

ÉTUDE DU RENFORCEMENT GÉOSYNTHÉTIQUE DE PLATEFORMES GRANULAIRES REPOSANT SUR DES SOLS PEU PORTEURS

STUDY OF GRANULAR PLATFORM REINFORCED WITH GEOSYNTHETICS AND PLACED ON SOFT SUBGRADE

Nicole KHOUIERY^{1,2}, Laurent BRIANÇON¹, Ali DAOUADJI¹, Mathilde RIOT²

1 Univ Lyon, INSA-Lyon, GEOMAS, F-69621, France,

2 AFITEXINOV, Saint-Didier-de-la-Tour, France

RÉSUMÉ – Un dispositif expérimental a été conçu et développé pour tester les plateformes routières non revêtues renforcées à échelle réelle au laboratoire. Un soin particulier a été apporté pour définir un protocole expérimental permettant de disposer d'un même état initial du sol peu porteur à chaque essai. Les plateformes ont été testées par des sollicitations cycliques verticales et des sollicitations de circulation appliquées par un simulateur spécialement développé pour cette application. Les premiers essais réalisés ont permis de valider l'efficacité des géosynthétiques testés, d'évaluer l'influence du type de sollicitations sur l'endommagement de la plateforme et de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu.

Mots-clés : Géosynthétiques, plateforme granulaire, sol peu porteur, routes non revêtues, essai à échelle réelle

ABSTRACT – An experimental device was designed and developed to study the unpaved roads reinforced in a real-scale laboratory test. A special attention was given to the soil preparation and installation protocol in order to have the same initial state before each test especially for the soft subgrade. The prepared platforms were tested under vertical plate load and traffic load applied using a special simulator developed for this application. The first performed tests allowed proving the efficiency of the tested geosynthetics, evaluating the influence of the solicitation types on the platform damage and providing more knowledge on the developed mechanisms.

Keywords: Geosynthetics, granular platform, soft subgrade, unpaved roads, real-scale test.

1. Introduction

Les routes non revêtues sont composées d'une couche de base sur laquelle repose une couche de matériau granulaire. Ce type de route constitue une partie importante du réseau routier en Europe et dans le monde entier. Avec l'expansion de ce réseau, la construction de routes sur des sols de faible portance est de plus en plus rencontrée. Une solution traditionnelle consistait à remplacer le sol de faible portance par des couches épaisses de granulats. Une variante à cette solution, peu économique, est le renforcement de la plateforme par géosynthétiques. Plus que 50 ans de retour d'expériences de cette application a montré l'efficacité du renforcement par géosynthétiques dans la réduction de l'épaisseur de la plateforme granulaire, la réduction de la formation d'orniérage et l'augmentation de la durée de vie de la plateforme.

Les géotextiles ont été les premiers produits utilisés dans cette application dans les années 1970. Après le développement des géogrilles par Mercer en 1970, ces produits ont été introduits dans cette application en 1980.

Le dimensionnement de ces ouvrages et la compréhension des mécanismes développés se présentent comme une approche complexe, vu l'hétérogénéité de l'ouvrage et l'évolution des propriétés des matériaux sous le chargement cyclique. La présence du renforcement par géosynthétique dans la plateforme granulaire ajoute de la complexité à l'approche. En effet la variété des produits utilisés et les paramètres influençant les mécanismes mis en jeu ont fait de ce sujet une thématique de recherche active jusqu'à ce jour.

Dans le cadre du projet de recherche Labcom-PITAGOR (2015 – 2018), ce sujet a été abordé sous une approche expérimentale avec le développement d'un protocole et d'un dispositif expérimental à échelle 1. Les résultats expérimentaux ont permis d'apporter des éléments de compréhension

concernant les mécanismes développés et de comparer l'efficacité de différents produits utilisés. La présente communication détaille le dispositif expérimental et le protocole mis en œuvre ainsi que les résultats des premiers essais.

2. Synthèse bibliographique

La présence du renforcement par géosynthétique dans la plateforme granulaire reposant sur un sol de faible portance contribue à l'augmentation de la capacité portante de la plateforme routière et à la réduction de l'orniérage. Le renforcement est généralement placé entre la plateforme granulaire et le sol de faible portance. Trois mécanismes sont mis en jeu dans la plateforme en présence du renforcement :

- (1) la séparation entre le sol de faible portance et la plateforme granulaire, qui empêche l'infiltration des particules fines dans la plateforme granulaire et la perte des granulats dans le sol de faible portance. Généralement, c'est le géotextile qui amène cette fonction, mais Giroud (2009) a mentionné la possibilité qu'une géogrille, ayant la bonne dimension d'ouverture, puisse contribuer à la séparation.
- (2) le confinement de la plateforme granulaire, qui est dû au blocage du mouvement latéral des granulats. Ce blocage est assuré soit par le frottement entre la grave et le géosynthétique, soit par l'enchevêtrement des particules de grave dans les ouvertures de la géogrille. Le confinement augmente la rigidité de plateforme granulaire et par conséquent permet une diffusion de la contrainte plus large sur le sol de faible portance.
- (3) l'effet membrane, qui reprend la charge de circulation verticale par la mise en tension développée dans le renforcement.

