

REMBLAI RENFORCÉ SUR INCLUSIONS RIGIDES

REINFORCED ENMBANKMENT ON RIGID PILES

Johann BRUHIER ¹, Benoît PAINEAU ²,

¹ HUESKER France SAS, Greswiller, France

² KELLER Fondation Spéciales, Rungis, France

RÉSUMÉ – Les travaux de consolidation de deux remblais routiers situés de part et d'autre d'une voie SNCF ont vu la mise en œuvre d'une solution originale, à savoir leur renforcement par des inclusions armées associées à des nappes de géosynthétique de renforcement. Une première en France pour des remblais de près de 10 m de hauteur. Au total 1650 inclusions rigides et CMM, soit 13,7 km d'inclusions et 5,3 km de profilés ont été installés en 7 semaines et plus de 15 000 m² de géosynthétique de renforcement ont été mis en œuvre.

Mots-clés : Amélioration des sols - Inclusions rigides - Géosynthétique de renforcement, Remblai

ABSTRACT – For the consolidation of two embankments on each side of a SNCF railway, an original solution has been applied: concrete / steel piles and layers of reinforcing geosynthetics were used to reinforce the embankments. For the first time in France, this solution has been applied to an embankment 10 m high. A total of 1650 piles and CMM with a total length of 13,7 km as well as 5,3 km of metallic profiles have been put into place in only seven weeks. Over 15 000 m² of reinforcing geosynthetic have been installed.

Keywords: Amelioration of soil, Rigid piles, Geosynthetic reinforcement, Embankment.

1. Introduction

Les travaux de consolidation de deux remblais d'accès situés de part et d'autre d'une voie SNCF, ouvrages destinés à permettre à terme le lancement d'un pont ferroviaire construit à Chelles (Seine-et-Marne) par le groupement Demathieu et Bard/EIFFAGE TP dans le cadre de la liaison Sud, a vu la mise en oeuvre d'une solution originale : leur renforcement par des inclusions rigides armées associées à des nappes de géosynthétiques. Une première en France pour des remblais de 10 m de hauteur.



Figure 1. Position du projet.

2. Description de l'ouvrage

2.1. La rampe d'accès Nord et le remblai Sud

Pour Keller fondations Spéciales (Agence de Paris) à qui ont été confiés les travaux de consolidation en sous-traitance du groupement, l'enjeu était de ramener les tassements du sol sous les rampes d'accès de plus de 1 m à moins de 5 cm. La rampe d'accès nord (environ 6000m²) était constituée d'un remblai d'une longueur de 200 m et d'une hauteur atteignant 8,40 m. Le remblai Sud (environ 1500m²) était constitué d'un remblai d'une hauteur atteignant 9,80 m. Les pressions à reprendre par le sol avoisinaient 200 kPa.

2.2. Les matériaux du site

Suite à la réalisation de sondages complémentaires effectués par le Laboratoire de l'Est Parisien (LREP), les caractéristiques de sol retenues étaient les suivantes :

Zone Nord

	Épaisseur (m)	Poids volumique	e _o	C _c	C _s	C _α	E _{young} (MPa)
Remblai	3	20					20
Alluvions modernes 1	2	12,2	2,65	1,113	0,105	-	
Alluvions modernes 2	1,5	13,8	2,58	1,03	0,01	0,08	Organique
Alluvions modernes 1	1,5	12,2	2,65	1,113	0,105	-	
Alluvions anciennes	--	20					77

Zone Sud

	Épaisseur (m)	Poids volumique	e _o	C _c	C _s	C _α	E _{young} (MPa)
Alluvions modernes 1	2	12,2	2,65	1,113	0,105	-	
Alluvions modernes 2	1,5	13,8	2,58	1,03	0,01	0,08	Organique
Alluvions modernes 1	2	12,2	2,65	1,113	0,105	-	
Alluvions anciennes	--	20					77

2.3. Les inclusions rigides

Les inclusions ont été réalisées à l'aide d'une tarière à refoulement, avec un système de pas de vis inversé qui refoule le sol à la descente de l'outil, d'où une extraction de matériau lors du forage de l'inclusion. Le béton est ensuite pompé sous faible pression lors de la remontée de l'outil. L'implantation des inclusions rigides de 38 cm diamètre, s'est effectuée suivant une maille de 1.90 m à 2.65 m en fonction des hauteurs de remblai avec un ancrage de 0.5 m à 1m dans les alluvions anciennes.

