



HAL
open science

Improvement of railway platforms by soil mixing

Antoine Guimond-Barrett, Jean-François Mosser, Nicolas Calon, Philippe Reiffsteck, Anne Pantet, Alain Le Kouby

► **To cite this version:**

Antoine Guimond-Barrett, Jean-François Mosser, Nicolas Calon, Philippe Reiffsteck, Anne Pantet, et al.. Improvement of railway platforms by soil mixing. Journées nationales de géotechnique et de géologie de l'Ingénieur - JNGG2012, CFMS, Jul 2012, Bordeaux, France. pp.633-640. hal-04520382

HAL Id: hal-04520382

<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04520382v1>

Submitted on 25 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RENFORCEMENT DE PLATEFORMES FERROVIAIRES PAR SOIL MIXING

IMPROVEMENT OF RAILWAY PLATFORMS BY SOIL MIXING

Antoine GUIMOND-BARRETT^{1,2}, Jean-François MOSSER³, Nicolas CALON⁴, Philippe REIFFSTECK¹, Anne PANTET², Alain LE KOUBY¹

¹ IFSTTAR, Paris, France

² Université du Havre, Le Havre, France

³ Soletanche Bachy, Rueil-Malmaison, France

⁴ SNCF, Paris, France

RÉSUMÉ — Cette communication présente les premiers résultats d'essais *in situ* réalisés dans le cadre du projet RUFEX afin d'étudier l'installation de colonnes de sol traité sous une plateforme ferroviaire existante sans dépose préalable de la voie et avec un impact minimal sur le ballast. Des colonnes ont été installées à l'aide d'un outil de mélange à géométrie variable nommé Springsol. Certaines colonnes ont été excavées afin de contrôler leur géométrie et plusieurs échantillons de sol-ciment ont été prélevés pour effectuer des essais en laboratoire.

ABSTRACT — This paper presents an overview of the field tests carried out, as part of the RUFEX research project, to study the installation of vertical soil-mix columns under existing railway lines without removing the tracks or cementing the ballast. Soil-cement columns were installed using a spreadable mixing tool named Springsol. Some columns were excavated in order to control their geometry and several soil-mix samples were taken for laboratory testing.

1. Introduction

De nombreuses lignes ferroviaires existantes en Europe doivent être renforcées car elles sont soumises à une demande croissante en capacité de charge (charge sur essieu et fréquence des trains). La mise en place de colonnes de sol-ciment est une solution potentiellement intéressante pour l'amélioration des plateformes existantes car elle est compatible avec les exigences actuelles de maintien du trafic (travail sous caténaires, sans dépose préalable de la voie travaux, et avec un impact minimal sur le ballast). Cette communication présente les résultats d'essais *in situ* réalisés dans le cadre du projet RUFEX (Renforcement et RéUtilisation des plateformes Ferroviaires et des Fondations EXistantes). Des colonnes de sol traité ont été installées sous une voie ferrée existante et sur terrain nu à l'aide d'un outil de mélange à géométrie variable (Springsol). Certaines colonnes ont été excavées afin de contrôler leur géométrie et plusieurs échantillons de sol-ciment ont été prélevés pour effectuer des essais en laboratoire. Dans cette communication, l'outil et son utilisation sont détaillés. Les moyens mis en œuvre pour contrôler la qualité du

traitement effectué sur site ainsi que les caractéristiques mécaniques des mélanges de sol-ciment sont présentés.

2. Présentation du site expérimental de Vernouillet

2.1. Localisation

Le site se situe au niveau d'une gare de triage sur la commune de Vernouillet au Nord-Ouest de Paris dans le département des Yvelines (78).

2.2. Investigations géotechniques préliminaires

Des sondages à la mini-pelle, des essais au pénétromètre dynamique type PANDA (norme XP P94-105, AFNOR, 2000) ainsi que des forages semi-destructifs de reconnaissance géologique à la tarière de diamètre 63 mm ont été réalisés sur le site de Vernouillet. Des essais pressiométriques ont été exécutés à différentes profondeurs dans les forages suivant la norme NF P 94-110 (AFNOR, 2000).

