

# RN 174 - RENFORCEMENT PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS

## MOTOWAY RN 174 – GEOSYNTHETICS REINFORCEMENT OVER CAVITIES

Sébastien JAFFROT<sup>1</sup>, Patrick GARCIN<sup>2</sup>, Alain NANCEY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TenCate Geosynthetics, Bezons, France

<sup>2</sup> EGIS Géotechnique

**Résumé** - Dans le cadre des travaux d'aménagement à 2x2 voies de la RN 174 dans le département de la Manche, près de St Lô (50), le Maître d'Ouvrage a décidé, sur certaines portions du tracé, de se prémunir du risque lié à une remontée de fontis sous la chaussée. Les solutions retenues sont des renforcements des différentes structures en remblai par des Géosynthétiques placés à leurs bases. En cas d'apparition d'un fontis, le Géosynthétique procure un effet « parachute » en reprenant les efforts liés au poids du remblai et au trafic. Le dimensionnement du géosynthétique est réalisé selon la méthode de calcul RAFAEL. Le comportement dans son ensemble des différentes structures et la validation du dimensionnement des géosynthétiques sont appréhendés par une modélisation numérique (FLAC 3D).

**Mots-clés** : route, cavité, renforcement, géosynthétique, RAFAEL.

**Abstract** – Within the framework of the earthworks of this 2x2 ways of the RN 174 in department of “la Manche”, close to St Lô (50), the owner decided, on several sections, to secure the risk related to an increase of subsidence under the roadway. The adopted solutions are the reinforcement by geosynthetics placed at the base of the different structures of embankment. In the event of appearance of a subsidence, geosynthetics is acting like a “parachute” by taking the efforts related on the embankment load and the traffic. The design of the geosynthetic is carried out according to the method of calculation RAFAEL. The behaviour as a whole of the various structures and the validation of the geosynthetic design are studied by a numerical modeling (FLAC 3D).

**Keywords** : motorway, cavity, reinforcement, geosynthetic, RAFAEL.

### 1. Présentation

Les intervenants :

Maître d'ouvrage : CONSEIL GENERAL DE LA MAYENNE

Maître d'œuvre : SETEC TPI et DIR Nord Ouest

Entreprise : Groupement GUINTOLI / EUROVIA

Fournisseur Géotextile : TenCate Bidim

Bureau d'étude d'exécution : EGIS Géotechnique

Les secteurs concernés sont situés sur le tronçon Nord de la RN 174 entre les échangeurs de la Porte Verte et de la RD 8.

Le tracé de la RN 174 et la localisation des secteurs concernés sont présentés sur les figures 1 et 2.

### 2. Problématiques

Les secteurs concernés par le renforcement sur cavité présentent deux types de structures de chaussée :

- Cas n°1 : structure où la couche de roulement repose sur une couche de forme traitée aux liants hydraulique,
- Cas n°2 : structure mixte où l'on considère une couche de matériaux granulaires supplémentaires sous la couche de forme.

Les hypothèses géométriques et géotechniques des ouvrages ont été définies en fonction de la nature des matériaux de remblais utilisés.

Les géosynthétiques de renforcement sont placés à la base des structures (cas n°1 et n°2), sur la plate forme support des terrassements. Ils ont pour objectif, en cas d'affaissement au droit des remontées de fontis, de limiter la déflexion en surface de la structure en remblai.

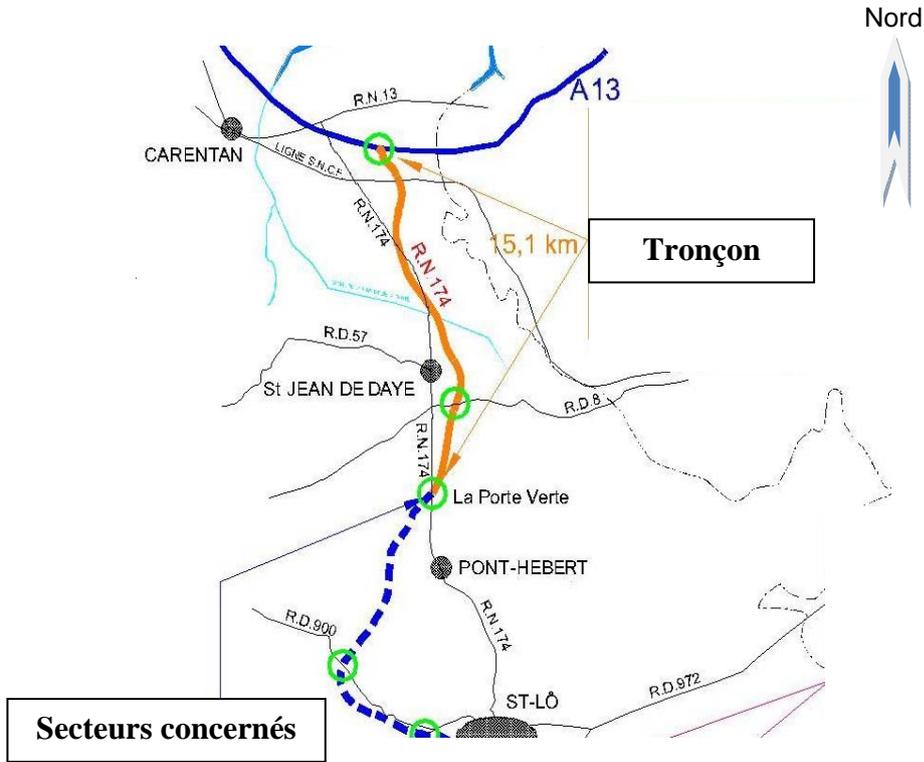


Figure 1. Tracé de la RN 174

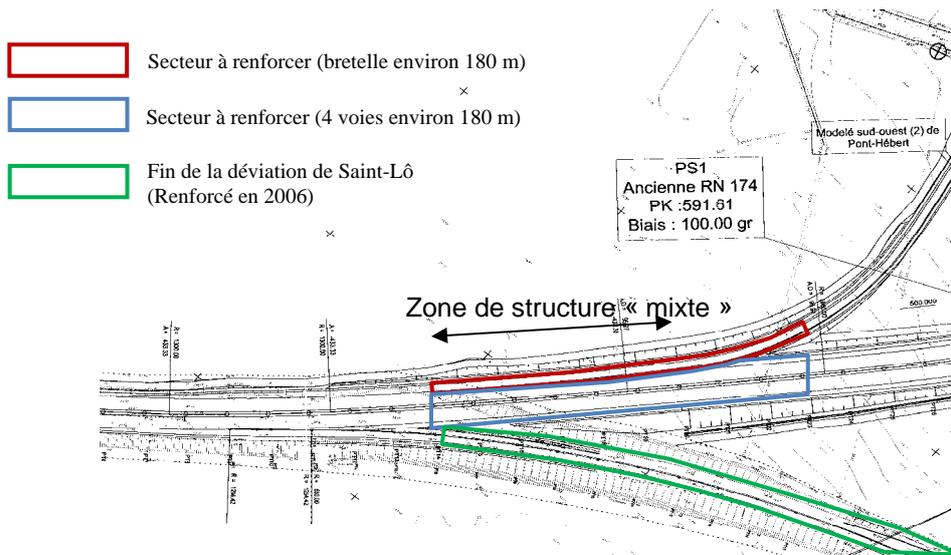


Figure 2. Secteurs concernés

### 3. Hypothèses de calcul

#### 3.1. Géométrie de l'ouvrage

L'ouvrage considéré est une plate forme routière dont la section générale est en remblai. Deux coupes types sont données dans le tableau 1, en fonction des cas étudiés.

Tableau I. Géométrie des structures (Cas n°1 et Cas n°2)

Géométrie de la structure (du haut vers le bas)	Cas n°1	Cas n°2
Couche de roulement	21,5 cm	21,5 cm
Couche de forme traitée	35 cm	35 cm
Matériaux granulaires non traités		60 cm
Épaisseur totale	56,5 cm	116,5 cm

### 3.2. Hypothèses géotechniques et dimensionnelles

Les hypothèses et les critères de résultats retenus sont :

- Remblais :  $\varphi = 35$  degrés - cohésion nulle -  $\gamma_{\text{moyen}} = 20 \text{ kN/m}^3$ .
- Sol support :  $\varphi = 35$  degrés.
- Surcharge : 20 kPa.
- Cavité prise en compte :  $\varnothing 300 \text{ cm}$ . Hypothèse d'une cavité circulaire.
- Foisonnement moyen : hypothèses correspondant à un foisonnement moyen de 5 % dans le cas n°1 et de 9 % pour le cas n°2 (structure mixte).
- Flèche admissible théorique : 15 cm.

## 4. Justification

### 4.1. Méthode de calcul

La justification du géosynthétique est faite selon la méthode RAFAEL, aux états limites de service et aux états limites ultimes. Il s'agit d'une méthode analytique basée sur le fonctionnement du géotextile en membrane. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- comportement en membrane élastique linéaire,
- membrane soumise à des pressions uniformes.

On considère que les efforts verticaux transmis sont repris par le géosynthétique de renforcement en efforts horizontaux. Pour reprendre ces efforts, le géosynthétique se déforme. On suppose que la déformée est un arc de cercle.

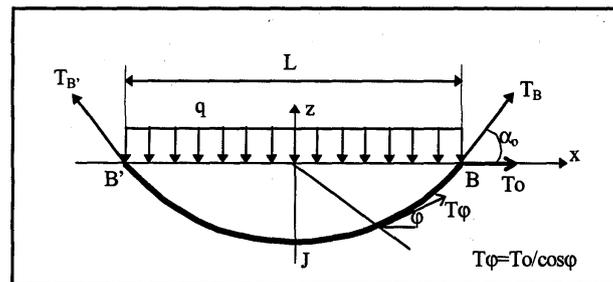


Figure 3. Déformée du géosynthétique en arc de cercle

Les résultats du projet RAFAEL montrent que la rupture du sol suit une forme cylindrique à la verticale des bords de la cavité et engendre une décompaction du sol.

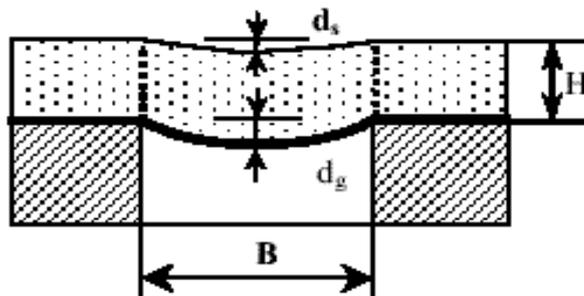


Figure 4. Méthode RAFAEL – rupture de type cylindrique

La déformée du géotextile est calculée en fonction du critère de déformation de surface. La flèche  $d_g$  au niveau du géotextile est fonction de la déformation en surface  $d_s$ , de l'épaisseur des matériaux de couverture  $H$  et du coefficient de foisonnement  $C_e$ . Sa valeur est donnée par la formule suivante :

$$d_g = d_s + 2H(C_e - 1) \quad (1)$$

La tension dans la nappe est fonction de la contrainte verticale  $q$ , du diamètre de la cavité  $B$  et de la déformée admise  $\varepsilon_{max}$ . La tension de la nappe  $T_{max}$  et l'allongement maximum  $\varepsilon_{max}$  subit par le géotextile sont donnés par les formules suivantes.

$$T_{max} = \frac{qB}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon_{max}}} = J\varepsilon_{max} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{8}{3} \left( \frac{d_g}{B} \right) \quad (3)$$

#### 4.2. Justification en service

Tableau II. Justification en service

Caractéristiques	Cas n°1	Cas n°2
Diamètre de la cavité	3,00 m	3,00 m
Flèche en surface	29 cm	15 cm
⇒ Allongement calculé $\varepsilon_{max}$	3,6 %	4,9 %
⇒ Résistance à la traction $T$ à $\varepsilon_{max}$	106 kN/m	123 kN/m
⇒ Raideur $J = T / \varepsilon$	2945 kN/m	2510 kN/m

#### 4.3. Justification vis-à-vis de la rupture

Il est vérifié qu'il n'y a pas ruine de l'ouvrage par rupture du Géosynthétique. Pour cela, la justification est faite en prenant pour hypothèse que les géosynthétiques s'allongent à leurs valeurs maximales. L'objet de ce calcul est de vérifier que le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture du géotextile est supérieur à 2 (fonction provisoire de l'ouvrage après l'effondrement).

Pour les cas étudiés, les Géosynthétiques proposés offrent une sécurité suffisante vis-à-vis de la rupture.

### 5. Choix du géosynthétique

#### Cas n°1

Le Géosynthétique est placé à la base d'une couche de matériaux traités, ce qui contribue à un environnement basique ( $\text{pH} = 10$ ). Dans ce contexte, il a été retenu un géosynthétique à base de câbles en polypropylène, pérennes en milieu basique.

Le produit retenu est deux nappes de géosynthétique ROCK PPC 200 dont les caractéristiques sont supérieures à celles nécessaires :

- traction admissible pour un allongement de 3,6 % : 2 x 54 kN/m soit 108 kN/m
- traction admissible à la rupture : 2 x 200 kN/m soit 400 kN/m

Il s'agit d'un géocomposite de renforcement de haute ténacité associant un géotextile non tissé aiguilleté de filaments continus 100 % polypropylène et un réseau de câbles de renforcement en polypropylène.

