

MODÈLE RÉDUIT TRIDIMENSIONNEL DU RENFORCEMENT DES SOLS PAR INCLUSIONS RIGIDES ET GÉOSYNTHÉTIQUE

THREE-DIMENSIONAL SMALL SCALE MODEL OF SOIL REINFORCEMENT BY RIGID PILES AND GEOSYNTHETIC

M. HOUDA¹, C. DA SILVA PINTO², Oriane JENCK¹, Laurent BRIANÇON^{1,3}.

¹ Laboratoire 3SR, Grenoble, France

² Université Fédérale de Rio Da Janeiro, Engenharia Civil, COPPE, UFRJ Centro de Tecnologia, Brésil

³ CNAM Paris, France

RÉSUMÉ – Un modèle tridimensionnel à l'échelle 1/10^{ème} de section 1m x 1m a été développé en laboratoire, simulant le renforcement d'un sol compressible par 16 inclusions rigides verticales et géosynthétique. Des sollicitations sont appliquées en surface du massif par une membrane sous pression. Une instrumentation permet d'analyser les performances du système. Ce modèle vise à mieux comprendre les mécanismes qui se développent dans le matelas et le géosynthétique, également sous chargement cyclique.

Mots-clés : Géosynthétique de renforcement, modèle réduit de laboratoire, inclusions rigides, chargement cyclique.

ABSTRACT – A three-dimensional small scale model of section 1m x 1m was developed in laboratory. The scale reduction is 1/10th. The model simulates the soft soil improvement by 16 rigid piles and geosynthetic. Load is applied on surface using a membrane under pressure. The instrumentation permits us to analyse the system performances. The aim of this model is to better understand the mechanisms developing in the mat and in the geosynthetic, also under cyclic loading.

Keywords: Improvement geosynthetic, laboratory small scale model, rigid piles, cyclic loading.

1. Introduction

L'étude du comportement des ouvrages renforcés par inclusions rigides est un sujet d'actualité en France : le projet national ASIRI a donné lieu en 2012 à des recommandations de dimensionnement et de mise en œuvre (IREX, 2012). Ces recommandations ne traitent cependant pas des cas où la plateforme de transfert de charge est renforcée par des nappes géosynthétiques, application cependant en plein essor.

Un modèle réduit tridimensionnel a ainsi été développé au laboratoire 3SR de Grenoble, sur la base d'un modèle préliminaire initialement développé au CNAM Paris. Ce modèle de section 1m x 1m est à l'échelle 1/10^{ème} en tentant de respecter au mieux les lois de similitude (Rocha, 1957) et comporte 16 inclusions rigides verticales. Une nappe de géosynthétique peut être placée en base de la plateforme. Des sollicitations sont appliquées en surface du massif par une membrane sous pression. Une instrumentation permet d'analyser les performances du système. L'objectif de ce modèle n'est pas de simuler quantitativement le comportement d'un ouvrage réel, mais vise à mieux comprendre les mécanismes qui se développent au sein du matelas granulaire de transfert de charge, d'analyser l'effet du renforcement par géosynthétique et de mieux appréhender les mécanismes d'interaction entre ces diverses parties de l'ouvrage.

2. Modèle réduit

2.1 Dispositif expérimental

Le modèle réduit a été développé pour étudier les mécanismes qui se produisent dans la plate-forme de transfert de charge et dans le géosynthétique sous des charges cycliques. Il se compose d'une cuve de section carrée de dimension interne 1 m x 1 m, constituée de châssis en acier. La hauteur de la cuve peut être ajustée en ajoutant ou en supprimant des cadres, tandis que le fond de 20 cm est alloué à

l'instrumentation (voir figure 1). Le modèle comporte 16 inclusions en aluminium de 35 mm de diamètre et de hauteur 60 cm avec un espacement entre elles de 20 cm comme le montre les figures 2 et 3.

