

Rénovation de voie ferrée par un géotextile non-tissé thermolié

N. LAIDIÉ & R. DIEDERICH, DuPont de Nemours, Luxembourg

Résumé

La ligne Moscou-St Petersburg ne pouvait plus supporter la circulation des convois à grande vitesse, conséquence de la contamination du ballast par les fines particules du sol support. La rénovation de la structure a consisté en l'extraction d'une partie du ballast, son nettoyage et la mise en œuvre d'un géotextile non-tissé thermolié sur lequel le ballast nettoyé a été redéposé. Cette opération, réalisée à l'aide d'une machine conçue spécialement à cet effet, n'a entraîné que de faibles perturbations du trafic. Plusieurs combinaisons de structure type sur un site-pilote ont été testées puis évaluées après un an d'utilisation. Cinq ans après la mise en service, la structure a été ouverte en quatre emplacements différents pour analyser l'état du géotextile. Les résultats ont confirmé l'efficacité de la solution technique proposée, qui a, depuis, été répétée sur d'autres lignes dans le monde.

1. INTRODUCTION

Construite selon des critères de construction de grande qualité pour l'époque, la ligne ferroviaire reliant Moscou à Saint-Petersbourg a été achevée en 1851. Elle supporte aujourd'hui plus de 2 millions de passagers et plus de 100 millions de tonnes de marchandises par an.

Bien que faisant l'objet d'une surveillance et d'un entretien réguliers, la ligne repose toujours sur ses fondations d'origine, témoignage de la compétence des pionniers du rail en Russie.

Mais le temps et la surexploitation de la ligne ont eu raison de la structure car les interruptions de trafic et les importantes réductions des vitesses pratiquées sur la majeure partie du linéaire se sont multipliées.

Le ministère russe en charge des voies ferrées a donc décidé de procéder à d'importants travaux de rénovation afin que la voie puisse accueillir des trains de voyageurs circulant à grande vitesse et des convois de marchandise dont la charge par essieu pourra atteindre 230kN, tout en diminuant de moitié le temps de parcours.

Ces objectifs impliquent une amélioration significative de la portance de la structure de la voie, dont le ballast s'est progressivement dégradé. La structure souffre en effet sur la quasi-totalité du linéaire de tassements différentiels dus aux sols support rencontrés et à la remontée de fines particules du sol dans le ballast.

Enfin, l'importance stratégique de la liaison entre les deux premières villes de Russie implique le maintien du trafic pendant la phase de travaux, et donc la nécessité de laisser les rails en place et en état de fonctionnement. Les conditions climatiques rigoureuses hivernales ont imposé une planification des travaux de mai à octobre.

2. TRAVAUX DE RENOVATION

Le ballast existant est constitué de roches concassées 25-60mm. Il contient jusqu'à 40% de particules fines, dont 5 à 6 % de diamètre inférieur à 0,1 mm. Ces fines proviennent notamment du sol support et sont progressivement remontées dans la structure sous l'effet du passage des convois et de la charge cyclique en résultant. Cet « effet de pompage » se produit principalement au printemps et après de forts épisodes pluvieux.

Les travaux de rénovation consistent en l'enlèvement, le tamisage et la remise en place de la couche supérieure de ballast, sur 40 à 50 cm, en intercalant un géotextile de séparation entre l'ancien et le nouveau ballast. En tant que de besoin, du ballast neuf sera ajouté localement.

2.1. Installation

Les travaux se sont déroulés pendant 8 heures par jour, durant lesquels le trafic était interrompu. Ensuite, la ligne était rendue à la circulation.

L'enlèvement, le nettoyage, la remise en place et le compactage du ballast ainsi que le déroulement du géotextile ont été réalisés grâce à une machine sur rail développée spécialement pour cette application, sans déposer ni rails ni traverses, progressant à une vitesse de 120 mètres par heure.

Le géotextile a été déroulé sur le vieux ballast contaminé et recouvert de ballast nettoyé, sans couche intermédiaire de protection. La mise en place d'une couche de protection a été discutée puis abandonnée suite à la réalisation de tests sur un site-pilote (voir 3.1)

En vue d'assurer le drainage des eaux d'infiltration, le géotextile est déposé sur le vieux ballast dont la surface est arasée en pente à 4%.

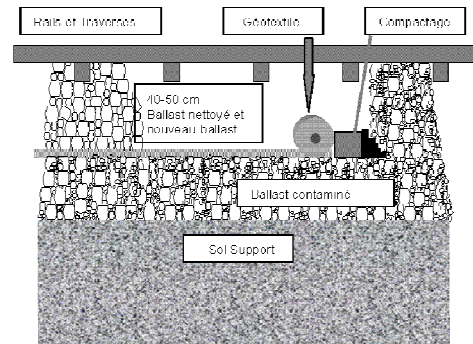


Figure 1 : Principe de l'installation



Figure 2 : Processus de rénovation de la ligne automatisé

2.2. Géotextile

Les performances de plusieurs géotextiles ont été testées en laboratoire où les conditions de passage de convois ont été reconstituées. Les propriétés des géotextiles ont également été testées conformément aux normes nationales en vigueur dans le domaine des géosynthétiques pour la construction.

Après des essais comparatifs réalisés en laboratoire, le choix s'est porté sur un géotextile non-tissé thermolié constitué de filaments continus en polypropylène, pour son module initial élevé et sa grande capacité d'absorption d'énergie.

En outre, la structure pré-comprimée de ce géotextile lui procure une faible épaisseur et par conséquent une plus grande longueur de produit sur un rouleau de diamètre donné. Considérant la faible hauteur disponible sous les traverses et le linéaire à traiter, ce paramètre revêt une importance particulière.

	Normes	Unités	
Résistance à la traction à la rupture	EN ISO 10319	kN/m	21.3
Allongement à la rupture	EN ISO 10319	%	55
Résistance à 5% d'allongement	EN ISO 10319	kN/m	8.8
Energie absorbée réelle	EN ISO 10319	kJ/m ²	9.8
Résistance au poinçonnement CBR	EN ISO 12236	N	3150
Perméabilité sous 20kPa	DIN 60500-4	10 ⁻⁴ m/s	1.6
Masse surfacique	EN ISO 9864	g/m ²	290
Épaisseur sous 2 kN/m ²	EN ISO 9863-1	mm	0.73
Longueur par rouleau		m	110

Tableau 1 : Propriétés du géotextile Typar® SF 85

3. CHOIX DU TYPE DE STRUCTURE

3.1. Construction d'une section-pilote.

Les représentants du maître d'ouvrage pensaient qu'en l'absence d'une couche de protection en sable, le géotextile serait endommagé pendant l'installation ou rapidement après la mise en service. Pour cette raison, un site-pilote a été construit sur la ligne Moscou-Saint-Petersbourg, sur lequel différentes configurations de structure ont été installées : (du haut vers le bas)

- a/ ballast nettoyé – géotextile thermolié – ballast contaminé
- b/ ballast nettoyé – couche de protection de graviers – géotextile thermolié – ballast contaminé
- c/ ballast nettoyé – couche de protection de sable – géotextile thermolié – ballast contaminé
- d/ ballast nettoyé – géotextile thermolié – couche de protection de sable – ballast contaminé
- e/ ballast nettoyé – géotextile thermolié – géotextile thermolié – ballast contaminé
- f/ ballast nettoyé – géotextile thermolié – ballast contaminé
- g/ ballast nettoyé – géotextile aiguilleté (400g/m²) – ballast contaminé

Le trafic a été rétabli sur la section pilote, et après un an de service, pour chaque configuration de structure, un échantillon de géotextile a été prélevé et le niveau de contamination du ballast par des particules fines a été examiné. Les masse surfacique, teneur en eau et résistance à l'endommagement des échantillons de géotextile ont été mesurés en laboratoire et analysés.

3.2. Analyse des résultats et discussion.

Les tests sur le géotextile dans chacune des sept configurations ont été réalisés après un an de service afin de détecter et quantifier son évolution. Les quantités d'eau et de sol dans le géotextile ont été mesurées.

Configuration	Masse surfacique (g/m ²)			Quantité de particules de sol dans le géotextile	Contenu hydrique (%)	
	Avant utilisation	Après extraction (échantillon humide)	Après séchage			
Géotextile seul	290	828	641	351	29.1	
Géotextile sous couche de graviers	290	541	442	152	22.4	
Géotextile sous couche de sable	290	486	443	153	9.6	
Géotextile sur couche de sable	290	581	511	221	13.7	
2 couches de géotextiles	couche supérieure	290	763	600	310	27.2
	couche inférieure	290	780	632	342	23.4
Géotextile aiguilleté seul	400	1468	1035	635	41.9	

Tableau 2 : Analyses réalisées sur le géotextile après un an de service

La première observation est que la présence d'une couche de protection, sous ou sur le géotextile, diminue significativement la quantité de particules piégées dans le géotextile ainsi que sa teneur en eau par rapport à la configuration sans couche de protection.

En ce qui concerne le niveau d'endommagement du géotextile, seules quelques perforations de faible dimension (1 à 2 mm de diamètre) ont été observées, représentant moins de 0,2% de la surface totale du géotextile.

D'une part la performance du géotextile, en termes de résistance à l'endommagement a été démontrée à moyen terme. D'autre part, la couche de protection procure certes des avantages structurels mais sa mise en œuvre complique et ralentit nettement les travaux de rénovation de la voie. Pour ces raisons, il a été décidé de retenir la configuration avec un géotextile seul, intercalé entre l'ancien et le nouveau ballast, sans couche de protection intermédiaire.

4. EXTRACTION DU GEOTEXTILE APRES CINQ ANS DE SERVICE

Cinq ans après la mise en service de la ligne rénovée suivant la méthode décrite par avant, des échantillons de géotextile ont été extraits en plusieurs sites, afin d'observer l'état du géotextile. La masse surfacique, la résistance à la traction et la perméabilité ont été mesurées et comparées aux valeurs mesurées en laboratoire avant travaux.



Figures 3 et 4 : Extraction du géotextile

4.1. Propriétés mécaniques résiduelles

La surface endommagée des géotextiles après cinq ans de service représentait 0,3% de la surface totale, à comparer avec les 0,2% mesurés après un an de service.

La résistance à la traction résiduelle après un an était de 74% de la résistance initiale, et de 72% après cinq ans.

Il apparaît donc que la perte de résistance et l'endommagement du géotextile se sont produits au cours des travaux ou rapidement après la mise en service, et n'ont pas significativement évolué avec le temps.

Toutes les mesures ont été réalisées selon les normes russes en vigueur.

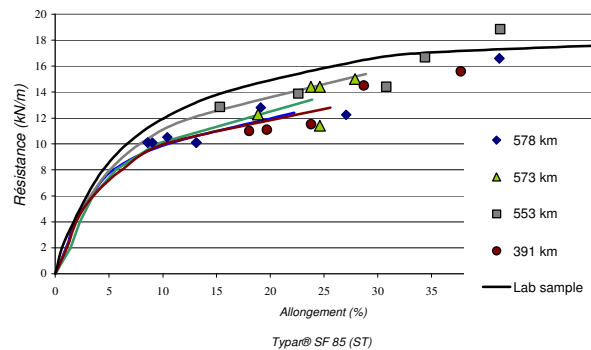
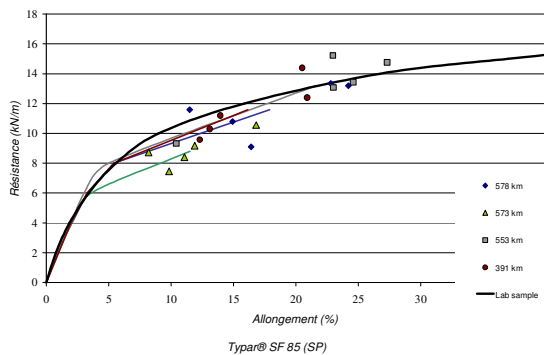
Pk	Echantillon	Force max SP	Elongation Max SP	Force max ST	Elongation Max ST
578	1	540	14.9	505	13.1
	2	580	11.6	523	10.4
	3	660	24.1	612	27.1
	4	455	16.0	640	19.1
	5	668	22.9	830	41.3
	Moyenne	581	17.9	622	22.2
	Sidev	89	5.4	130	12.5
573	1	420	11.1	614	18.9
	2	373	9.8	570	24.6
	3	436	8.2	750	27.9
	4	459	11.7	720	23.8
	5	528	16.7	720	24.6
	Moyenne	443	11.5	675	24.0
	Sidev	57	3.2	78	3.2
553	1	654	23.0	694	22.6
	2	761	22.6	942	41.4
	3	466	10.4	720	30.8
	4	672	24.6	643	15.3
	5	738	27.3	834	34.4
	Moyenne	658	21.6	767	28.9
	Sidev	116	6.5	120	10.2
391	1	720	20.5	550	18.0
	2	560	13.9	576	23.8
	3	479	12.3	555	19.7
	4	620	20.9	780	37.7
	5	515	13.1	725	28.5
	Moyenne	579	16.1	637	25.5
	Sidev	95	4.2	107	7.9

Tableau 3 : Résistance et élongation du géotextile après 5 ans de service – norme russe (N/5cm)

Les figures 5 et 6 présentent les courbes résistance-élongation après 5 ans de service, en différents points kilométriques de la ligne, ainsi que la courbe initiale, mesurée sur le produit avant mise en œuvre. La résistance à la traction a été mesurée sur des éprouvettes de 5 cm de largeur, conformément à la norme russe en vigueur.

Le module initial n'a pas diminué avec le temps.

La résistance au poinçonnement selon la norme russe est également restée inchangée après cinq ans de service.



Figures 5 et 6 : Courbes résistance-allongement dans chaque direction du Typar® SF 85 neuf et après 5 ans de service

4.2. Propriétés hydrauliques résiduelles

Les échantillons de géotextile extraits de la structure cinq ans après la mise en service de la ligne étaient chargés de particules fines. Les mesures réalisées sur ces échantillons contaminés ont mis en évidence une diminution de la perméabilité du géotextile de 1,5 fois par rapport à celle des échantillons neufs.

Cependant, l'analyse de la structure en chacun des quatre sites de prélèvement a montré que cette diminution de la perméabilité du géotextile n'a pas eu d'influence sur le niveau d'humidité de du ballast, ce qui s'explique par le drainage de l'eau réalisé à la surface du géotextile. La teneur en eau massique du ballast situé au dessus du géotextile était 1 à 2% plus élevé que celui du ballast situé sous le géotextile.

Il a été également constaté que les fines particules qui contaminent le géotextile proviennent majoritairement de l'abrasion de la couche de ballast située au dessus du géotextile, car la surface inférieure des échantillons était nettement moins contaminée.

5. STABILISATION DE LA STRUCTURE

Lors de l'extraction des échantillons de géotextile après cinq ans de service, il a été constaté que le géotextile en place était sous tension dans la structure, ce qui démontre qu'il a agi comme une couche de stabilisation.

Afin de quantifier ce phénomène, des capteurs de charge ont été placés dans la structure sous le géotextile et dans une structure témoin sans géotextile à la même profondeur dans le ballast. Les capteurs sont disposés en trois emplacements :

- Sous une traverse, sous un rail
- Entre deux traverses, entre les rails
- Sous une traverse, à son extrémité

Le facteur de réduction de charge, considéré comme indicateur de l'effet de stabilisation apporté par le géotextile, est le rapport entre les mesures de charge avec et sans géotextile, en chaque emplacement.