Le GTR (2000) propose une réduction de 10 cm de la PST dans certains cas si un géosynthétique de renforcement est utilisé. Cette recommandation est néanmoins générale et même si elle s'applique pour certaines classes de sol et pour certaines plages de valeurs de module de déformation des plateformes, elle ne tient pas compte du type de géosynthétique et de ses caractéristiques.

Dans les premières études effectuées sur cette application, l'effet membrane a été considéré comme le mécanisme prédominant (Giroud et Noiray, 1981). Des études récentes sur des nouveaux produits ont montré l'importance du mécanisme de confinement (Giroud, 2009 ; Giroud et Han, 2004 ; Cook et al., 2016).

Ces différents mécanismes ont été traduits par des méthodes analytiques de dimensionnement. La méthode la plus récente (Giroud et Han, 2004) suppose que le principal mécanisme du transfert de charge est dû au blocage du mouvement latéral des agrégats par enchevêtrement dans la géogrille. Cette méthode a été spécifiquement développée pour le dimensionnement de nouvelles géogrilles assurant ce rôle de confinement. Cette méthode a été validée et calibrée en se basant sur des résultats d'essais au laboratoire et des résultats sur site. Ces travaux de calibrage sont toujours limités à des produits spéciaux et des conditions données du site.

La prédominance d'un mécanisme et le comportement du renforcement dépendent de plusieurs facteurs tels que la rigidité de ses bandes, celle de ses nœuds, l'adéquation entre les ouvertures du produit et les dimensions des agrégats, la forme des ouvertures ou encore la position du géosynthétique dans la plateforme. Ceci peut dépendre aussi de la rigidité et de l'épaisseur de la plateforme granulaire et des propriétés du sol de faible portance.

Dans la littérature, plusieurs auteurs ont étudié l'influence de ces facteurs sur le comportement du renforcement et son efficacité. Qian et al. (2011, 2013) ont comparé l'effet de la forme des ouvertures des géogrilles en se basant sur des essais sur plaque au laboratoire ; ils ont conclu que la forme triangulaire présente la meilleure amélioration. C'est important de noter que les auteurs de ces études ont comparé des produits du même type de fabrication. Dong et al. (2011) a démontré numériquement que les ouvertures triangulaires permettent une meilleure répartition de tension dans les bandes de la géogrille.

La rigidité des bandes de la géogrille est aussi un facteur qui influence significativement l'efficacité du produit. Plusieurs auteurs ont démontré que l'efficacité du produit augmentait avec sa rigidité (Brown et al., 2007 ; Hufenus et al., 2006 ; Sun et al., 2015). Giroud (2009) a noté qu'un produit trop rigide peut perturber le compactage de la plateforme granulaire

La position optimale du renforcement dans le cas d'une plateforme granulaire peu épaisse est l'interface entre le sol de faible portance et la plateforme granulaire (Walters et al., 2002). Dans le cas d'une plateforme épaisse, Perkins et al. (1999) a conclu, en se basant sur des essais in situ, que la position optimale du renforcement est localisée entre 0,25 et 0,35 m sous la surface.

La rigidité au nœud de la géogrille est aussi un paramètre qui influence le comportement du renforcement. C'est une notion qui a été introduite récemment dans les méthodes de dimensionnement analytique (Giroud et Han, 2004).

La complexité des mécanismes développés et la diversité des produits de renforcement nécessitent encore d'étudier ces plateformes renforcées pour mieux appréhender leur comportement, développer des géosynthétiques adaptés et proposer des méthodes de dimensionnement.

Dans le cadre de ce travail, un protocole expérimental au laboratoire a été développé pour tester le comportement des différents géosynthétiques dans le renforcement de ces plateformes. Un simulateur de circulation a été spécialement conçu à l'INSA de Lyon pour tester ces ouvrages. Dans cet article, le protocole expérimental est détaillé et les résultats des essais sont présentés. L'instrumentation et les mesures effectuées ont permis de comparer et d'illustrer la différence de comportement entre les géosynthétiques utilisés.

3. Protocole expérimental

Un protocole expérimental visant à tester des plateformes renforcées et non renforcées a été conçu. Il consiste à simuler au laboratoire une plateforme de 5 m de long et 1,8 m de large, constituée de 60 cm de sol de faible portance et d'une plateforme granulaire d'une épaisseur variant de 20 à 35 cm. Sur 2 m de long, la plateforme est soumise à une sollicitation cyclique de circulation simulée par une machine développée spécialement pour cette application (le Simulateur Accélérateur de Trafic). Sur la longueur restante, la plateforme est soumise à une sollicitation cyclique verticale sur plaque. La même plateforme a été soumise à ces deux sollicitations différentes pour pouvoir comparer et observer l'effet de la sollicitation sur le comportement de la plateforme et du renforcement.

1.1. Modélisation physique de la sollicitation

1.1.1. Sollicitation cyclique verticale sur plaque

Cette sollicitation est appliquée sur les premiers deux mètres de la longueur de la plateforme. Elle est appliquée à l'aide d'un vérin hydraulique (Figure 1). La plaque utilisée est une plaque rigide avec une forme spéciale identique à la forme et dimensions de l'empreinte de la roue du simulateur de trafic sur la plateforme. La charge cyclique appliquée est de 0,77 Hz avec une amplitude maximale de 28 kN, ce qui donne une contrainte de 650 kPa en surface.



