

EXPLOITATION DES MESURES DE DÉPLACEMENT FAITES SUR LA CULÉE EXPÉRIMENTALE DE SAINT-SATURNIN

THE USE OF DISPLACEMENT MEASURES DONE ON THE SAINT SATURNIN ABUTMENT

René Michel FAURE¹ Germain AURAY²

¹ Centre d'Étude des Tunnels

² Stagiaire, Centre d'Étude des Tunnels

RÉSUMÉ - Cet article présente un nouveau programme de calcul permettant d'évaluer la marge de sécurité d'un mur fait de blocs et renforcé par géosynthétiques en fonction d'un champ de déplacement, mesuré sur le terrain, et prenant en compte le comportement non linéaire des matériaux. Le cas de la culée de Saint Saturnin illustre la démarche.

Mots-clés : Code de calcul, champ de déplacement, marge de sécurité, mur fait de blocs, géosynthétique.

ABSTRACT - This paper describes a new computer code for the safety evaluation of a block wall reinforced with geosynthetics using a displacement field obtained by measures in situ. The code allows non linear materials. The Saint Saturnin bridge abutment is taken as support for a calculation.

Keywords : Computer code, displacement field, safety margin, blocks wall, geosynthetic.

1. La culée du pont de la déviation de Saint Saturnin

Cet ouvrage nouveau et original est décrit dans un article de ces rencontres (Rossi et al., 2006). Les déplacements de la face de la culée ont été suivis par topographie et à l'intérieur du massif, trois bandes de géotextile équipées du dispositif 'geodetect' ® ont permis le suivi des mesures de déformation. Le montage du mur, la pose du tablier et surtout la phase de chargement de réception de l'ouvrage, permettent de connaître les déformations en fonction de charges imposées.

La figure 1 montre la position des trois bandes de mesure, la figure 2 l'évolution des déformations de la bande 1 dans le temps et la figure 3 la distribution des déformations le long des trois bandes à un instant donné. Ces mesures vont servir à définir le champ de déplacement utilisé dans le programme de calcul.

