

STABILISATION PAR GÉOGRILLE À MAILLES TRIANGULAIRES

STABILISATION BY TRIANGULAR MESH GEOGRID

Jean Luc MICHAUX¹, Patrick BROCHIER¹, Abdelghani MEKKAOUI²

1 Terageos, Veurey Voroize, France

2 Tensar, Vénissieux, France

RÉSUMÉ – L'article décrit l'utilisation de géogrilles triangulaires pour contrôler les déformations des remblais en graviers. Il rappelle les expérimentations faites depuis les années 1980 pour tester et valider ce mode de construction des pistes, notamment provisoires, qui doivent supporter des charges lourdes. Il évoque enfin l'utilisation de ce procédé pour la construction d'un parc éolien. Cette solution limite les volumes de terrassements, les apports de granulats, et réduit le nombre de camions et engins, ainsi que le délai.

Mots clés : stabilisation, portance, route, plateforme, géogrille

ABSTRACT – The paper describes the use of triangular geogrids to limit the deformations of fills made of gravel. It reminds the experimentations made since the years 1980s to test and validate this mode of construction for among others temporary roads, which have to resist to heavy loads. It cites the use of this technique for the construction of a wind farm. This solution limits earthworks, granular inputs, and reduces the number of trucks and machines, as well as the duration of the work.

Keywords: stabilization, road, platform, geogrid

1. Introduction

Une capacité portante suffisante et durable est cruciale quand il s'agit du fonctionnement à long terme et de la durabilité des infrastructures, que ce soit dans la construction de routes ou d'aires de stationnement et de stockage. Souvent, les conditions de sol médiocres nécessitent des purges en déblai et des volumes importants d'apports de remblais de granulats de bonne qualité. Une géogrille à maille triangulaire a été développée par la société Tensar qui apporte une solution alternative de couche mécaniquement stabilisée. Les deux types de solutions sont détaillées, ainsi que les séries de test réalisés pour valider l'impact de la géogrille triangulaire. Enfin, un chantier est présenté, où cette géogrille a été mise en œuvre.

2. Le problème de la portance des sols sur les chantiers

Le développement croissant de l'urbanisation conduit à réaliser des projets de construction sur des terrains de plus en plus difficiles. L'une des difficultés est la capacité du terrain à supporter des charges sans trop se déformer lors de passage de véhicules notamment lors de la création de voiries, de pistes de chantier ou de plateformes (Figure 1).



Figure1. Sol de faible portance sur chantier

3. La solution traditionnelle de surcharge en matériaux nobles

Lorsque l'on rencontre un sol de faible portance sur un chantier, la solution traditionnelle consiste à renforcer celui-ci par l'apport d'une couche de matériaux granulaires. Pour estimer l'épaisseur de la couche à mettre en place, on peut s'appuyer sur le guide technique Sétra « Réalisation des remblais et des couches de forme ». Cette solution, bien qu'efficace en termes de portance, présente trois inconvénients majeurs : un coût qui peut être élevé en fonction de l'épaisseur à mettre en place, une mise en œuvre plutôt longue, et des nuisances importantes liées au trafic des camions.

4. La solution par géogridde à mailles triangulaires

4.1. Présentation de la solution

Une alternative à ce matériau granulaire a été développée. Il s'agit d'une géogridde à maille triangulaire qui se place à l'interface entre le sol de faible portance et une couche de matériau granulaire d'épaisseur réduite.

Cette géogridde va permettre une stabilisation de la couche de matériaux, par le confinement des agrégats dans les mailles triangulaires (Figure 2). Il s'agit du mécanisme de « verrouillage mécanique » : les agrégats constitutifs du matériau granulaire sont confinés dans les mailles très peu déformables, qui empêchent ou minimisent tout déplacement du matériau, qu'il soit horizontal ou vertical, sous l'effet des charges de service. Le verrouillage mécanique engendre une augmentation de l'angle de diffusion des charges dans le matériau granulaire stabilisé, qui a pour effet de diminuer les pressions transmises au sol de fondation sous l'effet des charges dynamiques. Il en résulte une diminution des déformations induites, un allongement de la durée de service des structures et une capacité accrue à supporter des charges lourdes et répétées.