En dessous des talus à pente 3/2, les inclusions ont été armées sur toute la hauteur avec des profilés HEA. Ces profilés ont pour but de reprendre la poussée horizontale et donc le moment créé par les tassements différentiels du remblai sous les pentes.

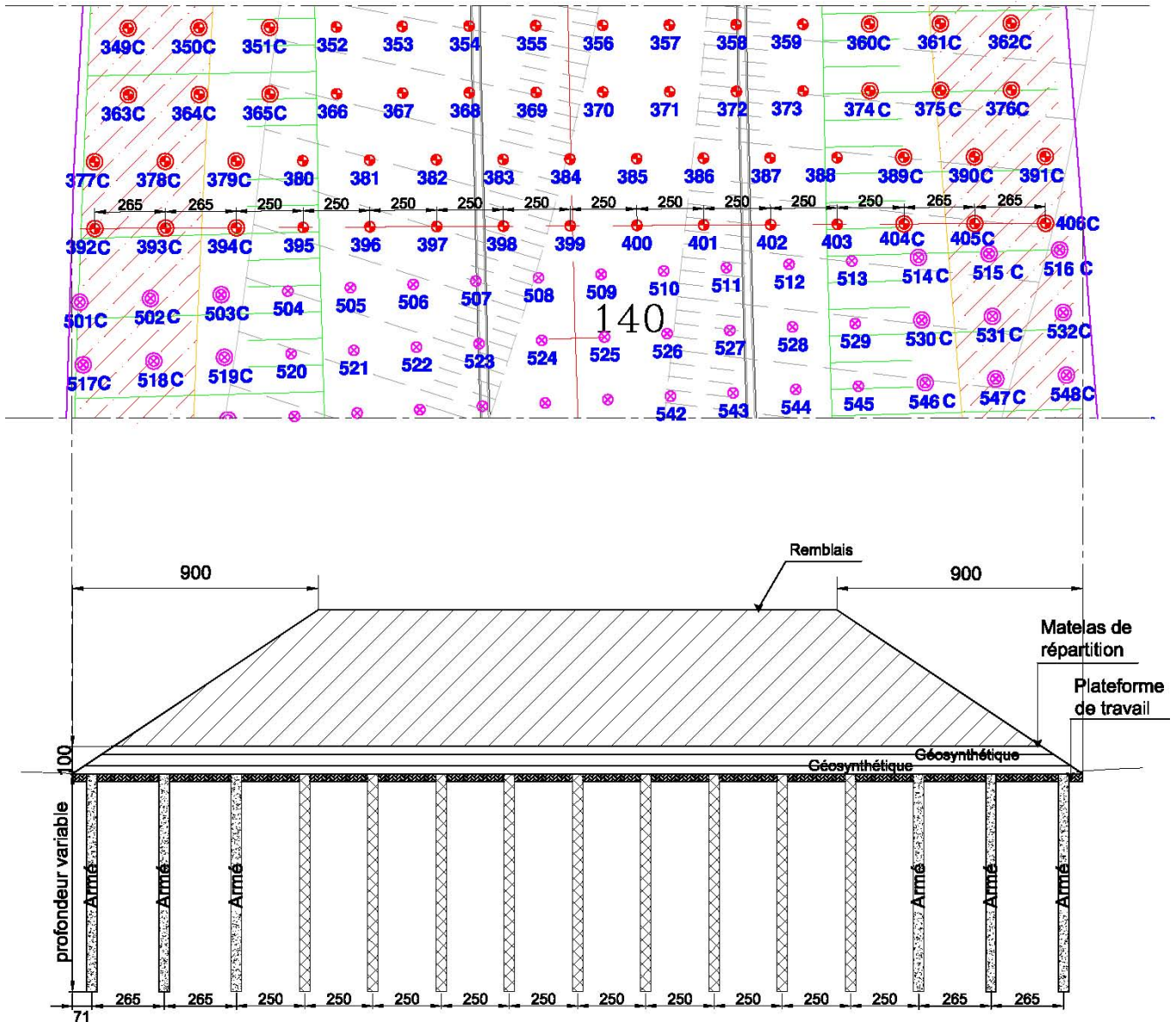


Figure 2. Profil Type pour la hauteur de remblai 6,00 m

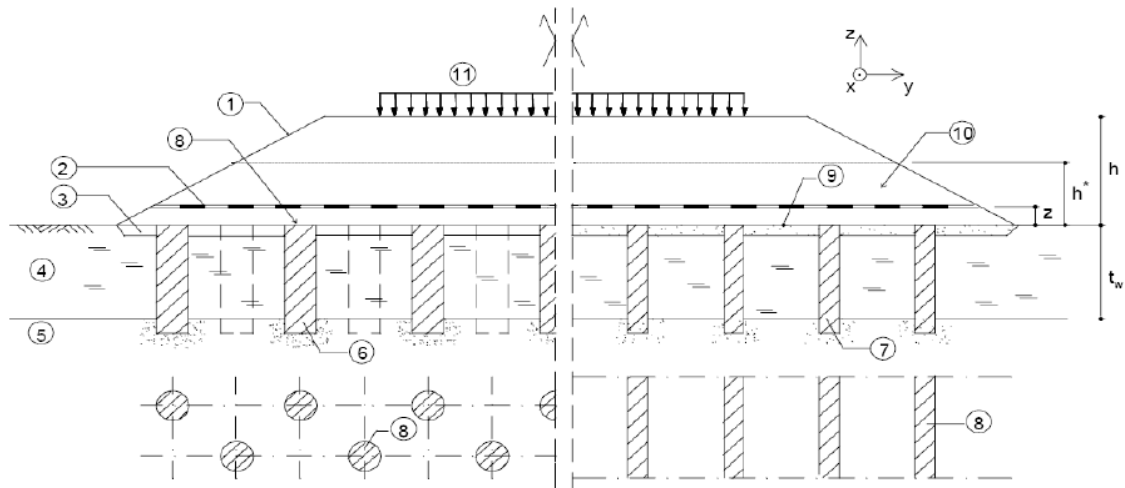
3. Dimensionnement des géosynthétiques de renforcement

Le dimensionnement des géosynthétiques de renforcement a été effectué selon les méthodes développées par EB GEO (Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen) et le projet de norme anglaise BS 8006 : « Code of practice for strengthened reinforced soils and other fills », pour les phases temporaires et d'exploitation

Les résultats ont démontré la nécessité de mettre en place des géosynthétiques de renforcement pouvant mobiliser une résistance à la traction de 352 kN/m sous 3% d'allongement stable pour la durée d'utilisation de l'ouvrage afin de renforcer le radier.

De plus, la société Keller Fondations spéciales, a effectué une vérification par éléments finis à l'aide du logiciel Plaxis, afin de s'assurer de la conformité des tassements, des efforts verticaux et horizontaux dans les inclusions.

Les résultats de ces calculs pour une hauteur de remblai de 4,5 m ont prévu des tassements verticaux au niveau de la chaussée de l'ordre de 1,7 cm, répartis d'une manière homogène sur toute la chaussée.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| ① Renblai renforcé | ⑥ Inclusion rigide ponctuelle |
| ② Surface de renforcement | ⑦ Inclusion linéaire |
| ③ Surface de travail | ⑧ Aire de la tête d'inclusion |
| ④ Sol compressible | ⑨ surface de travail |
| ⑤ Couche dure | ⑩ zone avec sol non cohérent |
| | Surcharge |

Figure 3. Schéma de principe EBGEO.