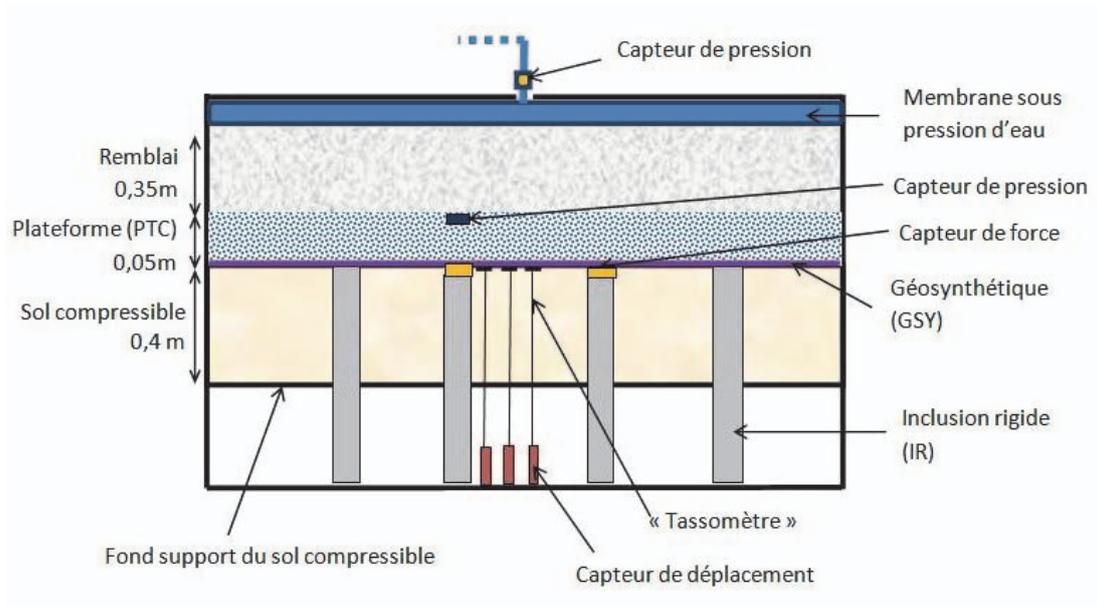


Figure 1. Coupe schématique du modèle réduit (coupe A-A de la figure 3)



