

TRAITEMENT DES ZONES PÉLITIQUES SUR LE TRACÉ DE LA LGV TANGER-KENITRA PAR UN GÉOCOMPOSITE ÉTANCHE

TREATMENT OF PELITIC AREA ON THE COURSE OF LGV TANGER KENITRA BY A WATERPROOF GEOCOMPOSITE

Patrick BROCHIER ¹, Jean Luc MICHAUX ¹, Chakib EL IRAKI ²

1 Terageos, Veurey Voroize, France

2 Valtech, Rabat, Maroc

RÉSUMÉ – Au Maroc, le projet de ligne ferroviaire à grande vitesse entre Tanger et Casablanca traverse des zones de matériaux sédimentaires argileux appelés pélites. En présence d'eau, ces matériaux gonflent et provoquent des mouvements de sol qui peuvent impacter les infrastructures. C'est pourquoi, il a été nécessaire de traiter cette problématique par la mise en place d'une barrière étanche qui isole le sol des infiltrations d'eau. Cette barrière est constituée d'un géocomposite tricouches - géotextile + géomembrane + géotextile - avec la double fonction de protection anti-poinçonnante et d'étanchéité entre le sol support (pélites) et les matériaux de remblai. Ce produit est assemblé industriellement en usine.

Mots clefs : pélites, géocomposite étanche, étanchéité, voie ferrée, gonflement d'argile

ABSTRACT – In Morocco, the high-speed railway line's project between Tanger and Casablanca crosses areas of clayey sedimentary materials called pelites. In presence of water, these materials are swelling and cause ground movements who can impact the infrastructures. That is why, it has been necessary to treat it by the installation of a waterproof barrier isolating the ground from the water infiltrations. This barrier is made from a tri-layers geocomposite : geotextile + geomembrane + geotextile. The product has a double function: anti-punching protection and sealing between the support soil (pelites) and the embankment. This product is assembled industrially in the factory.

Keywords: pelites, waterproof geocomposite, waterproofing, railway track, clay swelling

1. INTRODUCTION

Au Maroc, le projet de ligne ferroviaire à grande vitesse entre Tanger et Casablanca nécessite la réalisation de nombreux remblais et déblais. Le tracé traverse des terrains sensibles d'un point de vue géotechnique, en particulier des zones de matériaux sédimentaires argileux appelés pélites.

En présence d'eau, ces matériaux gonflent et provoquent des mouvements de sol qui peuvent impacter la structure de la voie.

C'est pourquoi, une barrière étanche par une solution géosynthétique a été développée et mise en place dans ces zones de déblais. Deux tranchées drainantes latérales (tranchées drainantes traditionnelles avec Drain DN 300, matériaux drainants enrobés par un géotextile de filtration), de part et d'autre de l'axe du tracé, complètent le système.

Cet article présente tout d'abord le projet de ligne à grande vitesse, puis le problème des pélites et la solution définie par les bureaux d'études en charge du projet.

Le géocomposite installé est décrit et sa mise en œuvre est présentée.

2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET LGV MAROCAIN

La ligne à grande vitesse Kénitra Tanger est le premier maillon du projet marocain de LGV visant à doter le pays à horizon 2030 de 1500 km de lignes ferroviaires à grande vitesse.

Ce projet de nouvelles lignes comprend deux axes : Casablanca-Oujda en 3 heures (ligne maghrébine, 600 km) et Tanger-Casablanca-Agadir en 4 heures (ligne Atlantique, 900 km).

La liaison Tanger-Kenitra, d'une longueur de 200 km est la première étape de ce projet LGV Atlantique marocain et consiste à construire une nouvelle ligne qui sera reliée au réseau ferroviaire classique existant entre Kenitra et Casablanca.

L'objectif immédiat de cette nouvelle ligne à grande vitesse est de relier les deux pôles économiques constitués par les deux hubs maritimes marocains, l'Atlantique Port de Casablanca et le Méditerranéen Tanger Med et leurs zones d'activités adjacentes.