Figure 1. Illustration des essais sur plaque

1.1.2. Sollicitation cyclique de circulation

Le Simulateur Accélérateur de Trafic (SAT) a été conçu spécialement dans le cadre de ce projet pour tester les plateformes non revêtues avec une déformation importante en surface. En effet avec le système de chargement sous le poids propre de la machine et le parallélogramme déformable, la charge

est appliquée à la même amplitude même après une déformation importante en surface de la plateforme (Figure 2). Les vérins pneumatiques permettent de simuler des charges de circulation mono ou bidirectionnelles à des vitesses pouvant atteindre 8 km/h. La charge est appliquée sur une longueur nette de 2 m sans les zones d'accélération et de décélération. La charge appliquée est de 28 kN donnant une contrainte de 650 kPa (Tableau 1).

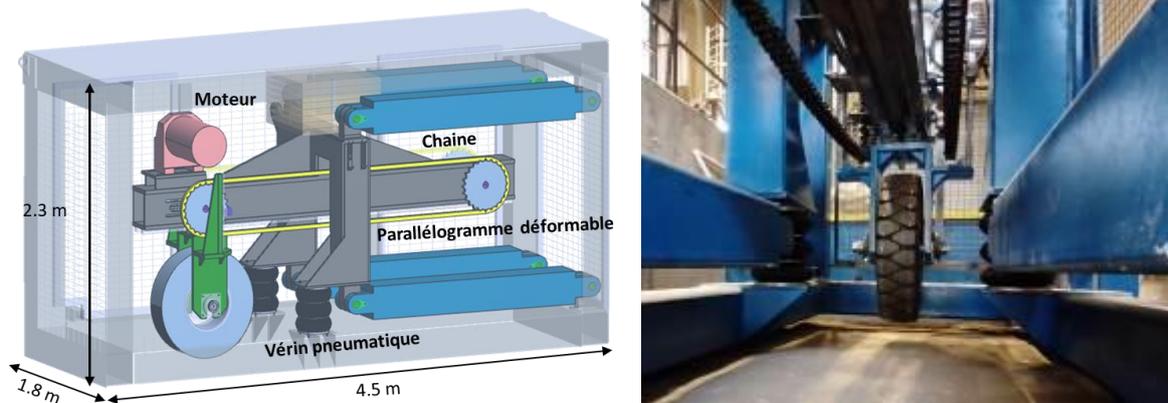


Figure 2. Illustration du Simulateur Accélérateur de Trafic (SAT)

Tableau 1. Paramètres du SAT

Paramètre	
Uni / bidirectionnelle	Bidirectionnelle
Charge	28 kN / 650 kPa
Roue	L = 210 mm, D = 821 mm
Vitesse	4 km/h
Déplacement vertical Max	> 100 mm

1.2. Constitution de la plateforme testée

1.2.1. Le sol de faible portance

Le sol de faible portance est un sol artificiel formé de 20 % d'argile kaolinite mélangée à 80 % de sable fin d'Hostun. Selon la norme FHWA (2008) un renforcement par géosynthétiques est recommandé si le CBR du sol de faible portance est < 3%.

Plusieurs essais Proctor et CBR ont été effectués pour déterminer la teneur en eau sous laquelle il faut compacter le sol pour atteindre un CBR de 2%. Ces essais ont montré que le mélange compacté à une teneur en eau de 11,5% permet d'atteindre ce critère.

1.2.2. La plateforme granulaire

La grave utilisée dans ces essais est une grave non traitée GNT0/31.5. Les essais Proctor et CBR ont montré que l'optimum Proctor est atteint pour une teneur en eau de 4% avec un CBR entre 10 et 16 %.

1.2.3. Le choix des géosynthétiques

Un géotextile fin a été placé à l'interface entre le sol de faible portance et la plateforme granulaire pour empêcher la pollution de ces deux sols, notamment lors du démontage de la plateforme. La géogrille est aussi placée à l'interface entre le sol de faible portance et la plateforme granulaire. Deux types de géogrille ont été testés dans cette campagne d'essais (Figure 3) :

- GSY 2, une géogrille tricotée en PVA (Polyvinyle d'Alcool) caractérisée par une rigidité bidirectionnelle élevée de 2 500 kN/m, une ouverture carrée de 40 mm et une résistance maximale à la traction de 200 kN/m. Ce type de géogrille ne présente pas de rigidité aux nœuds, par contre la rigidité de ces bandes à la traction est importante.
- GSY 3, une géogrille extrudée en PP (polypropylène) caractérisée par une stabilité des nœuds de 6,1 kg-cm. La rigidité des bandes est exprimée en rigidité radiale de 360 kN/m. Les ouvertures ont une forme triangulaire de 40 mm le côté.

