

# SUIVI IN SITU DU COMPORTEMENT D'UNE GEOGRILLE DANS UNE PLATEFORME FERROVIAIRE

## IN SITU MONITORING OF THE BEHAVIOUR OF A GEOGRID WITHIN A RAILWAY TRACK BED

Olatounde A. YABA<sup>1,2</sup>, Fabrice EMERIAULT<sup>2</sup>, Oriane JENCK<sup>2</sup>, Jean-François FERELLE<sup>1</sup>, Amine DHEMAIED<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SNCF Réseau, DGII – VA – CIR, 6 av. F. Mitterrand, 93574 La Plaine St Denis, France

<sup>2</sup> Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, 3SR, 38000 Grenoble, France

**RÉSUMÉ** – L'utilisation de géogrilles pour améliorer les plateformes ferroviaires fait partie des solutions proposées par la SNCF pour effectuer des travaux de régénération. Cet article présente un retour d'expérience sur le suivi d'un tronçon amélioré par une géogrille et une analyse des résultats préliminaires.

**ABSTRACT** – The use geogrids to improve railway track beds is one of the solutions proposed by SNCF to conduct maintenance operations. This article presents practical feedback concerning the installation of a monitoring scheme for a stretch of track improved using a geogrid and an analysis of the preliminary results.

### 1. Introduction

L'augmentation du trafic ferroviaire et des vitesses de circulation imposent de grandes charges cycliques sur les plateformes (couche intermédiaire ou sous-couche et couche de forme) du Réseau Ferré National (RFN) contribuant à l'apparition de défauts de géométrie. Ces défauts peuvent impacter la sécurité des trains et le confort passager. Ainsi, la SNCF s'est engagée dans d'importants efforts de régénération des lignes classiques. En parallèle, les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires sont confrontés à des enjeux environnementaux et budgétaires de plus en plus contraignants. L'ensemble de ces contraintes nécessite la recherche de solutions innovantes permettant d'effectuer les travaux de régénération à moindre coût tout en assurant le respect de l'environnement et la pérennité du réseau. L'utilisation de géogrilles pour améliorer les plateformes ferroviaires fait partie de ces solutions potentielles. Les géogrilles sont des géosynthétiques présentant des ouvertures de maille de tailles et formes variées et servant à renforcer les couches de sols granulaires, par verrouillage mécanique des grains dans les mailles (Carroll, 1988).

A l'heure actuelle, les connaissances sur le comportement mécanique des géogrilles et leur apport en conditions opérationnelles dans le domaine ferroviaire sont limitées. La majorité des études dans le domaine se focalisent sur l'interaction des géogrilles avec le ballast. Ces études ont montré l'efficacité des géogrilles pour la réduction de l'usure et des tassements du ballast (Horníček et al., 2017 ; Nimbalkar & Indraratna, 2016 ; Lenart & Klompaker, 2014 ; Fernandes et al., 2008 ; Sharpe et al., 2006). Néanmoins, elles ne permettent pas de tirer des conclusions satisfaisantes par rapport à l'amélioration des plateformes. De plus, pour plusieurs raisons, la pose d'une géogrille dans la couche de ballast ou directement en dessous, ne convient pas aux particularités du RFN (techniques de maintenance, trafic, etc.). D'où l'intérêt de mettre en place une expérimentation qui mesure les déformations de la géogrille ainsi que les contraintes et les tassements dans la plateforme. Cela pour quantifier les apports d'une géogrille posée sous la sous-couche de grave d'une plateforme ferroviaire sur le RFN (voir figures dans la section suivante) et, au fil du temps, étudier le mécanisme par lequel l'amélioration est atteinte.

## 2. Le tronçon instrumenté

Cette section présente le suivi d'un tronçon d'une trentaine de mètres avec un trafic journalier de 80.000 à 130.000 tonnes équivalentes, renforcé par une géogrille. Cette dernière est une géogrille en polypropylène étiré à maille triangulaire ayant une hauteur hexagonale de 80mm (Figure 1), 480kN/m de rigidité radiale sécante à 0,5% d'élongation et 100% d'efficacité de nœud (European Organisation for Technical Approvals, 2017). Le tronçon se trouve proche d'un appareil de voie en sortie de gare circulé à une vitesse maximum de 90km/h. L'instrumentation du tronçon a été faite dans le cadre de travaux de régénération d'approximativement un kilomètre de voie courante qui ont été proposés conjointement avec des opérations de renouvellement de l'appareil de voie.