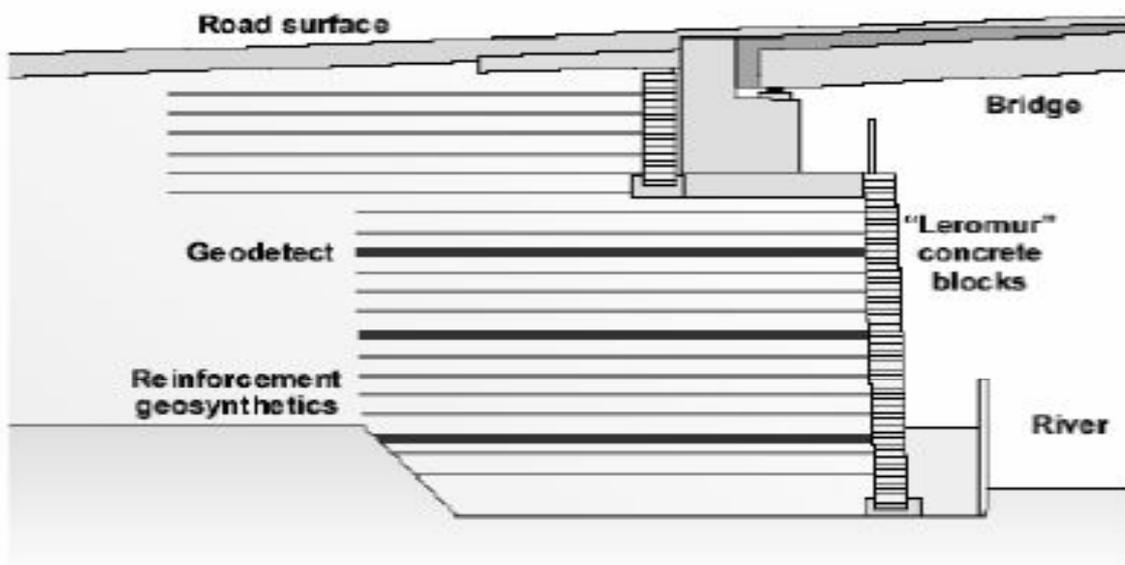
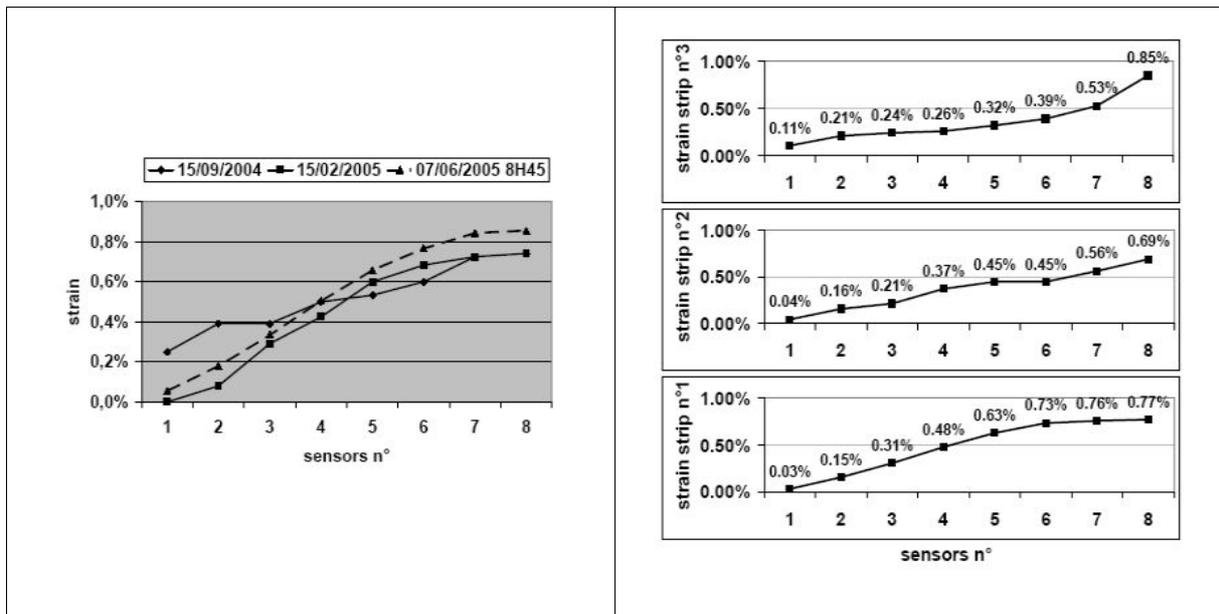


Figure 1 : Position des bandes de mesures, 7 bases par bande, de 1 à 7 à partir du parement



Figures 2 et 3. Mesures obtenues par le système « Géodélect ® »

2. Le programme de calcul NIXES-MUR-DEP

Ce programme est une extension du programme NIXES-MUR pour le calcul des murs faits de blocs et renforcés par géotextiles. Ce dernier programme est issu des recommandations de la norme XPG38064, avec notamment la possibilité de prise en compte de courbes non circulaires composites qui suivent sur une certaine longueur le géotextile, l'interface sol-géotextile pouvant être surface de rupture. La figure 4 est une sortie graphique du programme NIXES-MUR. Cette interface correspond à la partie calcul d'un système d'aide à la conception de ce type d'ouvrage, le système Stabconcept ®

