

Sécurisation d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine par un géosynthétique de très haute résistance (1800 kn/m)

Abdelkader Abdelouahb, Catherine Pinon, Marwan Al Heib

▶ **To cite this version:**

Abdelkader Abdelouahb, Catherine Pinon, Marwan Al Heib. Sécurisation d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine par un géosynthétique de très haute résistance (1800 kn/m). 9. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur (JNGG 2018) "Ressources et aménagement : quelles limites ?", Jun 2018, Marne la Vallée, France. ineris-01863347

HAL Id: ineris-01863347
https://ineris.hal.science/ineris-01863347

Submitted on 28 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SECURISATION D'UN SECTEUR D'UNE ANCIENNE CARRIERE SOUTERRAINE PAR UN GEOSYNTHETIQUE DE TRES HAUTE RESISTANCE (1800 KN/M)

SECURING OF CAVITIES AREA BY A VERY HIGH TENSILE STRENGTH GEOSYNTHETIC REINFORCEMENT (1800 KN/M)

Abdelkader ABDELOUAHB[1], Catherine PINON[2], Marwan AL HEIB[3]
[1] *Texinov, La Tour Du Pin, France, aabdelouhab@texinov.fr*
[2,3] *Ineris, Verneuil-en-Halatte, France*

RÉSUMÉ – Cet article présente un projet très particulier qui concerne la sécurisation d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine de craie par un géosynthétique de renforcement de plus de 1800 kN/m. Le dimensionnement du géosynthétique et le phasage des travaux ont nécessité la prise en compte d'hypothèses particulières liées à la faible épaisseur de la couverture et à la réutilisation du sol remanié du site.

ABSTRACT – This case study presents a real challenge where the tensile strength of the geosynthetic reinforcement used to secure the cavities area is higher than 1800 kN/m. The design and the installation steps required to take into account particular hypotheses due to the low thickness of the soil and the reuse of the local soil for the embankment.

1. Introduction

Un des problèmes majeurs rencontrés dans la construction des routes et l'aménagement urbain est la présence de cavités naturelles ou anthropiques abandonnées dans le sous-sol. Différentes solutions, dites « traditionnelles », sont aujourd'hui mises en œuvre pour limiter le risque que représentent ces cavités : comblement du vide, mise en place de dalles en béton afin de traverser les zones des cavités, renforcement de la cavité, etc. Bien que ces méthodes offrent une solution durable, elles présentent plusieurs inconvénients : apport important de matériau, coût de traitement élevé, nécessité de localiser la cavité, etc.

L'utilisation de solutions de renforcement par géosynthétique permet de réduire ces risques de mouvements de terrain (affaissement et/ou effondrement localisé) tout en garantissant la stabilité en surface à court et long termes. Cependant, la solution de renforcement par géosynthétique est actuellement utilisée essentiellement dans le cas de couverture de grande épaisseur (H/D > 1,5/4) et dans le cas d'un matériau d'apport foisonnant et de bonne qualité.

Cette communication présente un cas de chantier où une solution géosynthétique a été utilisée pour sécuriser un espace vert aménagé au-dessus d'un secteur d'une ancienne carrière souterraine de craie. Ce cas de figure est très intéressant car c'est l'un des rares projets où un géosynthétique de renforcement de plus de 1800 kN/m est utilisé pour sécuriser une zone à risque d'effondrement. Les autres points particuliers de ce projet concernent la faible épaisseur de la couverture de sol situé au-dessus du géosynthétique et la réutilisation du sol remanié du site. Le dimensionnement du géosynthétique et le phasage des travaux ont nécessité la pris en compte d'hypothèses particulières.

2. Problématique

Le territoire du Pas-de-Calais et particulièrement la ville d'Arras sont connus pour être le siège de nombreuses exploitations souterraines (essentiellement de craie) et de souterrains-refuges, ayant servi d'habitat épisodique et dont la destination a pu être diverse à l'origine (Figure 1).



Figure 1 : Vue en 3D d'une ancienne carrière souterraine de craie sous Arras (Source : Ineris)

L'exploitation souterraine de la craie est généralement mise en place par la méthode des chambres et piliers, qui consiste à enlever du gisement tout en laissant en place des piliers assurant le maintien des terrains situés au-dessus de l'ouvrage. En fin d'exploitation, celle-ci est en général abandonnée, sans travaux de remblaiement, la stabilité des terrains au-dessus de la zone d'extraction est alors fragilisée et présente dès lors des risques d'effondrement (Figure 2).