#### Cas n°2 :

Le géosynthétique est placé à la base d'une couche de matériaux non traités, ce qui contribue à un environnement ( $4 < \text{pH} < 9$ ). Dans ce contexte, il a été retenu un géosynthétique à base de câbles en polyester.

Le produit retenu est une nappe de géosynthétique ROCK PEC 300 dont les caractéristiques sont supérieures à celles nécessaires :

- traction admissible pour un allongement de 4,9 % : 134 kN/m
- traction admissible à la rupture : 300 kN/m

Il s'agit d'un géocomposite de renforcement de haute ténacité associant un géotextile non tissé aiguilleté de filaments continus 100 % polypropylène et un réseau de câbles de renforcement en polyester.

## 6. Dispositions constructives

### 6.1. Ancrage

Le coefficient de sécurité pris en compte sur la traction de service est de 1,5.

*Cas n°1* : L'ancrage minimum de chaque côté de la cavité, sous le poids dû à 0,565 m minimum de matériaux, est de 10 m plus la largeur de la cavité, soit de 13 m au minimum.

*Cas n°2* : L'ancrage minimum de chaque côté de la cavité, sous le poids dû à 1,165 m minimum de matériaux, est de 6,5 m plus la largeur de la cavité, soit de 9,5 m au minimum.

### 6.2. Mise en œuvre et recouvrement

Le Géosynthétique est mis en œuvre dans le sens longitudinal de l'ouvrage. Le recouvrement latéral entre chaque nappe est de 0,50 m au minimum. Les engins de terrassement mettent en œuvre les matériaux de remblais sur la plate forme et ne circulent pas sur les Géosynthétiques.

## 7. Vérification du dimensionnement des géosynthétiques

Le comportement dans son ensemble des différentes structures (cas n°1 et n°2) et la validation du dimensionnement des géosynthétiques sont appréhendés par une modélisation numérique (FLAC 3D) réalisée par la société EGIS Géotechnique, à la demande et pour le compte de la D.I.R. Nord Ouest.

### 7.1. Présentation du logiciel

FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) est un programme de calcul numérique basé sur une application non traditionnelle de la méthode aux différences finies explicites, pouvant simuler les problèmes mécaniques en 2D et 3D, sa formulation numérique s'articule autour d'une description Lagrangienne du mouvement. L'utilisation de FLAC nécessite l'écriture de fichiers textes définissant les caractéristiques et le maillage du modèle.

Le concept de base du fonctionnement de Flac s'appuie sur la méthode des différences finies en schéma explicite. La méthode des différences finies est une technique numérique utilisée pour résoudre des systèmes d'équations différentielles avec conditions initiales et/ou conditions aux limites. Elle consiste à remplacer toute dérivée présente dans le système d'équations par une expression algébrique écrite en termes de variations intervenant dans le système d'équations et dans un espace discret.

La séquence de calcul générale est la suivante (Figure 5).

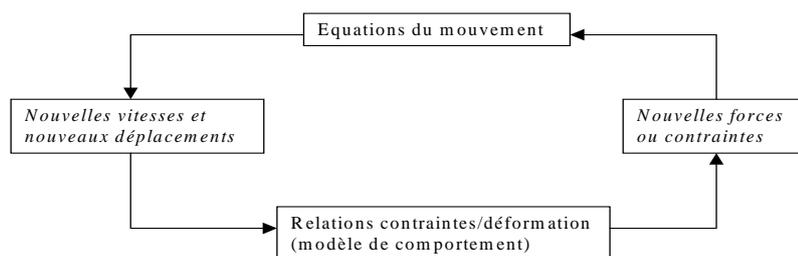


Figure 5. « Séquence de calcul générale (Cundall, 1993) »

Les équations du mouvement sont utilisées pour calculer de nouvelles vitesses et donc de nouveaux déplacements à partir des contraintes et des forces en jeu. Ensuite les taux de déformation sont déduits des vitesses et la loi de comportement du matériau est utilisée pour déduire de nouvelles contraintes et forces. Chaque parcours de cette boucle représente un cycle de calcul.

FLAC est muni d'un macro-langage qui permet à l'utilisateur de faire des maillages, de définir de nouvelles variables, procédures et sorties graphiques. Il offre également la possibilité d'utiliser une large gamme de lois de comportements, les lois les plus connues et usuelles étant Mohr Coulomb, Drucker-Prager ou Cam Clay.

Les renforcements de sol de type géosynthétique, sont modélisés par des éléments structurels se comportant comme des membranes (pas de résistance en flexion) en interaction avec le sol environnant.

