

CHANTIER DE L'AUTOROUTE A36 : ÉTUDE DE CAS DE RENFORCEMENT PAR GÉOCOMPOSITE SUR ZONES À RISQUES DE CAVITÉS KARSTIQUES

FRENCH ROAD A36: STUDY OF THE REINFORCEMENT BY A GEOCOMPOSITE ON KARST AREAS

Mathilde RIOT¹, Mathieu ROUFFIAC², Germain AURAY³

¹ AFITEX, Champhol, France

² EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS, Neuilly-sur-Marne, France

³ TEXINOV, La Tour du Pin, France

RÉSUMÉ – Les géosynthétiques de renforcement offrent des réponses constructives techniques et économiques pour les travaux de voiries en zones karstiques. En effet, leur mise en œuvre permet de prévenir un effondrement brutal de la voirie et de sécuriser les biens et les personnes. Dans le cas du chantier de l'autoroute A36, des anomalies karstiques à risques ont été mises en évidence au niveau des plates-formes terrasses. La mise en œuvre d'un géotextile de renforcement et de séparation à mise en tension immédiate a permis de s'assurer que la déflexion en surface serait inférieure à la limite acceptable pour la sécurité en cas d'effondrement. Cet article présente les éléments dimensionnant relatifs à l'utilisation de ce géotextile de renforcement de résistance en traction 300 kN/m ainsi que les étapes de la réalisation des travaux.

Mots-clés : renforcement, karst, travaux publics.

ABSTRACT – Reinforced geosynthetics is a technical and economical solution for public works in karst area. Their application enables to prevent and retain a brutal collapse of the road structure. In the A 36 project, karst anomalies have been identified as risks zone in the embankment. Application of reinforced and separative geosynthetics with immediate tensioning ensures that the sub deflection is lower than the acceptable limit for security in case of collapse. This article present the using of this geocomposite reinforced and project phases.

Keywords: reinforced geosynthetic, karst area, public works.

1. Introduction

L'élargissement de l'autoroute A 36 en 2x3 voies a révélé la présence d'anomalies karstiques sur la section Montbéliard – Voujeaucourt. Ces anomalies ont été mises en évidence lors des opérations de terrassement. Une solution de renforcement des sols d'assise adaptée est donc apparue indispensable pour répondre aux contraintes du chantier. Cet article présente le contexte du projet, décrit plus particulièrement les éléments de validation pour l'utilisation d'un géotextile de renforcement et de séparation en zone à risques de cavités karstiques, puis les étapes de réalisation des travaux.

2. Description du projet

L'autoroute A 36, qui relie Mulhouse à Beaune a fait l'objet d'une étude sur la section Montbéliard – Voujeaucourt suite à la mise en évidence, lors du terrassement, de plusieurs cavités karstiques. Un programme d'investigation complémentaire a donc été lancé pour renforcer et sécuriser la zone avant de pouvoir reprendre les travaux de construction de l'autoroute.

3. Contexte géologique

Le tronçon Montbéliard – Voujeaucourt de l'A36, objet de l'étude, se développe dans la zone du golfe Tertiaire de Montbéliard, franchit la Vallée du Doubs, puis s'inscrit dans la chaîne du Lomont. La zone est notamment formée de terrains secondaires, constitués de calcaires et de marnes qui sont affectés par deux types de failles, orientées Nord-Sud principalement et Est-Ouest. Ce substratum calcaire est de plus affecté par des phénomènes de karstification plus ou moins développés. Ce phénomène lié à

une érosion différentielle du calcaire amène à la formation de cavités dans le sol pouvant entraîner des effondrements en surface.

4. Mise en évidence des cavités karstiques

C'est de par le contexte géologique de la section qu'il a été décidé de mettre en place un géotextile de renforcement afin de sécuriser la zone et de permettre aux travaux de l'A36 de se poursuivre.

Lors du terrassement de la zone, les zones à risques de cavités ont été marquées pour ensuite être sondées à la pelle. Cinq cavités ont été identifiées et sondées. Les diamètres ou largeurs des cavités sont de 0,70 à 0,80 m. La figure 1 montre les résultats d'un sondage type à la pelle.