2.3. Résultats des investigations

Les résultats des investigations géotechniques effectuées sur le site sont synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 1 . Caractéristiques géotechniques des sols du site de Vernouillet

Couche	Couche 0.R	Couche 1	Couche 2
Nature	Remblais	Limon sableux	Sable graveleux
Mur de la couche (m sous TN)	0,29 à 0,82	0,54 à 3,7	>9
Teneur en eau (%)	7,6	11,9 à 19,7	5 à 7,6
VBS	/	1,38	0,71
Classification GTR	/	A1	B5 à C1B5
Résistance de pointe moyenne qd (MPa)	7	4	16
Pressions limites mesurées (MPa)	/	0,68 à 1,68	>2,38

Aucun niveau d'eau n'a été relevé lors de la réalisation des sondages.

3. Description des travaux

Au total, vingt-six colonnes ont été réalisées à l'aide d'une foreuse Casagrande C4. Les colonnes de sol traité ont été construites sous voie et hors voie avec l'outil ouvrant Springsol en diamètre 400 et 600 mm. Le traitement des sols avec le liant hydraulique (CEMIIC) est effectué par malaxage in situ par voie humide. L'outil est

muni de deux bras qui peuvent être soit en position pliée soit en position dépliée. Toutes les colonnes ont été construites dans le sable à une profondeur de 5 m. Les quantités de ciment injectées dans les colonnes sont généralement comprises entre 200 et 400 kg/m³. L'indice de malaxage I_M (nombre de tours de pale par mètre de colonne) est calculé par la relation suivante (AFNOR, 2005) :

$$I_M = \frac{N \times M}{V} \quad (1)$$

avec M = nombre de pales = 2 pour le Springsol

N = vitesse de rotation (tours / minute)

V = vitesse de perforation (m / minute).

Les indices de malaxage moyens des colonnes de Vernouillet, estimés à partir des enregistrements des paramètres de forage, sont compris entre 700 et 1540 tours de pale / mètre. Le plan d'implantation des colonnes est présenté sur la figure 1.

