

PORTEANCE DE PLATEFORME FERROVIAIRE RENFORCÉE PAR GÉOSYNTHÉTIQUES : EXPÉRIMENTATION EN VRAIE GRANDEUR

BEARING CAPACITY OF GEOSYNTHETICS REINFORCED RAILWAY SUBGRADE : FULL SCALE EXPERIMENTATION

Elisabeth HAZA-ROZIER¹, Hubert GIRAUD², Alain ROBINET², Matoren KHAY¹, Gratien VINCESLAS¹

¹ CER / Derdi / CETE Normandie-Centre, Rouen, France

² SNCF, Paris, France

RÉSUMÉ – Pour minimiser l'apport de matériaux de sous-couche ferroviaire, non renouvelables et pour homogénéiser la portance visée de la plateforme, il est intéressant d'envisager d'y intégrer un ou plusieurs lits de renforcement géosynthétiques. Des planches expérimentales en vraie grandeur ont été menées au CER, afin d'observer l'amélioration de portance de plusieurs bicouches, renforcés ou non par un ou plusieurs géosynthétiques de renforcement. Les renforcements sont mis en œuvre sur une couche de forme en limon, peu portante. La sous-couche, qui les surmonte, a été compactée en moyenne à une densité de 100% OPM, malgré un cas de compactage dit « difficile ». L'effet de la présence d'un géotextile de séparation est observé. La portance des bicouches est mesurée par des essais de plaque. La présence du renforcement augmente la portance de la plateforme, de façon plus ou moins accentuée suivant le produit mis en place. La même observation est faite quand l'épaisseur de la sous-couche augmente ou qu'un deuxième lit de renforcement est intégré dans cette couche. Cet article présente les expérimentations menées et leurs conclusions essentielles.

Mots-clés : portance, expérimentation, vraie grandeur, plateforme, renforcement, géosynthétique.

ABSTRACT – To minimize the quantity of non renewable materials in the sub-ballast layer and to homogenize the bearing capacity of the subgrade, it is interesting to include in the structure one or more geosynthetic reinforcement sheet(s). Full scale experiments were organised in the CER, to assess the increase in bearing capacity produced in a few layered structures by the inclusion of one or more geosynthetic reinforcements. The reinforcement sheets are laid on a weak silty subgrade. The overlying sub-ballast was compacted to a mean dry density of 100% modified Proctor optimum, in spite of difficulties for compaction. The effect of the presence of the reinforcement is observed. The layered structure bearing capacity was measured by plate loading tests. The reinforcement increases the subgrade bearing capacity to a variable extent, depending on the reinforcement sheets installed. Similar observations are made when the sub-ballast thickness increases and when a second reinforcement sheet is installed inside this layer. The paper presents the experimental work and its main conclusions.

Keywords: bearing capacity, experimentation, full scale, subgrade, reinforcement, geosynthetic.

1. Introduction

Il a toujours été question d'appréhender de combien la présence d'un renforcement géosynthétique peut améliorer la portance d'une plateforme, routière ou ferroviaire (Watts et Blackman, 2004) ou si elle peut permettre de réduire l'épaisseur de la couche de forme routière (ou sous-couche ferroviaire), tout en atteignant une portance équivalente.

Afin de comparer et quantifier l'amélioration, en termes de portance, apportée par la présence d'un renforcement géosynthétique, inséré dans une plateforme, une expérimentation en vraie grandeur a été menée au CER, Centre d'Expérimentation et de Recherche du Cete Normandie-Centre (Khay et Vinceslas, 2006). Sept renforcements géosynthétiques de nature, type et résistance à la traction différents ont été mis en place sur une couche de forme de classe PF1 ($E_{V2} = 30 \text{ MPa}$), puis surmontée par une sous-couche en GNT de 30 cm d'épaisseur. Les influences respectives de l'épaisseur de la sous-couche et de l'éventuel rajout d'un second renforcement dans la sous-couche ont été observées au travers de résultats d'essais de plaque statique.