Figure 2 : Dégradations observées dans la carrière souterraine (Source : Ineris)

Le développement urbain conduit à la nécessité d'exploiter des emprises foncières jusqu'ici considérées comme inutilisables en raison de risques d'effondrement. A l'occasion d'investigations préliminaires de terrain pour un projet de constructions immobilières sur un site d'Arras, la présence de cavités souterraines a été mise en évidence (Figure 1). Les premières préconisations ont conduit à une solution traditionnelle de comblement. Après évaluation coût/risque/bénéfice, le maitre d'ouvrage a choisi d'appliquer une approche préventive avec la mise en place d'un géosynthétique de renforcement.

3. Solution de renforcement par géosynthétique

3.1 Solution

La carrière de craie en question est située entre 14 et 20 m de profondeur et présente des galeries souterraines, en moyenne de 6 m de hauteur et de 3,5 m de largeur. Afin de sécuriser l'espace au-dessus d'une partie de ces galeries et de prévenir un effondrement (de type fontis) en surface, un géosynthétique de renforcement de très haute résistance est prévu pour produire un « effet parachute » et stabiliser le terrain en surface (Figure 3).

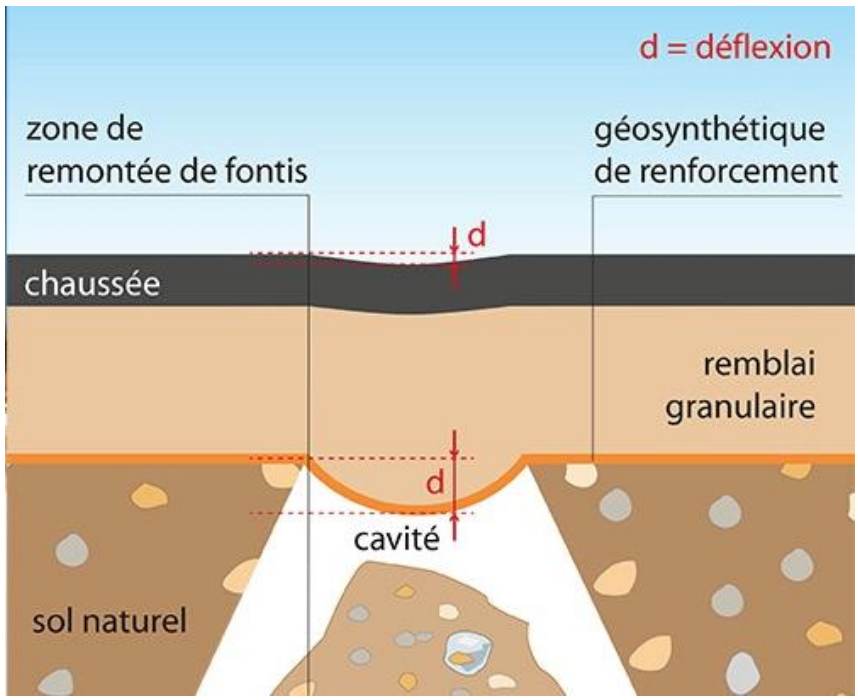


Figure 3 : Principe de sécurisation de cavité par géosynthétique de renforcement

3.2 Méthode et hypothèses de calcul

Le dimensionnement du géosynthétique de renforcement pour la sécurisation de terrains sus-jacents à des galeries souterraines bien identifiées, s'appuie sur la méthode de calcul développée dans le cadre du projet RAFAEL. La déformée et les tensions du renforcement sont alors obtenues par un calcul en membrane où la nappe géosynthétique est ancrée en bord de cavité. Cette méthode a été validée pour les cas de remblais granulaires (pulvérulents) et n'a cessé d'être améliorée et optimisée dans

plusieurs travaux de recherches (Gourc, et al., 1999, Blivet, et al., 2001, Villard, et al., 2002, Briançon et Villard 2006, Huckert, et al. 2013).

Dans le cas du projet présenté dans cet article, des adaptations sont apportées à la méthode de calcul classique et des hypothèses particulières sont considérées afin de prendre en compte le comportement à court terme et à long terme ainsi que la faible épaisseur du remblai de couverture au-dessus du géosynthétique :

- La charge appliquée sur le renforcement par les terrains de couverture correspond au poids d'un cylindre de sol de parois verticales (θ = 90°), de diamètre D, de hauteur H et de poids volumique γ. Où D correspond au diamètre de la cavité (de la cloche du fontis) au contact du géosynthétique, H est la hauteur et γ le poids volumique des terrains de couverture. Vu la faible épaisseur des terrains de couverture, le frottement et les cisaillements du cylindre de sol sur les parois sont considérés nuls sur toute sa hauteur H ;

- La prise en compte de deux hypothèses pour le coefficient d'expansion des terrains de couverture. Un premier calcul est effectué pour la phase « travaux » en prenant un coefficient d'expansion réaliste correspondant au comportement à court terme du remblai. Puis, un deuxième calcul est effectué pour la phase « exploitation » en considérant un coefficient d'expansion pessimiste pour prendre en compte l'évolution des matériaux de couverture. En effet, le sol de couverture est issu des terrains en place, constitués de mélange de remblai peu cohésif et de blocs de craie fragmentée lors du terrassement (Figure 4) ;

- Pour un calcul sécuritaire, la cohésion du sol de couverture n'est pas prise en compte (c = 0 kPa) pour les différentes phases de calcul.