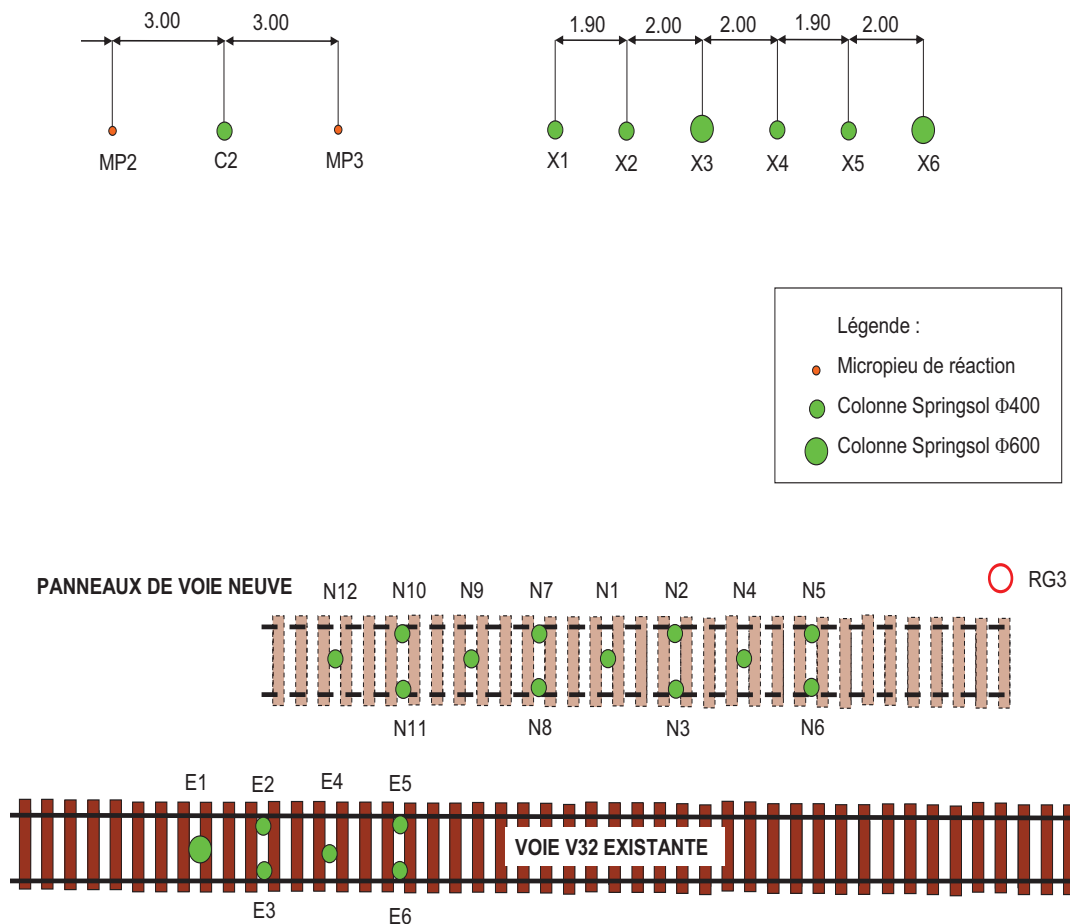


Figure 1 . Plan d'implantation des colonnes sur le site de Vernouillet

3.1. Colonnes sous voie existante

Six colonnes de sol traité (notées E1 à E6) ont été réalisées sous une voie existante

pour vérifier la faisabilité des travaux d'amélioration de plateforme par des colonnes de 400 et 600 mm. Le phasage des travaux sous voie est le suivant :

- Le forage commence par la mise en place d'un tubage métallique au travers du ballast entre les traverses de la voie, dans lequel l'outil Springsol est introduit en position repliée. Le tubage en tête de forage sert à protéger le ballast contre une éventuelle pollution par des rejets de déblais ou de coulis.
- Lorsque l'outil sort du tubage et pénètre le sol en place, un mécanisme à ressort permet l'ouverture de deux pales qui ont un double rôle de déstructuration du sol et de malaxage.
- La perforation et le malaxage du terrain avec du coulis sont réalisés par la mise en rotation de l'outil durant sa descente.
- Une fois la colonne de sol-ciment réalisée, l'outil est remonté et le tubage est déposé.

Il est prévu de vérifier l'apport des colonnes de sol traité réalisées sous la voie existante à la rigidité de la structure à l'aide du portancemètre ferroviaire (Le Kouby *et al.*, 2010).

3.2. Colonnes sur terrain nu

3.2.1. Colonnes sous future voie neuve

Afin d'étudier le comportement des colonnes de sol traité sous un matelas de répartition de charge composé d'un complexe ballast + géosynthétique, douze colonnes (N1 à N12) ont été réalisées sur terrain nu à proximité de la voie existante (figure 1). Une voie neuve sera ensuite installée par la SNCF. Des essais de chargement seront effectués sur ces colonnes avec le portancemètre ferroviaire.

3.2.2. Colonnes pour essai de chargement

La colonne C2 (figure 1) a été construite pour être soumise à un essai de chargement statique suivant la norme NF 94–150–1 (AFNOR, 1999).

3.2.3. Colonnes destinées à être excavée

Six colonnes (X1 à X6) ont été réalisées pour étudier les caractéristiques des sols traités produits par l'ajout d'un coulis de ciment. Trois d'entre-elles ont été excavées 28 jours après les travaux. Les trois autres colonnes seront excavées après 180 jours.

4. Contrôle de la qualité des colonnes

4.1. Contrôle qualité pendant le chantier

Le contrôle de la qualité des colonnes de sol traité effectué pendant le chantier comprend l'enregistrement des paramètres d'exécution, des mesures de densité des coulis et des mesures de densité des rejets produits en surface lors de la construction des colonnes. Les paramètres de forage ont été enregistrés à l'aide du

système de supervision Enpamix (développé par Solétanche Bachy). Les paramètres concernés sont : le débit d'injection du coulis, le couple de rotation, la poussée sur l'outil, la vitesse d'avancement et la vitesse de rotation. Les densités des coulis ont été vérifiées à l'aide d'une balance à boue (type Baroid) pendant toute la durée du chantier. Les rejets remontés en surface lors du forage des colonnes étaient de couleur marron beige, visuellement homogènes, de consistance liquide à pâteuse et composés d'un mélange de limon et de coulis.

