

Modélisation physique à 1×g pour l'étude des conséquences de mouvements de terrain et des moyens de mitigation

M. AL Heib¹, M. Hassoun^{1,2}, H-L. Nghiem^{1,2}, **F. Emeriault²** & P. Villard²

1 INERIS, 2 Laboratoire 3SR Grenoble

JOURNÉE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE CFMS
« MODÉLISATION PHYSIQUE EN GÉOTECHNIQUE
06 OCTOBRE 2022

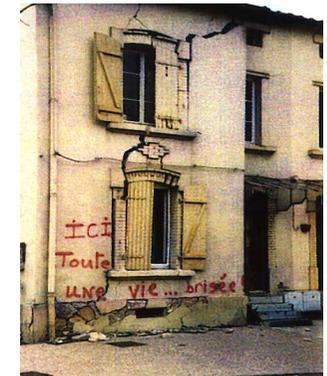
Contexte et objectifs

Problématique des affaissements de cavités naturelles ou anthropiques et de leur effet sur des structures en surface

- Phénomènes complexes d'interaction sol-structure
- Difficilement observables dans des cas réels
- Affectés par la complexité géologique, géotechnique et de l'histoire du site

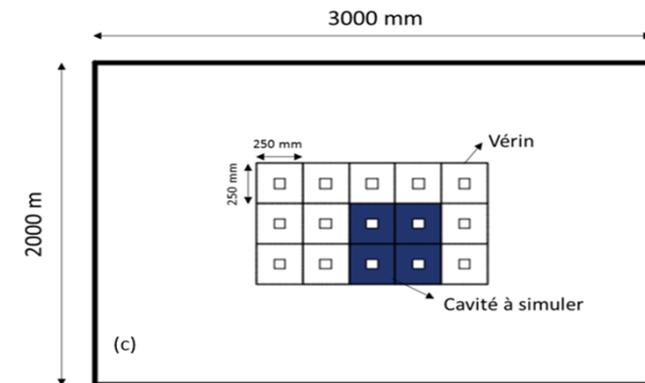
Mettre en œuvre un modèle physique à échelle réduite mais sous gravité normale

- Campagne d'essais en conditions contrôlées, répétables
- Identification des phénomènes
- Support pour le développement de méthodes analytiques ou numériques



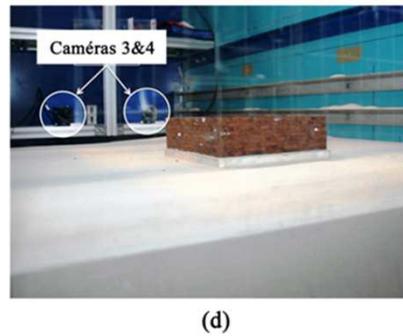
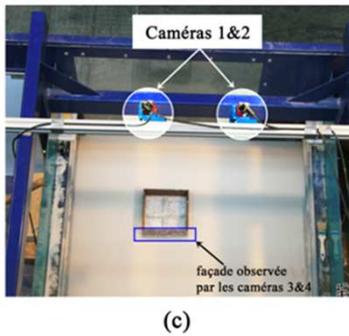
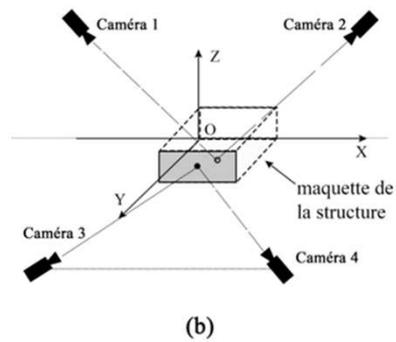
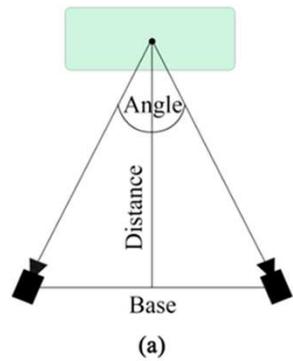
Simulateur de mouvements de terrain - INERIS

- ▶ Cuve de 3m x 2m et max 1 m de hauteur
- ▶ Fond équipé de 15 vérins électromécaniques – course maximum = 150 mm
- ▶ Pilotables indépendamment
- ▶ Permettant de réaliser un affaissement de forme et d'ampleur prédéfinie
- ▶ Conditions de similitude remplies *autant que possible*



- ▶ Sol granulaire: sable de Fontainebleau
- ▶ Sol cohérent: mélange sable - kaolin