Figure 2. Photographie de l'intérieur de la cuve contenant les inclusions

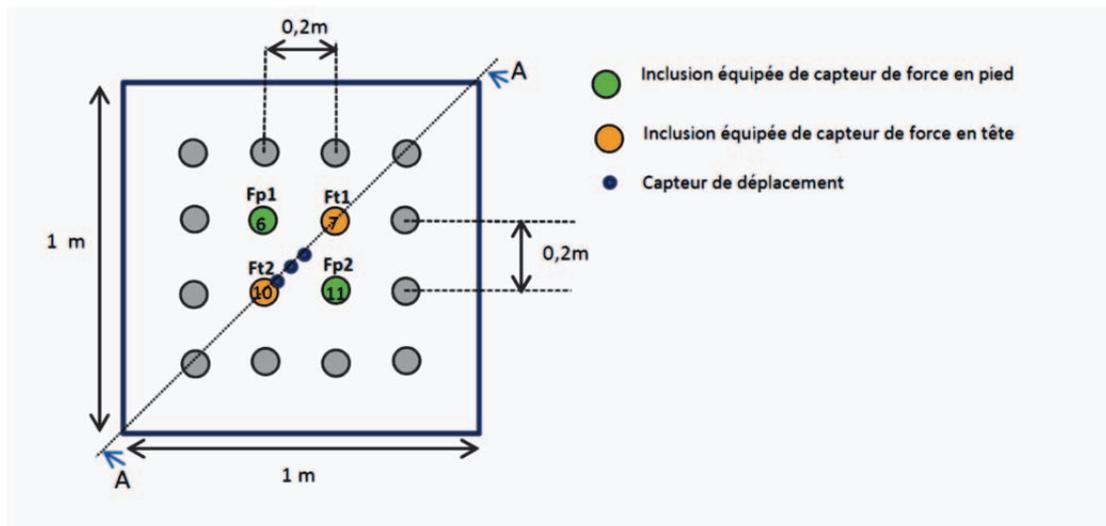


Figure 3. Vue en plan schématique du modèle réduit

2.2. Matériaux mis en œuvre

Les matériaux utilisés dans les essais sont le sol compressible, la plate-forme granulaire de transfert de charge, le sol du remblai et des géosynthétiques de renforcement. En ce qui concerne le sol compressible, le paramètre principal est la compressibilité. Il a été simulé par un mélange de billes de polystyrène (masse volumique de $0,035 \text{ t/m}^3$), de sable de Fontainebleau (masse volumique de $2,65 \text{ t/m}^3$) et d'un peu d'eau. Dans notre étude, une couche de 5 cm de gravier 2/4 mm ($\varphi = 55$ degrés au pic, $\varphi = 36,5$ degrés au palier et $c = 0 \text{ kPa}$) est utilisée comme plate-forme de transfert de charge (PTC). Le matériau du remblai est constitué de sable gris. Deux types de géosynthétiques de renforcement bidirectionnels sont utilisés dans nos essais. Le premier, noté S1, de raideur à 5 % d'élongation entre 170 et 220 kN/m l'autre, noté S2, a une raideur un peu plus importante, entre 316 et 400 kN/m.

2.3. Protocole expérimental

Une fois le mélange de sable et de polystyrène préparé, celui-ci est versé dans la cuve, puis est arasé au niveau de la surface des inclusions. Les tests avec géosynthétiques sont effectués en fixant celui-ci directement au-dessus du massif de sol compressible renforcé par inclusions. La PTC de 5 cm est placée en deux étapes (2 couches de 2,5 cm) et chaque couche est légèrement compactée. Le remblai de sable gris est mis en place par 7 couches successives de 5 cm d'épaisseur. La charge cyclique est appliquée verticalement en surface du massif par une membrane sous pression d'eau (figure 1).

2.4. Instrumentation

L'analyse complexe des interactions sol-structure qui se développent dans ce modèle nécessite une bonne installation d'instrumentations. En ce qui concerne ce projet, les données suivantes ont été utilisées :

- le tassement du sol compressible en trois points,
- la force en tête de deux inclusions,
- la force en base de deux inclusions,
- la contrainte à 5 cm au-dessus d'une inclusion, au niveau de l'interface entre la PTC et le remblai.

Afin de mesurer ces données nous avons utilisé l'instrumentation suivante (figure 1) :

- trois capteurs de déplacement potentiométriques,
- un capteur optique de déplacement,
- deux capteurs de force en tête,
- deux capteurs de force à la base,
- un capteur de pression.

2.5. Plan d'expérimentation

Des essais sous charge statique et cyclique ont été réalisés. Différentes configurations ont été étudiées (avec et sans PTC, inclusions rigides et géosynthétiques). Dans cet article, les résultats de trois essais sont présentés, les conditions de ces derniers se trouvent dans le tableau 1 et sont schématisées sur les figures 4 et 5.

Tableau 1. Essais Effectués

Essais	GSY	Épaisseur de PTC	Épaisseur de remblai
A	S2	5 cm	35 cm
B	S1	5 cm	35 cm
C	non	5 cm	35 cm