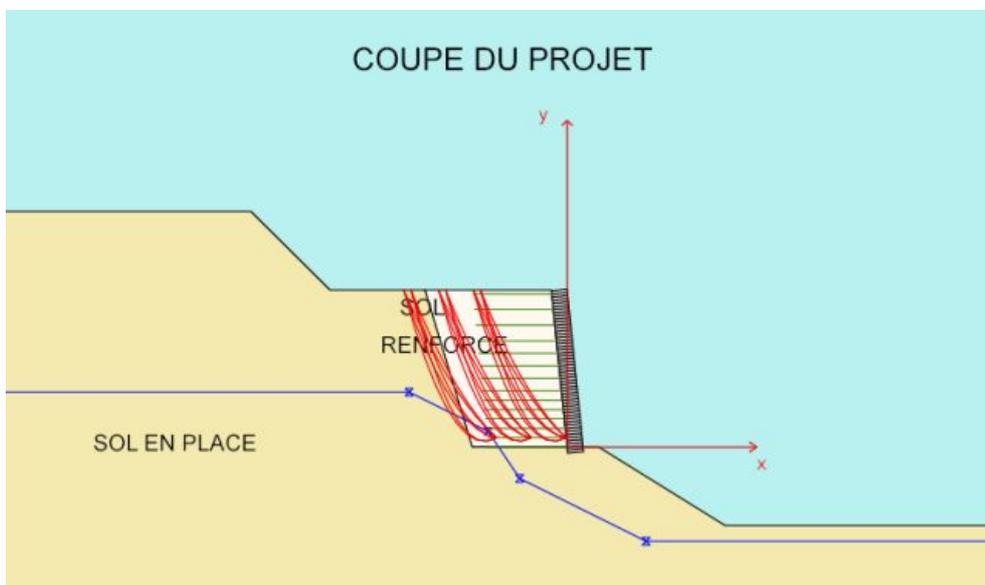


Figure 4 . Exemple de sortie graphique, via Internet, de NIXES-MUR

Le programme NIXES-MUR-DEP reprend des éléments de NIXES-MUR et ajoute la prise en compte du déplacement (Faure et al., 1988). La figure 5 montre l'interface de saisie des données. On reconnaît un formulaire (écrit en PHP) pour être utilisé à travers l'Internet, sur un serveur distant. En plus des données géométriques et des caractéristiques des matériaux utilisés, un tableau de déplacements comportant 16 valeurs est à fournir. La position de la grille régulière 4*4 correspondant aux 16 valeurs de déplacement est définie par la donnée des coordonnées d'un point dans le repère support de la géométrie du cas traité. Par interpolation triangulaire simple, on obtient donc un déplacement en tout

point de la section étudiée, si la dimension de la grille est suffisante. Les 16 valeurs données correspondent au déplacement maximal, et comme dans CARTAGE (Delmas et al., 1986), 10 calculs correspondant à chaque dixième du déplacement maximal fournissent une évaluation de la marge de sécurité, en terme de cisaillement résistant disponible.

Calcul de la Stabilité interne d'un mur renforcé de géotextiles avec un parement fait de blocs

[aide en ligne](#)