Mesure de mouvement par corrélation d'images 3D

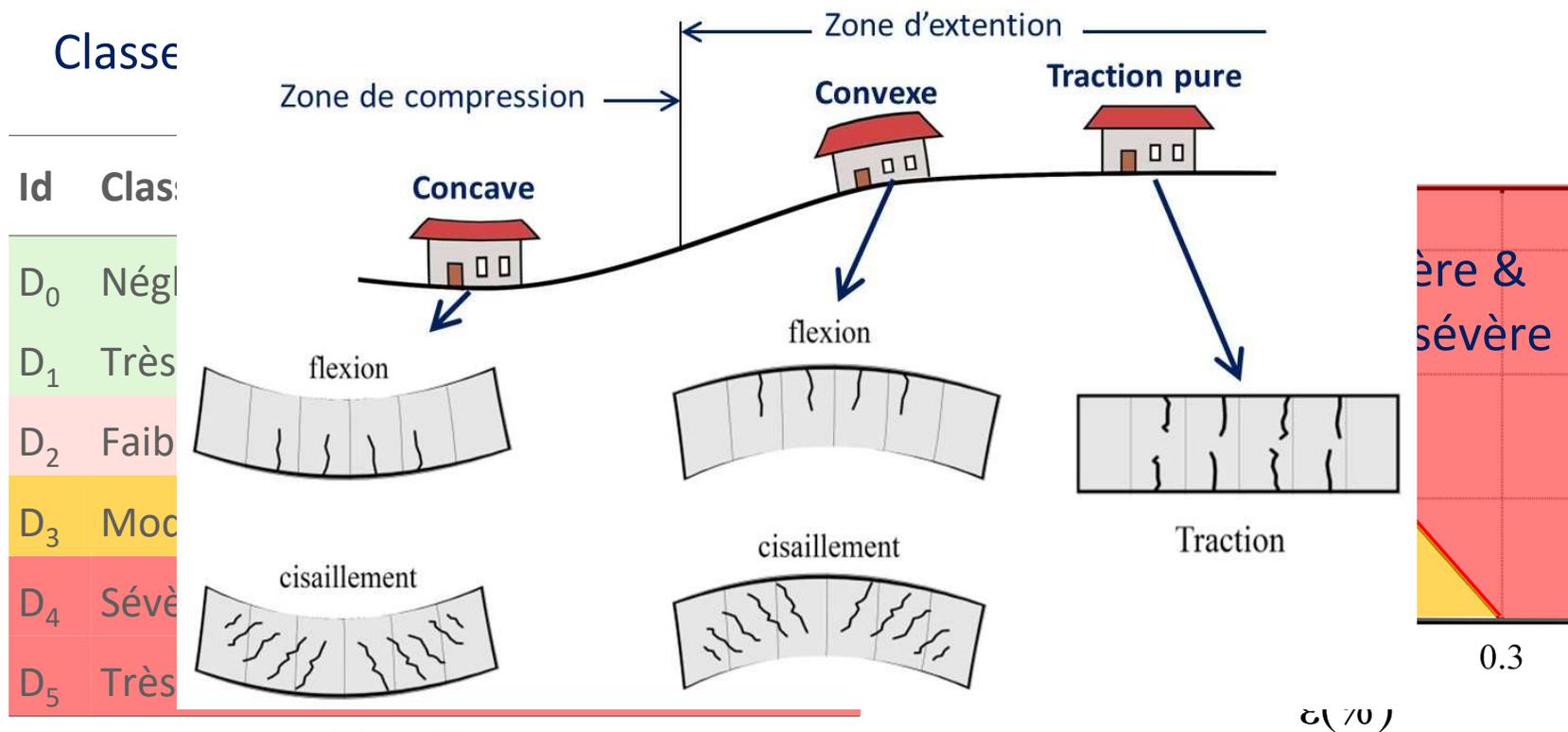


- Jusqu'à 4 caméras 2048×2048 pixel² installées
- Suivi des mouvements de la surface du sol
- Suivi des mouvements et endommagement d'une structure de surface
- Traitement par logiciel VIC-3D
- Précision de mesure des déplacements = 0,05 mm dans les conditions d'essai

Application 1

Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

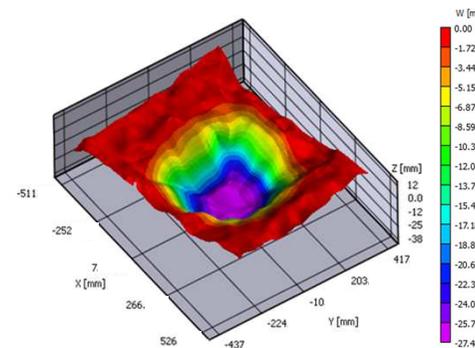
Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement



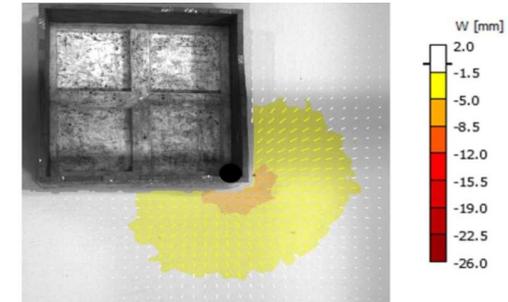
Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

Cas type d'une structure en maçonnerie

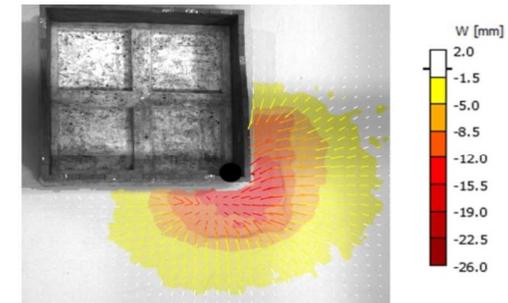
- Structure de référence = 10 m x 10 m x 2,5 m
- Maçonnerie de blocs = 20 cm x 50 cm x 25 cm
- Fondation de type radier
- Cavité 10 m x 10 m à 12 m de profondeur
- Affaissement maximum 1,2 m
- Echelle géométrique = 1/40
- Maquette = 250 mm x 250 mm x 63 mm
- Blocs de bois = 7 mm x 14 mm x 7 mm
- Avec ou sans mortier (colle à papier peint!)
- Radier en silicone
- Déplacement maximum d'un vérin 30 mm
- Mouchetis nécessaire pour la corrélation d'images



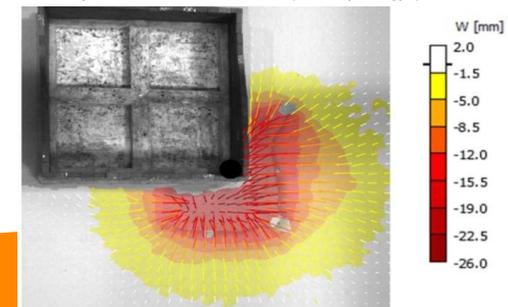
Amplitude d'affaissement = 0,4 m (échelle prototype)



Amplitude d'affaissement = 0,8 m (échelle prototype)

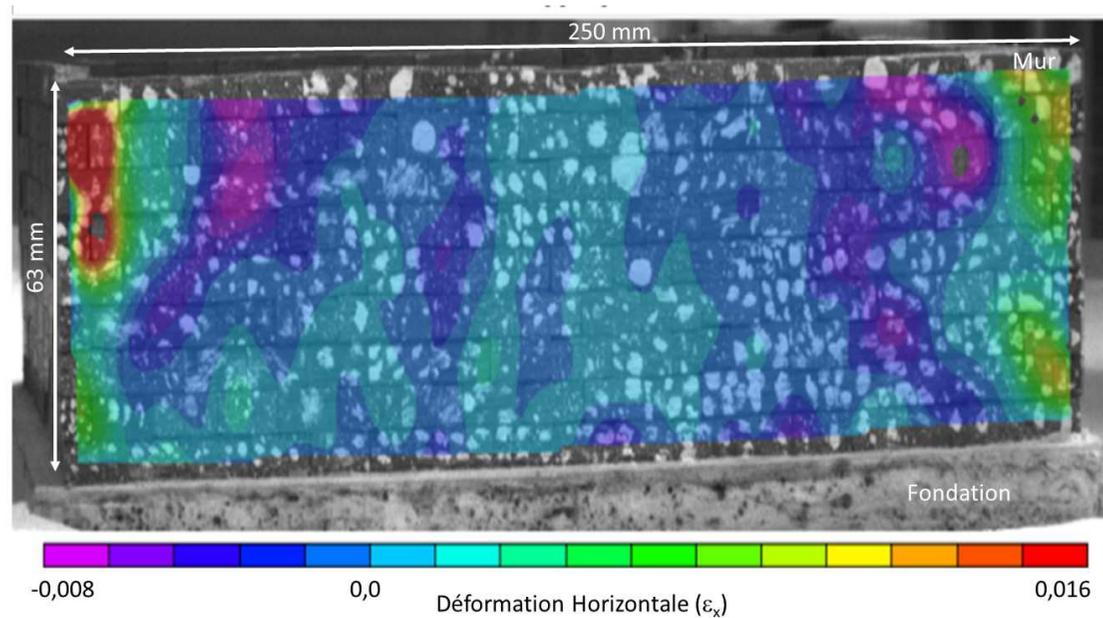


Amplitude d'affaissement = 1,2 m (échelle prototype)



Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

Visualisation des champs déformations

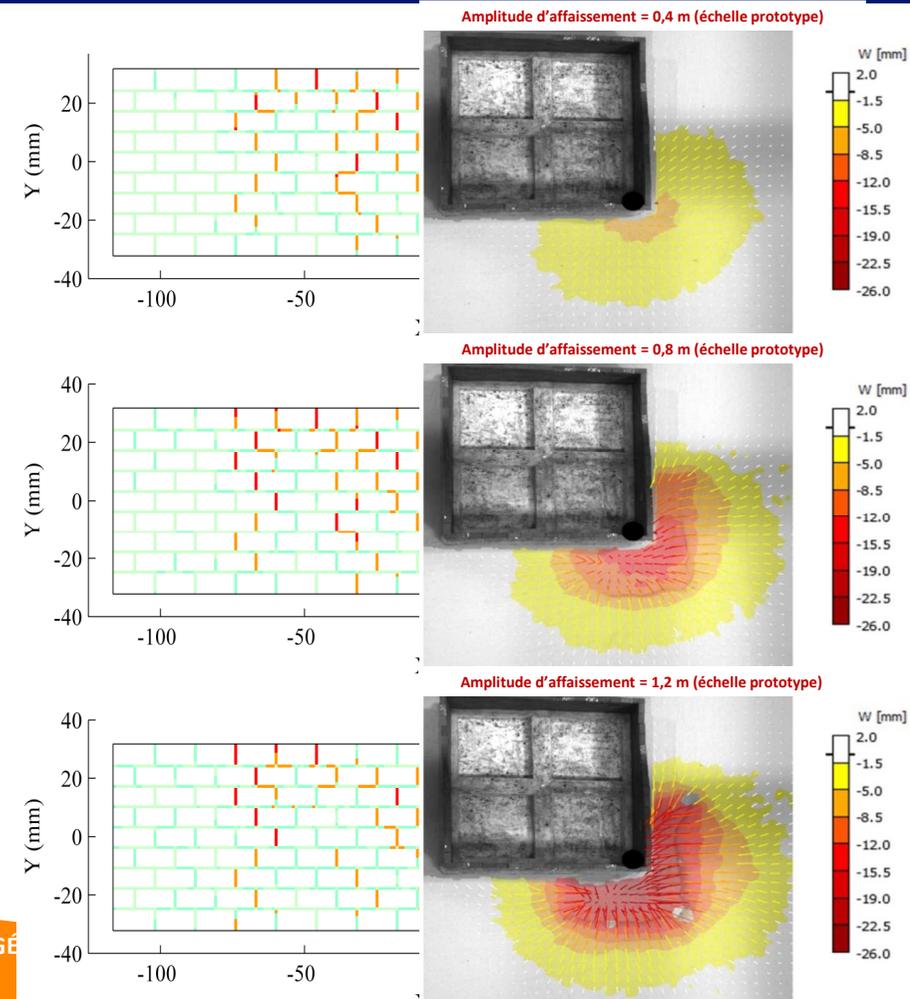


Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

Outils développés pour identifier les ouvertures de « fissures »