Figure 1. Sondage à la pelle de la zone F4 mettant en évidence la présence d'une fracture.

L'ensemble des cinq zones à risques de cavités identifiées a été renseigné. Pour chaque fracture observée, l'orientation de l'axe et la taille de la fracture est référencée.

5. Eléments de dimensionnement du géotextile de renfort

5.1. Choix du dispositif de renfort

Le CCTP du projet demande la mise en œuvre d'un géotextile de renforcement destiné au traitement des anomalies karstiques. Les prescriptions sont les suivantes :

- raideur à 3% d'allongement (SP) $\geq 2\,000$ kN/m,
- le produit comprendra une géogrille de renforcement à haute résistance associée à un géotextile non tissé destiné à éviter le départ des matériaux fins.

5.2. Méthode de calcul

Pour les applications sur zones à risques de cavités, la méthode RAFAEL (Gourc et al., 1999 ; Briçon et al., 2008) permet de définir la raideur du géotextile de renforcement par rapport à la déflexion maximale admissible en surface et en fonction des caractéristiques géométriques et géotechniques du projet. C'est avec cette méthode que le géotextile de renforcement est dimensionné.

La méthode RAFAEL est une méthode analytique basée sur le fonctionnement du géotextile en membrane. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- comportement en membrane élastique linéaire,
- géosynthétique soumis 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 en prenant la forme d'une parabole.

Les résultats du projet RAFAEL montrent que la zone de sol de remblai impactée est un cylindre positionné à la verticale des bords de la cavité qui se décompacte lors de l'effondrement (Figure 2).

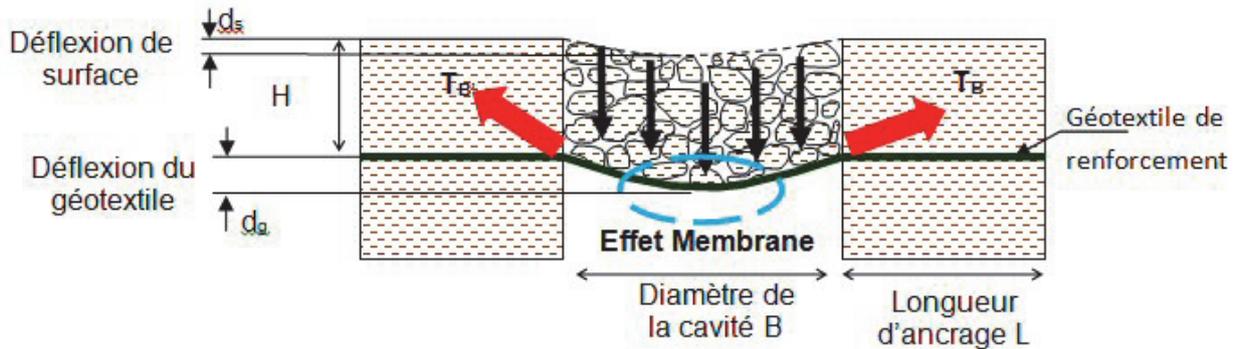


Figure 2. Méthode RAFAEL – rupture de type cylindrique.

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 l'équation suivante :

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

La déformation maximale ϵ_{max} du géotextile engendrée par la déflexion s'écrit :

$$\epsilon_{max} = \frac{8}{3} \left(\frac{d_g}{B} \right)^2 \quad (2)$$

La résistance en traction T_{max} dans la nappe (Equation 3) est fonction de la contrainte verticale σ_v agissant sur le géotextile, du diamètre de la cavité B et de la déformation admise ϵ_{max} (Figure 3).