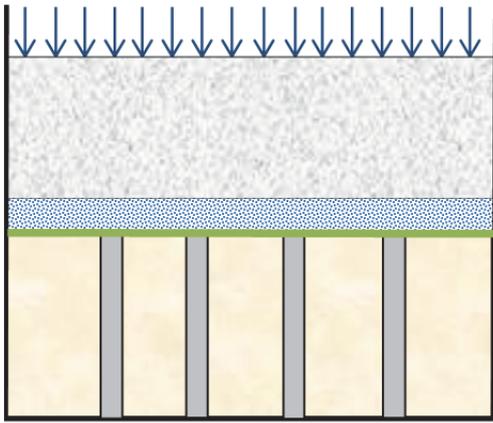


Figure 4. Essais A et B

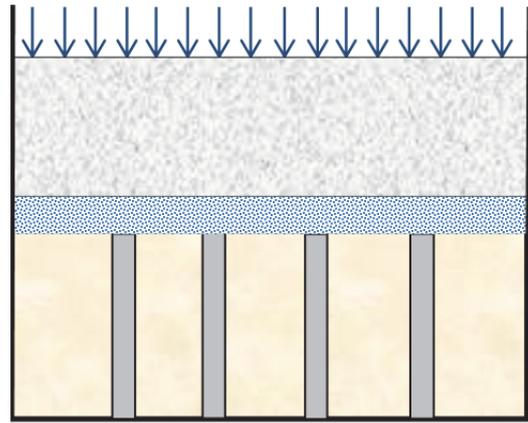


Figure 5. Essai C

3. Résultats

3.1 Sous chargement monotone

La figure 6 montre la variation du tassement des trois essais (A, B et C) en fonction de la contrainte moyenne appliquée à la surface de sol compressible, qui correspond à la contrainte appliquée par la PTC et le remblai, à laquelle s'ajoute ensuite la pression dans la membrane en surface. Cette figure montre que durant la mise en œuvre du remblai (niveau de contrainte relativement faible d'ordre de 5 kPa) le GSY n'a pas de grande influence sur les valeurs de tassement mesurées, mais au fur et à mesure que la pression augmente, la différence de tassement entre les essais avec GSY (A et B) et l'essai sans GSY (C) augmente. À la fin du chargement monotone, le tassement du sol compressible n'est que de 20 mm avec GSY et atteint 47 mm sans géosynthétique.