- Identification de chaque bloc
- Détermination du mouvement de corps rigide de chaque bloc
- Détermination pour chaque interface entre blocs du déplacement normal relatif = ouverture de joint
- Quantification des degrés de dommages par indicateurs de longueurs de joints cumulés dans 5 catégories

$$L_{Di}^* = \frac{\sum l_{Di}}{L_0}$$



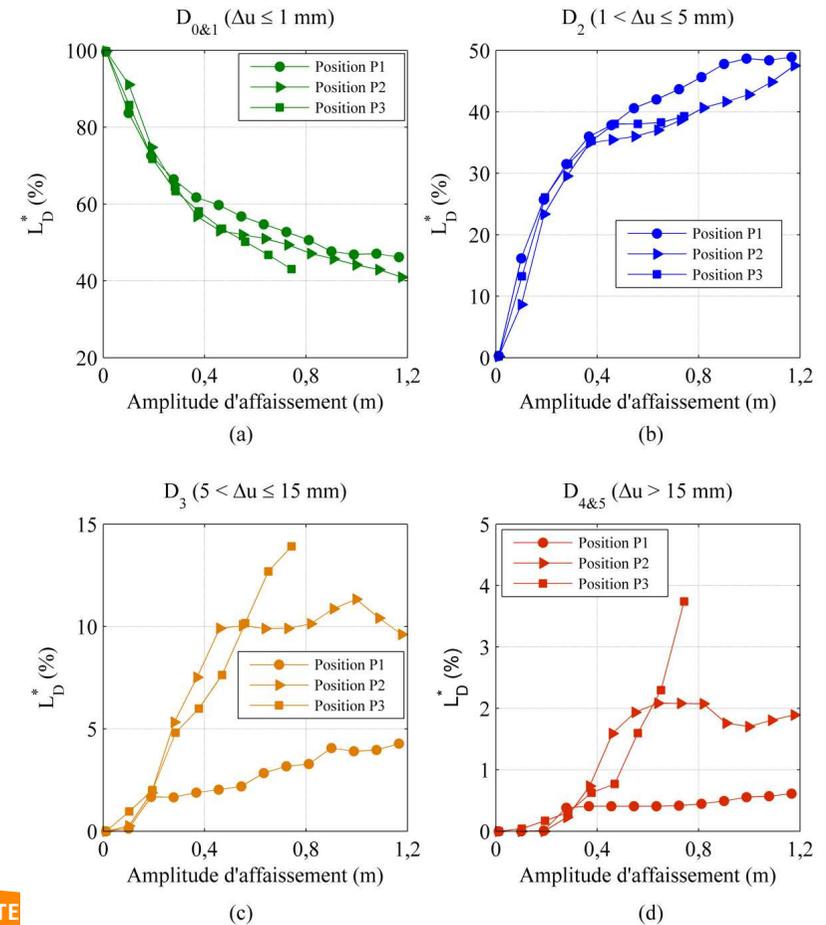
Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

Effet de la position relative de la cavité et de la structure

➔ 1% correspond à 1,2 m de fissures

$$L_{Di}^* = \frac{\sum l_{Di}}{L_0}$$

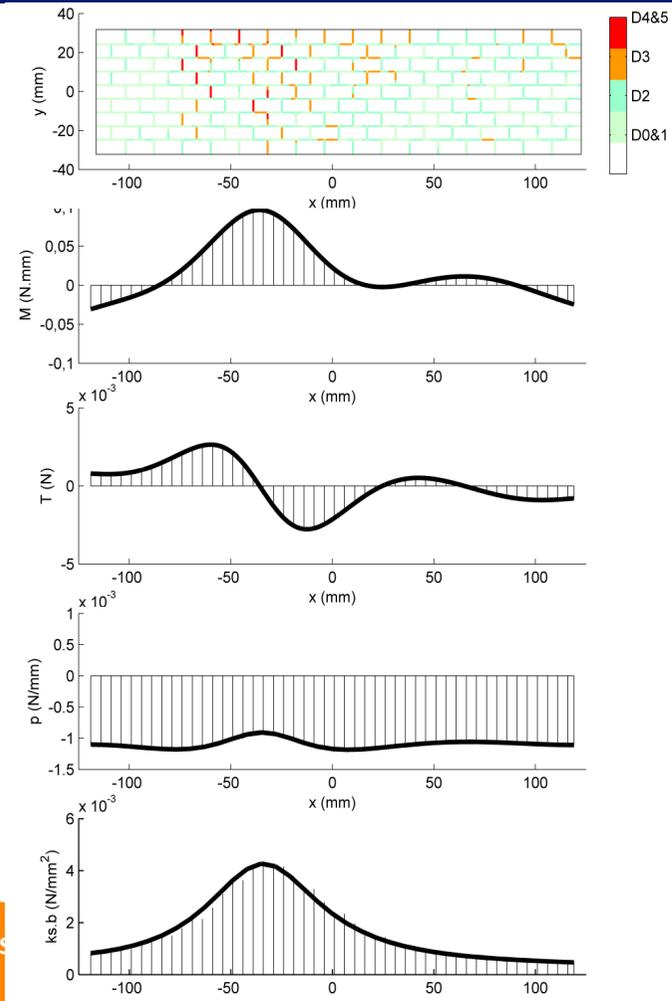
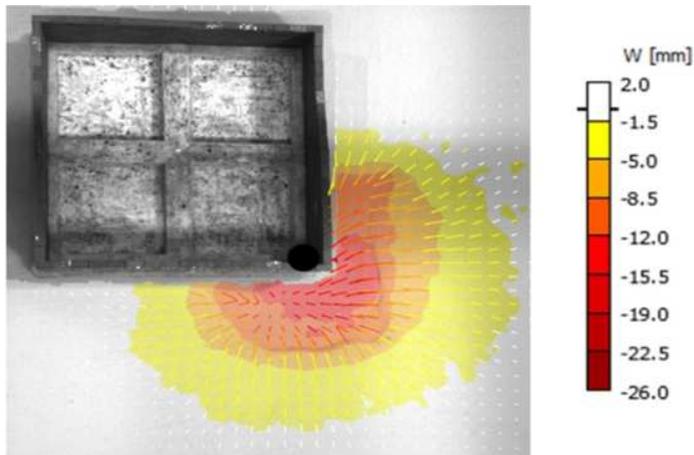
Id	Classe	Ouverture des fissures
D ₀	Négligeable	0-0,1 mm
D ₁	Très faible	0,1-1 mm
D ₂	Faible	1-5 mm
D ₃	Modéré	5-15 mm
D ₄	Sévère	15-25 mm
D ₅	Très sévère	>25 mm