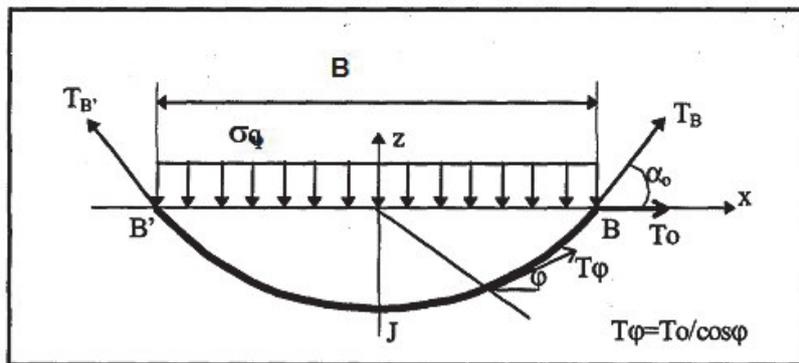


Figure 3. Description des paramètres de dimensionnement (Exbrayat et al., 2006)

$$T_{max} = \frac{\sigma_v B}{2} \sqrt{1 + \frac{1}{6\epsilon_{max}}} \quad (3)$$

On en déduit ainsi la raideur J du géotextile :

$$J = \frac{T_{\max}}{\varepsilon_{\max}} \quad (4)$$

5.3. Hypothèses de départ

Pour le pré-dimensionnement du projet nous avons modélisé une dizaine de cas de calcul sur recommandations de l'entreprise de travaux, avec différents diamètres de cavité, différentes surcharges et différentes hauteurs de remblai (phases intermédiaires de chantier et différentes profondeurs de découverte de cavités). Nous avons fait des hypothèses sur les matériaux de remblai à partir du CCTP et ces cas de calcul ont été présentés par l'entreprise pour validation au bureau d'étude SETEC.

Les hypothèses prises pour le dimensionnement du géotextile sont les suivantes :

- structures de chaussée de 1 m en partie supérieure,
- terrassement complémentaire sous structure de chaussée pour recharge de matériaux granulaire : moyenne à 70 cm, maximum à 170 cm suivant les zones (5 tranches annoncées de 0 cm, 90 cm, 130 cm, 150 cm et 170cm),
- surcharge autoroutière de 30 kPa.

L'exemple présenté au paragraphe suivant est le résultat le plus défavorable de cette série de calculs.

5.4. Paramètres du dimensionnement

Les paramètres utilisés pour le dimensionnement avec la Méthode Rafael (Blivet et al., 2001 ; Villard et al., 2002) sont les suivants :

- | | |
|---|---|
| - Type de calcul | : circulaire |
| - Déformation de travail maximum du géosynthétique | : 3% |
| - Hauteur du remblai | : H = 1,01 m |
| - Diamètre de cavité | : B = 0,8 m |
| - Coefficient d'expansion | : C _e = 1,04 |
| - Déflexion maximale en surface | : d _s = 2 mm (exigence de la maîtrise d'œuvre) |
| - Paramètre de frottement correspondant au rapport des tangentes des angles de frottement de l'interface sol/géosynthétique et du sol | : 0,7 (valeur sécuritaire par défaut : les géocomposites utilisés ayant montré des coefficients de l'ordre de 0,95 avec le type de remblai proposé) |
| - Coefficients partiels sur ancrage, poids volumique, charges variables et charge permanentes | : 1 |
| - Poids volumique du sol | : 21 kN/m ³ |
| - Angle de frottement interne du sol de remblai au-dessus de la cavité | : 35 degrés |
| - Cohésion du sol de remblai au-dessus de la cavité | : 0 kPa (remblai à dominante granulaire valeur sécuritaire par défaut) |
| - Coefficient de prise en compte de la durabilité sur la résistance du géosynthétique, conformément aux annexe NF G 38064 | : $\Gamma = \Gamma_{\text{fluage}} * \Gamma_{\text{endommagement}} * \Gamma_{\text{vieillessement}} * \Gamma_{\text{global}} = 2,3$ |

5.4. Résultats du dimensionnement

Avec ces hypothèses, la méthode RAFAEL utilisée pour les différentes configurations de remblai donne les éléments de dimensionnement suivant :

- raideur long terme à 3% max = 1972 kNm < 2000 kN/m
- longueur d'ancrage > 2,04 m.