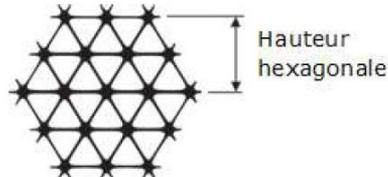


Figure 1. Géogrille à maille triangulaire.

Les études d'avant-projet ont mis en évidence la présence d'une structure de faible portance sous le ballast. Notamment, le sol-support est constitué de matériaux argilo-limoneux pollués par des grains de ballast et sa résistance en pointe avoisine 20MPa (valeur limite) en plusieurs points (Figure 2). Ainsi, le renouvellement des composants de la voie (rail, traverses et ballast) aurait pu dégrader la situation. L'amélioration par pose de géogrille a donc été proposée pour éviter de grands décaissements de sol et pour limiter l'épaisseur de sous-couche nécessaire pour assurer la stabilité et la pérennité de la voie régénérée.

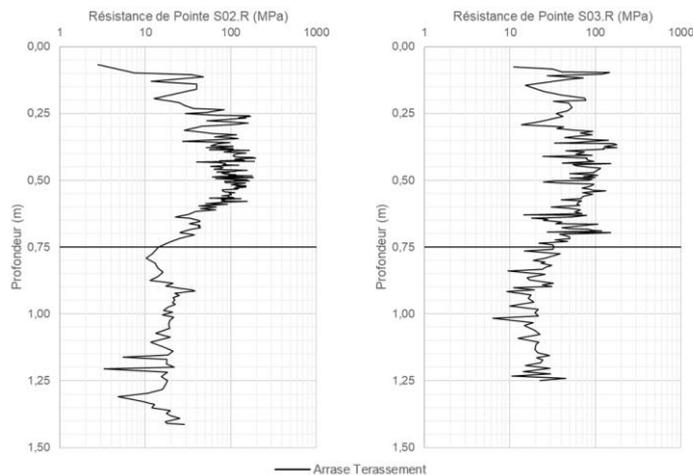


Figure 2. Résistances de pointe mesurées par l'essai PANDA 2.

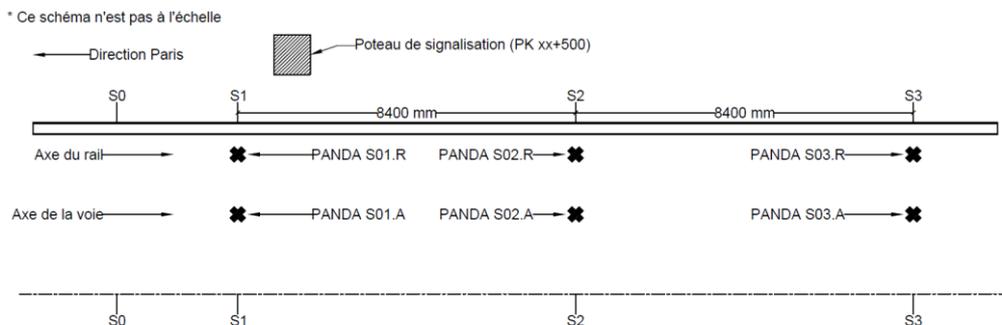


Figure 3. Emplacements des essais PANDA pré-chantier (vue en plan).

Les résultats présentés dans la Figure 2 sont des exemples typiques issus d'une série d'essais faits la veille des travaux pour avoir des données par rapport aux sections à instrumenter. Le tronçon et ses 4 sections (S0, S1, S2 et S3) ont été choisis en tenant compte de plusieurs contraintes opérationnelles (planning travaux, sécurité, conditions d'accès, source électricité, etc.). Ces sections sont repérées par rapport à un poteau de signalisation (Figure 3).