4.2. *Excavation des colonnes*

Les colonnes X4, X5 et X6 (figure 1) ont été excavées jusqu'à 5 m de profondeur à l'aide d'une pelle mécanique. L'objectif de l'excavation était de vérifier la géométrie des inclusions et d'examiner l'homogénéité du matériau constitutif des colonnes. La partie supérieure des colonnes est constituée de limon traité et présente quelques inclusions centimétriques de limon (figure 2). La partie centrale (axiale) des colonnes semble plus homogène et concentrée en coulis. En partie inférieure, au niveau du sable, le mélange est visuellement homogène. Des fragments des colonnes excavées ont été prélevés et carottés à l'eau dans les locaux de l'IFSTTAR en diamètre 50 mm.

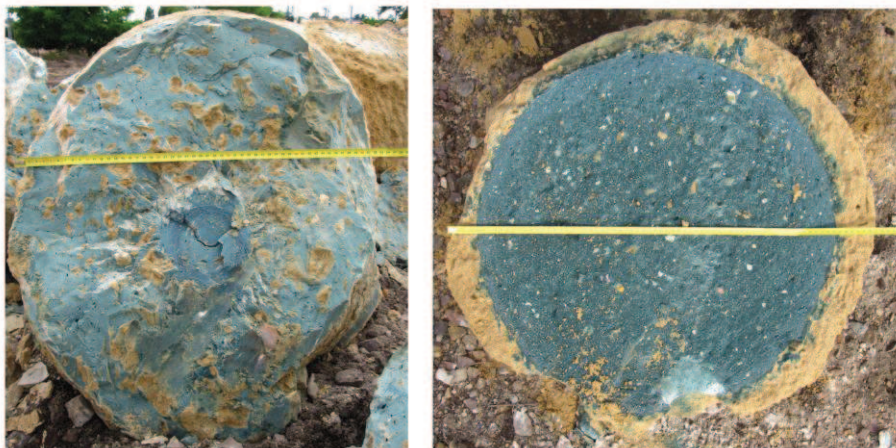


Figure 2 . Sections des colonnes excavées (a) dans le limon et (b) dans les sables.

4.3. *Caractéristiques des sols traités – résistances à la compression*

Les essais de résistance à la compression sur les éprouvettes carottées ont été menés suivant la norme NF EN 13286-41 (AFNOR, 2003). La masse volumique des éprouvettes de limon traité est comprise entre 1700 et 1900 kg/m³. Dans les sables, elle varie entre 1870 et 2200 kg/m³. La figure 3 montre l'évolution de l'indice de malaxage et de la résistance à la compression R_c en fonction de la profondeur (les barres d'erreur représentent l'écart-type).