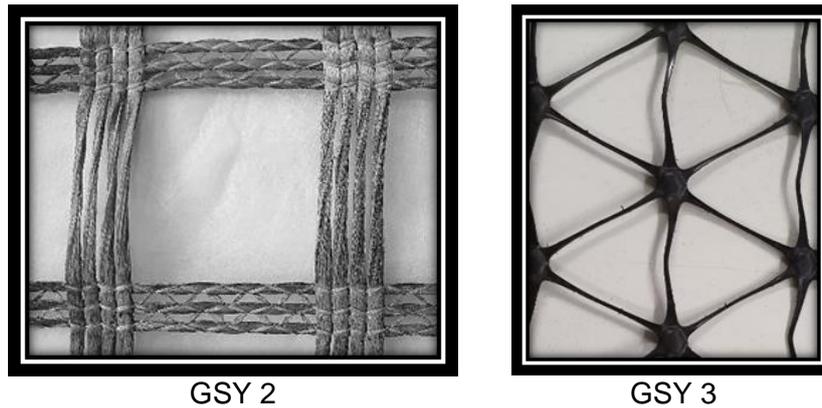


Figure 3. Illustration des géosynthétiques testés

1.3. Protocole de mise en place, de compactage et de contrôle

Une attention particulière a été apportée à la mise en place et au compactage du sol peu porteur et de la plateforme. En effet, pour pouvoir comparer le comportement des différents renforcements, un état initial identique est exigé. Une plaque vibrante a été utilisée pour compacter les différentes couches de sol, et une mini pelle pour retirer le sol après chaque essai, le malaxer et le remettre en place pour l'essai suivant.

Plusieurs protocoles de mise en place et de compactage ont été testés pour proposer celui qui permet d'obtenir une homogénéité en surface et en profondeur avec les propriétés mécaniques imposées (CBR du sol de faible portance de 2%).

Des essais de contrôle de qualité ont permis de mesurer les propriétés mécaniques des sols mis en place :

- profil vertical de la teneur en eau,
- essais scissométriques,
- essais au pénétromètre statique dont les résultats ont été corrélés au CBR,
- essais au pénétromètre dynamique dont les résultats ont été corrélés au CBR.

Les nappes géosynthétiques ont été mises en place sur le sol peu porteur et insérées entre les planches qui forment les parois du banc d'essais. Les mesures par fibres optiques (Figure 8) ont confirmé que les nappes n'étaient pas sollicitées sur les bords du banc d'essai.

Les résultats de ces essais ont montré que les plateformes ont toujours été testées avec le même état initial. Pour tester la répétabilité de ce protocole une série d'essais a été effectuée sous le chargement cyclique sur plaque seulement (Khoueiry, 2020 ; Khoueiry et al., 2021).

1.4. Instrumentation

Deux zones ont été instrumentées (Figure 4), sous le chargement cyclique sur plaque et sous le chargement de circulation.

Différents types de capteurs ont été utilisés :

- capteurs de pression totale,
- capteurs de tassement qui mesurent la variation de la pression d'eau. Ces capteurs sont connectés en série à un réservoir d'eau servant de référence.
- inclinomètres,
- capteurs laser de déplacement,
- fibres optiques par réflectométrie Rayleigh OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) permettant une résolution spatiale millimétrique et une mesure très fine de la déformation.

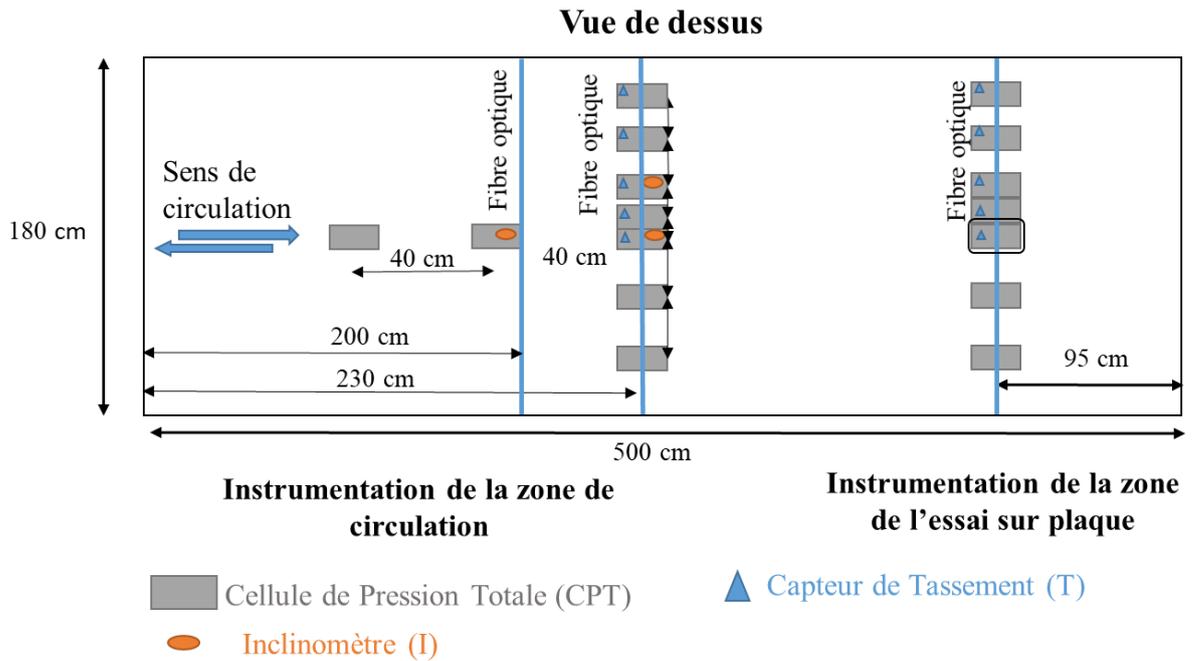


Figure 4. Plan d'instrumentation

4. Résultats des essais

Les résultats de trois essais sont présentés dans cette partie sous forme de tassements en surface de la plateforme mesurés par le capteur laser, tassements en surface du sol de faible portance mesurés par le capteur de tassement et déformations des géosynthétiques mesurées à l'aide des fibres optiques introduites dans le renforcement. Les mesures sont faites après un certain nombre de cycles sous l'application monotone de la charge.