Durant les travaux, les essais à la plaque dynamique légère (mini-dynaplaque ou minidyn™) ont confirmé que le sol-support est de faible portance (Figure 4). La minidyn™ a une plaque de diamètre 30cm, communique 98,1J au sol à chaque coup et est capable de mesurer des modules de 10 à 80MPa (Rincint ND Technologies, 2017). Sur les 7 essais réalisés à la réception du fond de fouille, 6 ont mesuré une portance (Module  $E_{v2}$ ) inférieure ou égale à 30MPa, ce qui signifie que l'arase terrassement est classifiée « impropre en l'état à supporter toute structure de voie ». La Figure 4 présente également les valeurs mesurées après cloutage (insertion de ballast par cylindrage dans la plateforme) et après la réalisation de la sous-couche. A première vue, ces valeurs mesurées à la plaque dynamique légère n'indiquent pas une amélioration immédiate après travaux. Cela peut être dû à une multitude de facteurs qui ne font pas l'objet de cet article.

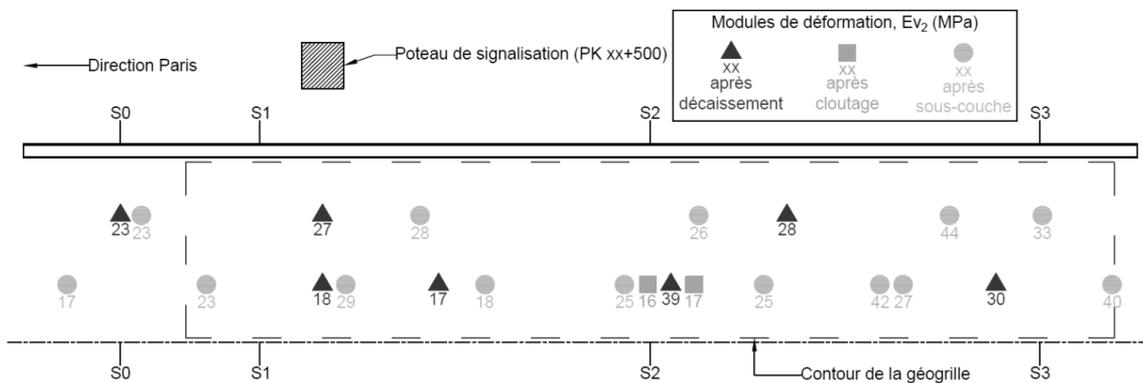


Figure 4. Résultats des essais à la minidyn™ (vue en plan).

La géogrille, qui couvre les sections S1, S2 et S3, est instrumentée avec 12 jauges de déformation et 2 sondes de température. Elle a été posée à l'interface sol-support/sous-couche et les capteurs sont alignés soit sur l'axe du rail droit (\_1), un axe intermédiaire (\_2) ou l'axe de la voie (\_3). Les jauges de déformation permettent de suivre la mise en tension progressive de la géogrille et donc d'analyser le mécanisme par lequel le renforcement est atteint. La Figure 5 illustre le positionnement de la géogrille et de ses capteurs par rapport à chaque section et chaque axe.

Notons que la section S0 n'est pas couverte. Elle comprend 5 traverses qui sont hors de la zone d'influence de la géogrille et elle servira de référence pour les autres sections.

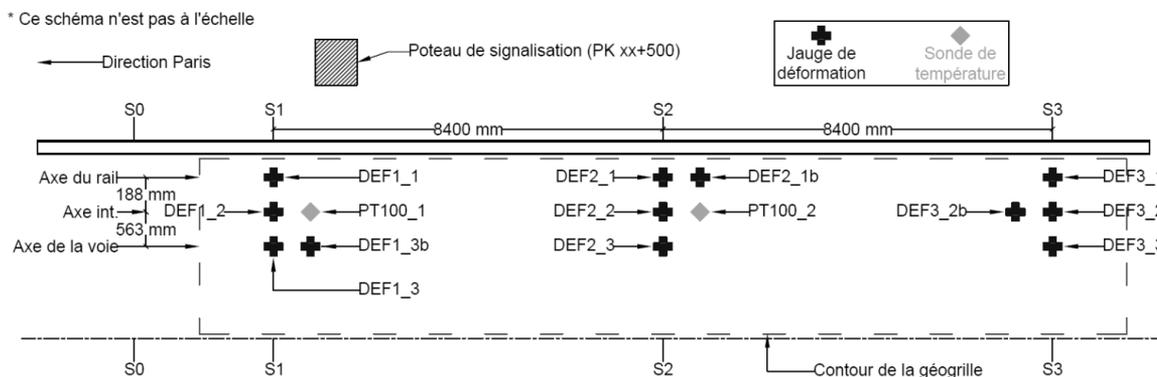


Figure 5. Positionnement de la géogrille et de ses capteurs (vue en plan).