Les résultats ont montré que quelque soit le type de trafic et la nature des traverses, le facteur de réduction dans les deux premiers emplacements était de $K=0,33$, et à l'extrémité de la traverse de $K=0,61$.

Le tableau 4 présente les facteurs de réduction de charge dans chacune des configurations, en fonction du type de convois empruntant la ligne. Ces résultats démontrent et quantifient la stabilisation supplémentaire que procure l'utilisation du géotextile sélectionné dans la structure, quel que soit le type de trafic empruntant la voie.

Convoi empruntant la voie	Charge par essieu (kN)	Vitesse (km/h)	Facteur de réduction de charge K		
			Sous les rails sous les traverses	A l'extrémité des traverses	Entre les traverses
Locomotive de convoi de marchandise	245	70	0.53	0.78	0.82
Wagon de marchandise	230	70	0.52	0.76	0.83
Locomotive de train de voyageurs	191	110	0.67	0.84	0.90
	191	160	0.63	0.85	1.00
Wagon de voyageur	157	110	0.79	0.86	0.97
	157	160	0.67	0.69	0.83
Train circulant à grande vitesse	167	175	0.68	0.75	0.92

Tableau 4 : Facteur de réduction de charge pour différents type de trafic

6. CONCLUSIONS

Les essais menés en laboratoire puis dans les conditions réelles avant installation et enfin plusieurs années après la mise en service, ont permis de démontrer la fiabilité de la solution retenue en terme de structure pour la voie ferrée Moscou-St Petersburg. Le géotextile sélectionné a prouvé sa résistance à l'endommagement dans le temps.

Les dommages mineurs constatés sur le géotextile ainsi que sa contamination par les particules fines du sol et du ballast se produisent principalement pendant ou rapidement après l'installation et sont sans effet sur la performance de la structure de voie à long terme.

Le géotextile assure la fonction de séparateur entre les couches d'ancien et de nouveau ballast, évitant la contamination du nouveau ballast par des particules fines du sol.

La contamination du géotextile par les particules fines du sol et du ballast n'a que très peu d'influence sur la capacité drainante du système.

Le géotextile sélectionné, grâce à son module initial élevé, a stabilisé l'ensemble de la structure.

Des convois de surveillance de l'état de la voie passent à une fréquence bimensuelle. Les mesures correspondantes montrent que les sections stabilisées avec le géotextile sélectionné demeurent planes après plusieurs années et permettent toujours de supporter les trains à la vitesse et la charge souhaitées.

REFERENCES

- Central Scientific & Research Institute of Ministry of Rails of Russian Federation, 1972. Stress and elastic deformations in the ballast bed under trains impact. Moscow: Publishing house "Transport".
- Diederich, R. 2000. Evaluation of Installation Damage of Geotextiles. A Correlation to Index Tests, YiChang China 2000, Fifth Conference on Geosynthetics
- Rails and Engineering Department, Ministry of Rails of Russian Federation, 1999. Technical guideline for the application of foamed polystyrene and geotextile in railway ballast bed without removal of rails and sleepers. Moscow.
- Research report N 84/97, 1997. Laboratory evaluation of Russian geotextiles for the possible application as separation layer in the railway St. Petersburg-Moscow. Moscow: University Of Transport Engineers.
- Research report N 06/97-z, 1998. Observations on the rails stability, conditions of ballast bed and protection layers on the test repair department. Moscow: Research & Production Company "Geonika-PM".
- Research report N 03/98-z, 1998. Observations on the rails stability, conditions of ballast bed and protection layers on the test repair department. Moscow: Research & Production Company "Geonika-PM".
- Research report N 68/99, 1999. Measurements of stress and deformations in the ballast bed on the high speed test section on a stable sub-base. Moscow: University Of Transport Engineers.
- Watn, Eiksund, Knutson. 1998. Deformations and Damage of Nonwoven Geotextiles in Road Construction, Atlanta 1998, Sixth International Conference on Geosynthetics