Des exemples de résultats pour des hauteurs de remblais variables et cas de calculs variables sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Dimensionnement Rafael (Blivet et al., 2001 ; Villard et al., 2002) de géotextile sur cavité

Hauteur de remblai h (cm)	Raideur à 3% de déformation J (kN/m)	Longueur d'ancrage minimale L min (m)	Diamètre de cavité B (m)	Cas de calcul
101	1972	2,04	0,8	Long terme
101	1543	1,68	0,7	Long terme
271	1744	1,21	0,8	Situation chantier
271	1346	1,02	0,7	Situation chantier

Pour l'ensemble des cas étudiés, la raideur dimensionnante pour géotextile de renforcement est donc de 1972 kN/m à 3% de déformation. Cette raideur équivaut à une tension dans le géotextile de 60 kN/m à 3% de déformation.

6. Description du géotextile de renforcement

Le géotextile de renforcement utilisé est un géotextile composite de renforcement et séparation, tissé-tricoté-tramé, à mise en tension immédiate répondant aux conclusions du dimensionnement du paragraphe 5.

Le géotextile de renforcement choisi est de type GEOTER FPET 300 dont la raideur à 3% de déformation à long terme est supérieure 2000 kN/m. La résistance à rupture du géocomposite est en moyenne de 300 kN/m et donc supérieure à 60 kN/m tension calculée dans le géotextile.

6.1. Propriétés

Il est composé d'une structure tissée-tricotée-tramée en polyester haute ténacité associée à un tissé (Figure 4).

Ce géotextile a été choisi dans le cadre de ce projet pour les fonctions suivantes :

- Haute résistance en traction,
- Résistances élevées au poinçonnement et à la perforation,
- Résistance élevée lors de la mise en œuvre.

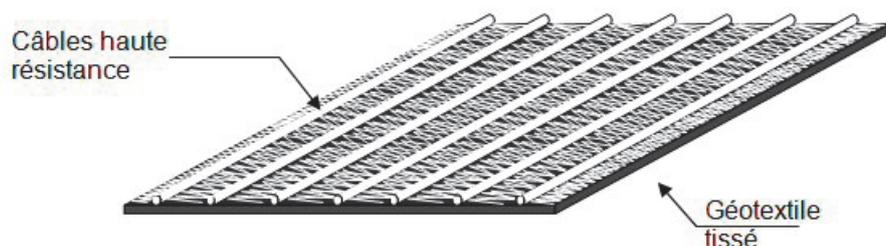


Figure 4. Schéma du géotextile de renforcement utilisé

6.2. Fonctionnement

Ce géotextile de renforcement possède une mise en tension immédiate ce qui lui permet de reprendre les efforts instantanément et de s'affranchir d'une mise en tension préalable sur site lors de sa mise en œuvre. La résistance en traction du géotextile est obtenue par l'action des câbles polymères haute résistance.

La mise en œuvre du géotextile de renforcement sur les zones à risques de cavités permet de :

- prévenir un effondrement brutal des ouvrages,
- assurer la sécurité des biens et des personnes,
- programmer en temps voulu des travaux de confortement.

7. Étapes de réalisation du chantier

7.1. Terrassement et diagnostic

Les cavités mises à jour lors du terrassement des déblais du projet ont fait l'objet d'une intervention spéléologique afin de réaliser un plan topographique du système karstique en place. Si la cavité présente un risque pour la poursuite des travaux de terrassement, la zone est sécurisée avant d'être renforcée pour permettre la reprise des travaux en toute sécurité.

7.2. Traitement des cavités à risques

En cas de mise à jour d'anomalie importante une prospection complémentaire par sondages à la pelle ou sondage destructif est réalisée.

En cas de mise en évidence de cavités ou d'anomalie jugées à risque lors de la phase de diagnostic, il est procédé à leur comblement par du matériau rocheux 0/150 (Figure 5).