L'instrumentation est complétée par un ensemble de capteurs enterrés à différentes profondeurs dont 5 cellules de charge totale (alignées dans l'axe du rail droit, Figure 6) et 3 tassomètres hydrostatiques (alignés dans l'axe de la voie, Figure 7). Les cellules de charge mesurent les contraintes dans la sous-couche et à l'interface sol-support/sous-couche (avec et sans géogrille). Les tassomètres, quant à eux, permettent une mesure indirecte des tassements au-dessus et en dessous de la sous-couche (avec et sans géogrille), en mesurant la hauteur d'une colonne d'eau au-dessus de chaque capteur.

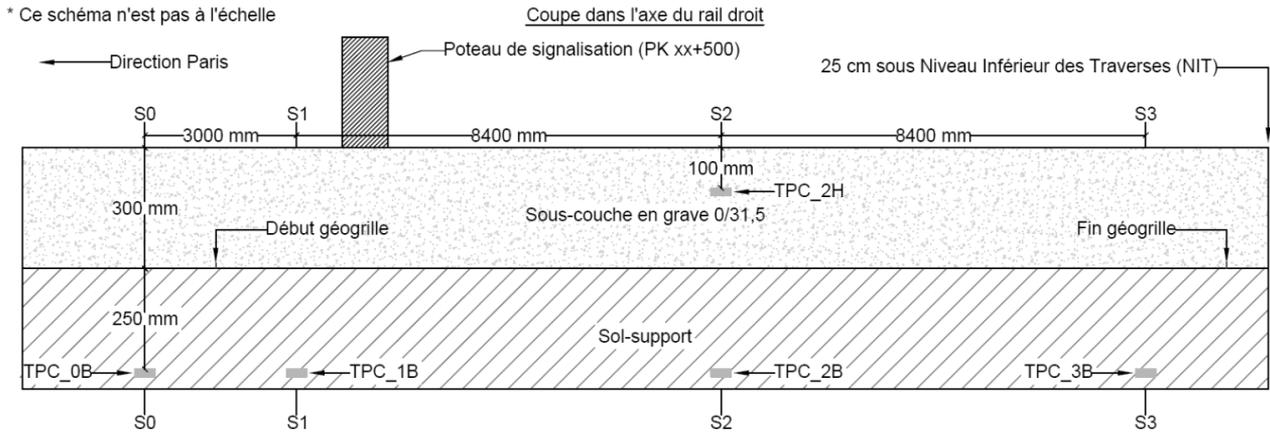


Figure 6. Positionnement des cellules de charge totale.

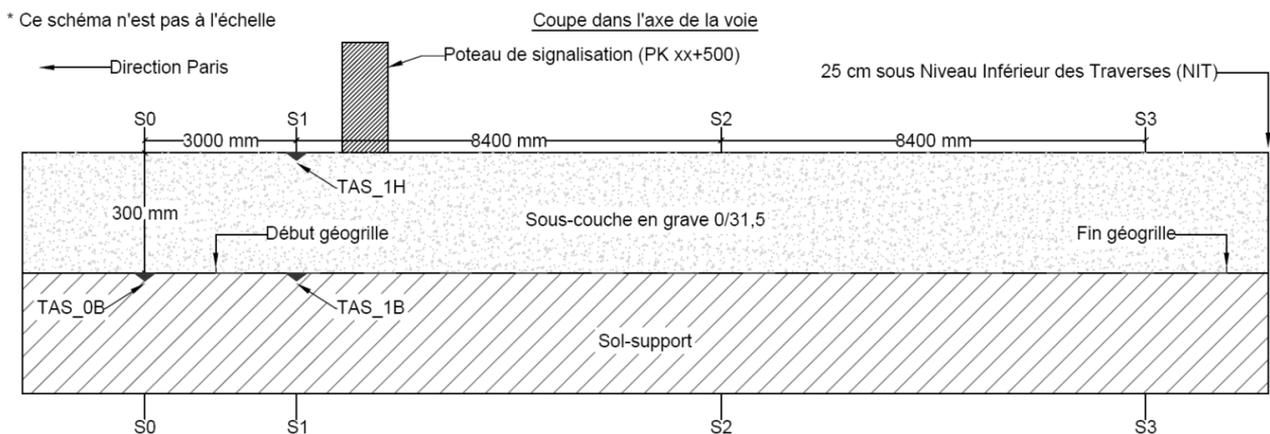


Figure 7. Positionnement des tassomètres hydrostatiques.