Figure 4 : Aperçu de la galerie d'accès et de la nature des terrains en place

3.3 Règles de conception et de dimensionnement

La conception de structures de sécurisation de galeries souterraines par renforcements géosynthétiques suit les règles générales de conception des ouvrages géotechniques. La justification est basée sur les principes de calcul aux états limites définis dans la norme NF EN 1990 et suit les exigences de la norme NF EN 1997-1 applicable au calcul des ouvrages géotechniques. La justification du géosynthétique de renforcement est faite suivant les règles de la norme NF G 38064 et du guide iso 20432.

Les états-limites à considérer en phase « travaux » et en phase « exploitation » :

- La rupture : rupture en traction du géosynthétique ou rupture par cisaillement à l'interface renforcement/sol ;
- La déformation excessive : vérifier que la déformation maximale du géosynthétique conduit à une déflexion en surface inférieure ou égale à la déflexion maximale admissible.

Approche de calcul et facteurs partiels de sécurité

Le calcul de ce type d'ouvrage correspond à un calcul de stabilité interne d'ouvrage géotechnique. L'approche de calcul 2 (A1 + M1 +R2) selon l'Eurocode 7 est donc retenue pour la justification à la rupture. Les coefficients partiels de sécurité sont ramenés à 1 pour le calcul en déformation.

Facteurs de réduction des performances des géosynthétiques

Les géosynthétiques sont des matériaux qui peuvent se dégrader et perdre une partie de leurs performances en fonction de l'environnement, de l'agressivité du matériau de remblai et de la sollicitation dans le temps. Afin de répondre aux exigences de durabilité et d'assurer une résistance requise pour la durée de service exigée, à la température de service des facteurs de réduction sont appliqués aux géosynthétiques pour prendre en compte les dégradations éventuelles.

Généralement, par souci de simplification, les mêmes facteurs de réduction sont appliqués pour la phase « travaux » et la phase « exploitation » sauf pour le facteur de réduction lié au fluage. Ce dernier est lié au temps et au taux de sollicitation du produit. Pour le calcul à la rupture du géosynthétique, on utilise le coefficient de fluage correspondant à la rupture physique du produit alors que pour un calcul au stade déformation de géosynthétique, on utilise le coefficient de fluage correspondant à un allongement de fluage maximal, entre la fin de construction et la durée d'utilisation. Dans ce deuxième cas, on se reporte aux courbes isochrones.

Etapes de dimensionnement :

<table>
<tr><td colspan="2">1- Détermination de la déformation maximale admissible du géosynthétique

Celle-ci est calculée à partir de la déflexion maximale admissible en surface fixée par le maitre d'ouvrage ou la maitrise d'œuvre.</td></tr>
<tr><td>2- Calcul en phase déformation

✓ Calcul de la charge verticale sur le géosynthétique (σdef)
✓ Calcul de la résistance en traction du géosynthétique à long terme $T_{max;def}$
✓ Déterminer la résistance ultime en traction du géosynthétique (résistance minimum du produit avant la mise en œuvre): Rt;def
Rt;def = $T_{max;def}$ * facteurs de réduction
Le facteur de réduction lié au fluage est déterminé à partir des courbes isochrones en fonction de la déformation de calcul.</td><td>3- Calcul à la rupture

✓ Calcul de la charge verticale sur le géosynthétique (σrup)
✓ Calcul de la résistance en traction du géosynthétique à long terme ($T_{max;rup}$)
✓ Déterminer la résistance ultime en traction du géosynthétique (résistance minimum du produit avant la mise en œuvre) : Rt;rup
Rt; rup = $T_{max;rup}$ * facteurs de réduction * $\gamma_{m;t}$
Le facteur de réduction lié au fluage est issu des essais de fluage à la rupture.</td></tr>
</table>

4- Choix du produit Le produit retenu doit avoir une résistance caractéristique en traction (NF EN 10319) supérieur ou égale à la valeur la plus élevée de Rt;def et Rt;rup.
5- Détermination des longueurs d'ancrage et de recouvrement Calcul de la longueur d'ancrage longitudinal minimum nécessaire L_a Calcul de la longueur de recouvrement longitudinal minimum nécessaire : L_r Définir la largeur de recouvrement transversal minimum