Il y a lieu de souligner que ce projet de LGV est le fruit du partenariat entre la France et le Maroc d'où la présence de Mr Macron président de la République Française lors de la cérémonie d'inauguration le 15 Novembre 2018. Il y a lieu également de souligner que les grands bureaux d'études français EGIS et SYSTRA ont participé activement à ce projet en tant que Maîtres d'Œuvre.

SNCF et SNCF international ont également participé en tant qu'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage et ont apporté toute leur expertise à cet important projet africain.

La LGV Tanger - Kénitra est conçue selon les référentiels techniques des lignes à grande vitesse conformes aux standards européens. Malgré la rareté des reliefs sur son tracé, la ligne traverse plusieurs zones inondables ou compressibles, ce qui a nécessité de faire appel à 286 ouvrages courants ou hydrauliques se répartissant comme suit :

Pont-rails et Pont-routes : 169 unités

Ouvrages hydrauliques : 117 unités

Viaducs : 12 unités (longueur totale 10 km) :

Viaduc El Hachef de 3,5 km de longueur, ce qui en fait le plus long viaduc ferroviaire d'Afrique ;

Viaduc Mharhar de 700 m de longueur ;

Viaduc Loukkous de 2.5 km de longueur ;

Viaduc Sebou de 250 m de longueur

La LGV Tanger - Kénitra est conçue pour une vitesse commerciale de 320 km/h avec une vitesse potentielle de 350 km/h.

Après la fin totale des travaux sur la LGV Kénitra-Casablanca (conversion d'une ligne classique), le train continuera à une vitesse maximale de 220 km/h sur cette dernière (en attendant, ce sera 160 km/h) pour desservir Rabat et Casablanca sans rupture de charge.

Le temps de trajet qui est actuellement de plus de trois heures en train classique et de deux heures en voiture, sera réduit à 47 minutes entre Tanger et Kénitra. La LGV Tanger - Kénitra permettra également de relier Casablanca à Tanger en deux heures environ au lieu de 4h45 actuellement. (Tableau 1).

Tableau 1.

Gare	Temps actuel	Temps en 2018	Gain de Temps en 2018	Temps en 2020
Tanger	0h00	- -	- -	- -
Kénitra	3h15	47 min	2h 28	47 min
Rabat	3h45	1h20	2h 25	1h00
Casablanca	4h45	2h10	2h35	1h30

Le coût de la ligne à grande vitesse Tanger-Kénitra est estimé à environ 20 milliards de dirhams (2 milliards d'euros). Ces fonds (20 Md DH) sont répartis comme suit : 10 milliards pour l'infrastructure ferroviaire, 5,6 milliards pour les équipements ferroviaires et 4,4 milliards pour le matériel roulant.

Les travaux de terrassement consistant en la réalisation de l'assise de terrain qui servira de plateforme à la future LGV ont été un défi majeur du projet.

Sur le chantier LGV Maroc, ce ne sont pas moins de 67 millions de m³ de remblais et de déblais (volumes cumulés) qui ont été réalisés tout au long du tracé.

Lors des études géotechniques du projet d'exécution menées par SYSTRA et EGIS, des formations pélicitiques ont été reconnues surtout dans le tronçon Nord et plus particulièrement sur les TOARC 1, 2 et 3.

Lors de l'ouverture des fouilles, la présence de ces formations pélicitiques a été confirmée et leur extension définie avec précision (Figure 1).



Figure 1. Présence des pélites confirmée lors de l'ouverture des fouilles

3. LE PROBLÈME DES PÉLITES ET LA SOLUTION RETENUE

Du point de vue de leur caractérisation géotechnique, les pélites sont des matériaux argileux sédimentaires qui sont souvent non saturés en place et, en présence d'eau, gonflent et provoquent des mouvements de sol qui peuvent impacter les infrastructures.

Dans la plupart des zones traitées, les pélites ont été rencontrées à des profondeurs variant entre 1,5 et 10 m sous le TN avec des épaisseurs variant entre 3 et 15 m. Elles ont été classées en différentes catégories : pélites saines, pélites altérées E5a, argiles pélitiques, argiles schistosées ...