La fonction de stabilisation par géogridde nécessite de fournir un verrouillage et le confinement de l'ensemble de la structure efficacement et ne pas compter sur la traction de la géogridde.

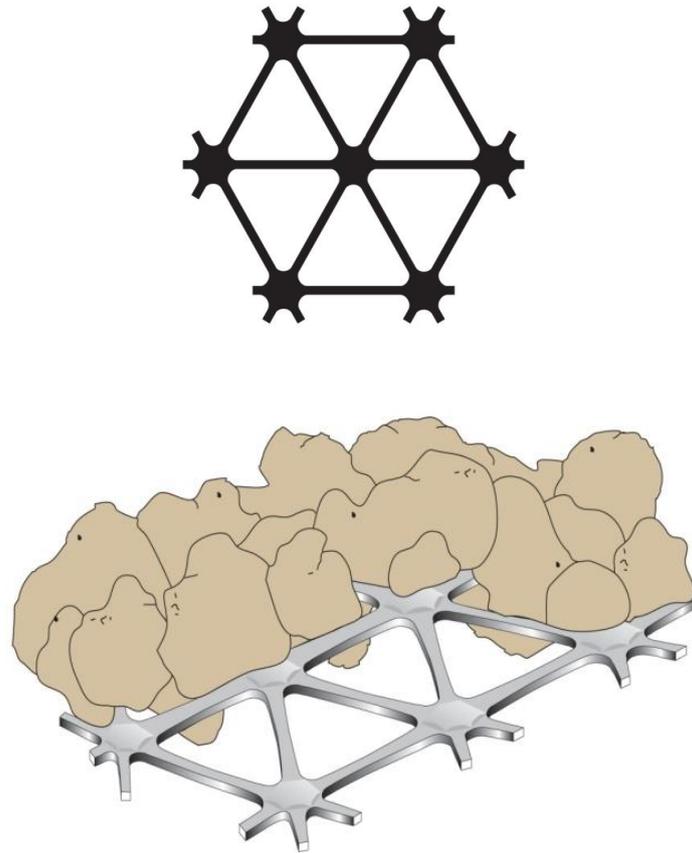


Figure 2. Verrouillage mécanique de la couche de confinement à travers les mailles triangulaires.

L'intérêt de la stabilisation par géogrille à maille triangulaire est à la fois d'économiser de la ressource en matériaux granulaires, et d'augmenter la durée d'utilisation de la voirie entre deux maintenances (figures 3 et 4).

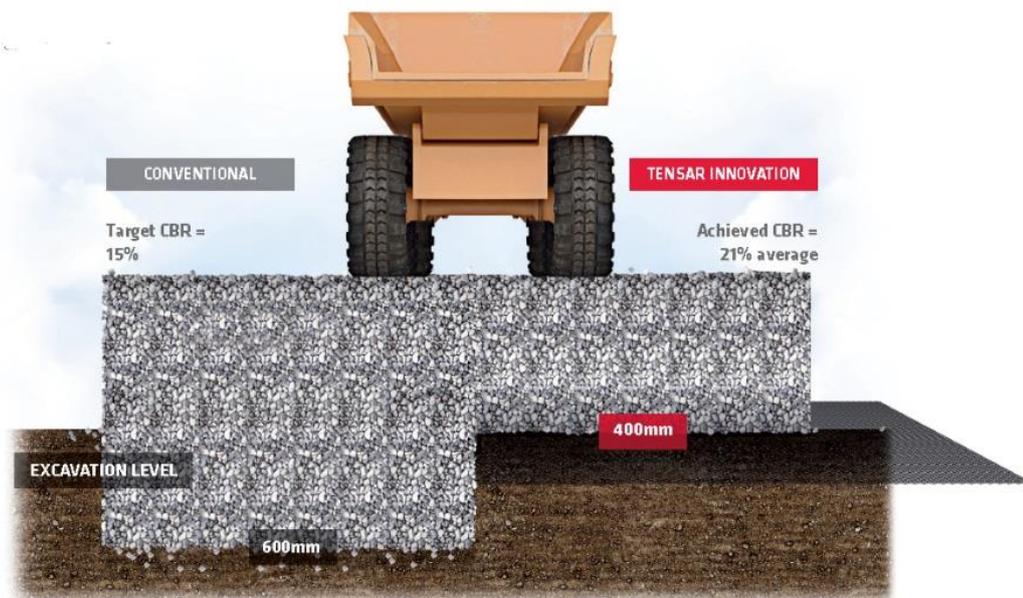


Figure 3. Coupe de principe des solutions en granulaire et avec géogrille à maille triangulaire