3.4 Choix du géosynthétique de renforcement

Le choix du géosynthétique de renforcement est fait selon deux principaux critères : la résistance caractéristique du produit et la nature du polymère. La résistance caractéristique du produit est définie à partir de la résistance de calcul obtenue suite au dimensionnement. Cette dernière est multipliée par les facteurs de réduction spécifiques à chaque produit et à chaque fournisseur de produit pour obtenir la résistance caractéristique minimale requise. Les facteurs de réduction à prendre en compte sont définis dans la norme NF G 38064 et le guide Iso 20432. Le produit choisi pour ce projet est le Geoter F PET 1800 qui présente une résistance caractéristique en traction Rt_k de 1800 kN/m. Celle-ci est supérieure aux résistances de traction ultimes Rt_{rup} et Rt_{def} déterminées dans le calcul en intégrant le comportement du Geoter F PET dans le temps pour la durée de service. Le produit choisi est à base de polymère polyéthylène téréphtalate (PET) qui est un polyester haute ténacité. C'est le polymère le plus communément utilisé dans le renforcement de sol à cause de sa raideur satisfaisante, sa bonne résistance au fluage ainsi qu'à l'endommagement mécanique et chimique à long terme sauf au milieu alcalin où il s'hydrolyse.

4. Travaux de terrassement et mise en place du géosynthétique

Les travaux de mise en sécurité se sont avérés complexes et délicats. En effet, les galeries souterraines pouvaient se détériorer et s'effondrer à cause des travaux de terrassement et notamment des surcharges dues aux engins de terrassement. Le risque était plus élevé lors de la phase de compactage à cause des aller-retours et des vibrations engendrés par les engins.

Un calepinage bien précis des nappes géosynthétiques et un phasage spécifique ont été définis pour effectuer les travaux en toute sécurité. Le calepinage a été fait de sorte à avoir, sur chaque bande de terrain, une seule nappe de renforcement dans le sens longitudinal et éviter ainsi la discontinuité des géosynthétiques (recouvrements longitudinaux) dans la zone de cavité. La mise en place et le compactage du remblai de recouvrement ont été mis en œuvre en progressant bande par bande.

Ce calepinage a également permis d'ancrer le géosynthétique sur ses deux extrémités, dans des tranchées d'ancrage situées hors zone de cavités. Les tranchées d'ancrage ont été dimensionnées pour compenser la faible épaisseur du remblai sus-jacent. Elles ont une largeur de plus de 6 m et une profondeur d'environ 1,5 m.



Figure 4. Mise en place du géosynthétique, avancement bande par bande.

5. Conclusions

Les travaux de mise en sécurité d'un secteur d'une ancienne carrière de craie à Arras ont été réalisés avec succès en utilisant un géosynthétique de très haute résistance. Le dimensionnement a été optimisé grâce à la connaissance de la carrière et des terrains de recouvrement. Le phasage particulier et l'organisation précise des travaux ont permis de procéder à l'installation du géosynthétique en toute sécurité et sans incident malgré le risque de déstabilisation en surface qui subsistait lors des travaux.

Le géosynthétique de renforcement de très haute résistance (1800 kN/m) vise à réduire les conséquences d'un éventuel effondrement en limitant la déflexion en surface par effet membrane du géosynthétique. Les matériaux remaniés en place ont été réutilisés pour constituer un remblai de couverture de faible épaisseur au-dessus du géosynthétique. Pour l'ancrage de ce dernier, des tranchées d'ancrage de plus de 6 m de large et de 1,5 m de profondeur ont été réalisées pour compenser la faible épaisseur du remblai sus-jacent.

6. Remerciements

Nous tenons à remercier le maître d'ouvrage, ICF Habitat Nord Est, et l'entreprise Broutin TP du groupe NGE qui nous ont fourni les informations nécessaires et qui ont contribué directement ou indirectement à la réalisation de cet article.

7. 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° trimestre 2006, pp 51-62.

EN 1997-1 Eurocode 7- calcul géotechnique- Partie 1 : règles générales.

Guide ISO / TR 20432 2007 : les lignes directrices pour la détermination de la résistance à long terme des géosynthétiques pour le renforcement des sols.

Giraud H., 1997. Renforcement des zones d'effondrement localisées – Modélisations physique et numérique, PhD thesis, Univeristé Grenoble I - Joseph Fourier, 291 p.

Gourc, J.P., Villard, P., Giraud, H., Blivet, J.C., Khay, M., Imbert, B., Morbois, A. & Delmas P. 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.

Huckert, A., Garcin, P., Vilard, P., Briançon, L. & Auray G. 2013. Mécanismes de transfert de charges dans les remblais sur cavités renforcés par géotextiles : approches expérimentales et numériques. 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2-6 septembre 2013, Paris, 4p.

Lawson C.R., Yee T.W., 2011. Serviceability limits of basal reinforced embankments spanning voids. Proc. Geo-Frontiers 2011, pp. 3276-3285.

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.