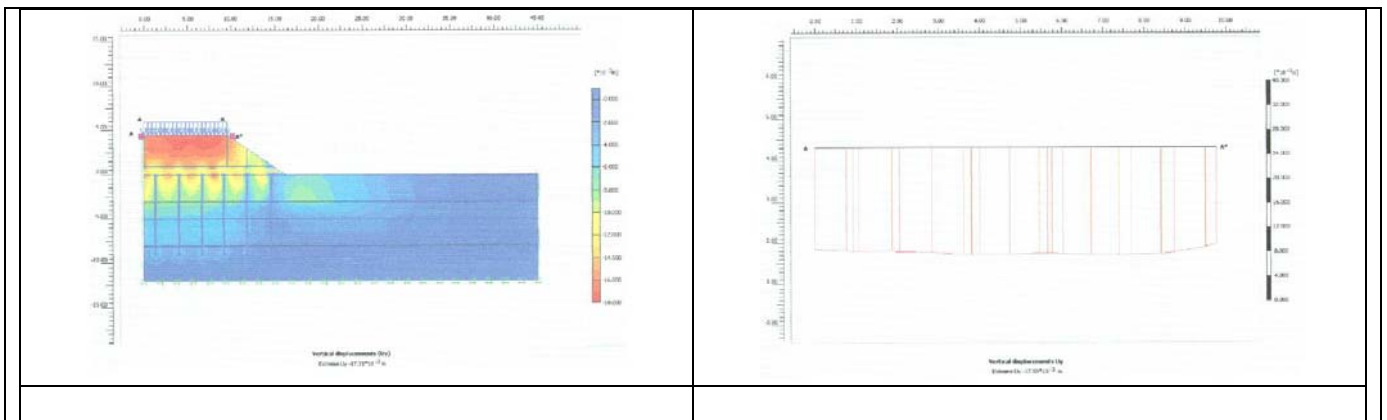


Figure 4. Résultat des calculs de tassement par Plaxis

4. Les géosynthétiques de renforcement.

La solution optimale aurait été l'utilisation d'une géogridde de renforcement de la gamme Fortrac® R 1000/100-20 T, ayant une résistance à la traction de 1000 kN/m sous 8 % d'allongement, permettant une optimisation de la résistance à la traction, une très bonne interaction avec le sol et de fait des longueurs d'ancrage et de recouvrement réduite. Cependant, pour diverses raisons, le choix s'est porté sur un produit de la gamme Stablenka® ayant une résistance à la traction de 1200 kN/m pour 10 % d'allongement.



Figure 5. Gamme Fortrac®

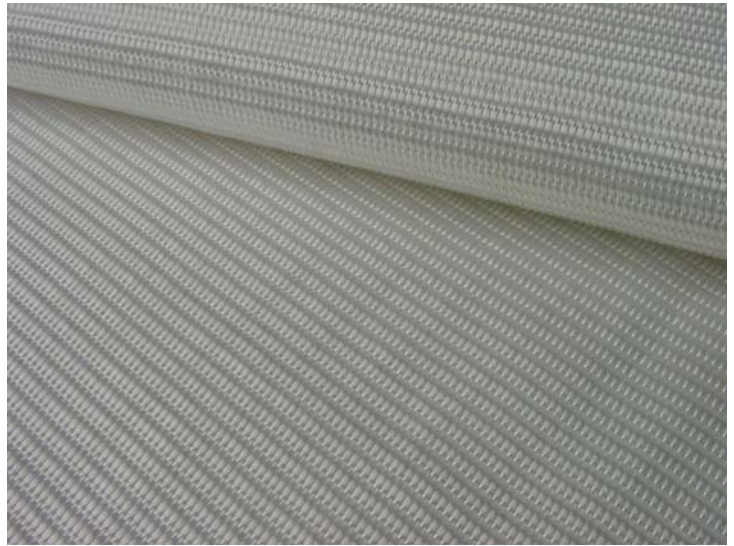


Figure 6. Gamme Stabilenka®

5. Mise en œuvre des différents lés

Un plan de calepinage a été établi et des conditionnements particuliers ont été effectués pour ce chantier (Figure 7).