Evaluation des dommages dans une structure soumise à un affaissement

Identification de l'interaction sol-structure

- Analyse d'image des mouvements et déformations du radier
- Confrontation avec les mouvements en champ libre
- Illustration: Position P2 avec affaissement de 0,8 m échelle prototype



Moment fléchissant

Effort tranchant

Réaction du sol

Module de réaction du sol

Application 2

Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

Mise en œuvre dans le cadre du projet REGIC



afitexinov
GEOSYNTHETICS



INERIS

- Renforcement par Géosynthétique Intelligent sur Cavités naturelles ou anthropiques
- Identification du mécanisme d'effondrement
- Détermination de l'action du sol sur le GSY après effondrement et application de surcharge
- Analyse des différences entre Sol granulaire et Sol cohérent

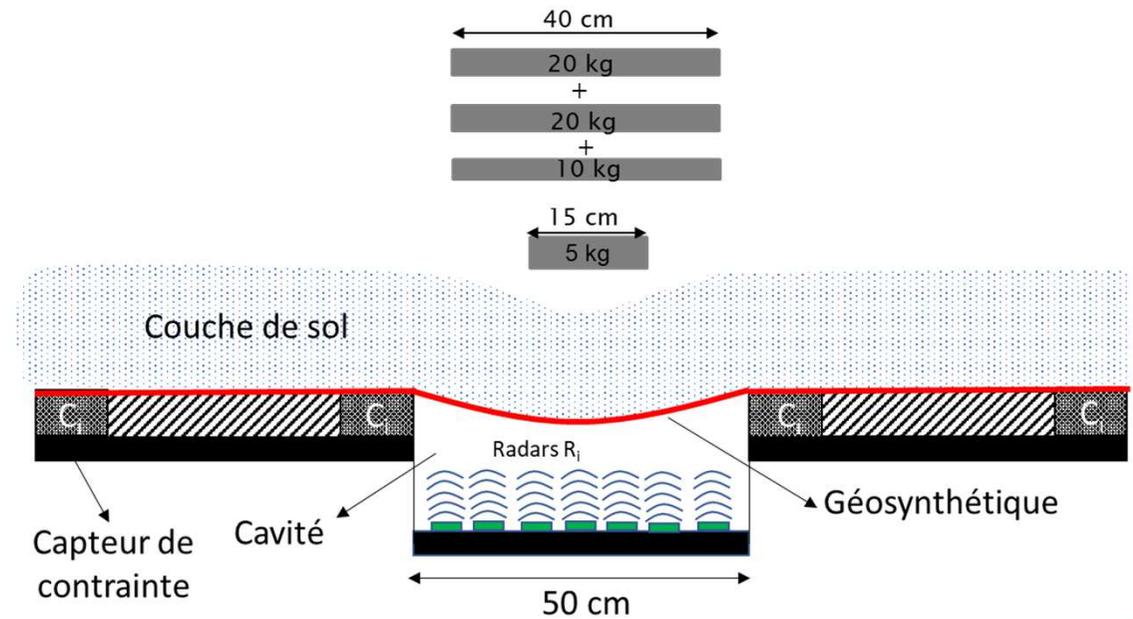
Le simulateur d'affaissement est utilisé avec un GSY en fond et équipé de dispositifs de mesure de la déformation de la nappe et de contrainte sur le fond