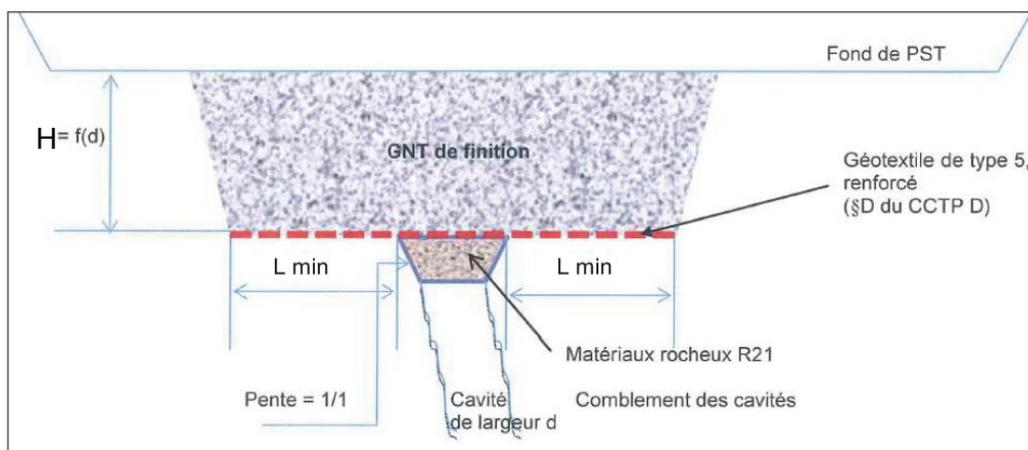


Figure 5. Schéma du dispositif de renforcement à mettre en œuvre

7.3. Mise en œuvre et recouvrement

Le remblai est renforcé avec le géotextile de renforcement déroulé sur toute la longueur de la zone à traiter. La mise en œuvre du géotextile de renforcement répond aux préconisations du dimensionnement, à savoir un recouvrement dans le sens travers de 0,50 m et un recouvrement dans le sens longitudinal en adéquation avec la largeur de l'anomalie karstique, de façon à garantir l'ancrage. Puis le remblai est mis en œuvre sur l'assise drainante (Figure 6).



Figure 6. Mise en place du matelas ZI renforcé et du remblai

La plateforme est ensuite terrassée avec les matériaux de la PST (Figure 7).



Figure 7. Mise en place du PST et de la couche de forme

8. Conclusion

Les zones à risques de cavités de l'Autoroute A36 sont renforcées avec la mise en œuvre d'un géotextile de renforcement adapté. Ce géotextile de renforcement, dimensionné à l'aide de la méthode Rafael tient compte des paramètres du projet tels que le diamètre maximum des cavités, la déflexion admissible en surface, le coefficient d'expansion et la déformation de travail du géosynthétique. La mise en œuvre du géotextile est conforme au dimensionnement qui détermine les recouvrements en sens travers et longitudinal du produit. Cette méthode a été retenue pour le pré-dimensionnement de ce chantier en accord avec le bureau d'études mais il existe aujourd'hui une version améliorée qui prend en compte du glissement d'ancrage (Briançon et al., 2006 ; Villard et al., 2008).

9. Références bibliographiques

- 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, Oregon, USA, 741-754.
- Briançon L., Villard P. (2006) Dimensionnement des renforcements géosynthétiques de plates-formes sur cavités. *Revue Française de Géotechnique*, n° 117, 4^e trimestre 2006, pp 51-62.
- Briançon L., Villard P. (2008) Design of geosynthetic reinforcements of platforms subjected to localized sinkholes. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 26, 5: 416-428.
- Exbrayat L., Garcin P. (2006) LGV Est – Renforcement par géotextile sur cavités. *Rencontres géosynthétiques 2006*, pages 313 – 319.
- 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. *In proceedings of Geosynthetics' 99*, Boston, Massachusetts, USA, 28-30 April 1999, 2: 833-846
- Villard P., Briançon L. (2008) Design of geosynthetic reinforcements of platforms subjected to localized sinkholes. *Canadian Geotechnical Journal*, volume 45, 2: 196-209.
- Villard P., Gourc J.P., Blivet J.C. (2002) Prévention des risques d'effondrement de surface liés à la présence de cavités souterraines : une solution de renforcement par géosynthétique des remblais routiers et ferroviaires. *Revue Française de Géotechnique*, 99 : 23-34.