Pour les pélites saines, les essais de gonflement sur échantillons reconstitués et compactés au Proctor ont donné un potentiel de gonflement de 8 à 12 % et une pression de gonflement de 3 bars en moyenne pouvant atteindre dans certaines zones 5 bars.

Dans les zones de déblais et pour les calculs de stabilité de talus, les caractéristiques mécaniques adoptées sont : $c' = 27$ kPa, $\varphi' = 16$ degrés, $\gamma_h = 17$ kN/m³.

La nappe se situe à des profondeurs d'environ 15 m sous le TN.

Ces matériaux ne sont pas compatibles avec le projet de ligne à grande vitesse. Pour éviter les phénomènes de gonflement, la solution retenue a consisté en la mise en place d'une barrière étanche isolant, au maximum, les arases pélitiques des matériaux de remblai supérieurs.

Cette barrière étanche est constituée par un géocomposite respectant des caractéristiques mécaniques définies par les bureaux d'études en charge de la Maîtrise d'Œuvre (EGIS et SYSTRA).

Les spécifications pour le géosynthétique retenu sont les suivantes : le géocomposite doit comprendre une géomembrane PEHD 1mm pour l'étanchéité, placée entre deux géotextiles non tissés en polypropylène pour la protection de la géomembrane (figure 2).

Sur la face supérieure, le géotextile présente une masse surfacique de 500 g/m². Sur la face inférieure, elle est de 300 g/m².

Le géocomposite devra avoir une résistance en traction sens production et sens travers (EN ISO 10319) de 30 kN/m minimum et son allongement à la rupture de 110 % maximum.

Il doit résister lors de la mise en œuvre des matériaux ainsi qu'à long terme. Sa résistance à la perforation dynamique (chute de cône, EN ISO 13433) est de 2 mm, sa résistance au poinçonnement statique CBR (EN ISO 12236) est de 7 KN, sa résistance au poinçonnement pyramidal (NF G 38019) est de 3.5 KN.

4. PRESENTATION DU PRODUIT DÉVELOPPÉ POUR CETTE APPLICATION

Notre société Terageos a développé une solution pour ce projet : le Terapro® 300 E10 500. Ce géosynthétique est imputrescible et durable dans le sol grâce à sa constitution, à la fois en géotextiles polypropylène non tissés et en géomembrane PEHD de 1mm d'épaisseur. Sa résistance en traction selon EN ISO 10319 est supérieure à 30 kN/m sens production et sens travers.

La résistance au cisaillement entre les géotextiles extérieurs et la géomembrane est assurée grâce à un process d'assemblage industriel (Figure 3).

Cette adhérence entre les différentes couches du produit renforce la stabilité de la fondation en supprimant les plans de glissement qui pourraient exister entre une géomembrane indépendante et les géotextiles.



Figure 2. Assemblage des couches constituant le géocomposite

Ce système de monobloc multifonctions est produit en une seule pièce grâce à une machine spécialement conçue par notre société pour ce type d'applications. Ce process d'assemblage par hot melt est utilisé par notre société depuis plus de 15 ans maintenant. Ce process conserve l'épaisseur de géomembrane de 1mm. Les longueurs de rouleaux ont été adaptées aux différents secteurs du chantier, afin de limiter au maximum les recouvrements entre des lés consécutifs.

Pour permettre l'effet "tuile" recherché et assurer une continuité de l'étanchéité au niveau des recouvrements, le géotextile n'est pas collé à la géomembrane PEHD sur une largeur de 50 cm, sur le bord du produit afin de permettre un recouvrement d'au moins 30 cm.



Figure 3. Zoom sur le produit

Le produit a deux fonctions principales :

- protection mécanique : les géotextiles situés sur les faces extérieures du géocomposite protègent la géomembrane d'étanchéité en PEHD contre le poinçonnement par le remblai et lors du compactage ;
- étanchéité grâce à la géomembrane PEHD 1mm afin d'empêcher les infiltrations d'eau dans le sol de rejoindre les pérites.

