols.

► Implications pratiques et théoriques

- Meilleure reconnaissance des sols pour les projets de construction.
- Nouvelles méthodes pour évaluer les risques de liquéfaction.

► Perspectives

- Développement d'outils plus précis et robustes pour la mesure de la pression interstitielle.
- Études supplémentaires pour valider les modèles théoriques et numériques.
- Possibilité d'évaluer la fatigue d'un sol.

Merci de votre attention.