<p>Nom du projet :</p> <input type="text" value="exemple1"/>		<p>Commentaires :</p> <input style="width: 100%; height: 30px;" type="text"/>
<p>Coordonnées des 5 premiers points définissant le talus : en mètres aide</p>		<p>Coordonnées des 5 points suivants définissant le talus : en mètres aide</p>
P1 : x = <input type="text" value="-30"/> et y = <input type="text" value="15"/>		P6 : x = 0 et y = 0 (repère)
P2 : x = <input type="text" value="-20"/> et y = <input type="text" value="15"/>	Schéma du talus	P7 : x = <input type="text" value="2"/> et y = <input type="text" value="0"/>
P3 : x = <input type="text" value="-15"/> et y = <input type="text" value="10"/>	(retour à l'accueil)	P8 : x = <input type="text" value="10"/> et y = <input type="text" value="-5"/>
P2 : x = <input type="text" value="-20"/> et y = <input type="text" value="15"/>	Schéma du talus	P7 : x = <input type="text" value="2"/> et y = <input type="text" value="0"/>
P3 : x = <input type="text" value="-15"/> et y = <input type="text" value="10"/>	(retour à l'accueil)	P8 : x = <input type="text" value="10"/> et y = <input type="text" value="-5"/>
P4 : x = <input type="text" value="-9"/> et y = <input type="text" value="10"/>	EXEMPLES ▾	P9 : x = <input type="text" value="30"/> et y = <input type="text" value="-5"/>
P5 : x = <input type="text" value="-1"/> et y = <input type="text" value="10"/>	<input type="button" value="Soumettre"/>	P10 : x = <input type="text" value="-6"/> et y = <input type="text" value="0"/>
<p>Coordonnées des 4 points définissant la nappe : en mètres</p>	<p>N1 : x = <input type="text" value="-10"/> et y = <input type="text" value="3.5"/> N2 : x = <input type="text" value="-5"/> et y = <input type="text" value="1"/></p>	<p>N3 : x = <input type="text" value="-3"/> et y = <input type="text" value="-2"/> N4 : x = <input type="text" value="5"/> et y = <input type="text" value="-6"/></p>
<p>type de géotextiles : BV30 ▾</p>	<p>Type de calcul mode0-pes de coe# ▾ kh séisme = <input type="text" value="0"/> g</p>	<p>type de blocs : laromur50 ▾</p>
<p>Longueur des nappes : <input type="text" value="5"/> m</p>	<p>Nombre de blocs entre nappes : <input type="text" value="3"/></p>	<p>Retrait bloc : <input type="text" value="0"/> m</p>
<p>Surcharge</p>	<p>Xg = <input type="text" value="0"/> Xd = <input type="text" value="0"/> Y = <input type="text" value="0"/> Q = <input type="text" value="0"/> kN/ml</p>	<p><math>\alpha_1 = <input type="text" value="0"/>^\circ</math> , <math>\alpha_2 = <input type="text" value="0"/>^\circ</math></p>
<p>Paramètres géotechniques du sol en place</p>	<p>γ_h : <input type="text" value="21"/> kN/m3 Cohésion : <input type="text" value="0"/> kPa</p>	<p>frottement interne φ : <input type="text" value="30"/> °</p>
<p>Paramètres géotechniques du remblai</p>	<p>γ_h : <input type="text" value="20"/> kN/m3 Cohésion : <input type="text" value="0"/> kPa</p>	<p>frottement interne φ : <input type="text" value="30"/> °</p>

Figure 5. Interface de saisie des données

Les lois de comportement des matériaux sont définies par des courbes schématisées correspondant à des essais simples de type effort-déformation. La figure 6 montre un tel type de loi défini par deux paramètres (ϵ_r et R_f) pour les sols. ($R_f = \tau_{\text{résiduel}} / \tau_{\text{max}}$)

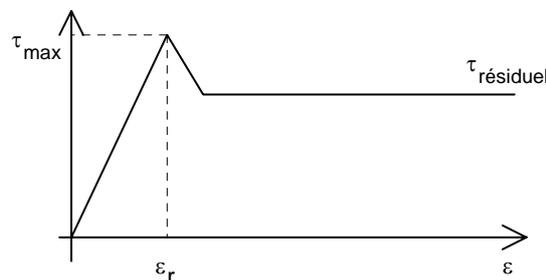


Figure 6. Loi de comportement du sol

Pour les géotextiles deux lois définies par points donnent les efforts normaux et tangentiels dans le géotextile en fonction de l'élongation.

Le calcul de σ_n est fait en statique, à l'aide de la méthode des perturbations et d'une analyse s'appuyant sur le cercle de Mohr pour en avoir une valeur représentative, qui permet la détermination du cisaillement τ pour calculer les coefficients de sécurité globaux ou locaux.

Un coefficient de sécurité local, est calculé à la base de chaque tranche suivant :
$$\frac{\tau_{\max}}{\tau} = \frac{c' + (\sigma'_n \tan \varphi')}{\tau_{\text{lu sur la courbe } (\varepsilon-\tau)}}$$

et permet le calcul d'un « coefficient de sécurité global » suivant :
$$F = \frac{\sum \frac{\tau_{\max}}{\tau} dl}{\sum dl}$$

Quand la base de la tranche est traversée par une nappe de géotextile le cisaillement du sol est augmenté de l'effort résistant apporté par le géotextile.