Les caractéristiques de chaque type de capteur sont résumées dans le Tableau 1. Notons qu'ils ont été réutilisés sur ce site à la suite de l'annulation d'un chantier précédent, et peuvent ainsi présenter des insuffisances par rapport aux ordres de grandeurs des valeurs mesurées.

Tableau 1. Caractéristiques des capteurs utilisés.

Type de capteur	Producteur	Désignation	Gamme de mesure	Précision	Résolution	Gamme de Températures
Jauge de déformation	Micro-Measurements	EP-08-015DJ-120	±10%	0,02µm/m	0,001µm/m	-75 à +205°C
Sonde de température	RS-Pro	Sonde PT100	-20 à +200°C	±0,15°C	0,01°C	-20 à +200°C
Cellule de charge totale	Telemac	TPC 229mm	0 à 2000kPa	±10kPa	0,5kPa	-50 à +150°C
Transmetteur de pression	Keller-Druck	PR-35X	0 à 300mbar	±0,12mbar	0,006mbar	-10 à +80°C

Tous les capteurs ont été branchés sur une centrale d'acquisition CR-1000 (Campbell Scientific) équipée d'un système de télétransmission pour permettre le suivi à distance, sur plusieurs années. Le système prend une mesure toutes les 10 minutes et enregistre la moyenne des 6 mesures prises chaque heure. Ainsi chaque enregistrement contient l'influence d'un train au-dessus des sections instrumentées. Ceci est une première approche, qui a été jugé inadéquate. Il est prévu d'installer des centrales plus performantes sur les prochains sites avec des déclencheurs pour enregistrer les valeurs au passage des trains.

Pour finir, une paire d'éclisses MOME a été clipsée aux rails en aval de la section S0 et laissée sur place durant les 9 jours qui ont suivi les travaux d'instrumentation. Ces éclisses (développées par SNCF Réseau, DGII – VA – T3) détectent les passages de trains et mesurent leurs charges à l'essieu. Cela a aidé l'analyse et l'interprétation des premières mesures, qui ont été enregistrées pendant la réalisation de travaux sur la voie au-dessus de l'instrumentation.

Les travaux sur le tronçon ont consisté à : 1) réaliser des déblais jusqu'à la cote -0,55m sous niveau inférieur des traverses (NIT) futures; 2) niveler et compacter le fond de fouille; 3) réceptionner le fond de fouille via des essais de portance; 4) faire un cloutage, si nécessaire; 5) dérouler un géotextile sur le fond de fouille et une géogrille sur le géotextile; 6) réaliser une sous-couche en GNT 0/31,5mm de 30cm d'épaisseur et compactée à 97% de l'Optimum Proctor; 7) poser les composants de la voie et faire les finitions.

Les travaux d'instrumentation ont dû être intégrés dans cette méthodologie. Pour réussir cette intégration, il a fallu travailler étroitement avec les équipes de l'entreprise travaux pour : 1) faire livrer la géogrille instrumentée sur le chantier; 2) acheminer le matériel et les outils nécessaires aux PK concernés; 3) réaliser les essais PANDA 2, entre les passages de trains travaux; 4) poser les éclisses MOME, pendant le déblaiement 5) réaliser les essais à la plaque dynamique légère pendant la réception du fond de fouille; 6) creuser les tranchées et poser les capteurs dans le sol support, pendant le cloutage; 7) dérouler la géogrille instrumentée à la place de la géogrille initialement prévue; 8) creuser les tranchées et poser les capteurs dans la sous-couche, pendant le compactage; 9) rallonger les câbles des capteurs, monter la centrale d'acquisition et brancher les câbles, pendant la pose des composants de la voie. Ces travaux ont eu lieu courant septembre 2019, tandis que les travaux de voie ont continué jusqu'en octobre 2019.