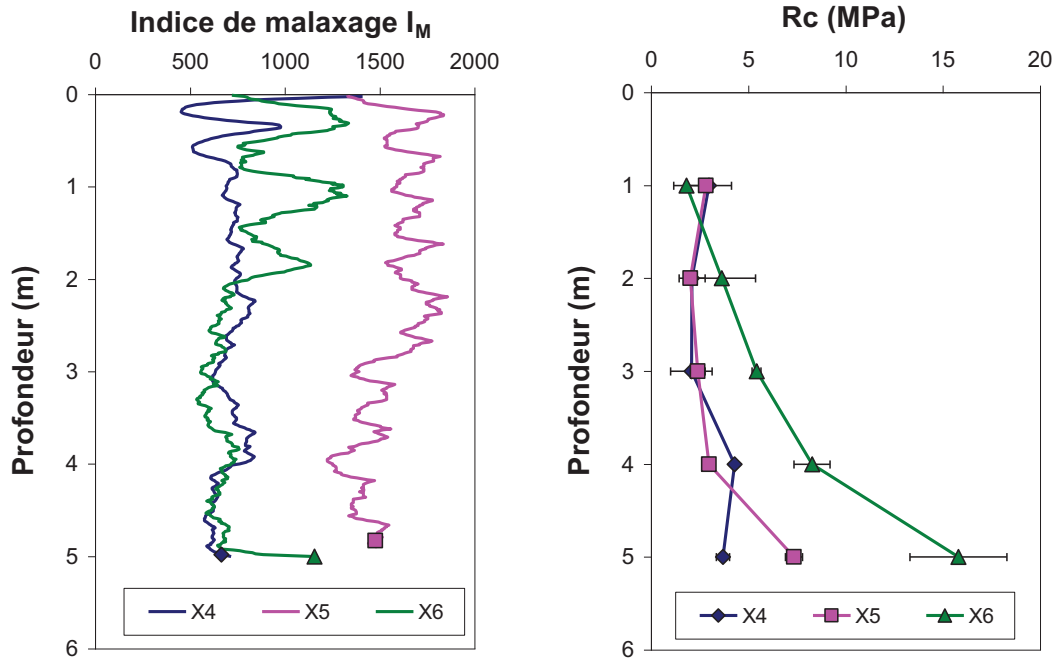


Figure 3 . Evolution de l'indice de malaxage et de la résistance à la compression en fonction de la profondeur

Les données montrent qu'il n'existe pas de relation simple entre I_M et R_c . Pour les colonnes X4 et X5, les résistances à la compression mesurées dans les limons traités sur les trois premiers mètres sont très proches. Elles sont comprises entre 2 et 3 MPa. Dans les sables, les résistances à la compression sont plus élevées (2,9 à 7,4 MPa). Les résistances moyennes mesurées pour la colonne X6 sont supérieures à celles des colonnes X4 et X5. Dans les limons, elles augmentent de 1,8 à 3,8 MPa entre 1 et 2 m de profondeur. Dans les sables, les résistances moyennes atteignent des valeurs comprises entre 5,4 et 15,8 MPa. La distribution des résistances à la compression est présentée dans la figure 4. Les résistances moyennes mesurées dans les limons et les sables toutes profondeurs confondues sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2 . Résistances à la compression moyennes R_c et caractéristiques $R_{c5\%}$

	Col.	Rc moy. (MPa)	Nombre d'essais	Rc _{5%} (MPa)		
				(résultats)	(loi normale)	(loi lognormale)
Limon	X4	2,38	9	1,20	0,81	1,08
	X5	2,41	8	1,99	1,72	1,79
	X6	2,72	6	1,32	0,19	0,98
	Total	2,48	23	1,12	0,88	1,23
Sable	Col.	Rc moy. (MPa)	Nombre d'essais	Rc _{5%} (MPa) (résultats)	Rc _{5%} (MPa) (loi normale)	Rc _{5%} (MPa) (loi lognormale)
	X4	3,99	6	3,43	3,33	3,35
	X5	5,15	6	2,88	1,18	2,05
	X6	9,83	9	5,28	1,88	4,06
Total	6,82	21	2,90	-0,18	2,41	

La résistance caractéristique $R_{c5\%}$ correspond à la valeur de R_c pour laquelle la probabilité de mise en défaut est de 5% (Eurocode 0, 2006).

Cette résistance caractéristique a été déterminée pour chaque colonne dans les limons et dans les sables en prenant le fractile à 5% calculé:

- à partir des R_c mesurées ;
- en supposant une distribution de R_c suivant une loi normale ;
- en supposant une distribution de R_c suivant une loi lognormale.

Les résistances caractéristiques $R_{c5\%}$ obtenues en supposant une distribution normale des résistances sont très pessimistes. Elles sont en général nettement plus faibles que les fractiles à 5% calculés à partir des résistances mesurées et peuvent dans certains cas conduire à des valeurs négatives.

Du fait de l'asymétrie de la distribution des résistances (figure 4), l'utilisation d'une loi lognormale semble s'imposer pour la détermination de $R_{c5\%}$. Les valeurs calculées avec cette loi sont en accord avec les fractiles à 5% obtenus à partir des résistances mesurées.