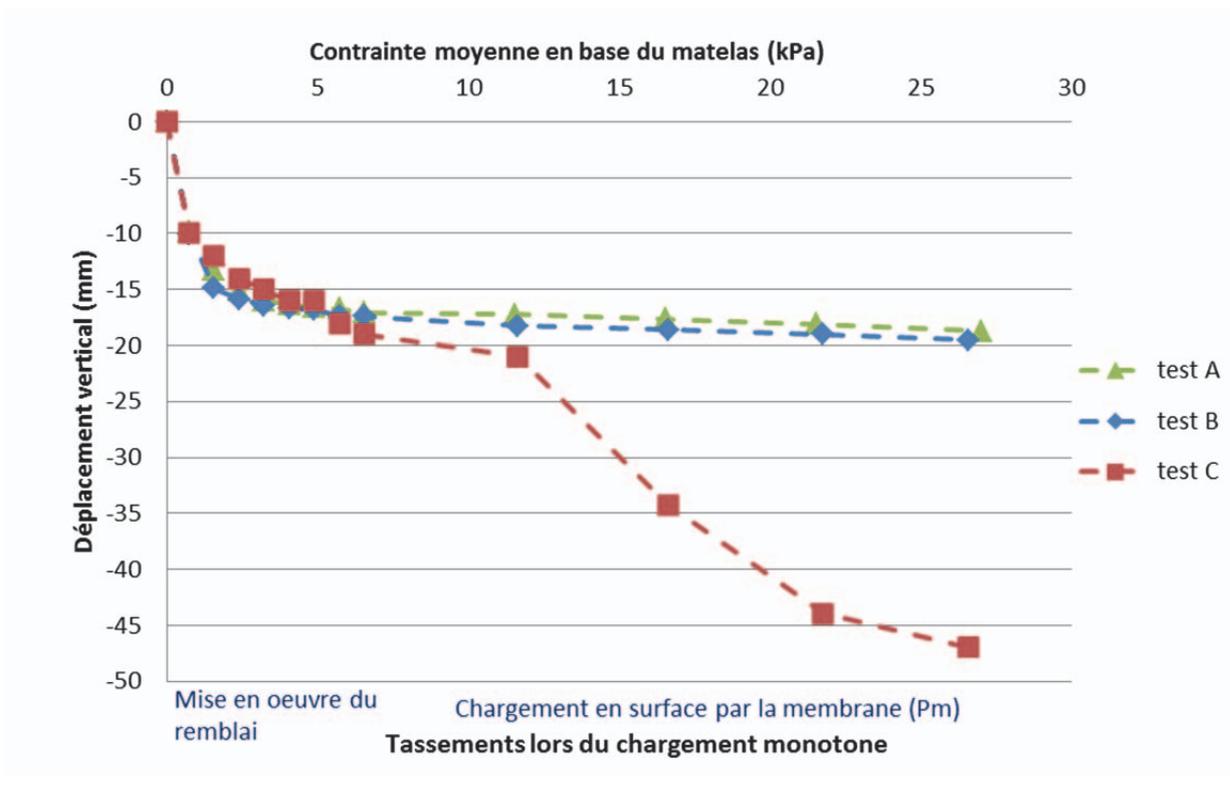


Figure 6. Tassement lors du chargement monotone

Étudiant de même l'évolution de la force en tête des inclusions en fonctions de la contrainte moyenne au niveau du sol compressible, la figure 7 nous montre l'effet du GSY sur cette force. On remarque que la valeur de la force reste la même pour les trois essais jusqu'à une contrainte de 12 kPa. Au-delà de cette valeur, les essais A et B (avec GSY) montrent des valeurs de force plus grandes que celles mesurées dans l'essai C, ce qui met en évidence l'influence du GSY sur l'augmentation du transfert de charge vers les inclusions et par conséquent l'efficacité du système, par l'effet membrane prenant place dans le GSY une fois sous traction.

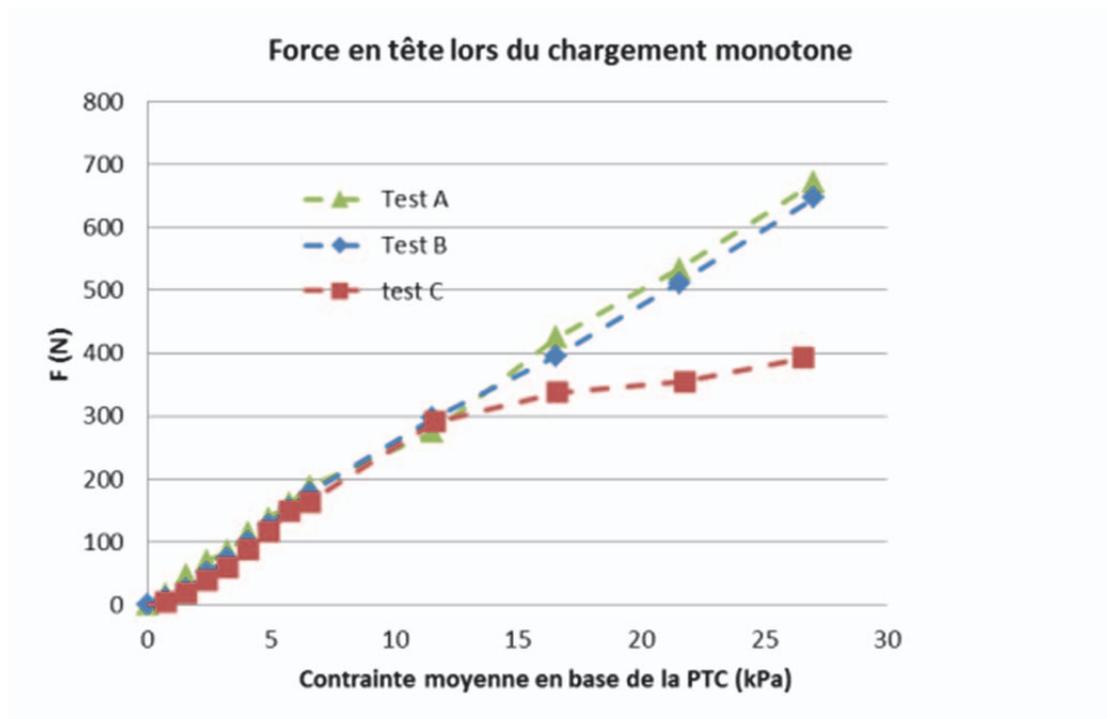


Figure 7. Variation de la force en tête des inclusions

3.2 Sous chargement cyclique

Pour l'étude du comportement sous chargement cyclique des essais A et C, la variation du tassement du sol compressible et de la pression extérieure appliquée par la membrane en fonction de temps est montrée sur les figures 8 et 9.