4.1. Les essais effectués

Trois essais sont présentés (Tableau 2) : un essai non renforcé, deux essais renforcés respectivement par le GSY 2 et le GSY 3 placés à l'interface plateforme granulaire / sol peu porteur.

Tableau 2. Les essais

Numéro des Essais	Épaisseur de la plateforme (mm)	Renforcement	Position du GSY
Essai 1	220	Non Renforcé	--
Essai 2	220	GSY 2	Interface
Essai 3	220	GSY 3	Interface

4.2. Tassement

La figure 5 illustre l'évolution du tassement au centre de la surface de la plateforme granulaire sous la plaque et sous le centre de la roue sur les deux différentes zones de chargement. Concernant les essais de chargement cyclique sous plaque (Figure 5a), on observe une bonne efficacité des deux géosynthétiques à réduire le tassement en surface. En effet la plateforme non renforcée présente le tassement le plus important (110 mm après 10 000 cycles) alors que ce tassement est réduit d'environ 30 % pour les deux géogrilles.

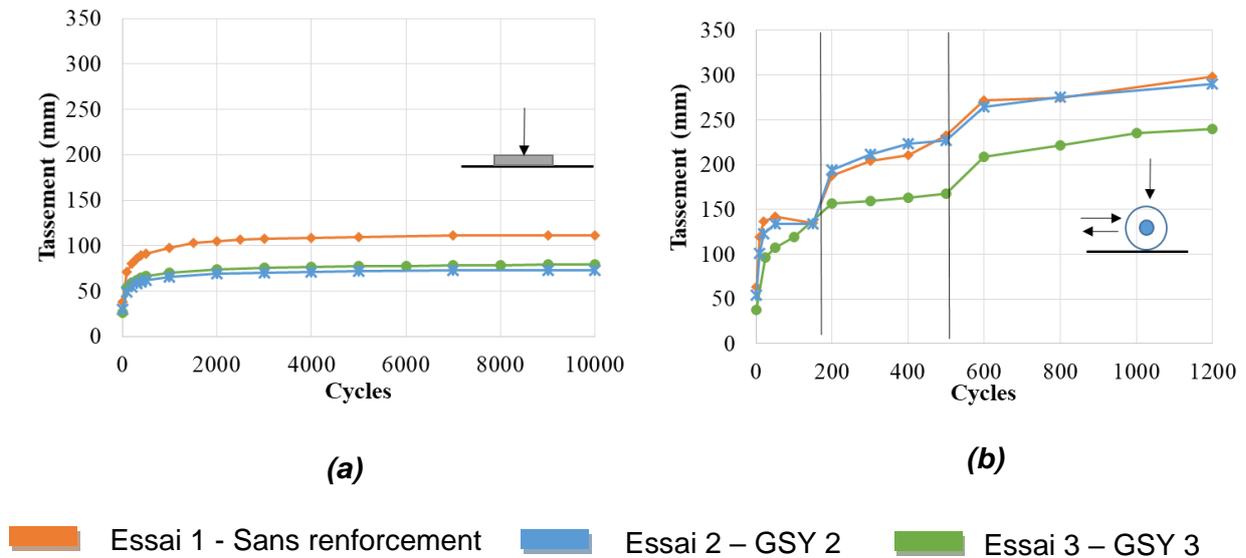


Figure 5. Évolution du tassement au centre de la surface de la plateforme granulaire, (a) sous le chargement sur plaque, (b) sous le chargement de circulation

Sous le chargement cyclique de circulation (Figure 5b), un tassement important apparaît en surface dès les premiers cycles et la limite en déplacement de la machine (120 mm) est atteinte après 150 cycles. Pour poursuivre l'essai, l'orniérage en surface a été remblayé deux fois (à 150 cycles et 500 cycles) et la limite de l'appareil est à nouveau atteinte après 1 200 cycles. Ceci montre que le chargement de circulation est plus endommageant que le chargement cyclique vertical sur une plaque. On observe que ce tassement excessif observé en surface sous le chargement de circulation est essentiellement lié au refoulement des agrégats en surface.

Pour mieux interpréter ces résultats, la figure 6 présente l'évolution du tassement en surface du sol de faible portance. En comparant ce tassement pour les deux types de sollicitation, on observe que la circulation apporte un tassement plus important au niveau du sol de faible portance notamment lorsque la plateforme n'est pas renforcée. En éliminant les incertitudes liées à la déformation de la plateforme granulaire, on remarque que, sous la sollicitation de circulation, les deux types de renforcement réduisent le développement de tassement sur la surface du sol de faible portance d'environ 40 %.