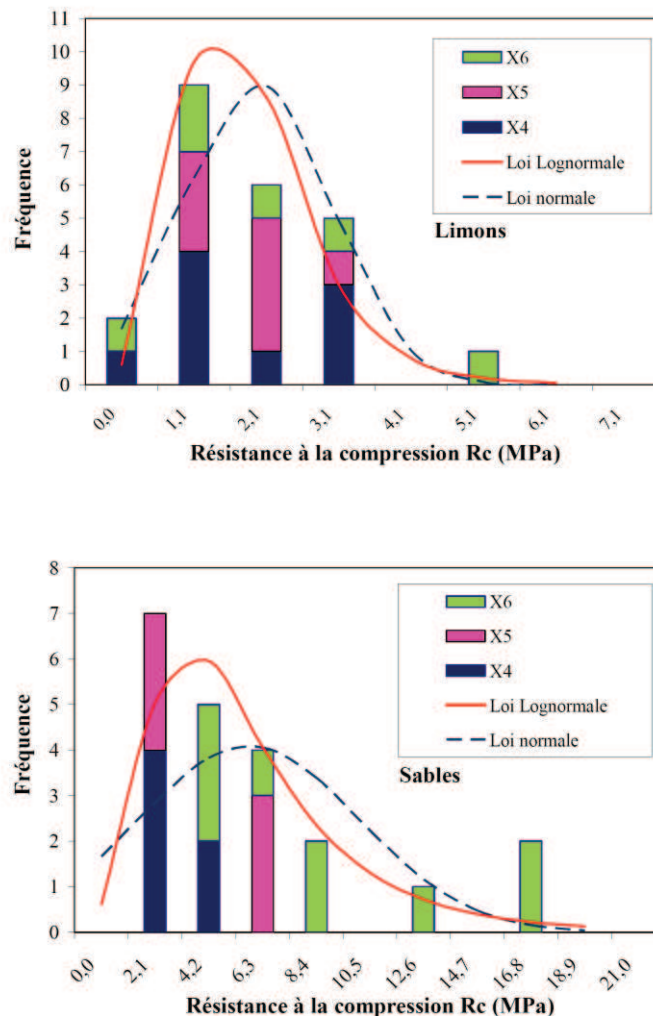


Figure 4 . Distribution des résistances à la compression pour les limons (en haut) et les sables traités (en bas)

5. Conclusions

Les essais effectués sur le site de Vernouillet confirment qu'il est possible de construire des colonnes de sol-ciment sous une voie ferrée existante dans des sols de résistance relativement élevée. Le mélange produit par le malaxage du sol avec un coulis est visuellement homogène. On note cependant la présence de quelques inclusions de sol. Les résultats des essais de compression simple indiquent que l'utilisation d'une loi lognormale est plus adaptée pour la détermination des résistances caractéristiques des sols traités.

Les essais sur les colonnes de Vernouillet vont être poursuivis. L'excavation de colonnes supplémentaires après 180 jours de cure ainsi que des essais de chargement statique et dynamique (à l'aide du portancemètre ferroviaire) seront effectués. Les résultats de ces essais serviront de base pour des travaux de modélisation numérique de plateformes ferroviaires renforcées par colonnes de sol traité.

Références bibliographiques

AFNOR, 1999, NF P 94-150-1. Essai statique de pieu isolé sous charge axiale Partie I – En compression

AFNOR, 2000, NF P 94-110-1. Essai pressiométrique Ménard

AFNOR, 2000, XP P94-105 Contrôle de la qualité du compactage Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable — Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre — Exploitation des résultats — Interprétation

AFNOR, 2003, NF EN 13286-41. Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques. - Partie 41 : méthode d'essai pour la détermination de la résistance à la compression des mélanges traités aux liants hydrauliques.

AFNOR, 2005, EN 14679. Execution of special geotechnical works - Deep mixing. CEN TC 288.

Eurocode 0, 2006, Règles Générales.

Le Kouby A., Bourgeois E., Rocher-Lacoste F. (2010). Subgrade improvement method for existing railway lines – an experimental and numerical study, EJGE, 15, 461-494.