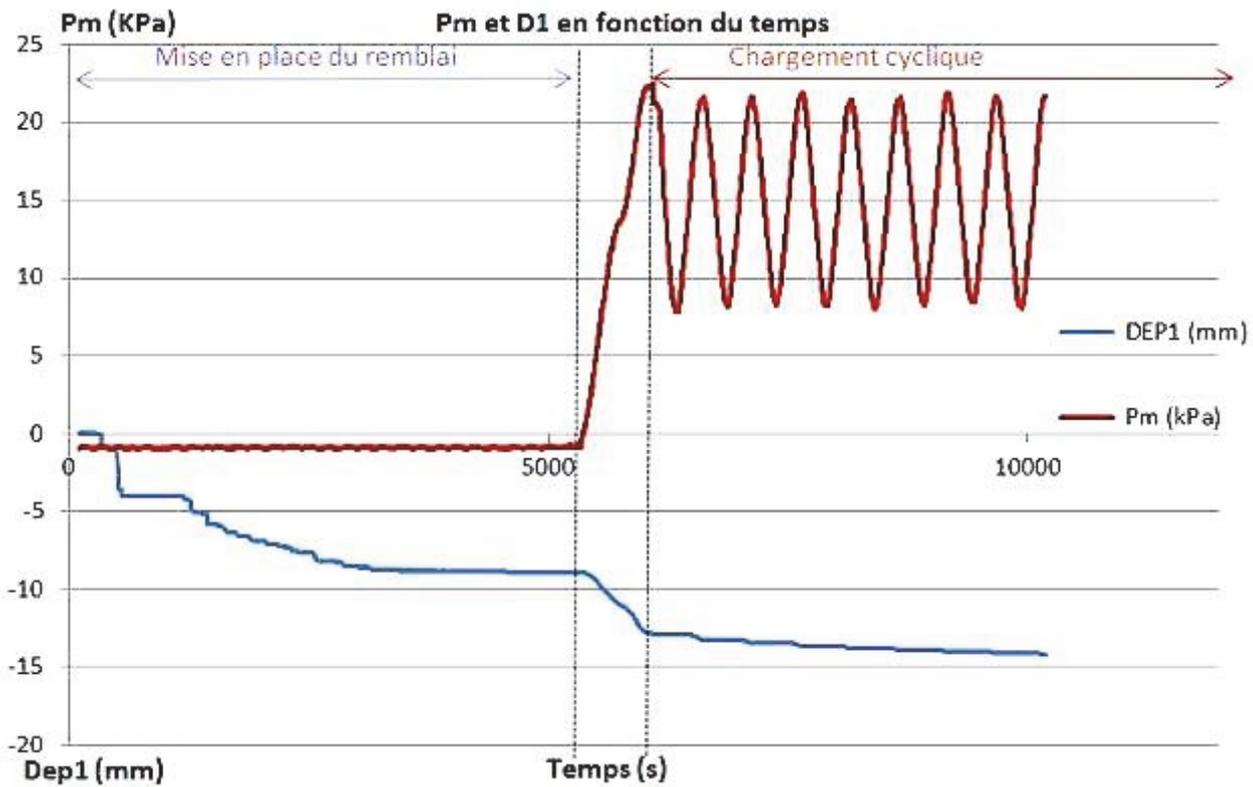


Figure 8. Tassement et Pression extérieur en fonction de temps du test A

Pour le test A, on remarque que le tassement de sol compressible s'accroît légèrement durant les premiers cycles puis tend à se stabiliser. Le tassement du sol compressible durant les huit premiers cycles est égal à 2 mm.