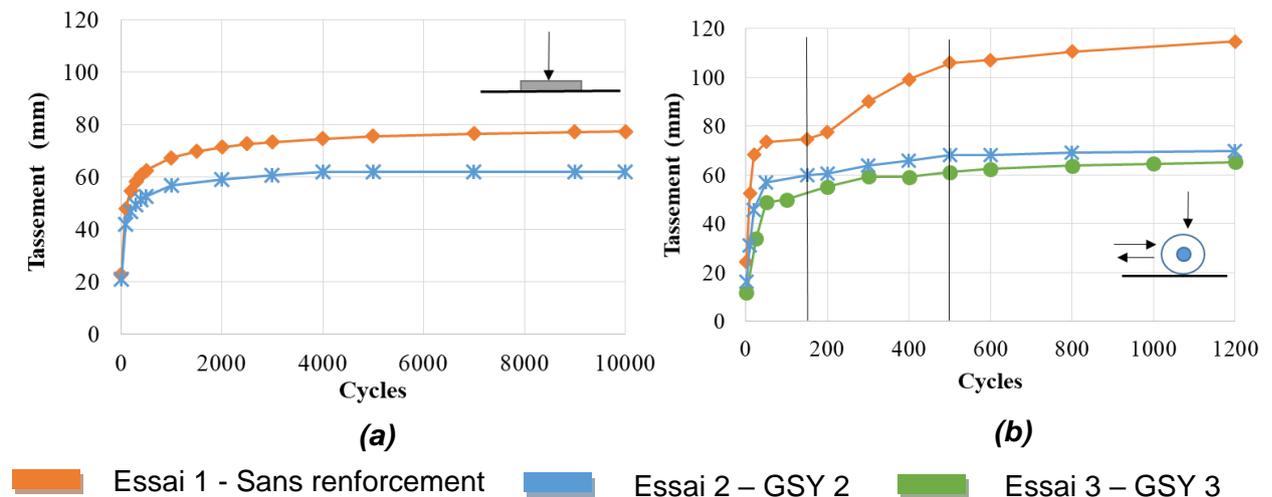


Figure 6. Évolution du tassement au centre de la surface du sol de faible portance, (a) sous le chargement sur plaque, (b) sous le chargement de circulation

4.3. Déformation de la géo grille

Des fibres optiques ont été introduites dans le renforcement pour suivre sa déformation lors de la mise en place et durant le chargement.

4.3.1. Déformation de la géogrille lors de la mise en place

Les mesures de déformation montrent que la géogrille tricotée GSY 2 est moins sollicitée lors de la mise en place que la géogrille extrudée GSY 3 (Figure 7). En effet, le GSY 2 se déforme de 3000 $\mu\epsilon$ tandis que le GSY 3 se déforme d'environ 4500 $\mu\epsilon$. Ceci est probablement lié à la géométrie et la structure des deux types de renforcement. En effet, la rigidité des nœuds du GSY 3 contribue au fait qu'il est plus sollicité lors de la mise en place et du compactage du gravier par imbrication des granulats dans les mailles du géosynthétique.

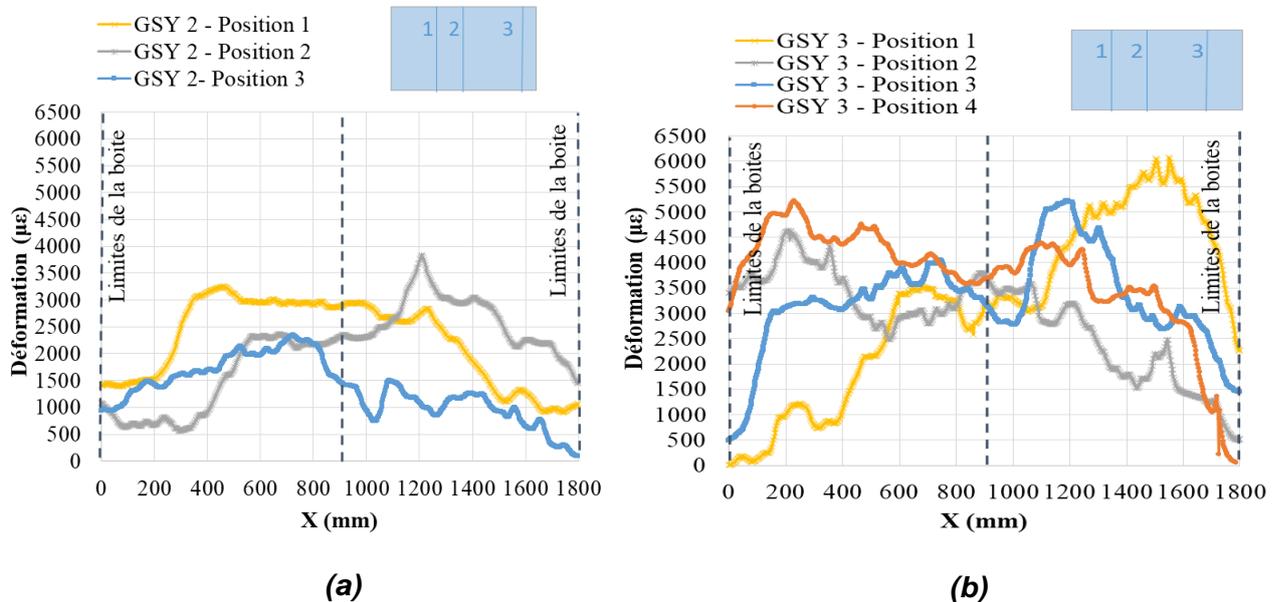


Figure 7. Déformation de la géogrille lors de la mise en place, (a) GSY 2, (b) GSY 3

