

ENSEIGNEMENTS D'UNE PLANCHE DE COMPACTAGE – ETUDE DE L'IMPACT DU SENS DE COMPACTAGE

Teaching of a compaction trial – study of the influence of compacting direction

Dino MAHMUTOVIC¹, Luc BOUTONNIER¹, Maurice BUFALO²

¹ EGIS GEOTECHNIQUE, SEYSSINS, France

² VALERIAN TP, SORGUES, France

RÉSUMÉ – Une planche de compactage a été réalisée sur des matériaux fins de type A2. Cette planche avait pour objectif d'étudier l'effet du sens de compactage et du nombre de passes sur les caractéristiques mécaniques du sol. Deux plots de compactage ayant un état initial similaire ont été instrumentés en capteurs de contrainte totale et de déformation avant d'être compactés. L'effet du sens de compactage a ainsi été étudié après 2, 4, 8 et 16 passes à l'aide de l'instrumentation en place ainsi qu'à l'aide d'essais in situ et d'essais de laboratoire.

ABSTRACT – A compaction trial was carried out at a project site to study the effect of the direction of compaction and the number of compacting pass (2, 4, 8 and 16) in terms of mechanical behavior. This paper presents an overview of the methodology and results of the compaction trial on terms of in situ tests and laboratory tests. These results are compared with the data recorded by an instrumentation device.

1. Introduction

Le compactage d'un sol fin a pour but d'améliorer ses caractéristiques mécaniques apparentes (rigidité et résistance au cisaillement) en réduisant son volume d'air.

En France, dans le domaine des infrastructures routières et ferroviaires, les recommandations du GTR (Guide des Terrassements Routiers) sont le plus souvent utilisées. En fonction de la nature du sol, de son état hydrique et du type de compacteur, le nombre de passes de compactage et l'épaisseur des couches compactées sont définies.

Ce guide ne répond pas à toutes les problématiques posées dans les sols fins (par exemple le feuilletage). De plus, le matériel de compactage a beaucoup évolué depuis son élaboration et la classification des compacteurs est critiquable. Enfin, le retour d'expérience des entreprises de terrassement montre que certains paramètres, non pris en compte à l'heure actuelle, pourraient jouer un rôle clef :

- a. Le sens de passage du compacteur,
- b. le fait de compacter en aller simple ou en aller-retour,
- c. le poids de la bille

La vérification du point b a pu être effectuée sur une planche de compactage grandeur réelle et sera présentée dans la suite de cet article.

2. Description de la planche d'essai, du protocole expérimental et du dispositif d'instrumentation

2.1. *Description de la planche d'essai*

La planche d'essai a été réalisée à Chambray-les-Tours en mai 2016 sur le chantier d'élargissement de l'autoroute A10 sur une ancienne zone de dépôt de l'autoroute actuelle comme illustré sur la Figure 1.



Figure 1. Localisation de la planche de compactage.

Deux plots d'essais ont été réalisés. Ils font 6m de largeur par 20m de longueur et 0,40m de hauteur comme illustré sur la Figure 2.

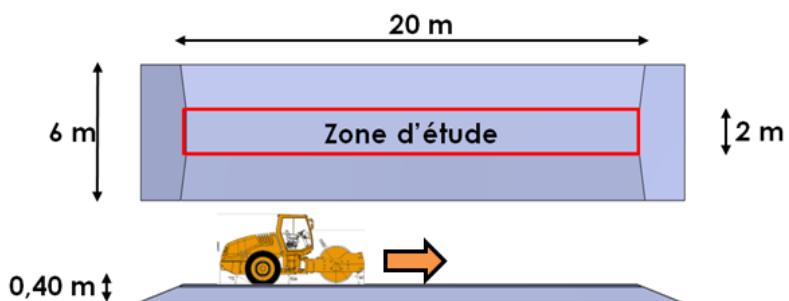


Figure 2. Dimensions d'un plot de compactage.

Les plots ont été compactés à l'aide d'un compacteur vibrant lisse V5 de modèle Hamm 3520. Cinq états de compactage ont été étudiés :

- 0 passes : réglage au bull,
- 2 passes de compactage au rouleau,
- 4 passes de compactage au rouleau,
- 8 passes de compactage au rouleau,
- 16 passes de compactage au rouleau

Un plot a été compacté en réalisant uniquement des allers-simples alors que l'autre a été compacté en effectuant des allers-retours (cf figure 3).

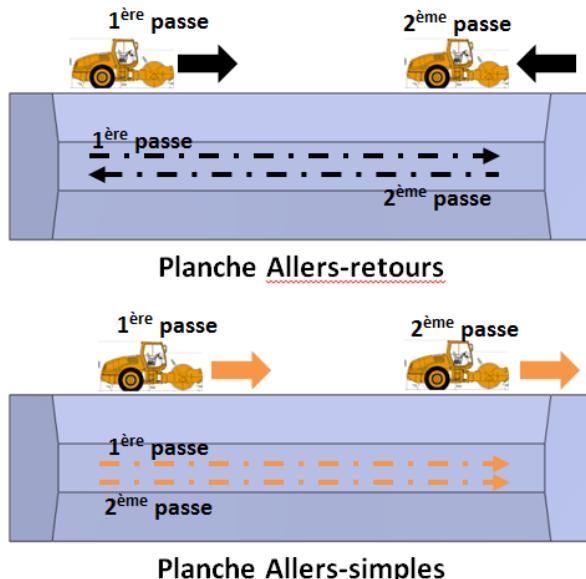


Figure 3. Illustration du sens de compactage du compacteur

2.2. Description des matériaux utilisés

Les matériaux en place ayant servi à la réalisation de la planche sont des sols fins de type A2 dont les caractéristiques géotechniques sont résumées dans le Tableau 1 ci-dessous (aucun traitement n'a été effectué sur ces matériaux).

Tableau 1. Caractéristiques géotechnique des matériaux utilisés pour la planche d'essai

Granulométrie (%)		W _p (%)	Ip (%)	W _{nat} (%) Mesuré	W _{opt} (%)	Ecart / W _{opt} (%)	Classe GTR
<80mm	<2mm						
60,5	81,0	17,78	19,2	15,3	14,3	+1%	A2m

2.3. Description de l'instrumentation

L'instrumentation mise en place sur chaque planche se compose de :

- deux capteurs de contrainte totale (un placé à la verticale et un placé à l'horizontal),
- deux élongamètres (un placé à la verticale et un placé à l'horizontal),
- un accéléromètre 3D pour chaque plot (cf **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

L'instrumentation des deux plots a été installée de telle sorte à réaliser simultanément l'enregistrement des différents paramètres au passage du rouleau (capteurs alignés sur une même ligne de 2 m de largeur perpendiculaire au plot en son centre). Des instrumentations du même type ont déjà été réalisées par le passé (Rinehart et al. 2009).

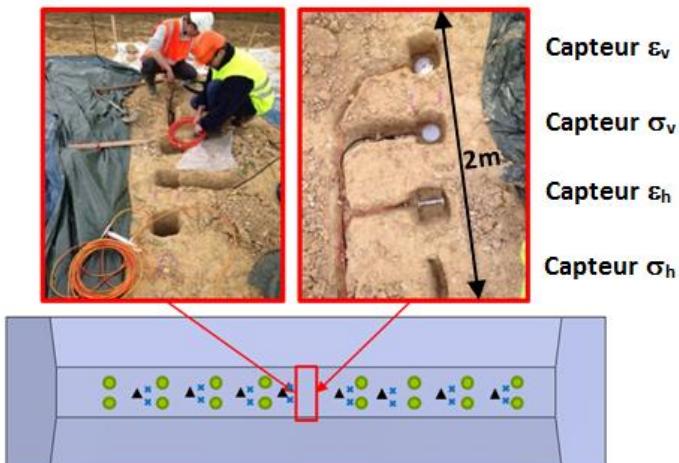


Figure 4. Localisation de l'instrumentation sur un plot de compactage (rectangle rouge).

2.4. Description des essais *in situ* et prélèvements

A chaque étape de compactage (0, 2, 4, 8 et 16 passes), des essais *in situ* ont été réalisés:

- Essais Panda,
- Mesures de densité au gamma densimètre,
- Mesure de cohésion non drainée au scissomètre.