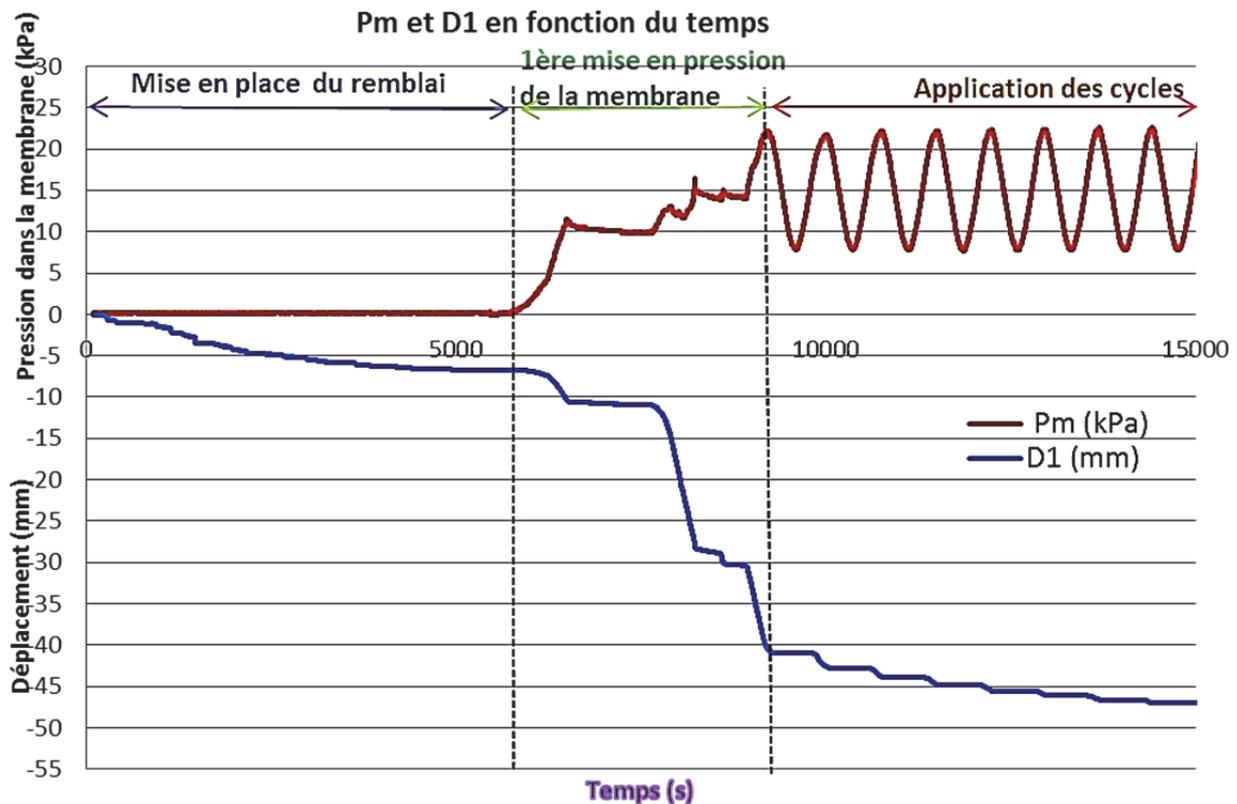


Figure 9. Tassement et pression appliquée en fonction du temps du test C

Pour le test C, effectué sans GSY, on remarque que le tassement qui a eu lieu durant les huit premiers cycles atteint une valeur égale à 6 mm. Cette accumulation de tassement sous chargement cyclique est ainsi plus importante qu'avec géosynthétique. Cette augmentation met en évidence l'importance du GSY pour réduire les tassements dans les massifs de sol renforcés par inclusions rigides lors d'un chargement cyclique.

4. Conclusions

Afin d'étudier les mécanismes de transfert de charge les massifs de fondation renforcés par inclusions rigides et soumis à des charges cycliques en surface, un nouveau modèle expérimental tridimensionnel a été développé et nous a permis d'effectuer une série de tests en utilisant différents types de renforcement, y compris avec ou sans géosynthétique de différentes raideur.

La comparaison et l'analyse des résultats de nos essais sous chargement monotone nous montrent que l'utilisation du GSY n'est pas de première importance au cours de la construction du remblai (pour de faibles valeurs de contraintes), mais apparaît importante pour des fortes valeurs de pression appliquée en surface.

Pendant le chargement cyclique, le GSY contribue à stabiliser le système en augmentant le transfert de charge vers les inclusions rigides et par conséquent l'efficacité de ce dernier, et en réduisant les tassements dans le massif au cours des cycles

4. Références bibliographiques

- Rocha M. (1957). The possibility of solving soil mechanics problems by the use of models. Proc. of the fourth International Conference on Soil Mechanics (pp. 183-188). London: Butterworths scientific Publications
- IREX (2012). *Recommandations pour la conception, le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides*. Presses des Ponts. 384 pages.