## 7.2. Vérification du dimensionnement

Plusieurs simulations ont été réalisées en fonction des différentes structures de chaussée proposées. Les deux premiers modèles (cas n°1), qui reposaient sur la présence d'une épaisseur de chaussée de 0,56 m, et d'une couche de forme traitée au dessus des renforcements géotextiles, ont mis en avant la difficulté d'obtenir des déflexions acceptables en surface (<15 cm). La difficulté réside notamment dans la représentativité de la modélisation de la rupture de la couche de forme traitée, les hypothèses de caractérisation mécanique restant également à préciser. Les calculs ont permis cependant de justifier la résistance en traction des nappes géosynthétiques de renforcement.

L'étude portant sur le dernier modèle (cas n°2) concernant la structure de chaussée, à savoir une épaisseur plus importante (1,17 m) et la présence d'une couche de Grave Non Traitée au dessus de la nappe de géotextile, a permis quant à elle de démontrer l'efficacité de cette solution. L'ensemble couche de roulement, couche de forme et couche granulaire limite la déflexion en surface à une valeur de 12 cm (<15 cm), tout en conservant des efforts acceptables dans la nappe géosynthétique.

## 8. Conclusion

L'étude présentée concerne le renforcement d'une plate forme routière par Géosynthétiques ayant pour objectif, en cas d'apparition de cavités, de limiter la déflexion en surface de la structure.

Le dimensionnement des géosynthétiques devait répondre aux contraintes structurelles du chantier. La solution technique de renforcement sur cavité est compatible avec la structure en matériaux traités (renforcement en Polypropylène) et la structure en matériaux granulaires non traités (renforcement en polyester).

La méthode RAFAEL a permis de justifier le renforcement par:

- deux nappes de ROCK PPC 200 dans le cas d'une structure de 0,56 m d'épaisseur avec une couche de forme en matériaux traités,
- une nappe de ROCK PEC 300 dans le cas d'une structure mixte de 1,16 d'épaisseur avec une couche de forme traitée et des matériaux granulaires non traités.

Le comportement de l'ensemble de la structure et le dimensionnement du géosynthétique sont validés par une modélisation numérique (FLAC 3D).

Il s'agit d'une solution de mise en sécurité et pontage des cavités, où les solutions techniques ont été adaptées aux contraintes du chantier, dont on retient la facilité de mise en œuvre par rapport à d'autres solutions classiques de confortement.

## 9. Remerciements

Les auteurs remercient la DIR Nord-Ouest pour avoir donné leur accord et leurs précisions sur la publication de cet article technique.

## 10. Illustrations



Figure 6. Cas n°1 - mise en œuvre de la couche de forme traitée sur les nappes de géosynthétique



Figure 7. Cas n°2 - mise en œuvre des matériaux granulaires non traités sur la nappe de géosynthétique

## 11. Références bibliographiques

- Blivet J.C., Khay M, Villard P., Gourc J.P. (2000). Experiment and design of geosynthetic reinforcement to prevent localised sinkholes, *GeoEng2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia, November 2000, CD-ROM Conference Proceeding*.
- Blivet J.C., Khay, M., Gourc J.P., Giraud H. (2001). Design considerations of geosynthetic for reinforced embankments subjected to localized subsidence. *Proceedings of the Geosynthetics'2001 Conference, February 12-14, 2001, Portland, USA, pp. 741-754*.
- Giraud H. (1997). Renforcement des zones d'effondrement localisé - Modélisations physique et numérique. *Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, octobre 1997, pp. 79-100*.
- Gourc J.P., Villard P., Giraud H., Blivet J.C., Khay M., Imbert B., Morbois A., Delmas Ph. (1999). Sinkholes beneath a reinforced earthfill – a large scale motorway and railway experiment *Proc. Of the Geosynthetics'99 Conference, April 28-30, 1999, Boston, Massachusetts, USA, pp. 833-846*.
- Gourc J.P., Villard P.(2000). Reinforcement by Membrane Effect: Application to Embankments on Soil Liable to Subsidence. *Proc. of the 2nd Asian Geosynthetics Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 29-31 May 2000, Vol. 1, pp. 55-72*.
- Villard P., Giraud H. (1998). Three-Dimensional modelling of the behaviour of geotextile sheets as membrane *Textile Research Journal, Vol. 68, n° 11, November 1998, pp. 797-806*.
- Villard P., Gourc J.P., Giraud H. (2000). A geosynthetic reinforcement solution to prevent the formation of localized sinkholes. *Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, n° 5, October 2000, pp. 987-999*.