L'ensemble de cette instrumentation a été inspiré par les travaux réalisés par Anantanasakul et al. (2012) en Australie et ceux réalisés par Lenart & Klompmaker (2014) en Sloveie. Elle sera complétée par des mesures de nivellement des rails sur le tronçon (à des intervalles de 6 mois par un train de mesure), des mesures ponctuelles de la portance de la plateforme (comme décrit dans Horníček et al., 2017) et des mesures ponctuelles de la déflexion dynamique des traverses au passage d'un train.

### **3. Résultats préliminaires**

Cette section présente les résultats des auscultations disponibles courant décembre 2019. L'expérimentation étant conçue pour suivre le comportement à long-terme, il est trop tôt pour avoir des discussions quantitatives sur ces résultats préliminaires. Néanmoins, ces résultats permettent de constater que tous les capteurs sont fonctionnels et de faire quelques observations qualitatives.

Pour rappel, les capteurs ont été mis en service en septembre 2019. Des travaux de voie ont été réalisés au-dessus de la plateforme instrumentée jusqu'en octobre 2019. Durant cette période, le trafic était constitué essentiellement de trains travaux (durant la journée) et de trains RER (en soirée). Le trafic normal a été rétabli en octobre ; il est constitué essentiellement de RER (environ 4 passages/heure), avec un train de fret occasionnel (durant la nuit).

Le premier constat est que la géogridde est peu sollicitée avec une déformation maximale de  $2,26\mu\text{m}/\text{m}$  et une médiane de  $0,87\mu\text{m}/\text{m}$  ( $0,00226\%$  et  $0,00087\%$  respectivement). De plus, les déformations enregistrées semblent résulter principalement des fluctuations de température. Cette influence est apparente sur la Figure 8 qui présente l'exemple de la section S1. Une étude de la sensibilité thermique de la géogridde est prévue au laboratoire. Cette étude, couplée avec les enregistrements des déformations sur un cycle complet de saisons, permettra d'extraire les déformations dues aux sollicitations mécaniques ainsi que l'évolution du taux de déformation au fil du temps.

Notons que la contraction est enregistrée avec un signe positif, tandis que l'extension est enregistrée avec un signe négatif.

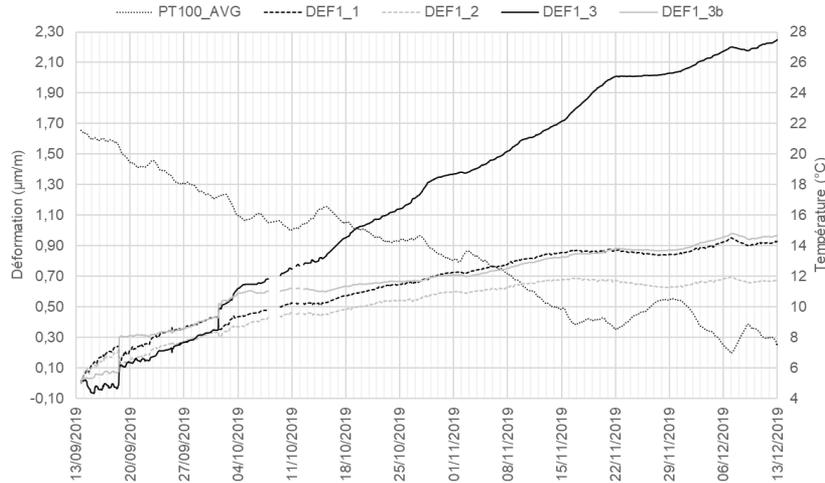


Figure 8. Comparaison de l'évolution de la température moyennes et des déformations en S1

Lorsque l'on se focalise sur les 9 premiers jours d'auscultation, le croisement des enregistrements de déformation et de passages de train permet de constater que, en présence du trafic, nous avons différentes réactions selon chaque axe. Dans l'axe du rail, le trafic provoque une extension faible mais mesurable (Figure 9) ; dans l'axe intermédiaire, il provoque une extension plus limitée (Figure 10); dans l'axe de la voie, il provoque en revanche une contraction (Figure 11). Pour rappel, la Figure 5 illustre les positions des axes. On peut supposer que les passages de trains poussent les matériaux qui se trouvent sous les rails vers le centre et l'extérieur de la voie. Cela correspond aux attentes, car les contraintes sont beaucoup plus élevées sous les rails que dans l'axe de la voie.