Le produit est certifié CE. Le contrôle qualité du produit est réalisé principalement dans notre laboratoire interne de contrôles qualité (figure 4).



Figure 4. Laboratoire de contrôle interne

Pour ce projet spécifique, les tests de contrôle qualité ont été multipliés, en réalisant des tests complémentaires dans des laboratoires externes certifiés COFRAC comme l'IRSTEA et l'IFTH en France et le CTT au Canada.

La Maîtrise d'œuvre a également procédé à des contrôles qualités en prélevant des échantillons du produit sur le chantier et en réalisant des tests de contrôle directement dans le laboratoire officiel certifié marocain : LPEE.

5. APERCU SUR LE PROCESS DE FABRICATION

Le géocomposite est associé industriellement en usine par la méthode hot melt entre les différentes couches, avec apport de chaleur et de pression.

Le processus combine donc apport de polymère, pression et chaleur, pour réaliser un assemblage imputrescible et définitif.

Cette technique est à rapprocher d'une soudure de géomembrane en polyéthylène par extrusion (apport de matière, chaleur et pression).

6. MISE EN PLACE DU PRODUIT SUR CHANTIER

Comme prévu par le Maître d'Œuvre, la pose des panneaux a été faite par simple recouvrement d'une nappe sur l'autre sur une largeur de 30 cm (figure 5). Cette méthode a fait l'objet d'une discussion car le fournisseur du produit avait préconisé un assemblage par soudure classique (double soudure avec canal de contrôle) de la géomembrane afin de garantir une étanchéité totale.

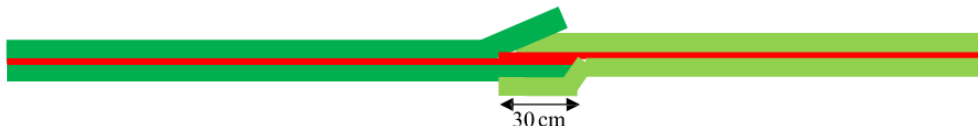


Figure 5. Principe de recouvrement

Au final, la méthode par recouvrement a été adoptée par les Entreprises qui ont établi leur procédure en se basant sur les spécifications du Maître d'œuvre.

Les dispositions retenues pour la pose du géocomposite sont les suivantes :

- pour chaque déblai, avant mise en œuvre du géocomposite, un plan de pose précisant le sens de déroulement et la superposition des rouleaux est établi ;
- le déroulement des rouleaux est effectué manuellement par les ouvriers ;
- l'assemblage des nappes de géocomposite entre elles est réalisé par recouvrement d'une nappe sur l'autre sur une largeur minimale de 30cm ;
- l'assemblage est en tuiles dans le sens des pentes du profil en long et profils en travers.

Après la pose, les dispositions suivantes ont été adoptées :

- pour limiter les risques de déplacement des nappes au niveau du recouvrement et leur soulèvement au niveau des bords extérieurs surtout en cas de vent fort, les nappes ont été lestées par des petits blocs ;
- lors de la mise en place du matériau d'apport, des précautions ont été prises afin d'éviter toute contrainte locale excessive risquant de déplacer les nappes (la circulation des engins à chenilles ou à pneus a été interdite) ;
- l'approvisionnement de la première couche de PST en sol traité à la chaux est réalisé juste après la pose du géocomposite. Ce matériau d'apport (sol traité à la chaux) est posé à l'avancement, ce qui a permis la circulation des engins de transport et de réglage sur la couche de matériau approvisionné, en assurant la protection immédiate du géocomposite ;
- le sens d'approvisionnement et de réglage de la PST a été fait selon le sens de la pente du profil en long (Figure 6).

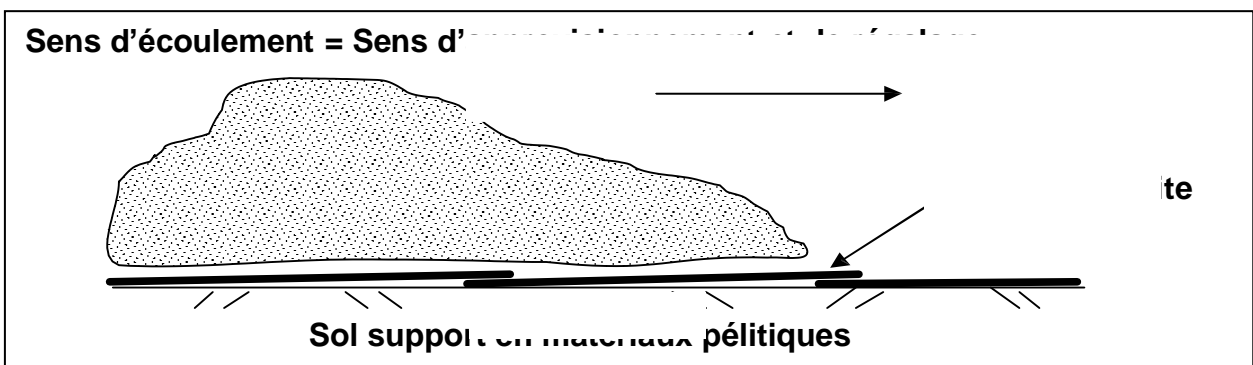


Figure 6. Principe d'approvisionnement des matériaux de remblai



Figure 7. Approvisionnement, étalage et réglage des matériaux de remblaiement après pose du géocomposite



Figure 8. Mise en place des lés de géosynthétique

Afin d'optimiser le calepinage suivant les différents cas de déblais (et largeur des zones à traiter), les entreprises nous ont demandé de leur fabriquer des rouleaux sur mesure en ce qui concerne leur longueur. C'est la raison pour laquelle nous avons 2 cas. Cette méthode de mise en œuvre a été approuvée par la Maîtrise d'Œuvre du projet (EGIS).

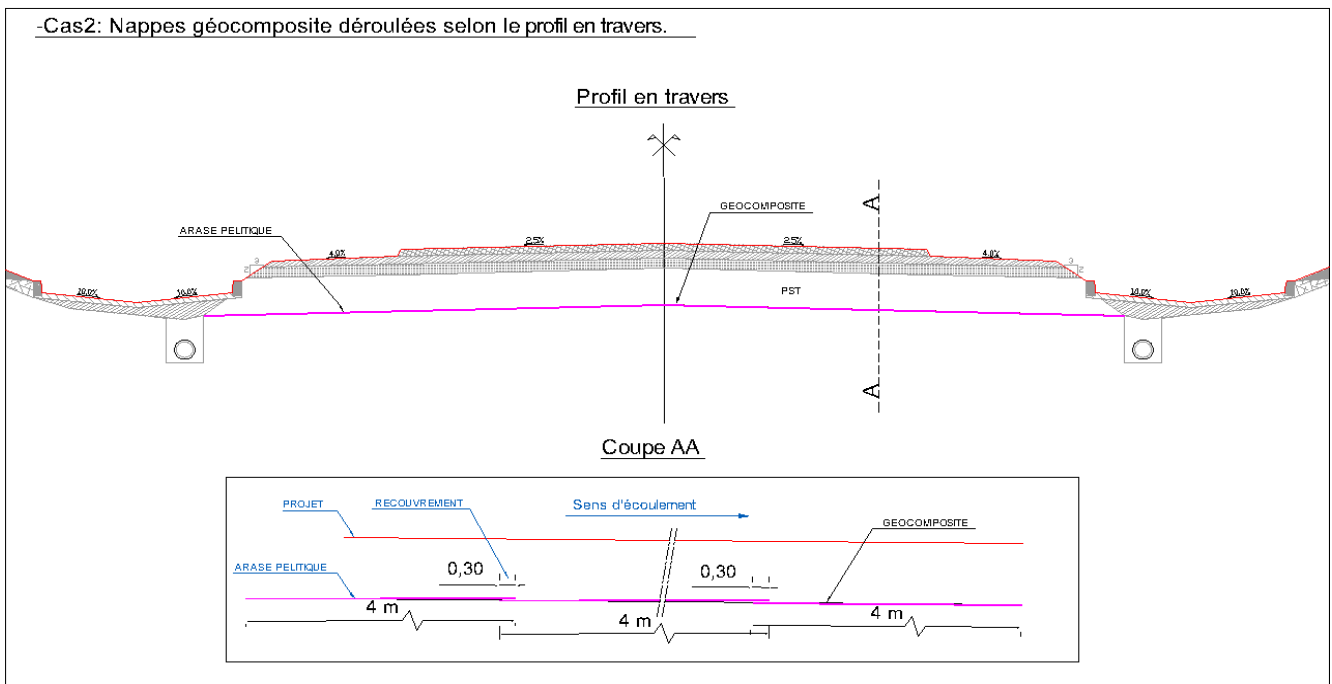
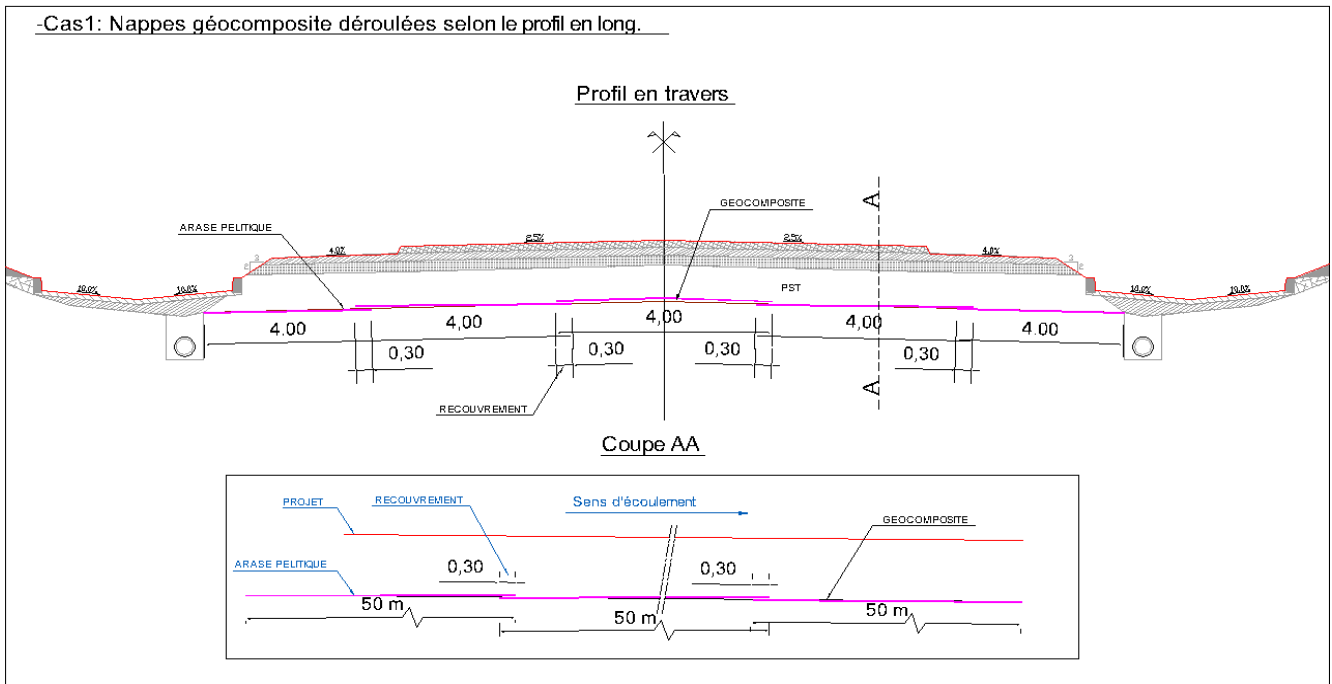


Figure 9 ? Types de calepinage retenus

Dans le cadre du Plan d'Assurance Qualité (PAQ), différents points de contrôle rappelant les exigences relatives à la pose du géocomposite d'imperméabilisation des arases péltiques ont été instaurés. Ils sont récapitulés dans le tableau suivant (tableau 2).

Tableau 2. Exigences relatives à la pose du géocomposite d'imperméabilisation des arases péltiques

Opération	Contrôle	Fréquence de contrôle	Type de contrôle			Nature du point		Spécifications	Formalisation du point de contrôle
			Interne	Externe	Extérieur	PC	PA		
Agrément du géocomposite	-	Chaque produit	X	X	X		X	CCTP Fascicule D (produit à soumettre au MOE pour agrément)	Rapport d'agrément du géotextile
Réception du géocomposite à l'emplacement des travaux	Visuel	Par section et selon approvisionnement	X	X			X	Vérification étiquetage ou marquage sur les rouleaux (Produit correspondant à celui agréé)	Fiche de suivi de pose du géocomposite
Plan de pose du géocomposite	Croquis	Chaque déblai péltique	X	X			X	Selon procédure et en tenant compte des recommandations et observations du MOE	Plan de pose du géocomposite
Réception support	Visuel	Chaque section	X	X			X	- Jonction Drain-Géocomposite nettoyée. - Arase réceptionnée et nettoyée avant pose	Fiche de suivi de pose du géocomposite
Suivi de pose du géocomposite	Visuel	Par section de déblai	X	X			X	* Sens de pose selon plan de pose * Largeur recouvrements > 30cm	Fiche de suivi de pose du géocomposite
Réception pose avant approvisionnement de la PST	Visuel	Chaque section	X	X	X		X	CCTP Fascicule D, plans BPE et présente procédure	FLPA munie de la fiche de suivi de pose du géocomposite
Suivi mise place du matériau d'apport	Visuel	Chaque jour	X	X			X	- Vérification sens approvisionnement des matériaux - Vérification état geocomposite	

7. CONCLUSION

La quantité totale du géocomposite utilisé sur le projet LGV est de 294 000 m².

Il y a lieu de préciser que les livraisons ont fait l'objet d'un contrôle continu aussi bien du fabricant (TERAGEOS) dans le cadre de son PAQ Usine que de la part du fournisseur VALTECH.

Conformément aux instructions des entreprises et du Maître d'Ouvrage (ONCF), un système de contrôle continu des livraisons a été instauré en vue de s'assurer de la qualité et de la traçabilité du produit. Ainsi les essais suivants ont été réalisés au LPEE (CEMGI) aussi bien par la Maîtrise d'Œuvre (EGIS ou SYSTRA) que par les entreprises dans le cadre de leur système de contrôle interne :

- Essais de traction de bande large selon la norme EN ISO 10319 ;
- Essai de perforation dynamique selon la norme EN ISO 13433 ;
- Essai de poinçonnement statique selon la norme EN ISO 12236 ;
- Détermination de la résistance au poinçonnement selon la norme NF G38019.

Tous les essais réalisés ont démontré que le produit répondait largement aux spécifications, notamment en termes de résistances au poinçonnement qui est pour nous le critère fondamental pour ce type d'applications.

Il y a lieu de souligner également l'importance du calepinage adopté sur le chantier, qui a permis aux entreprises d'optimiser au maximum la couverture des surfaces à traiter et de minimiser les pertes par chutes et recouvrement. Pour cela, le fabricant a produit les rouleaux à la longueur souhaitée selon les plans du calepinage retenu pour chaque zone.

La mise en place du géocomposite en couche unique a fait gagner du temps aux entreprises et éviter les inconvénients de la solution traditionnelle en 3 couches de produits successifs.

Depuis la mise en œuvre du produit, aucun désordre n'a été observé au droit des zones traitées après les épisodes pluvieux de Décembre 2016 et Janvier /Février 2017.

8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Norme EN ISO 10319, essai de traction de bande large, 2008

Norme EN ISO 13433, géosynthétiques – Essai de perforation dynamique, 2007

Norme EN ISO 12236, géosynthétiques – Essai de poinçonnement statique, 2006

Norme NF G 38019, essais des géotextiles – Détermination de la résistance au poinçonnement, 1988