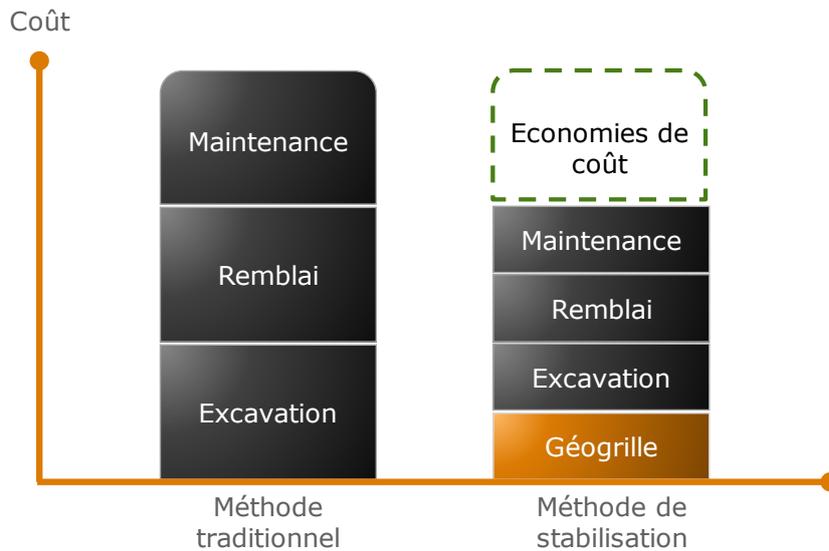


Figure 4. Comparatif des coûts de la solution en granulaire et de celle avec géogrille à maille triangulaire

5. Tests de validation de la solution

Afin d'étudier le comportement de cette géogrille triaxiale sous les charges, un grand nombre de tests ont été réalisés depuis 40 ans.

5.1. Les premiers tests dans les années 1980

En 1985, des tests ont été réalisés par Chaddock au Royaume Uni (Chaddock, 1985), visant à comparer une piste avec / sans géogrille, en termes de déformation. Le principe du test est de placer côte à côte deux zones d'étude, l'une avec géogrille, l'autre sans, de remblayer de façon similaire, puis de faire passer une roue lestée (Figure 5). La déformation du sol est alors mesurée au bout de 800 passages de la roue (Figure 6).



Figure 5. Préparation de la zone de test



Figure 6. Zone test après les 800 passages de la roue lestée

Les résultats sont présentés sur la figure 7. Ces tests ont montré que la mise en place d'une géogrille permettait de réduire de façon spectaculaire les déformations.