Si l'on calcule à la base de chaque tranche le rapport $\tau / W_i \sin \alpha_i$ on exprime une « marge de sécurité » plutôt qu'un coefficient de sécurité. D'autres expressions peuvent aussi être calculées pour quantifier cette marge de sécurité, qui diminue au fur et à mesure de la prise en compte de déplacements plus importants.

L'expression $\tau / W_i \sin \alpha_i$ est celle utilisée dans les calculs du paragraphe suivant, et en intégrant cette valeur suivant $F2 = \frac{\sum \frac{\tau}{W_i \sin \alpha_i} dl}{\sum dl}$, on obtient une « marge de sécurité globale » qui est une courbe décroissante en fonction du déplacement.

Ces valeurs, qui sont des intégrales, ont un sens « mécanique » pas toujours simple à exprimer, et seul leur emploi en définira l'usage. Les nombreux paramètres que requiert la méthode nécessiteront un temps d'adaptation qui pourra être raccourci par l'intérêt d'un tel outil pour la comparaison de dispositions constructives.

Ainsi, pour la culée de Saint-Saturnin, la suppression de la moitié des géotextiles entraîne un déplacement à peine double de celui mesuré, comme on le montre dans le chapitre suivant.

3. Quelques résultats de calcul sur Saint Saturnin

Sur la figure 7 représentant la modélisation de la culée de Saint-Saturnin, on remarque le quadrillage servant à la définition des déplacements et la schématisation de la descente de charge due aux surcharges. La nappe hydraulique est positionnée en dessous de la zone de calcul. Les valeurs de déplacement sont évaluées à partir des mesures réalisées lors de la construction.

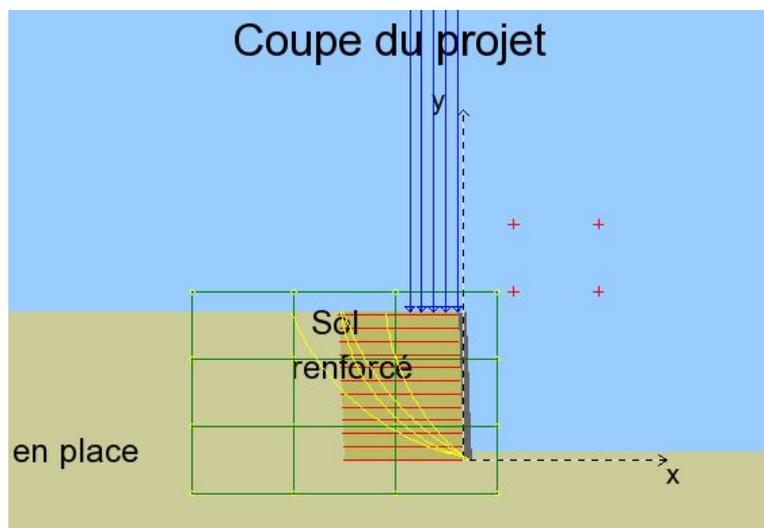


Figure 7 : Modélisation de la culée de Saint-Saturnin

Sur cette figure 7, sont tracés les cercles dont le coefficient de sécurité est compris entre deux valeurs choisies par l'utilisateur afin de garder la figure lisible.

Afin de montrer l'apport de cette méthode prenant en compte les déplacements, pour un cercle, les calculs sont faits avec 23 nappes de géotextile (figure 8 gauche) et 12 nappes de géotextiles (figure 8 droite). En rouge, la courbe qui représente le « coefficient de sécurité global » et qui commence à l'origine, et en vert la courbe représentant la « marge de sécurité ».