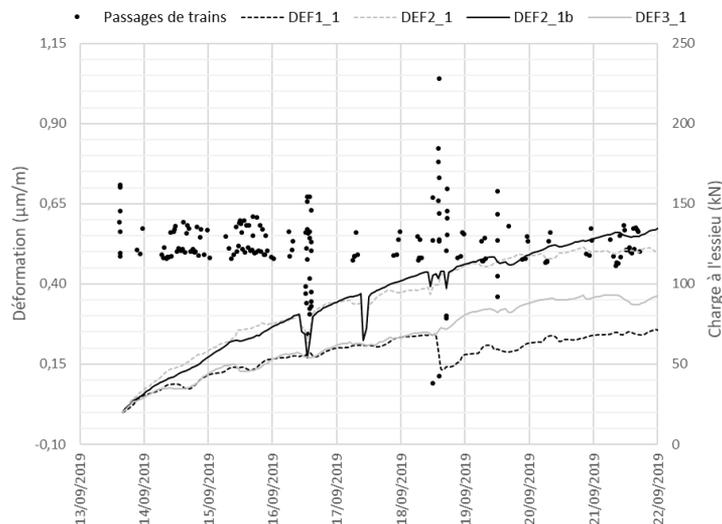


Figure 9. Déformations de la géogridde dans l'axe du rail droit.

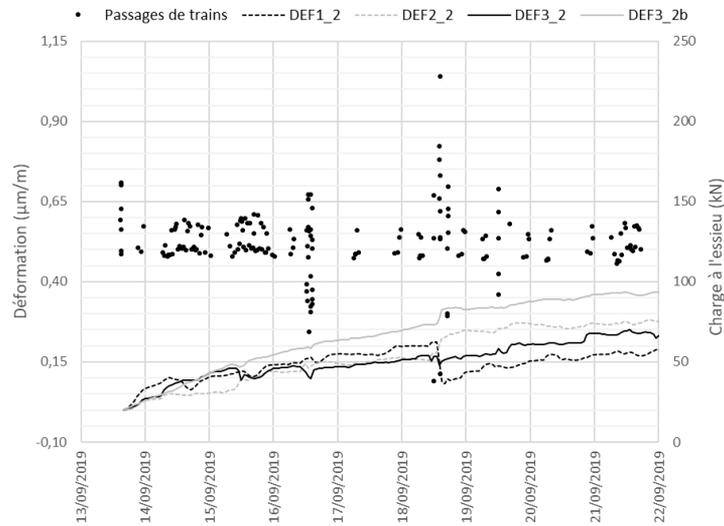


Figure 10. Déformations de la géogrille dans l'axe intermédiaire.