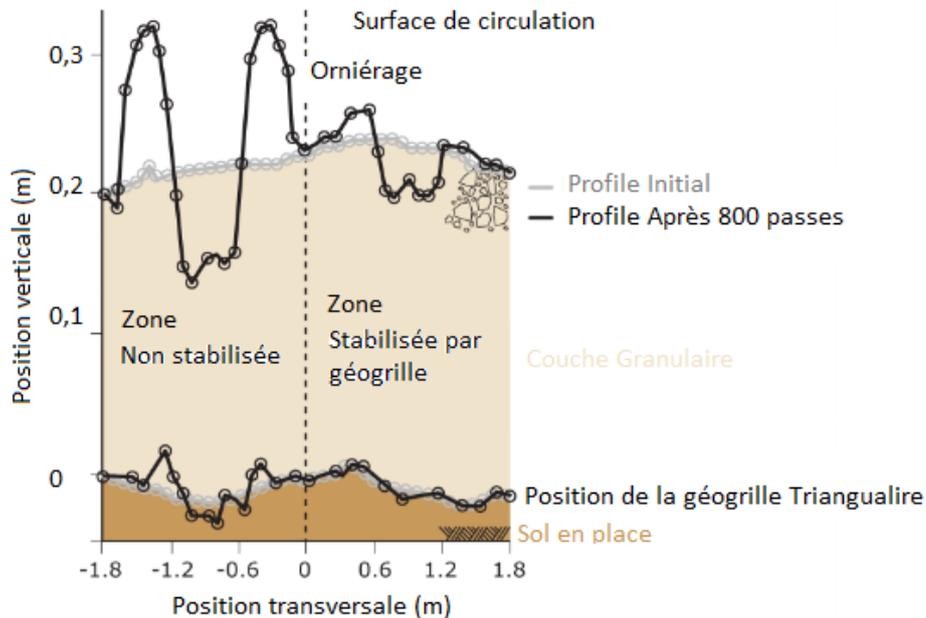


Figure 7. Résultats après 800 passages de roue

5.2. Effet de la géogrille à maille triangulaire dans la stabilisation des sols : tests à grande échelle

En 2009, l'ERDC (US Army Engineer research and development Center) (Jersey et Tingle, 2009) a mené des tests à grande échelle pour caractériser de manière fine l'impact de la géogrille à maille triangulaire, en termes de stabilisation. L'objectif de ces tests était notamment d'obtenir une base de données pour le développement d'un modèle numérique de stabilisation. Cette campagne de test a consisté à comparer les profondeurs d'orniérages laissées par le passage d'une roue pour 3 types de configuration : un remblai simple recouvert d'une couche de béton bitumineux, un remblai avec géogrille à maille triangulaire recouvert d'une couche de béton bitumineux, et un remblai simple avec une surépaisseur de béton bitumineux

La figure 8 présente les résultats obtenus. Le tableau 1 indique les ratios en termes de nombre d'essieux entre la composition de référence (remblai simple + couche de béton bitumineux) et les solutions avec géogrille à maille triangulaire et avec augmentation de l'épaisseur de la couche de béton bitumineux. La présence de la géogrille à maille triangulaire permet une augmentation significative du nombre de passage pour une profondeur d'orniérage donnée et réduit fortement la profondeur d'orniérage, pour un nombre d'essieu équivalent donné. Le ratio par rapport au remblai de base sans géogrille est de 20 pour une déformation de 0,25 pouce (0,635 cm) et de plus de 5 pour une déformation de 1 pouce (2,54 cm).