Si l'on se donne une valeur cible pour le « coefficient de sécurité global », par exemple 1, on peut lire, qu'avec 23 nappes cette valeur est atteinte avec 30% du déplacement global maximal donné, alors qu'avec 12 nappes, c'est un déplacement double (60%) qui est nécessaire.

Sur ces deux courbes, on remarque aussi l'apport des géotextiles, en terme de résistance, en remarquant que le « coefficient de sécurité global » est plus grand que 1, alors qu'en présence de sol seul, il est de 1 quand les déplacements mettent partout le sol en rupture.

Des courbes similaires et à comparer, peuvent être obtenues en faisant varier, par exemple, la raideur des géotextiles, ce qui est une aide au choix du géotextile pour un problème donné.

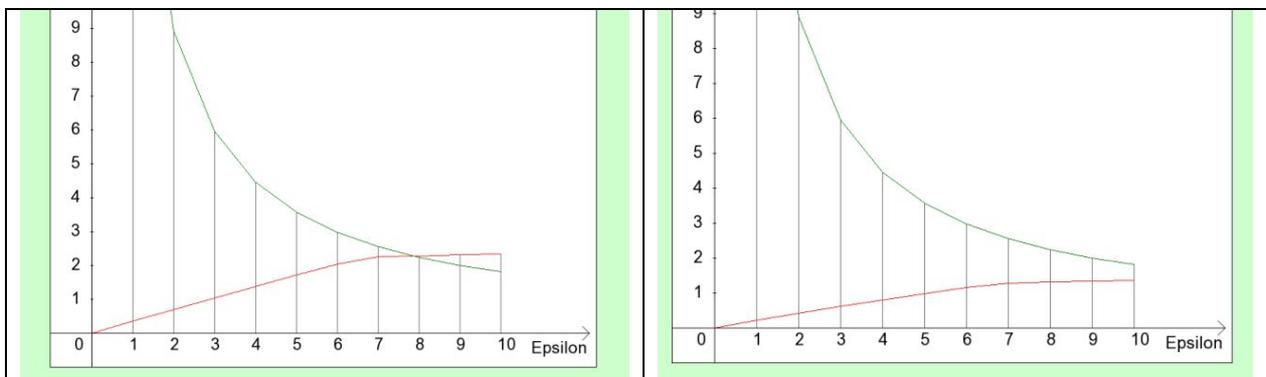


Figure 8 : Résultats pour le même cercle après variation du nombre de nappes.
En abscisse les 10 pas de déplacement, en ordonné les valeurs du
« coefficient de sécurité global » et de la « marge de sécurité globale »

4. Conclusion

Un nouvel outil est maintenant disponible (en ligne dans le didacticiel Didactpente : www.solem.ch/pentes/didacticielindex) pour une approche en terme de déplacements des problèmes de stabilité des pentes. Une version avec la prise en compte d'un fluage des géotextiles est en cours de mise au point. Ces outils devraient permettre une meilleure compréhension du comportement de ce type d'ouvrage et ainsi faciliter les choix de l'ingénieur.

5. Références bibliographiques

- Auray G, (2005). *Prise en compte des déplacements dans une méthode de calculs à la rupture*. École Nationale des Ingénieurs de Saint Etienne, TFE N°16
- AFNOR (2000) BSNR, *géotextiles et produits apparentés, géomembranes*. Avant-projet de norme expérimentale XP G 38064. 43p.
- Delmas P., Berche J.C., Gourc J.P. (1986). *Le dimensionnement des ouvrages renforcés par géotextile*. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 142, pp. 33-44.
- Faure R.M., Rajot J.P., Chan K.S. (1988). *Prise en compte du déplacement pour l'évaluation de la stabilité d'une pente*. Proceedings, International Symposium on Landslides, Lausanne.
- Rossi D., Faure R.M., Ducol J.P., Nancey A. (2006). *Culée de pont porteuse réalisée avec un mur fait de blocs, aspect pierre éclatée et renforcée par des géotextiles*. Rencontres Géosynthétiques 2006, 12-14 Juin 2006, Montpellier.