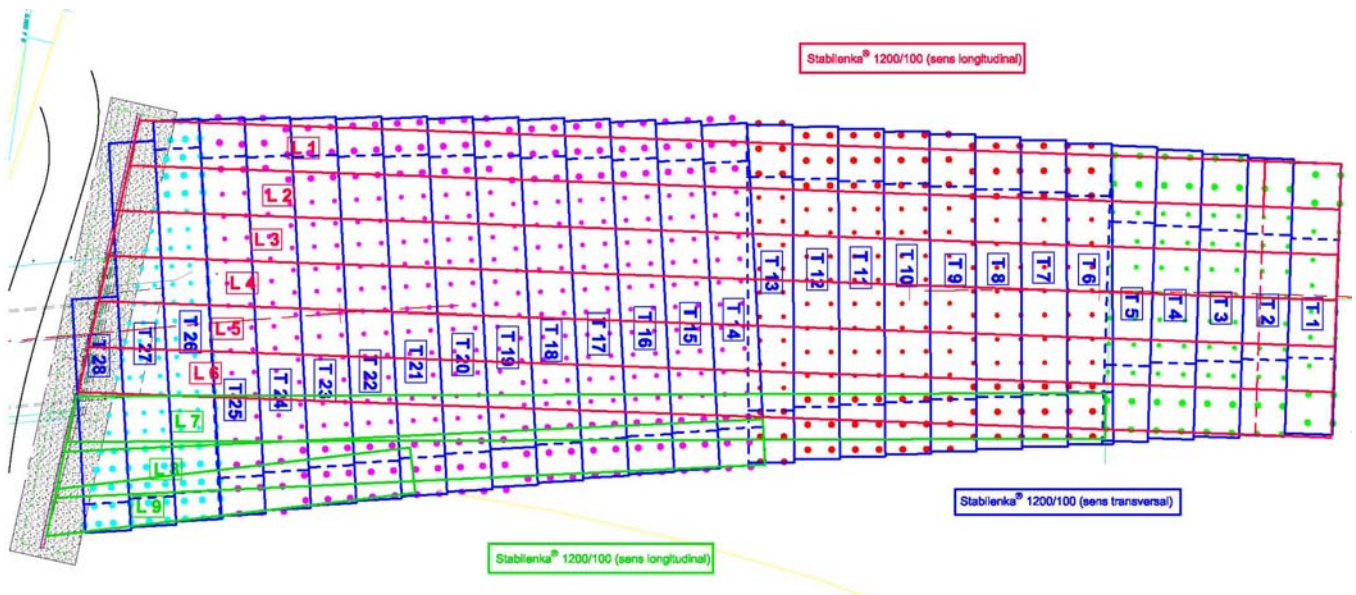


Figure 7. Plan de calepinage de la zone Nord.

5. Conclusion

Ce chantier exceptionnel a permis de comparer et d'analyser les deux principes de dimensionnement EBGeo et BS 8006, interprétés par un producteur de géosynthétiques et une entreprise de fondations profondes, et de comparer, ces résultats avec des simulations par éléments finis. Après validation par la maîtrise d'œuvre (SNCF – Direction de l'Ingénierie), le chantier de fondation et le radier de répartition armé ont été réalisés dans les délais impartis et ont donné satisfaction à l'ensemble des parties.



a) Mise en œuvre des lés transversaux



b) Mise en œuvre des lés longitudinaux



c) Rouleaux en attente à approche de l'ouvrage



d) Montage du remblai



e) Préparation du tablier sur le remblai



f) Lancement du tablier au dessus des 8 voies ferroviaires

Figure 8. Photos des phases du chantier

6. Références bibliographiques

Pr BS 8006 : Code of Practice for strengthened reinforced soils and other fills, BSI, London.
EBGEO : Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutschland.