

RÉALISATION D'UN REMBLAI EN PNEUSOL ALLÉGÉ EN SITE DE GLISSEMENT DE TERRAIN : CAS DE LA RN 85 – LA MURE (ISÈRE)

EXECUTION OF A REINFORCED FILL USING TIRE SOIL TECHNIQUE IN AN ACTIVE LANDSLIDE : CASE OF RN 85 IN LA MURE (FRANCE)

Yohan PERU¹, Agnès JOSEPH²

¹ Centre d'étude des tunnels, Lyon

² CETE de Lyon, Lyon

RÉSUMÉ – La RN 85 traverse à la sortie de La Mure (Isère) des argiles varvées affectées de mouvements de fluage et de glissements de terrain. Au lieu-dit de Charlaix, en rive gauche de la Bonne, la route est fortement déformée. Les études géotechniques ont conduit à la réalisation de travaux de stabilisation. L'objectif de ces travaux est de garantir un niveau de service acceptable à la route pour les usagers et l'exploitant. Une modification du tracé a entraîné un décalage et un relèvement du profil en long de la chaussée, nécessitant l'édification d'un remblai sur pente. La technique retenue est celle du remblai de type pneusol allégé.

Mots-clés : glissement de terrain, pneusol allégé, géotextile, travaux, surveillance.

ABSTRACT – National road RN 85 crosses at the exit of La Mure varved clays affected by creep movements and landslides. In the locality of Charlaix, on left bank of the Bonne river, the road is strongly deformed. Geotechnical studies were done to define the stabilization works. The objective of these works is to guarantee an acceptable level of service for the users and the road manager. A modification of the position of the road led to increase the altitude of the pavement, requiring the construction of a fill on slope. The chosen technique is the reinforced fill tire soil (pneusol) system.

Keywords: landslide, tire-soil technique, pneusol, geotextile, works, monitoring.

1. Introduction

La Route Nationale (RN) 85 qui relie Grenoble à Nice via Gap, dénommée « Route Napoléon », est un itinéraire d'intérêt touristique et économique majeur. C'est aussi le seul itinéraire dédié aux convois exceptionnels entre Grenoble et Gap.

À la sortie de la Mure, dans la traversée des gorges de la Bonne (département de l'Isère), le tracé de la RN 85 recoupe des moraines surmontant des argiles varvées affectées de mouvements de fluage généralisés.

En rive gauche, versant sud, ces argiles sont le siège d'un glissement de terrain identifié depuis 1979 et qui s'étend sur environ 750 m de large. Ce glissement impacte plus particulièrement le secteur dit du lacet de Charlaix (figure 1), constitué par la branche aval, puis le virage en épingle et ensuite la branche amont.

Deux secteurs plus actifs ont été repérés lors des études géotechniques, un premier dans la branche amont (10 à 11 cm/an) et un second au niveau du virage en épingle (3 à 5 cm/an). La vitesse des mouvements de terrain augmente avec la mise en charge de la nappe présente dans les moraines, dont l'alimentation est dépendante des précipitations. Cette mise en charge contribue à augmenter la pression interstitielle dans les argiles varvées, peu consistantes sur les 15 premiers mètres.

Au droit de l'épingle, dont le tracé pentu est très fermé, une marche de plusieurs centimètres est apparue progressivement sur la chaussée. Le risque de renversement des poids lourds s'est aggravé en parallèle avec l'obligation de prendre des trajectoires débordant de plus en plus sur la voie de gauche pour éviter de heurter la route avec le châssis des remorques.

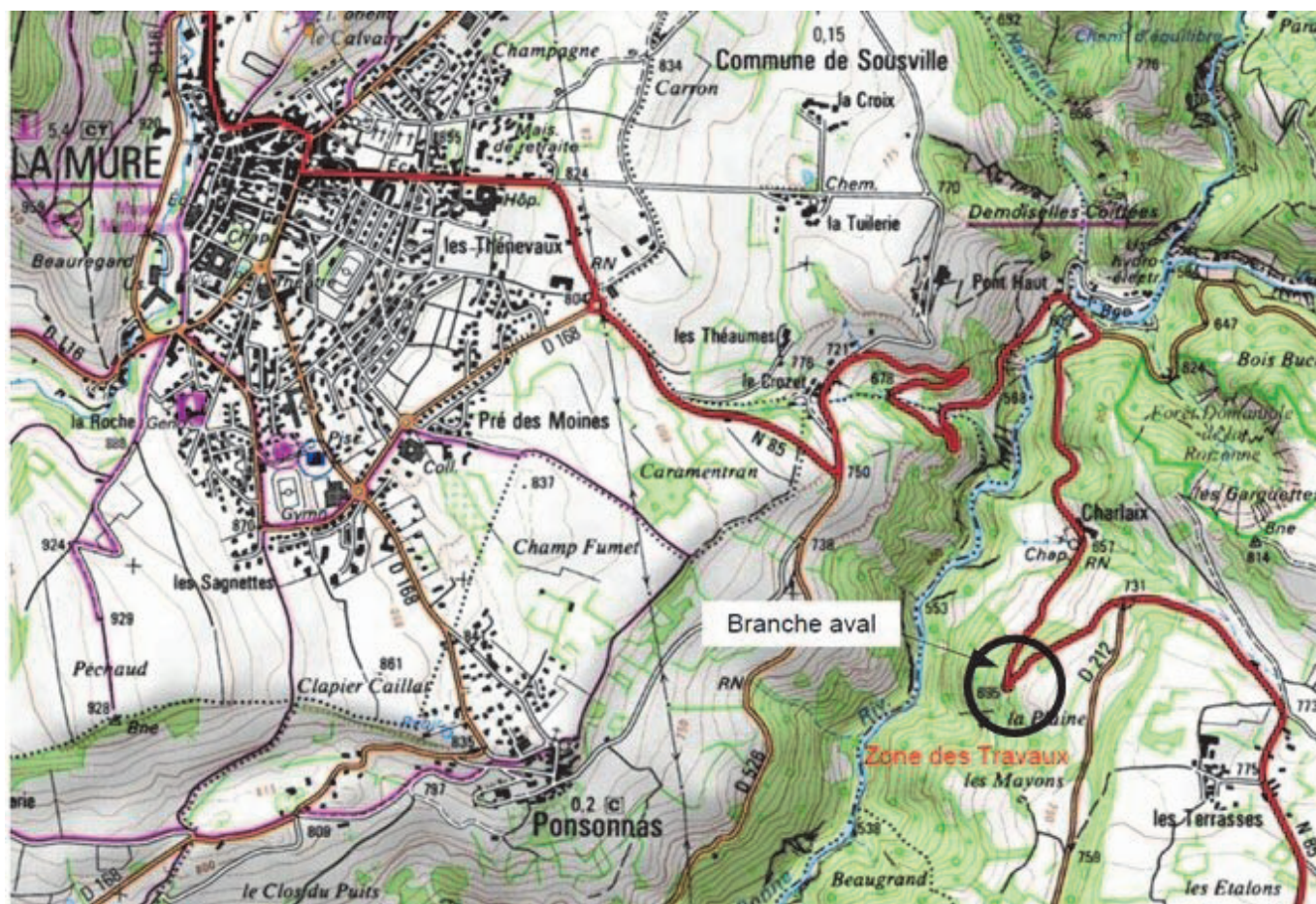


Figure 1. Localisation du lacet de Charlaix

Les études géotechniques menées sur ce secteur ont donc eu pour objectif de stabiliser l'ensemble de la zone amont, le virage et la branche aval du lacet. Dans un premier temps, le tracé routier est modifié dans l'ensemble du secteur. L'épingle est déplacée de façon à éviter la zone instable. Le virage est élargi et l'angle plus ouvert. La branche amont du lacet s'engrave dans le versant et les talus sont stabilisés par un masque drainant. En aval, le réhaussement du profil en long conduit à construire un remblai sur pente en limite de stabilité. Dans ce contexte, une solution de remblai allégé par la technique pneusol a été retenue car elle permet le respect de la géométrie du nouveau tracé, de réduire les surcharges risquant de générer de nouvelles déformations ou instabilités et d'éviter la réalisation d'une dalle de transition.

L'ensemble du dispositif de confortement est complété par des tranchées drainantes en amont et en aval, permettant de rabattre le niveau piézométrique de la nappe circulant dans les moraines, ce niveau influençant directement la stabilité générale du site.

2. Description et conception du massif de pneu-sol

Les études géotechniques ont établi un phasage général des travaux sur l'ensemble du secteur. Ainsi, les travaux dans la partie amont du site et sur la branche amont du lacet sont réalisés dans un premier temps. Il n'est en effet pas envisageable d'effectuer des travaux en partie aval sans avoir stabilisé l'amont.

L'étude de la stabilité externe est menée à partir d'une modélisation géologique et géotechnique, issue des résultats des reconnaissances. Les calculs sont réalisés en rupture circulaire, méthode de Bishop, sans coefficient partiel de sécurité. La surcharge routière est prise égale à 20 kPa. La stabilité amont après travaux et la stabilité initiale aval avant travaux ne doivent pas être dégradées. Le coefficient de sécurité minimal est $F = 1,13$.

À partir des échantillons du sondage carotté, des résultats des essais pressiométriques, des enregistrements des paramètres de forage et des essais de laboratoire, trois formations "type" ont été retenues pour établir le modèle géotechnique :

- des limons bruns sableux à graviers et galets (Moraines) ;
- des argiles grises varvées glacio-lacustres légèrement sableuses très peu consistantes voire déstructurées ;
- des argiles grises litées, graveleuses et plus compactes avec éléments rocheux (dépôts de fond de bassin).

Les caractéristiques retenues sont les suivantes :

- Moraines : $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ - $c' = 0 \text{ kPa}$ - $\phi' = 30 \text{ degrés}$;
- Argiles grises : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ - $c' = 3 \text{ kPa}$ - $\phi' = 22 \text{ degrés}$;
- Remblai allégé et renforcé (Pneusol) : $\gamma = 11 \text{ kN/m}^3$ - $c' = 0 \text{ kPa}$ - $\phi' = 30 \text{ degrés}$;
- Interaction sol-géotextile : rapport $\tan \phi'_{\text{géotextile}} / \tan \phi'_{\text{sol}} = 0,7$.

Le niveau de la nappe est déduit des relevés piézométriques et des cellules de pression interstitielle (CPI). Les surfaces de rupture sont calées sur les observations de terrain et les mesures inclinométriques.

La justification interne est menée avec le logiciel CARTAGE LCPC. Le coefficient de sécurité est de 1.5 pour la stabilité interne. Ce résultat est obtenu pour un remblai de 7 m de hauteur maximale, penté à 1H/5V. Les nappes de géotextile ont une tension à la rupture de 200 kN/m (ou raideur $J = 2000 \text{ kN}$) et sont espacées de 0,5 m en hauteur avec un recouvrement au centre du remblai de 30 cm. Un coefficient de sécurité partiel de 5 est appliqué sur la tension de rupture. Deux géogrilles espacées de 0,15 m et de 15 m de largeur, présentant une tension à la rupture de 400 kN/m, sont placées dans la couche de forme. La figure 2 montre le profil en travers de l'ouvrage déduit des calculs.

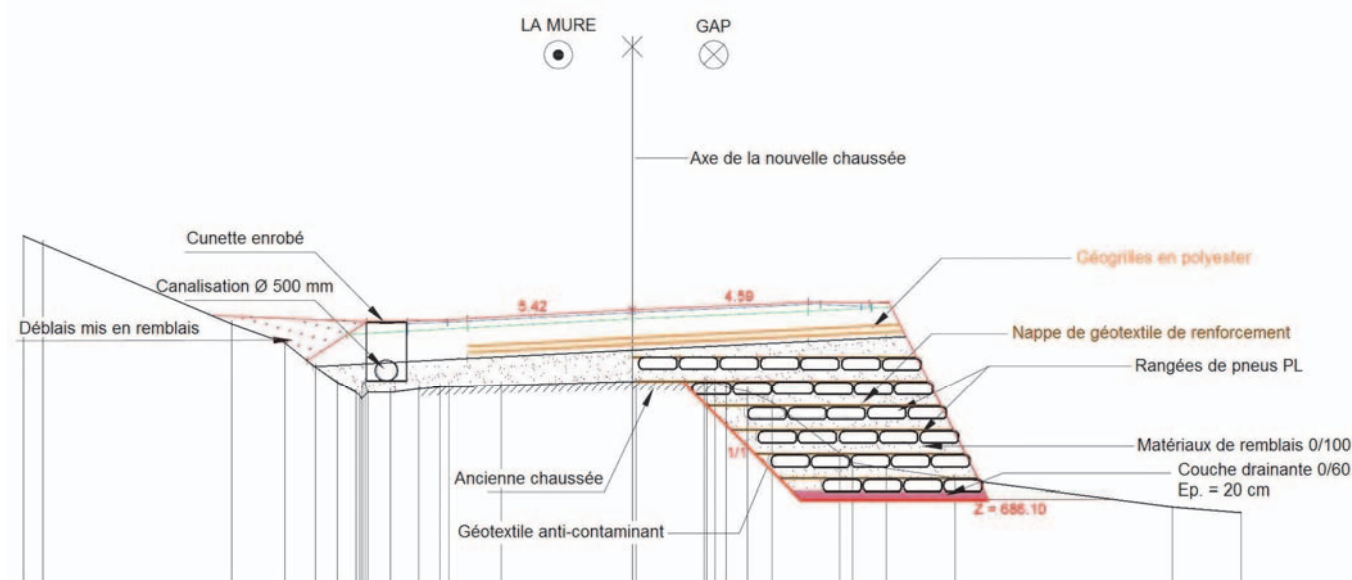


Figure 2. Profil en travers de l'ouvrage en pneusol allégé branche aval du lacet de Charlaix

Si la stabilité générale du site n'est pas dégradée, en revanche, il n'est pas possible d'obtenir une amélioration globale du coefficient de sécurité de $F = 1,13$. Le site sera donc instrumenté et fera l'objet d'une surveillance. Une solution de renforcement par pieux en aval du remblai est envisagée le cas échéant. La stabilité provisoire de la fouille est précaire mais permet de réaliser le remblai sans phasage.

3. Exécution des travaux

Le principe de réalisation de ce remblai léger est de superposer des nappes de pneus de poids lourds (PL) entre des couches de remblai. Un géotextile est intercalé entre la partie supérieure de la nappe de pneus et la base de remblai. Ce géotextile, non tissé, est posé de manière assez lâche pour lui permettre d'épouser tout le volume de la jante au cours du déversement du remblai et d'empêcher les matériaux de pénétrer dans l'espace de la chambre à air comme montré sur la figure 3.



Figure 3. Mise en place du géotextile de renforcement, première couche sur la base drainante

La base du remblai est constituée de matériaux concassés 0/60 mm sur 20 cm d'épaisseur afin de constituer une base drainante. Une première nappe de pneus est ensuite déposée à plat avec une disposition orthorhombique, puis un géotextile non tissé est mis en place sur cette nappe, conformément au guide technique du LCPC «Rapports des Laboratoires – Série Géotechnique GT7 – Le Pneusol». Sur ce géotextile est déposée une couche de remblai (matériau 0/100 mm) sur 25 à 30 cm d'épaisseur puis compactée avec un compacteur à bille, plus utilisé sans vibration compte tenu de la souplesse des pneus. La deuxième couche de pneus est posée de manière identique que la première, avec un décalage d'un demi-diamètre environ de façon à ce que le caoutchouc du premier lit se trouve sous le remblai du second. L'opération est répétée jusqu'à la cote finale voulue. Un géotextile anticontaminant est placé à l'arrière du massif en pneusol au contact du terrain naturel, comme montré sur la figure 4.



Figure 4. Réalisation du remblai en pneusol allégé, disposition des pneus

La couche de forme est armée de deux nappes de géogrilles en polyester, espacées de 0,15 m dont la nappe inférieure est posée à 0,15 m du fond de forme.

Les géotextiles de renforcement sont des produits Basetex de type 200/50 (géotextile) et 400/50 (géogrille) de la société TENSAR. Les pneus sont liés avec des sangles polyester CC 60 de liaison / EU REC. Le géotextile de séparation est un S82 de la société BIDIM.

Au cours des travaux, une attention toute particulière a été apportée au liaisonnement des pneus entre eux avec les sangles polyester. Celles ci devaient présenter une résistance à la traction imposée supérieure à 14 kN, vérifiée par des essais en laboratoire.

La taille des pneus a également fait l'objet d'une attention privilégiée, tout pneu ne respectant pas une largeur de 0,3 m est retiré du stock. Après découpe d'un flanc du pneu, sa résistance à la traction devait être de 26 kN au minimum.

Une mauvaise mise en œuvre des lits de pneus, un mauvais liaisonnement ou une hétérogénéité de leur épaisseur, peut entraîner des problèmes de stabilité interne de l'ouvrage à court terme pendant les phases de compactage des couches de matériaux mais aussi à long terme pour la pérennité de l'ouvrage.

Les travaux ont été réalisés par l'entreprise de terrassement CARRON, sous maîtrise d'œuvre de la DIR Centre Est. Le CETE de Lyon (Département Laboratoire de Lyon) a apporté son assistance technique pendant la phase travaux dans le cadre du contrôle extérieur.

L'ouvrage, terminé fin 2009 est présenté sur la figure 5.



Figure 5. Ouvrage aval en pneusol allégé terminé

4. Instrumentation et surveillance

L'équipement comprend un inclinomètre de 25 m de profondeur couplé à un piézomètre de type tube ouvert de même profondeur. Ce dispositif a été mis en place en 2010 par le département laboratoire d'Autun (CETE de Lyon, DLA). La mesure de référence a été réalisée le 14/10/2010 afin de permettre une bonne mise en place des tubes inclinométriques et un durcissement suffisant du coulis de scellement. Les mesures réalisées mettent en évidence un très faible déplacement vers l'aval, de l'ordre de 1,5 cm, associé à des variations angulaires de faible amplitude, un peu plus marquées vers 15-17 m de profondeur. Cet enregistrement montre essentiellement des mouvements de tassement, pouvant être consécutifs à la réalisation du remblai.

Les déformations restent très faibles sur ce secteur, en cohérence avec les vitesses de fluage des argiles, comme le montre le graphique de la figure 6. Les niveaux d'eau relevés entre le 14/10/10 et le 31/05/11 oscillent entre 9,15 et 10,5 m de profondeur. Aucune déformation n'est observable sur la chaussée depuis la fin de la construction de l'ouvrage (figure 7).

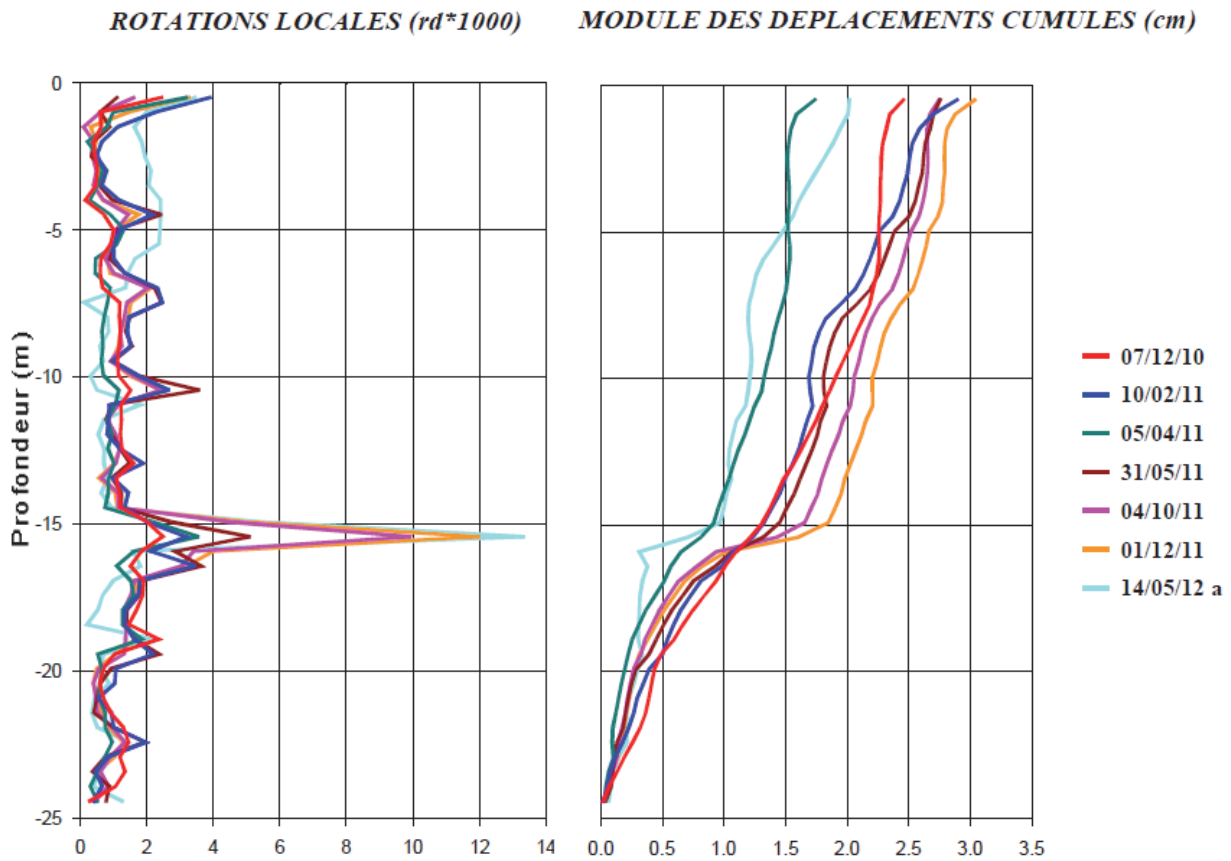


Figure 6. Graphique d'enregistrement des mesures inclinométriques Tube I1 au pied de l'ouvrage



Figure 7. État de la chaussée au dessus du remblai allégé de type pneusol ; l'ouvrage se trouve en contrebas de la GBA

4. Conclusion

Les travaux réalisés dans le cadre du confortement du lacet de Charlaix, RN 85 ont permis la réalisation d'un remblai de type pneusol allégé de 7 m de hauteur sur un versant en pente en équilibre limite dans un glissement de terrain actif. Les calculs menés ont été très contraints par le contexte géologique et géotechnique du site, et visaient en premier lieu à ne pas dégrader la stabilité initiale du secteur, mais aussi à ne pas dégrader la stabilité provisoire entre les deux phases de travaux de la branche amont puis de la branche aval du lacet. Si le dimensionnement de l'ouvrage, stabilité externe et stabilité interne ont été vérifiés, il n'a pas été possible d'améliorer la stabilité globale de l'ensemble du secteur du lacet de Charlaix. C'est pourquoi une instrumentation par suivi inclinométrique et piézométrique a été mise en place. Pendant la phase d'exécution, une attention particulière a été portée à la qualité des géotextiles de renforcement et des géogrilles disposées dans la couche de forme (certification). L'agencement des pneus et le respect de leur dimension est un gage de qualité. L'ouvrage terminé depuis 2009 ne montre aucune pathologie, conférant à l'infrastructure un bon niveau de service.

5. Références bibliographiques

LCPC-SETRA (1989) *Le Pneusol Note d'information N° 47*
LONG NT., DELMAS P., POUGET P., *Le Pneusol léger Rapport des laboratoires GT 37 LCPC 51p*