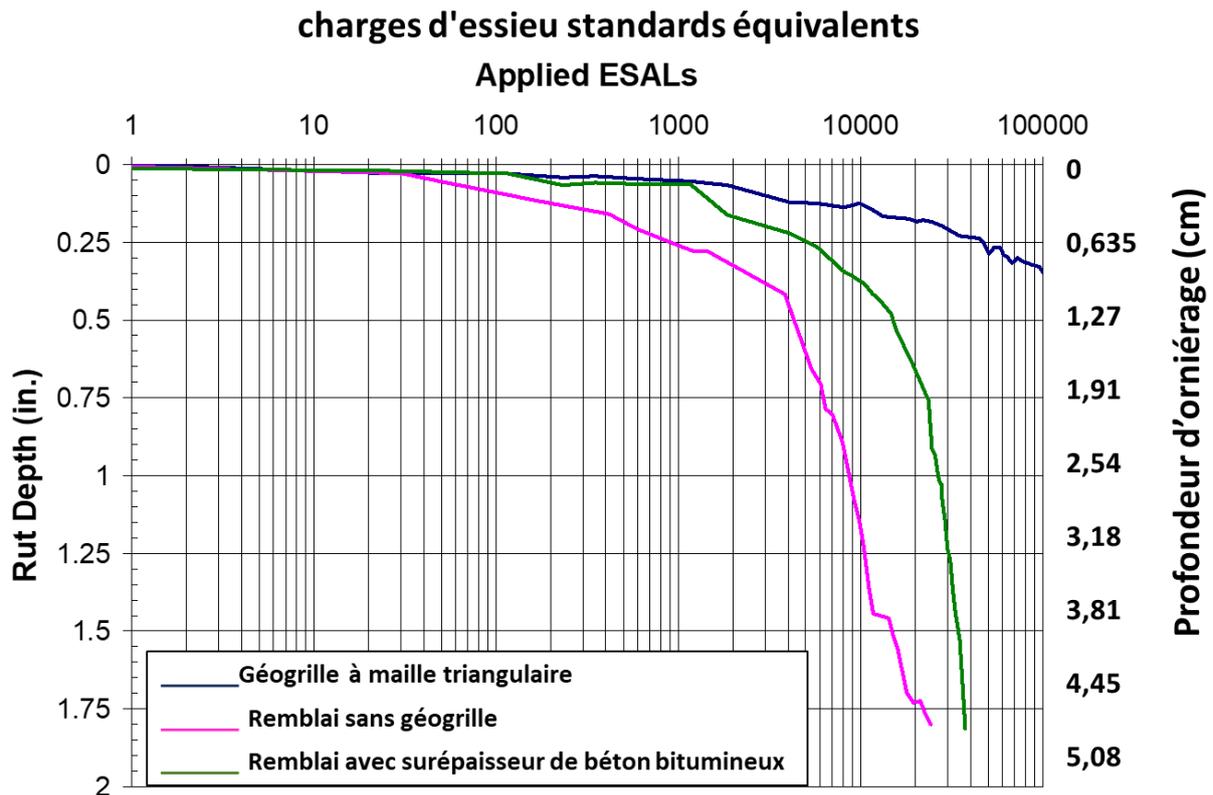


Figure 8. Nombre de passages d'essieux équivalents pour chacun des trois cas étudiés, en fonction de la profondeur de l'ornièrage.

5.3. Réaction du ballast sous charge dynamique

Un autre type de test a été réalisé pour étudier le comportement du matériau granulaire dans un remblai, sous sollicitation dynamique. Ces résultats ont été présentés en 2017 par une équipe de chercheurs de l'Université de Pennsylvanie (Liu et al., 2017)

Les chargements ont été appliqués via un cadre de chargement reconfigurable. Un actionneur avec une capacité de charge de 490 kN a été utilisé pour effectuer les tests. L'actionneur de charge était équipé d'un transformateur différentiel à variable linéaire (LVDT), qui peut enregistrer le déplacement de l'actionneur de charge dans le temps. Dans cette étude, des essais ont été réalisés en mode avec contrôle de la charge, avec une charge maximale de 85 kN (pression d'appui = 315 kPa) et des fréquences de charge de 1 Hz, correspondant à un profil de charge harmonique de $42,5 \pm 42,5 \sin(2\pi t)$ kN. Pour éliminer les variations dans les résultats des tests dues aux erreurs de positionnement initial, une charge statique de 1 kN a été imposée jusqu'à ce que les traverses soient bien assises. Toutefois, sur le terrain, des ordres lents (c'est-à-dire des limitations de vitesse locales inférieures à la limite de vitesse normale de la voie) seraient imposés à la voie après le bourrage du ballast afin de le compacter dans un état plus dense. Les premières centaines de cycles de charge sont importants car les arrangements de particules les plus importants se produisent à ce stade par translation et rotation (17). Dans cette étude, 1 000 cycles de charge ont été appliqués pour chaque test afin de reproduire le fonctionnement de l'ordre lent et de permettre une étude du mouvement des particules de ballast au cours de la phase de compactage initial.

Une première série de tests a consisté à étudier comment réagissait le ballast sous une contrainte dynamique dans les trois configurations suivantes : ballast sur sol, ballast sur une géogrille bi axiale et ballast sur géogrille triaxiale. Pour cela, un morceau de ballast artificiel comportant des capteurs de mouvement a été mis en place dans une couche de ballast soumise à des charges dynamiques de 80kN et 130kN. Les enregistrements réalisés montrent que, dans le cas de la géogrille triaxiale, les déplacements et rotations des matériaux constituant le ballast sont très limités, par rapports aux mouvements dans une couche de ballast traditionnelle.