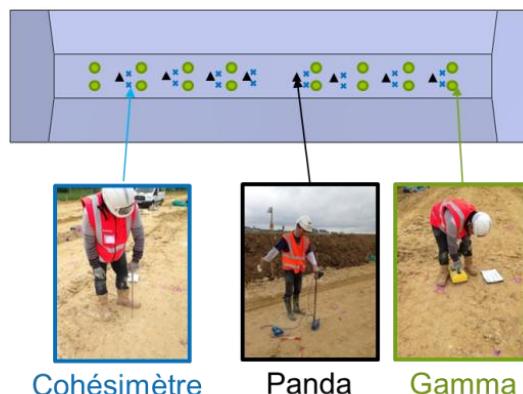


Figure 5. Position des essais *in situ* réalisés sur les plots de compactage à 0, 2, 4, 8 et 16 passes de compactage.

Des papiers filtre ont été mis en place avant le début du compactage dans le but de mesurer une succion *in situ* et voir l'effet du compactage sur cette valeur. Des carottages ont pour cela été réalisés après 4 passes, 8 passes et 16 passes de compactage. Ces prélèvements intacts ont également servi à la réalisation d'essais de laboratoire : essais œdométriques, triaxiaux, et essais de compression simple R_c . Seuls les essais R_c seront exploités dans cette communication (un article plus complet est en cours de soumission à la Revue française de Géotechnique).

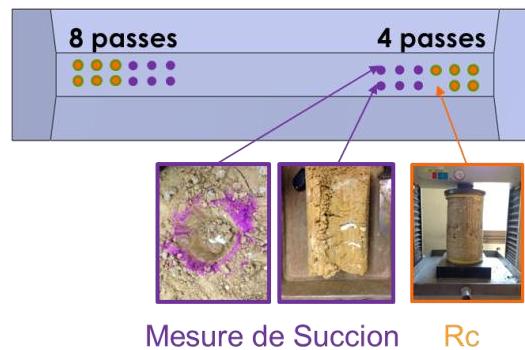


Figure 6. Position des éprouvettes ayant servi à la réalisation de mesures de succion et d'essais Rc.

3. résultats

Une partie des résultats de la planche de compactage sont présentés dans cet communication, à savoir les résultats des essais Panda, les résultats des essais de compression simple Rc et les données des capteurs. Ces différents résultats sont traités dans le but de montrer l'effet du nombre de passe et du sens de compactage sur la qualité de compactage d'un sol fin de type A2 compacté à $w_{opt+1\%}$.

3.1. Résultat des essais *in situ*

Les essais Panda sont les essais qui ont donné les meilleurs résultats avec des tendances claires rendues possibles par le nombre d'essais réalisés et le nombre de points par essai. Ces résultats ont permis d'étudier l'effet du nombre de passes sur le sol ainsi que l'effet du sens de compactage.

Etude de l'effet du sens de compactage

Les mesures des essais Panda réalisés sur les plots après 2 et 4, 8 et 16 passes de compactage sont présentées sur la figure 7.

En se basant sur la comparaison de la résistance de pointe Qd, il apparaît que le compactage allers-simples est plus efficace que le compactage allers-retours sur ce matériau et à une teneur en eau donnée ($w_{opt} + 1\%$). Ce constat est visible dès la 2e passe de compactage.

Etude de l'effet de l'énergie de compactage

D'après les résultats de la figure 7, il apparaît que :

- L'action du bulldozer à elle seule permet un compactage difficilement améliorable.
- L'augmentation du nombre de passe de compactage après 2 passes sur ce matériau est néfaste en terme de résistance de pointe Qd, et ceci pour les deux plots sur les 20 premiers centimètres avec des résistances qui décroissent en fonction du nombre de passe. Ce constat est particulièrement marqué pour le plot aller-retour.

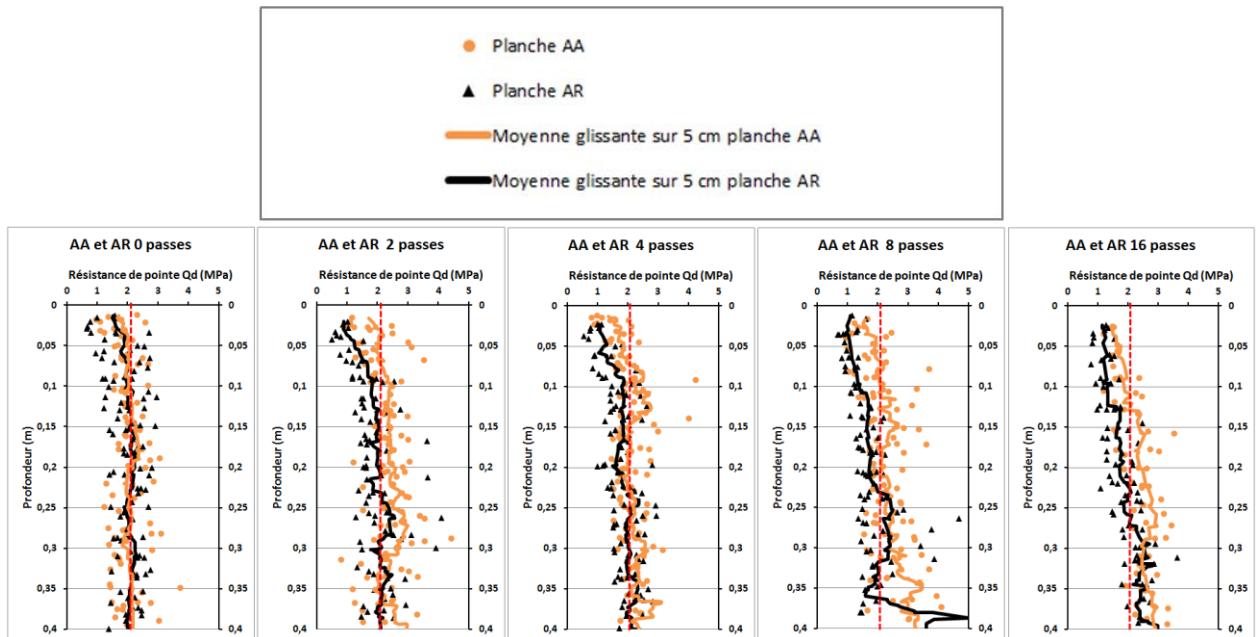


Figure 7. Comparaison entre valeurs de Qd des planches AA et AR pour différentes passes de compactage – la valeur moyenne de Qd après le passage du bulldozer correspond au trait en pointillés rouge.

3.2. Résultat des essais de laboratoire

La résistance à la compression simple est semblable pour les deux plots pour 4 passes de compactage et plus élevée pour le plot aller simple pour 8 passes de compactage. Ces résultats sont parfaitement cohérents avec l'analyse des mesures de Qd sur les Panda.

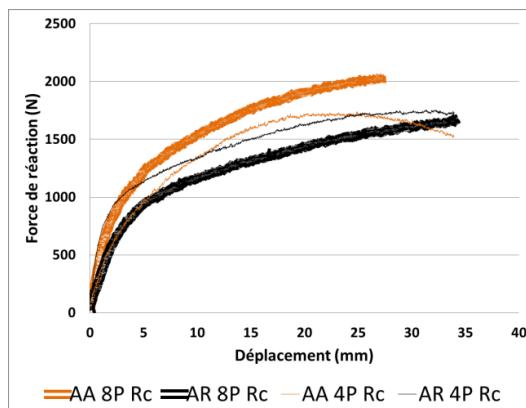


Figure 8. Résultats des valeurs de compression simple.

Les éprouvettes correspondent à des échantillons carottés directement dans les remblais d'essais. Les éprouvettes sont cylindriques, de diamètre 15cm et de hauteur 30cm.

3.3. Résultat de l'instrumentation

Des courbes de contraintes et de déformations en fonction du temps (ou de la distance par rapport à la bille sachant que le compacteur se déplace à une vitesse constante de 2km/h) ont pu être tracées pour chaque passe de compactage. Un exemple de résultat obtenu est illustré sur la figure 9. Ces courbes sont marquées par un pic de contrainte au niveau du passage de la bille du compacteur ainsi que par une contrainte résiduelle derrière cette dernière.

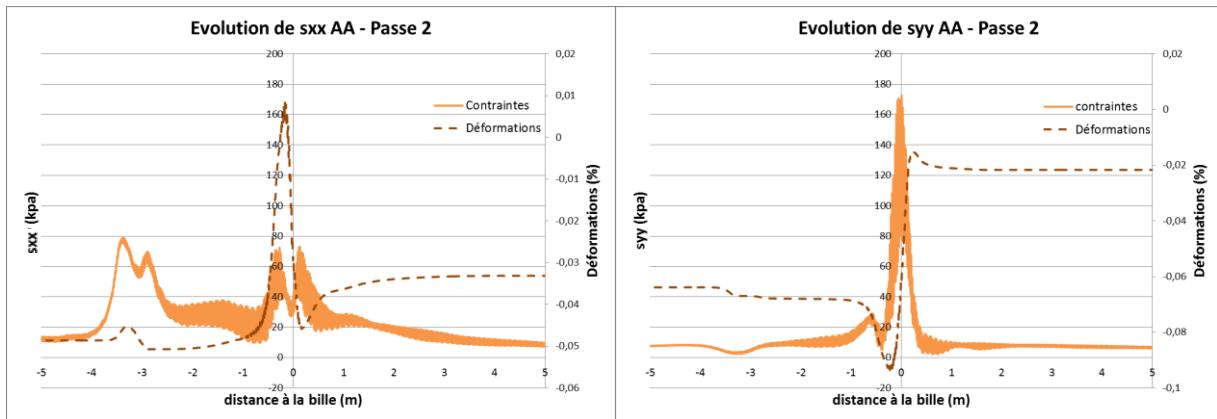


Figure 9. Exemple de courbes de contraintes (horizontale et verticale) sous l'effet du passage d'un compacteur

L'évolution du coefficient $K_0 = \sigma'_{xx}/\sigma'_{yy}$ (rapport des contraintes après passage du compacteur) en fonction du nombre de passes a ensuite été étudiée (Figure 10). Les deux courbes de K_0 montrent un comportement différent. Il ressort que dans le cas du plot allers-retours le coefficient K_0 se rapproche du coefficient de butée du matériau alors qu'il reste proche de 1 sur le plot de compactage allers-simples. Il est à noter que ce coefficient est défini en contrainte effective et qu'il est valable uniquement pour les paliers (courbe stabilisée après chaque passage de compacteur). En effet, le passage de la bille va générer ponctuellement des surpressions d'eau temporaires sous l'effet de la contrainte de la bille. Il n'a été possible de mesurer des pressions d'eau qu'après 4, 8 et 16 passes de compactage (environ 30 kPa de succion pour toutes les passes sans effet très significatif du nombre de passes sur cette valeur), d'où la nécessiter de ne pas considérer les valeurs de K_0 au moment du passage du compacteur.

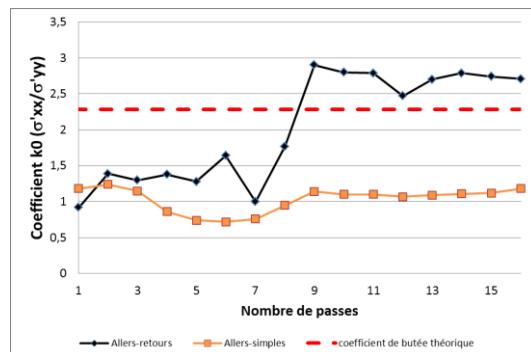


Figure 10. Evolution du coefficient K_0 en fonction du nombre de passes.

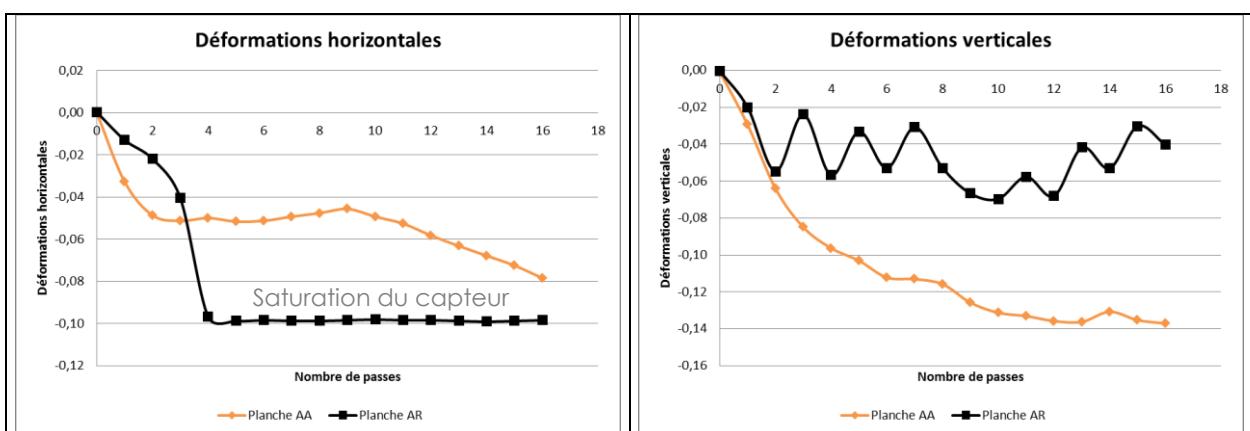


Figure 11. Evolution des déformations horizontales et verticales en fonction du nombre de passes

L'évolution des déformations en fonction du nombre de passes de la figure 11 montre que les deux plots ont un comportement distinct. Le plot allers-retours se caractérise par des déformations horizontales plus importantes que les déformations verticales alors que l'effet inverse est constaté sur le plot allers-simples. Ce qui montre un compactage différent en fonction de la technique de compactage (allers simples ou allers-retours).

4. Conclusion

La réalisation d'une planche de compactage instrumentée et complétée par des essais in situ et de laboratoire a été présentée. L'objectif principal de cette planche était de comparer deux modes de compactage différents : un compactage par passes allers-retours et un compactage par passes allers-simples.

L'instrumentation en place a mis en évidence un compactage essentiellement vertical pour le plot allers-simples contrairement à un compactage plutôt horizontal pour le plot allers-retours, avec des contraintes verticales maximales plus importantes. Les essais in situ ont confirmés ce constat en mettant en évidence une meilleure résistance de pointe Q_d pour le plot Allers-simples, tout comme les essais de laboratoire de compression simple.

Il résulte donc que le compactage allers-simples a été plus efficace que le compactage allers-retours pour le sol étudié (limon argileux à une teneur en eau massique donnée de 15,3%). D'autres validations sont nécessaires pour valider cette tendance. Celle-ci pourrait, si elle se confirme, se montrer utile dans certaines configurations, lorsqu'il n'est pas possible de densifier correctement un fond de couche ou dans de gros chantiers de terrassement (remblais de grande hauteur ou barrages en terre avec utilisation de plusieurs compacteurs).

5. Remerciements

Cet article s'inscrit dans le cadre du projet Terredurable soutenu par l'ANR programme Bâtiments et Villes Durables, convention ANR 2011 VILD 004 01. Les auteurs tiennent à remercier les entreprises EGIS Géotechnique, Valérian TP et Dynaopt qui ont mis à disposition moyens matériels, humains et savoir-faire pour mener à bien cette expérimentation grandeur réelle. Vinci est vivement remercié pour avoir autorisé les partenaires du projet Terredurable à réaliser cette expérimentation sur les emprises du chantier de l'autoroute A10.

6. Références bibliographiques

Guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme – fascicule 1 : principes généraux. Juillet 2000 2e édition. Ministère de l'équipement, du logement et des transports.

Guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme – fascicule 2 : annexes techniques. Juillet 2000 2e édition. Ministère de l'équipement, du logement et des transports.

Rinehart R-V., Monney M-A. measurement of roller compactor induced Triaxial soil stresses and strains. Geotechnical Testing Journal, Vol. 32, No. 4. 2009