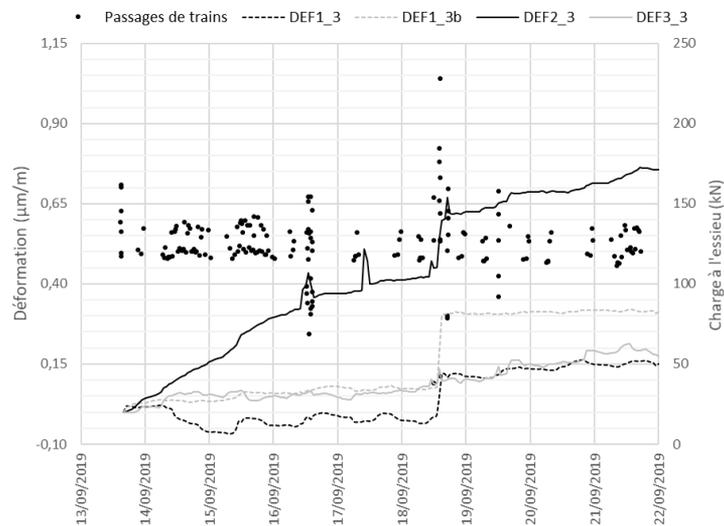


Figure 11. Déformations de la géogrille dans l'axe de la voie

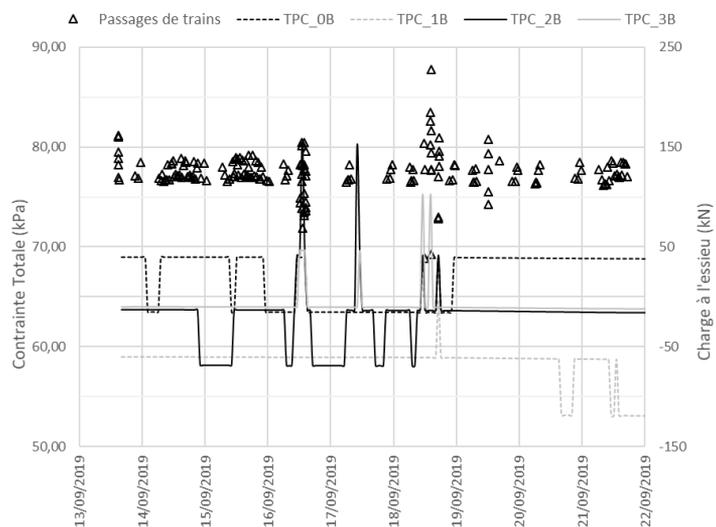


Figure 12. Contraintes dans le sol support.

La Figure 12 présente les mesures de contrainte dans la sous-couche, sur les 9 premiers jours. On peut constater que les enregistrements sont conformes aux attentes (environ

70kPa pour la structure de la voie avec un train chargé à 125kN/essieu) avec des fluctuations de  $\pm 5$ kN et des pics occasionnels (périodes de fort trafic). La tendance reste la même pour les contraintes enregistrées jusqu'en décembre, avec une légère réduction de contraintes après la fin des travaux de voie. Notons que les fluctuations enregistrées se trouvent dans la limite de la précision des cellules de charge et que les valeurs de contrainte présentées ont été corrigées pour tenir compte des variations de température (facteurs de correction fournis par le fabricant).

Aucune mesure ne peut être présentée pour le tassement, car il n'y en a pas encore.

#### **4. Conclusions**

Cet article a détaillé la mise en œuvre de l'instrumentation d'une plateforme ferroviaire améliorée par géogrid. L'expérience a montré qu'il est non seulement possible de faire ce type d'instrumentation dans des conditions opérationnelles sur le RFN, mais aussi qu'il est possible de le faire sans que des capteurs ne soient endommagés durant les travaux. Ce site est une planche d'essai réussie et les retours d'expérience ont permis d'apporter des améliorations à la conception du système, en vue d'instrumenter de futurs sites. Trois mois après les travaux, l'ensemble des capteurs posés est encore fonctionnel et tout porte à croire que le système peut être pérenne. Les résultats préliminaires permettent de confirmer le bon fonctionnement du système de télésurveillance et de faire quelques observations qualitatives concernant la plateforme renforcée.

#### **5. Références bibliographiques**

- Anantanasakul, P., Indraratna, B., Nimbalkar, S., & Neville, T. (2012). Field monitoring of performance of ballasted rail track with geosynthetic reinforcement. 11th Australia - New Zealand Conference on Geomechanics: Ground Engineering in a Changing World (pp. 241-246). Melbourne: Australian Geomechanics Society and the New Zealand Geotechnical Society.
- Carroll, R. (1988). Specifying Geogrids. Geotechnical Fabrics Report, 6(2).
- European Organisation for Technical Approvals. (2017). Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate, Technical Report TR041, 25p. Brussels.
- Fernandes, G., Palmeira, E., & Gomes, R. (2008). Performance of geosynthetic-reinforced alternative sub-ballast material in a railway track. *Geosynthetics International*, 15(5), 311–321. doi:10.1680/gein.2008.15.5.311
- Horníček, L., Břešť'ovský, P., & Jasans, P. (2017). Application of geocomposite placed beneath ballast bed to improve ballast quality and track stability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 236(1), pp. 012039. doi:10.1088/1757-899X/236/1/012039
- Lenart, S., & Klompaker, J. (2014). Geogrid reinforced railway embankment on soft soil – Experiences from 5 years of field monitoring. 10th International Conference on Geosynthetics. Berlin: IGS.
- Nimbalkar, S., & Indraratna, B. (2016). Improved performance of ballasted rail track using geosynthetics and rubber shockmat. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 142(8), 04016031-1 - 04016031-13.
- Rincen ND Technologies. (2017, Avril). Plaque dynamique légère Manuel d'utilisation, 30p. Courcouronnes, France.
- Sharpe, P., Brough, M., & Dixon, J. (2006). Geogrid trials at coppull moor on the west coast main line. *Railway Foundations. International Conference on Railway Foundations* (pp. 367-375). Railfound 6.