Dans cet article, les renforcements ne sont pas identifiés, par souci de neutralité. Ils sont résistants dans une ou deux directions et leur résistance à la traction est comprise entre 30 kN/m et 64 kN/m. Les résultats sont hétérogènes ; l'amélioration de la portance par la présence d'un renforcement géosynthétique est plus ou moins validée.

2. Expérimentation en vraie grandeur

L'expérimentation en vraie grandeur a consisté à reconstituer une structure support (couche de forme ferroviaire) peu portante, avec comme objectif de portance un module E_{V2} inférieur à 30 MPa (classe de portance PF1). Elle est constituée de limon A1, sur 0,60 m d'épaisseur. Une sous-couche en grave non traitée, de granulométrie 0-31,5 mm, répondant aux spécifications SNCF, a été mise en œuvre ensuite, sur les lits de renforcement installés sur l'arase de la couche de forme, sur une épaisseur de 0,30 m. Dix planches expérimentales de dimensions 6x6 m, juxtaposées, ont ainsi été constituées (Figure 1). Sept d'entre elles intègrent un renforcement géosynthétique.

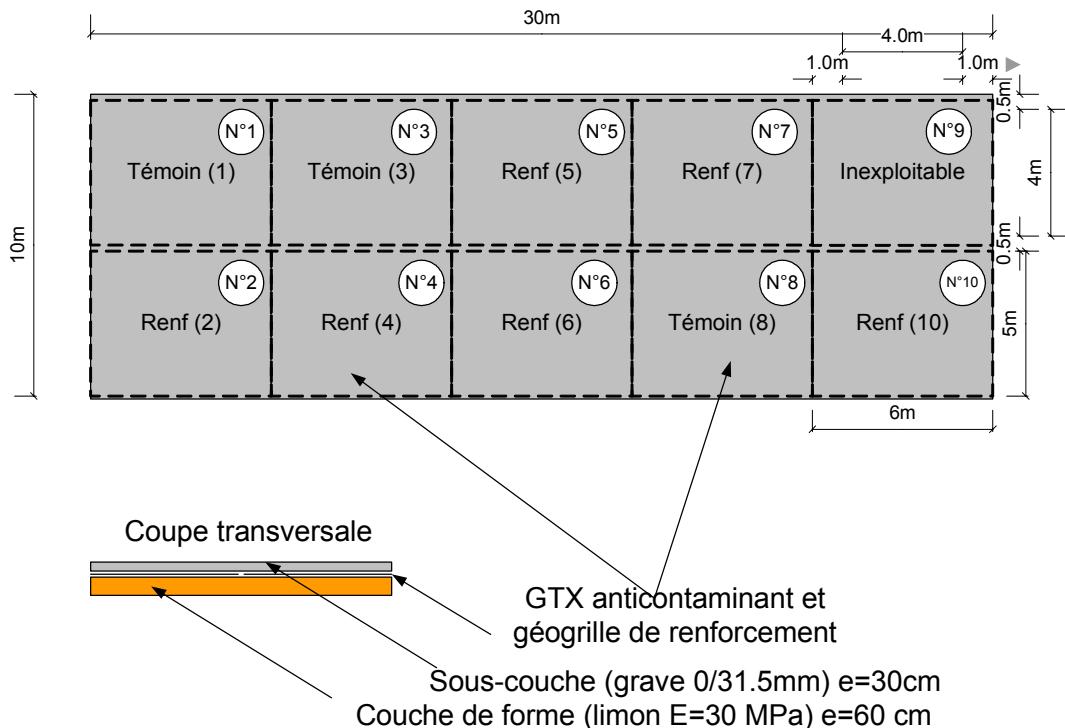


Figure 1. Disposition des planches d'essais

La portance de chaque planche est contrôlée et quantifiée par des essais de plaque $\varnothing 600$ mm et 300 mm.

2.1. Modalités d'essais

Le plan des planches expérimentales est présenté sur la Figure 1. Une dispersion relative de portance de la couche de forme nous a obligés, par souci d'homogénéité de la plateforme support, à repositionner une modalité dite « 24 », située à cheval sur les sections 2 et 4. Les structures types testées sont présentées sur la Figure 2. Elles sont détaillées dans la suite de l'article.

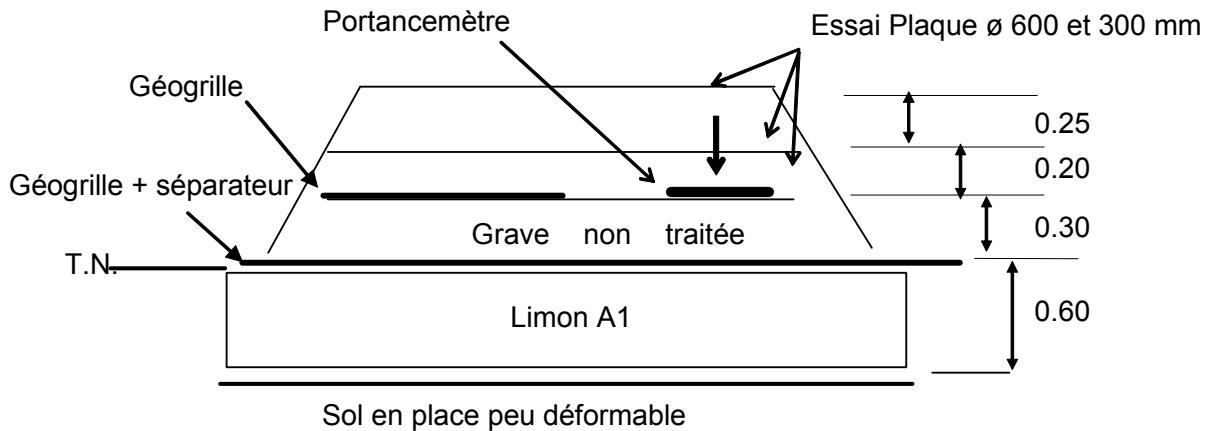
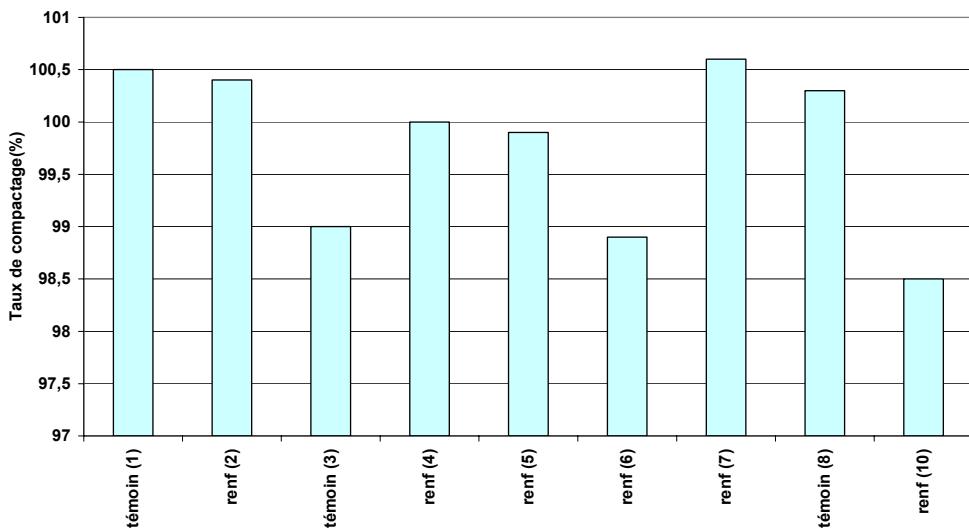


Figure 2. Coupe des structures d'essais

2.2. Réalisation et essais

Le terrassement de la plateforme s'est déroulé en cinq phases de compactage, pour accéder à un taux de compactage de 98,5% à 100%. La référence de densité est la valeur de la densité sèche obtenue lors d'essais au Proctor Modifié (ρ_{OPM}). Il a fallu mettre en œuvre un protocole de compactage complexe, comprenant des compacteurs plus ou moins lourds, vibrants, à billes ou à pneus et des phases d'humidification des sols. Le contrôle du niveau de compactage est mené par des mesures au GPV, Gamma-densimètre à Profondeur Variable (Figure 3).

Figure 3. Taux de compactage de la sous-couche de 30 cm en GNT 0-31,5 (ref : ρ_{OPM})

Des essais de plaque sont menés sur la couche de forme et sur chacune des sous-couches. Les modalités bis, ter et quater correspondent aux modalités initiales dont la structure a évolué (respectivement 20 cm GNT supplémentaires et ajout d'un deuxième renforcement ; 25 cm GNT supplémentaires ; décapage de 25 cm de GNT). Le Tableau I rappelle toutes les modalités d'essais. Les géosynthétiques de renforcement sont en contact avec un géotextile de séparation (soit structurellement, soit associé ou encore juxtaposé aux géogrilles). Les échantillons ont été fournis gracieusement par les producteurs.

Tableau I. Programme d'essais : les modalités réalisées

Planche n°	couche de forme (limon A1)	sous-couche** (grave non traitée 0/31.5 mm)	Renforcement géosynthétique (<u>dénomination</u>)	Observations
1	30 MPa	30 cm	témoin (1)	
2	30 MPa	30 cm	renf (2)	
3	40 MPa	30 cm	témoin (3)	
24	30 MPa	30 cm	renf (24)	
4	30 MPa	30 cm	renf (4)	
5	30 MPa	30 cm	renf (5)	
6	30 MPa	30 cm	renf (6)	
7	30 MPa	30 cm	renf (7)	
8	40 MPa	30 cm	témoin (8)	
10	30 MPa	30 cm	renf (10)	
1 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	témoin (1b)	
2 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	renf (2b)	
24 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	renf (24b)	
3 bis	40 MPa	30 cm + 20 cm	renf (3b)	géogrille (sous 20 cm GNT)
4 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	renf (4b)	
5 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	renf (5b)	
6 bis	30 MPa	30 cm + 20 cm	renf (6)	géogrille + géotextile séparateur (sous 20 cm GNT)
1 ter	30 MPa	30 cm + 20 cm + 25 cm	témoin (1t)	
3 ter	40 MPa	30 cm + 20 cm + 25 cm	témoin (3t)	géogrille (sous 45 cm GNT)
1 quater	30 MPa	30 cm + 20 cm + 25 cm - 25 cm	témoin (1q)	
3 quater	40 MPa	30 cm + 20 cm + 25 cm - 25 cm	témoin (3q)	géogrille (sous 20 cm GNT)

* Module E_{V2} à la plaque de 600 mm

** Épaisseur nominale de la sous-couche

3. Résultats et analyse de portance

3.1. Influence du renforcement sur la portance, après compactage optimisé

Le compactage optimal de la sous-couche de 0,30 m a demandé plusieurs procédures de compactage successives, afin d'en optimiser la portance, quantifiée par la mesure du module statique E_{V2} (Figure 4). Il passe de 47,5 MPa à 80 MPa pour tous les produits testés (dont les 3 planches témoins, sans aucun renforcement).

Ainsi, lorsque le compactage est optimisé, la valeur du module E_{V2} peut doubler par rapport à celle de la couche de forme en limon, dans une structure non renforcée (modalités témoin (1) et (3)) et encore s'améliorer en présence d'un renforcement.

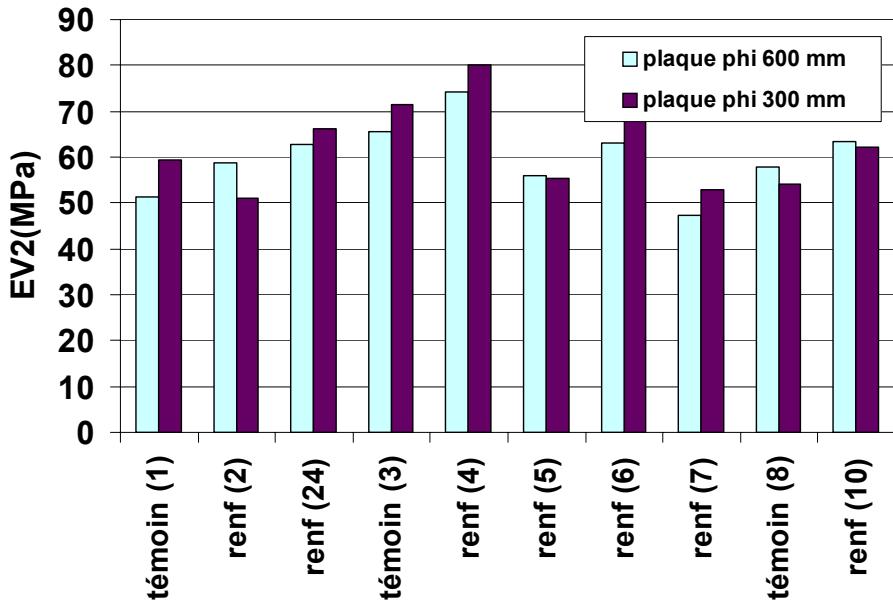


Figure 4. Module E_{V2} de la structure couche de forme limon + sous-couche de 30 cm en GNT 0-31,5

3.2. Influence de l'épaisseur de la sous-couche et de son renforcement

3.2.1. Sous-couche de 50 cm

Nous présentons ici les résultats de portance des modalités bis [1(témoin), 2, 24, 4, 5] pour lesquelles une épaisseur de 20 cm de grave a été ajoutée. Les modalités bis [3(témoin) et 6] ont consisté à mettre en place un deuxième renforcement (une géogrille de renforcement, sans et avec géotextile séparateur, respectivement sur les modalités 3 et 6) sous la couche de 20 cm de grave apportée. La Figure 5 présente l'évolution du module E_{V2} des sous-couches de 50 cm, par rapport aux sous-couches initiales de 30 cm d'épaisseur.

Une amélioration est globalement visible dans presque toutes les modalités. Un gain de portance est effectif avec la présence d'une géogrille dans la couche de grave. Sa présence, associée à un géotextile de séparation, ne semble cependant pas aussi efficace dans la modalité renf (6).

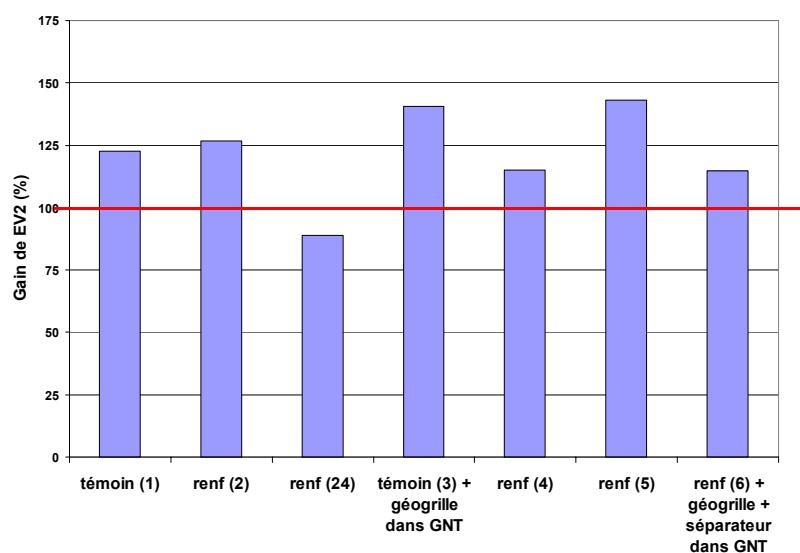


Figure 5. Évolution du module E_{V2} entre modalités initiales et bis (sous-couche de 30 cm et 50 cm en GNT 0-31,5 et géogrille dans GNT) – 7 modalités

3.2.2. Sous-couche de 0 à 75 cm

Les modalités ter (1 et 3) ont consisté à rajouter 25 cm de grave sur les modalités bis, pour obtenir une sous-couche de 75 cm. Sur la figure 6 sont présentées, pour les modalités témoin (1), renf (2) et renf (4), l'évolution de E_{V2} avec l'épaisseur de la sous-couche.

En extrapolant entre les points de mesure, on peut estimer qu'un module de 80 MPa peut être atteint avec une épaisseur de 70 cm de grave sans renforcement ou avec une épaisseur d'environ 40 cm de grave renforcée (modalité renf (4)) ou encore avec une épaisseur de 55 cm de grave renforcée (renf (2)).

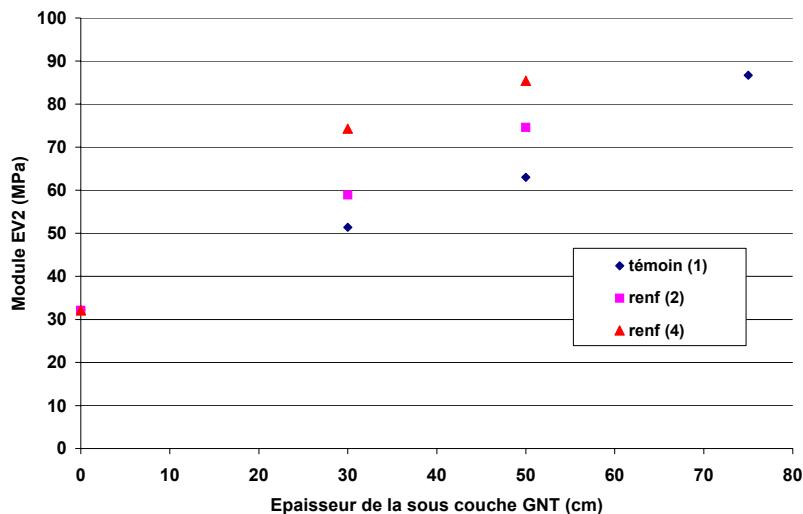


Figure 6. Évolution du module E_{V2} en fonction de l'épaisseur de la sous-couche

Il s'avère ainsi une possibilité de surclassement d'une couche de forme par la présence d'un renforcement sous la sous-couche.

3.2.3. Modalités non renforcées avec sous-couche d'épaisseur variable

Les modalités quater (1 et 3) ont consisté au décapage de 25 cm de grave, pour reconstituer une sous-couche de 50 cm d'épaisseur. Sur la figure 7, l'évolution du module E_{V2} est représentée en fonction de l'épaisseur de la sous-couche, qui est passée de 0 à 30, 50, 75 cm et de nouveau à 50 cm.

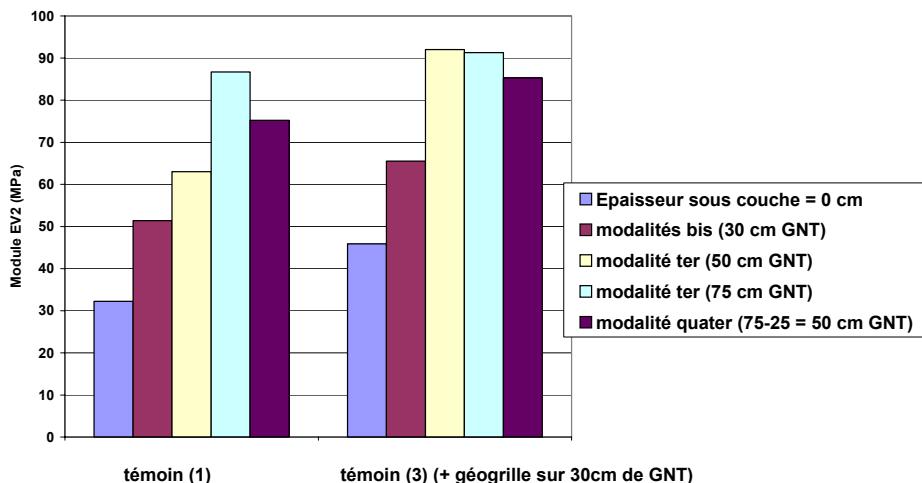


Figure 7. Évolution du module E_{V2} avec l'épaisseur de sous-couche variable – modalités témoins (1, 1b, 1t, 1q) et (3, 3b, 3t, 3q)

D'après la figure 7, il est clair que le module E_{V2} augmente avec l'épaisseur de la sous-couche, alors que la portance est légèrement améliorée par la présence d'une géogrille dans la sous-couche.