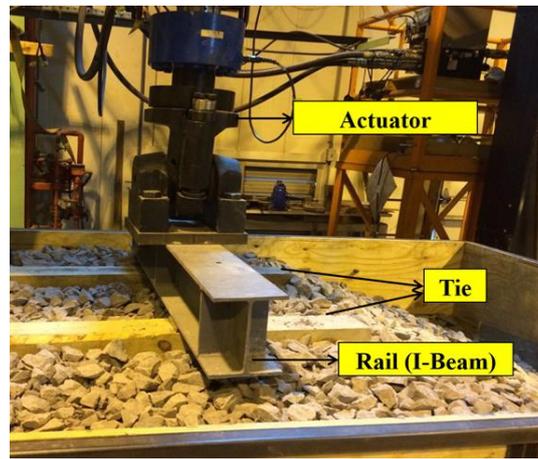


Figure 9. Protocole expérimental



Figure 10. Morceau de ballast artificiel équipé de capteurs de mesure de déplacements et rotations.

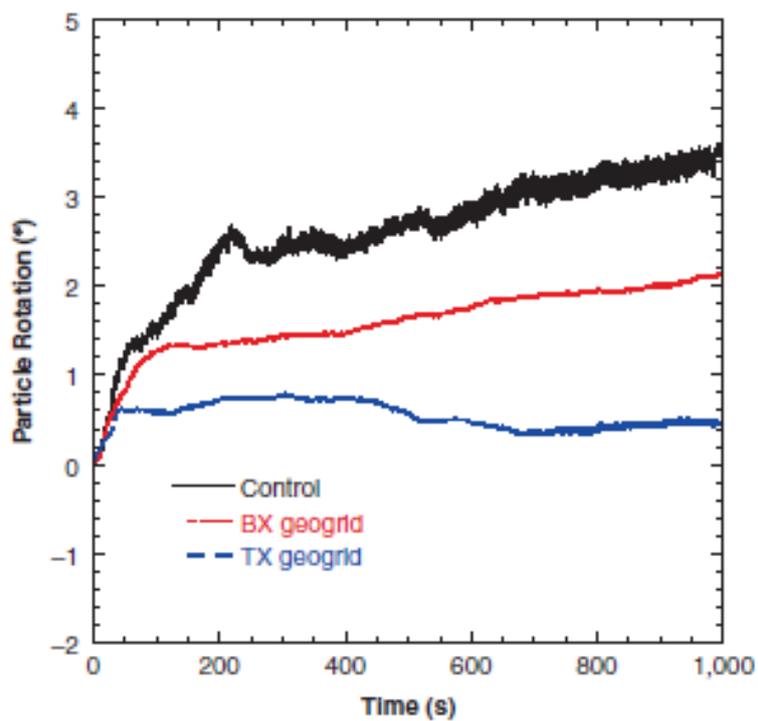


Figure 11. Rotation des éléments de ballast dans les trois configurations testées, sans géogrid, avec géogridle biaxiale, avec géogridle tri axiale.