4.3.2. Déformation de la géogrille sous le premier chargement

La figure 8 illustre la déformation des géogrilles sous le premier chargement et après le premier déchargement sous les deux différents types de sollicitation. En comparant les déformations, on observe que, sous les deux types de sollicitations, le GSY 3 est plus sollicité sous le premier chargement que le GSY 2. En effet, sous le premier chargement le GSY 3 présente une déformation maximale de 13 000 $\mu\epsilon$ tandis que le GSY 2 présente une déformation maximale de 7000 $\mu\epsilon$. On peut aussi noter une déformation résiduelle qui se développe dans la géogrille représentant entre de 60 à 70 % de la déformation totale sous le chargement.

Pour mieux interpréter ces résultats, la figure 9 présente la déformation des géosynthétiques en fonction du tassement en surface. On remarque que, pour le même tassement en surface, le GSY 3 se déforme plus que le GSY 2, ce qui s'explique par la nature des mécanismes mis en jeu : la géogrille extrudée (GSY 3) est sollicitée latéralement et bloque le déplacement des agrégats, alors que la géogrille tricotée (GSY 2) est seulement sollicitée par effet membrane. Enfin, la figure 9 montre qu'avec l'évolution du tassement en surface l'écart entre la déformation du GSY 2 et du GSY 3 augmente laissant présager une meilleure efficacité du GSY 3 pour un grand nombre de cycle.

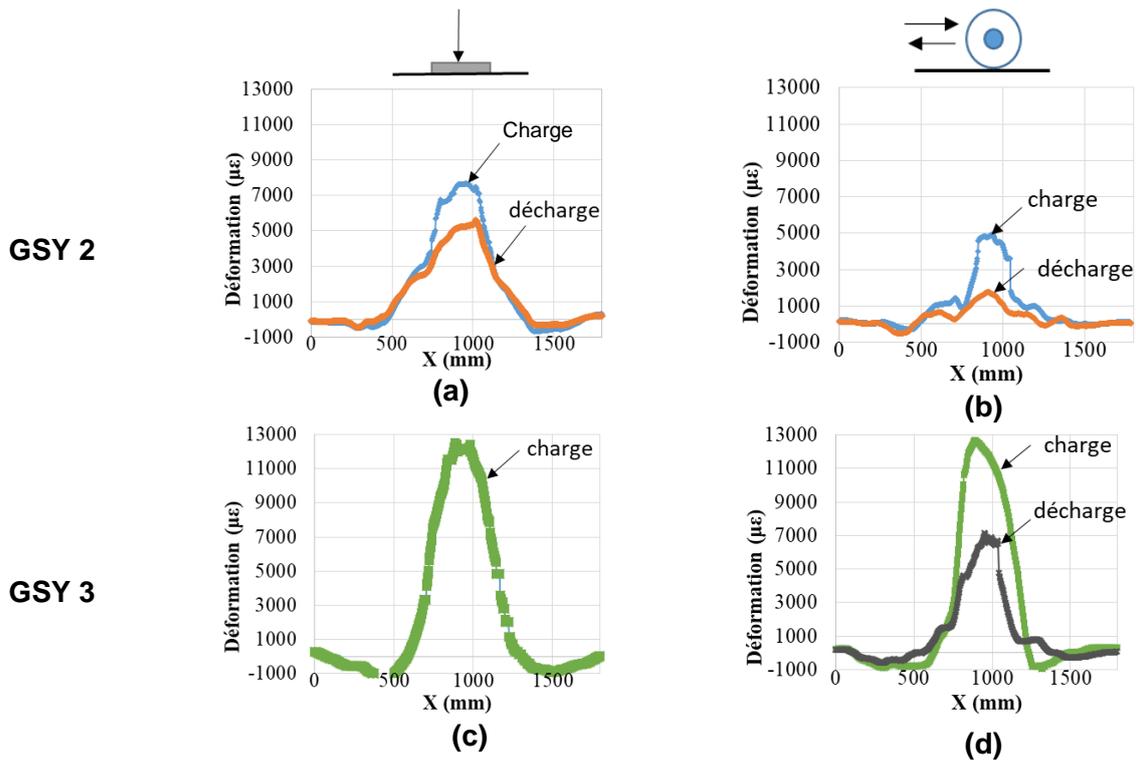


Figure 8. Déformation de la géogrille sous le premier chargement, (a) GSY 2 sous le chargement sur plaque, (b) GSY 2 sous le chargement de circulation, (c) GSY 3 sous le chargement sur plaque, (d) GSY 3 sous le chargement de circulation