3.3. Influence du protocole des essais de portance

Sur les deux modalités ter (1) et (3) (témoins, avec 75 cm de GNT), une série d'essais de plaque statique a été menée : d'une part, avec une plaque de 600 mm de diamètre et, d'autre part, avec une plaque de 300 mm. Le 1^{er} chargement est mené à 0,25 MPa et le 2^{ème} à 0,20 MPa. Puis, avec la plaque de 300 mm, un deuxième protocole d'essais est mené : 1^{er} chargement à 0,5 MPa et 2^{ème} à 0,45 MPa.

Les résultats sont présentés sur la figure 8. Suivant le même protocole d'essai, la valeur du module E_{V2} est similaire avec les deux plaques. Mais elle augmente de 20 à 30% lorsque le niveau de chargement est très supérieur (deuxième protocole, avec la plaque de 300 mm).

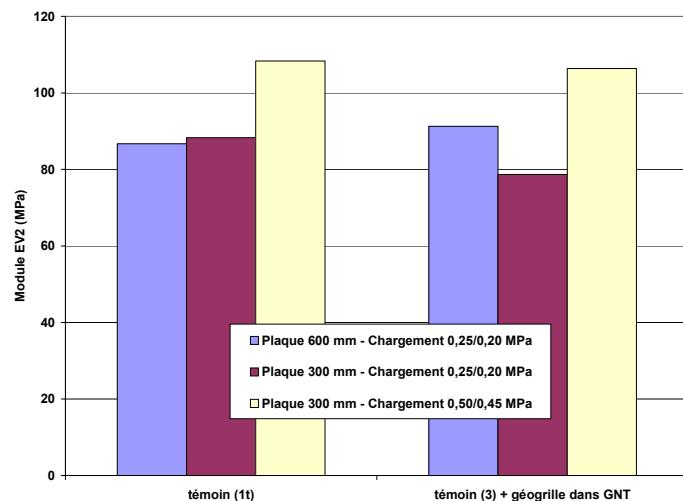


Figure 8. Valeurs de E_{V2} en fonction du diamètre de la plaque et protocole d'essai – modalités témoins (1t) et (3t)

4. Conclusions

Des planches expérimentales en vraie grandeur ont été menées au CER afin d'accéder à l'amélioration en portance d'une sous-couche ferroviaire, lorsque la plateforme est renforcée par des géosynthétiques. Il faut noter la difficulté expérimentale de pouvoir reconstituer une PST ou couche de forme en limon, de faible portance, nécessitant de nombreuses adaptations du protocole de compactage. De même, il a été difficile d'atteindre un niveau de portance de 100% ρ_{OPM} de la sous-couche de 0,30 m d'épaisseur, mise en place sur le support relativement déformable. L'efficacité des moyens de compactage n'est ni améliorée ni amoindrie par la présence d'un renforcement géosynthétique et d'un géotextile de séparation, placés à la base de la sous-couche.

En outre, dans une plateforme non renforcée, quand une bonne procédure de compactage est mise en place, la valeur du module E_{V2} peut doubler par rapport à celle de la couche de forme déformable, en limon. De plus, cette valeur augmente encore en présence d'un renforcement.

Les valeurs du module E_{V2} sont très variables d'une planche renforcée à une autre, le renforcement étant mis en place à la base de la sous-couche de 30 cm d'épaisseur. Il est difficile de distinguer les apports relatifs entre planches, d'autant que la PST reconstituée n'a pas une portance extrêmement faible. Cependant, une amélioration est effectivement observée pour certains renforcements, et peu visible pour d'autres. En outre, pour certains renforcements, il semble possible de surclasser une plateforme, pour une même épaisseur de sous-couche, par la présence d'un géosynthétique de renforcement.

Afin de compléter les résultats de ces essais, une nouvelle planche expérimentale pourra être montée, avec l'objectif de reconstituer une PST moins portante.

5. Références bibliographiques

- Khay M., Vincelas G. (2006). Renforcement d'assises ferroviaires par géosynthétiques. Compaction et portance de la structure. *Affaire 2094/01, Rapport interne, 23 pages.*
- Watts G.R.A., Blackman D.I. (2004). The performance of reinforced unpaved sub-bases subjected to trafficking. *Third European Geosynthetics Conference, Munich 2004*, pp 261-266.