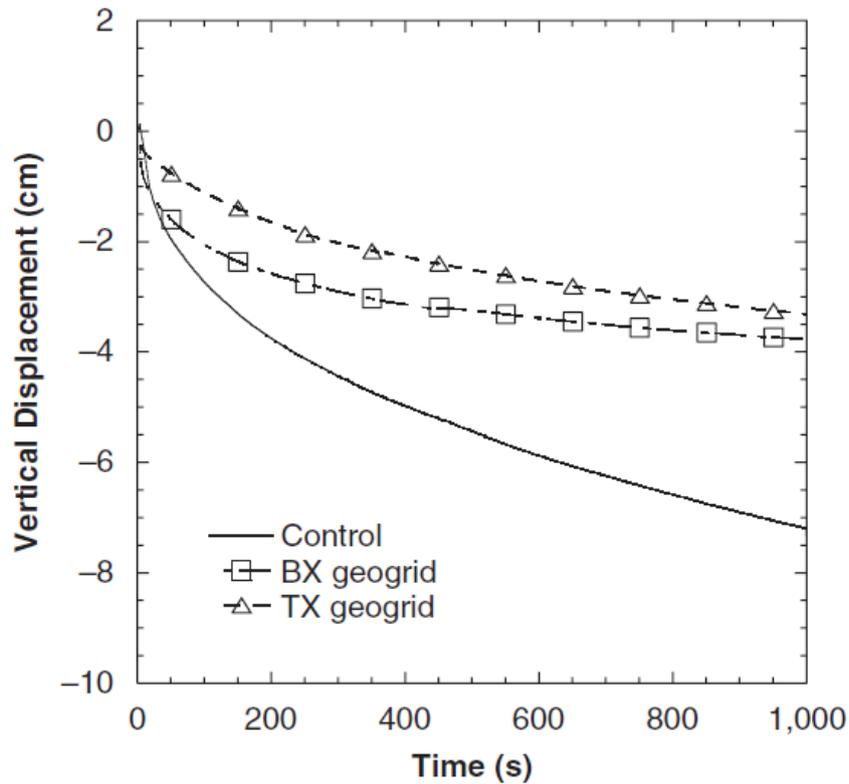


Figure 12. Déplacement vertical des éléments de ballast dans les trois configurations testées, sans géogrid, avec géogrid biaxiale, avec géogrid tri axiale.

Ces tests mettent en évidence le phénomène de stabilisation de la géogrid par verrouillage mécanique des matériaux granulaires, ce qui réduit fortement les mouvements de rotation et les déplacements des matériaux sous les contraintes.

6. Application au chantier de parc éolien de Fresnoy les Royes

Le projet de Parc Eolien de Moulin Wable a pour Maître d'Ouvrage Enertrag et pour Maître d'œuvre BATP. Ce projet nécessitait la réalisation de pistes de chantier provisoires capable de reprendre les efforts liés au passage de convois exceptionnels supportant en particulier le poids des ailes des éoliennes. Le sol en place avait une portance de 20 à 30 MPa, et l'objectif de portance sous chargement statique à la plaque E_{v2} (NF P94-117-1 : Sols reconnaissance et essais) à atteindre sur la piste était de 120 MPa.



Figure 13. Piste pour le transport des fortes charges des ailes d'éoliennes.
Solution de base envisagée :

La solution de base prévue était une couche de matériaux traités ou une couche de matériaux granulaires de 90 cm d'épaisseur. Cette solution représentait un coût important, non seulement pour la mise en œuvre (apport des matériaux) mais aussi pour le démontage (évacuation des matériaux traités) car il s'agit d'une piste provisoire. Cette solution nécessite un volume de 9000 m³ de remblai pour 10 000 m² de pistes et plateformes.

Variante proposée avec géogrille triaxiale :

La solution retenue consiste en la mise en place d'une géogrille triaxiale sur le sol en place de portance 20 à 30 MPa. Cette géogrille est recouverte d'une couche de matériaux de 30 cm d'épaisseur. Les portances mesurées sous chargement statique à la plaque E_{v2} après réalisation de la couche de forme de 30 cm de 0/100 sont de 120 à 160 MPa. Cette solution a permis l'économie de l'apport de 6000 m³ de matériaux granulaires, soit l'équivalent de 600 camions environ.

7. Conclusion

Plus de 40 années de recherche avec des tests à grande échelle ont conduit au développement d'une solution de stabilisation par géogrille à maille triangulaire. Cette solution permet de réduire les épaisseurs de matériaux granulaires de plus de 30 à 40% dans les projets de stabilisation, et d'augmenter la durée de vie des ouvrages réalisés. C'est une alternative au tout granulaire, simple à mettre en œuvre, économique et écologique, dont le dimensionnement repose sur de nombreux tests. Elle donne satisfaction à des entreprises en quête de solutions techniques fiables, éprouvées, et financièrement adaptées.

8. Références

- Chaddock H.J. (1985), Deformation of a haul road reinforced with a gomesh, *Proc. 2nd Symp. On unbound aggregates in roads*, University of Nottingham.
- Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme, *Fascicule 1, principe généraux*, SETRA – LCPC.
- Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme, *Fascicule 2, Annexes techniques*, SETRA – LCPC.
- Huang H. Kwon J., Liu S., Giu T. (2017). Comparative evaluation of particle movement in a ballast track structure stabilized with biaxial and multiaxial geogrids - *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*.
- Jersy S.R., Tingle J.S. (2009). *US Army Corps of Engineers®*, Engineer Research and Development Center, Cyclic plate testing of geogrid reinforced highway pavements.
- NF P94-117-1 : Sols reconnaissance et essais.
Portance des plates-formes
Partie 1 : Module sous chargement statique à la plaque (E_{v2})