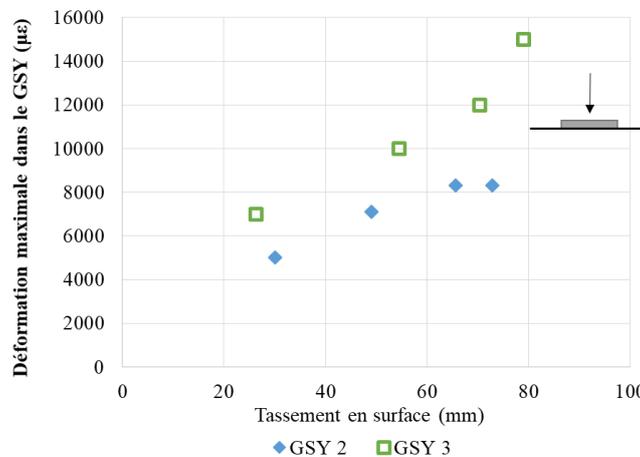


Figure 9. Variation de la déformation plastique maximale du GSY en fonction de l'évolution du tassement en surface de la plateforme granulaire

5. Conclusions

Les travaux présentés dans cet article sont une partie des travaux réalisés dans le cadre de la thèse de Khoueiry (2020). Les essais ont permis de voir l'effet du type de chargement, de distinguer l'efficacité des deux géogrilles utilisées dans ces essais et de mettre en évidence les différents mécanismes développés à l'interface du renforcement en fonction du type de celui-ci :

- Les résultats de ces essais ont montré que le chargement cyclique de circulation est plus endommageant que le chargement cyclique sur plaque et particulièrement pour la déformation de la plateforme granulaire. Il faut noter que cette conclusion reste limitée aux conditions de compactage de la plateforme granulaire au laboratoire et que ceci peut changer sous les conditions de compactage sur site.

- Les deux types de géogrid utilisés dans ces essais (la géogrid tricotée GSY 2 et la géogrid extrudée GSY 3) montrent la même efficacité dans la réduction du tassement (30 % chargement sur plaque et 40% chargement de circulation)
- La géogrid extrudée se déforme plus lors de la mise en place du gravier et sous le premier chargement. Ceci est probablement lié à sa géométrie spéciale et à la rigidité de ses nœuds qui favorise le blocage du mouvement latéral des agrégats.

6. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du LabCom PITAGOR. Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche pour son aide financière et le pôle de compétitivité Techtera pour son soutien.

7. Références bibliographiques

- Brown S. F., Kwan J., Thom N. H. (2007). Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast. *Geotextiles and Geomembranes* 25(6), 326-335.
- Cook J., Dobie M., Blackman D. (2016). The development of APT methodology in the application and derivation of geosynthetic benefits in roadway design. In *The Roles of Accelerated Pavement Testing in Pavement Sustainability*, Springer, Cham, 257-275.
- Dong Y. L., Han J., Bai X. H. (2010). Bearing capacities of geogrid-reinforced sand bases under static loading. In *Ground Improvement and Geosynthetics*, 275-281.
- FHWA, Federal Highway Administration (2008). Geosynthetic design and construction guidelines reference manual. FHWA NHI-07-092, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Giroud J. P., Noiray L. (1981). Geotextile-reinforced unpaved road design. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 107.
- Giroud J. P., Han J. (2004). Design method for geogrid-reinforced unpaved roads. II. Calibration and applications. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(8), 787 - 797.
- Giroud J. P. (2009). An assessment of the use of geogrids in unpaved roads and unpaved areas. In jubilee symposium on polymer geogrid reinforcement. Identifying the direction of future research, ice, London, 8th September.
- GTR (2000). Réalisation des remblais et couches de forme – Fascicule 1 : Principes généraux. Guide technique du CEREMA, 102 p.
- Khoueiry N., Briançon L., Riot M., Daouadji A. (2021). Full-scale laboratory tests of geosynthetic reinforced unpaved roads on a soft subgrade. *Geosynthetics International*, 28(4), 435-449.
- Hufenus R., Rueegger R., Banjac R., Mayor P., Springman S. M., Brönnimann R. (2006). Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade. *Geotextiles and Geomembranes*, 24(1), 21-37.
- Khoueiry N. (2020). Study of granular platforms behaviour over soft subgrade reinforced by geosynthetics: experimental and numerical approaches. Thesis of University Lyon 1
- Perkins S. W. (2000). Constitutive modeling of geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, 18(5), 273-292.
- Qian Y., Han J., Pokharel S. K., Parsons R. L. (2011). Stress analysis on triangular-aperture geogrid-reinforced bases over weak subgrade under cyclic loading: An experimental study. *Transportation research record*, 2204(1), 83-91.
- Qian Y., Han J., Pokharel S. K., Parsons R. L. (2013). Performance of triangular aperture geogrid-reinforced base courses over weak subgrade under cyclic loading. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1013-1021.
- Sun X., Han J., Kwon J., Parsons R. L., Wayne M. H. (2015). Radial stresses and resilient deformations of geogrid-stabilized unpaved roads under cyclic plate loading tests. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(5), 440-449.
- Walters D. L., Allen T. M., Bathurst R. J. (2002). Conversion of geosynthetic strain to load using reinforcement stiffness. *Geosynthetics International*, 9(5-6), 483-523.