Modèle réduit mais avec un facteur d'échelle géométrique de $\frac{1}{4}$

Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

A l'échelle prototype: Ouverture d'une cavité de 2 m de largeur – protection par un GSY à 50 cm de profondeur

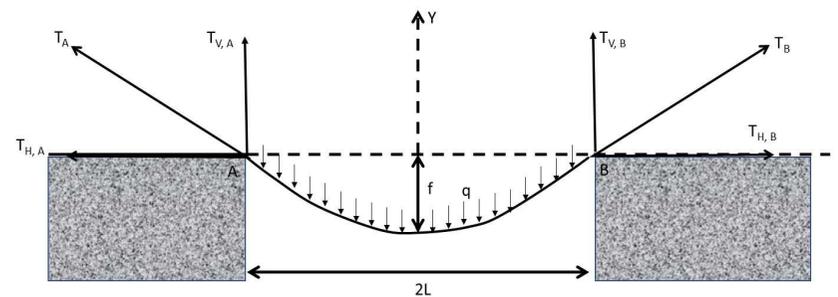
- Cavité de section carrée 50 cm de côté
- Hauteur de sol 12,5 cm (soit $H/D = 0,25$)
- Sable de Fontainebleau NE34
- Mélange Sable – Kaolin
- Ouverture progressive de la cavité
- Surcharge croissante en surface jusqu'à rupture
- Et déchargement



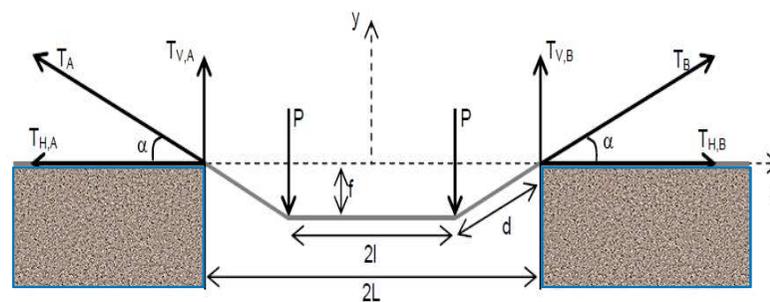
Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

Modèles d'interaction sol - GSY

➤ Cas sol granulaire



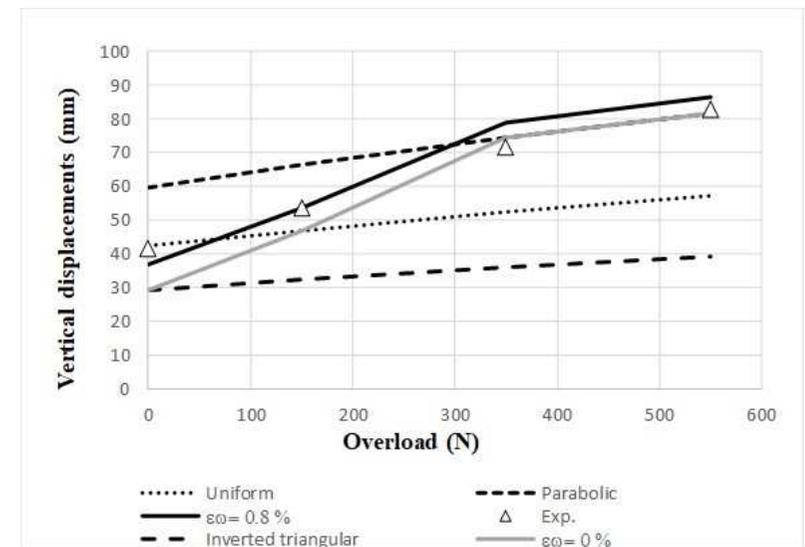
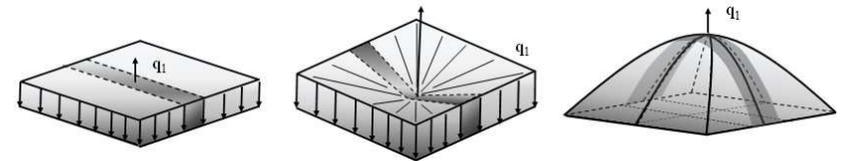
➤ Cas sol cohérent



Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

Cas sol granulaire

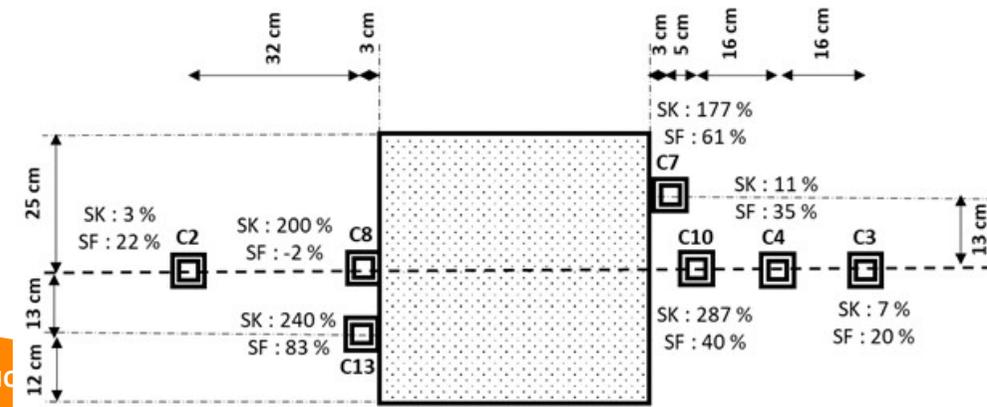
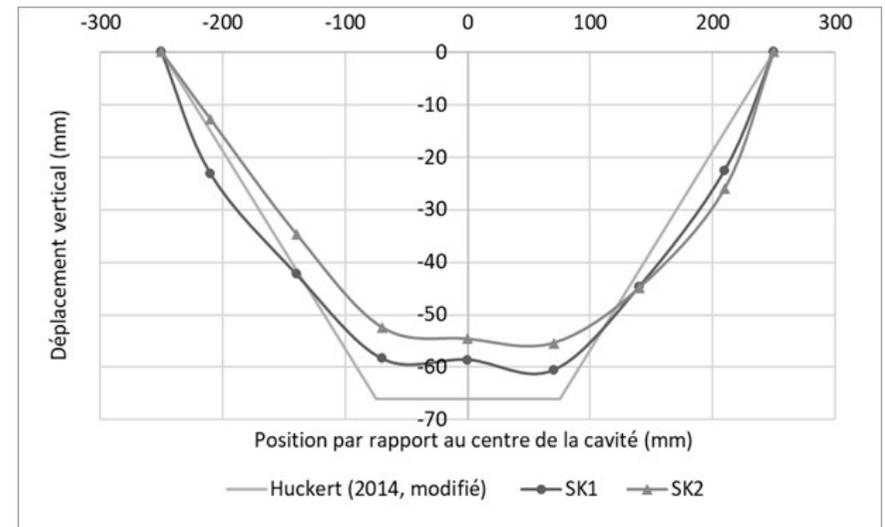
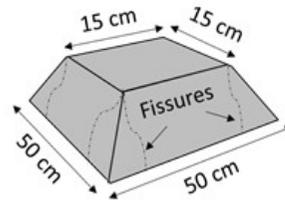
- 3 formes de distributions 3D considérées
- Meilleure description obtenue pour une charge uniformément répartie
- Mais avec une surcharge croissante, la distribution devient parabolique



Formation d'une cavité sous une couche de sol renforcée par géosynthétique

Cas sol cohérent

- Déformée présentant un plateau central
- Cohérent avec l'hypothèse de chargement localisé aux extrémités du bloc en rupture
- Très fort report de charge vers l'extérieur de la cavité



Conclusion

Simulateur de mouvement de terrain = un outil adapté et adaptable pour la modélisation physique 1g de divers phénomènes d'interaction sol-structure complexe

Un outil pour la compréhension des phénomènes dans des conditions contrôlées et répétables

Et pour le développement/validation de méthodes numériques et/ou analytiques

Possibilité d'utiliser la corrélation d'images pour les phénomènes visibles

- Les mouvements d'ensemble du sol et d'une structure
- Mais aussi son endommagement progressif

- Des mesures à l'intérieur du modèle qui peuvent être précises mais pas toujours représentatives
- Nécessaire d'aller vers d'autres technologies de mesure