

CULÉE DE PONT PORTEUSE RÉALISÉE AVEC UN MUR FAIT DE BLOCS D'ASPECT PIERRE ÉCLATÉE ET RENFORCÉ PAR DES GÉOTEXTILES

BRIDGE ABUTMENT MADE WITH A STONE ASPECT BLOCKS WALL WITH GEOSYNTHETICS

Dominique ROSSI¹, René Michel FAURE,² Jean-Paul DUCOL³, Alain NANCEY⁴,

¹Bétoconcept, Nice, France

²Cetu, Bron, France

³Mdb Texinov, Saint Didier de la Tour, France

⁴Bidim Geosynthetics, Bezons, France

RÉSUMÉ - Cet article présente un système de mur de soutènement fait de blocs associé à des géotextiles sur le principe d'un ouvrage en sol renforcé servant de culée de pont porteuse. Ce mur est instrumenté et a été étudié selon un programme de calculs suivant la norme expérimentale XPG38064. Le procédé est titulaire d'un label IVOR (DRAST, Ministère de l'Équipement).

Mots-clés : mur fait de blocs, norme expérimentale, coefficient de sécurité, durabilité, programme de calculs, géotextile, instrumentation.

ABSTRACT - This article presents a retaining blocks wall system with geosynthetics based on the reinforced soil work principle. This wall is monitored and is studied from a calculation software following the experimental norm XPG38064. The process received the IVOR label (DRAST, Equipment Minister).

Keywords: blocks wall, experimental norm, safety coefficient, durability, calculation software, geosynthetics, monitoring.

1. Le projet

Dans le cadre du contournement de la RN138 Nord à Saint Saturnin dans la Sarthe, le Ministère de l'Équipement a prévu de réaliser un ouvrage de franchissement du ruisseau de l'Antonnière.

2. Le concept

Cet ouvrage est composé d'un mur de soutènement fait de blocs associé à des géotextiles développé par le Bureau d'Etudes BETOCONCEPT. Ce produit est breveté internationalement. Sur la figure 1 un schéma montre les principales dispositions de ce type d'ouvrage. Une semelle en béton armé sert à fixer et à positionner précisément la première rangée de blocs. Comme chaque élément est manu portable les rangées supérieures sont facilement mises en place. Pour éviter des déplacements les blocs possèdent des ergots ce qui les rend solidaires. La surface de contact entre les blocs est très importante, elle minimise les contraintes sur les interfaces et de ce fait les épaufrures et ruptures des blocs (cohésion des blocs : 100 kPa).

3. Le géotextile

Le géotextile utilisé pour le renforcement est fabriqué suivant une technologie textile différente des non tissés et des tissés conventionnels. Ces armatures de renforcement sont définies comme tissées – tricotées – tramées (Warp knitting technology with weft and warp insertion).

Le produit est 100 % en polypropylène de 150 kN/m x 50 kN/m.

- Résistance à la traction (EN10319) – SP 150 kN/m (-7.5 kN/m) / ST 50 kN/m (-2.5 kN/m)
- Déformation (EN10319) SP 23% (+/- 4.6%) / ST : 23% (+/- 4.6%)
- Résistance à la perforation dynamique (EN918) 38 mm (+ 7.8 mm)
- Résistance au poinçonnement statique CNISO12236 1.2 kN (-0.12 kN)

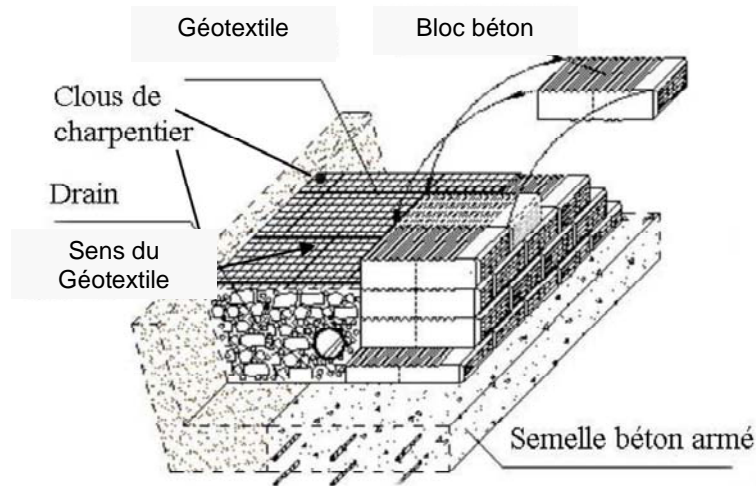


Figure 1. Détail du montage.

4. Les essais

4.1. Essais à la rupture et au cisaillement

Les essais à la rupture et au cisaillement ont été réalisés sur les blocs (figure 2) et les résultats sont présentés dans le tableau I. La rupture du joint par cisaillement des blocs n'a pas pu être obtenue, l'augmentation de la poussée entraînant le basculement de l'ensemble. L'effort maximal appliqué est de 2390 kN soit une contrainte de rupture de 23.9 MPa.



Figure 2. Essais à la rupture et au cisaillement

Tableau I. Résultats des essais à la rupture.

Essai	Poids propre du mur (kN)*	Poussée maximale appliquée (kN)	Déplacement maxi (mm)	
			Horizontal	Vertical
1	4.3	9.7	0.13	0.06
2	8.6	15.3	0.11	0.07
3	12.9	18.9	0.2	0.15
4	30	19	0.2	0.18

* 4.3 kN correspondant à un mur de hauteur de 2 m

4.2. Essais de géotextiles pincés entre deux blocs

Cet essai a été réalisé tout en sachant parfaitement que ce type d'essais n'est pas normalisé (figure 3). Les normes de traction montrent que l'arrachement se produit pour un effort toujours supérieur à la charge sur le géotextile donc supérieur au poids des blocs au-dessus du géotextile. Nous pouvons dire que nos méthodes de calculs actuelles sont confortées par ce résultat qui est toujours vérifié.

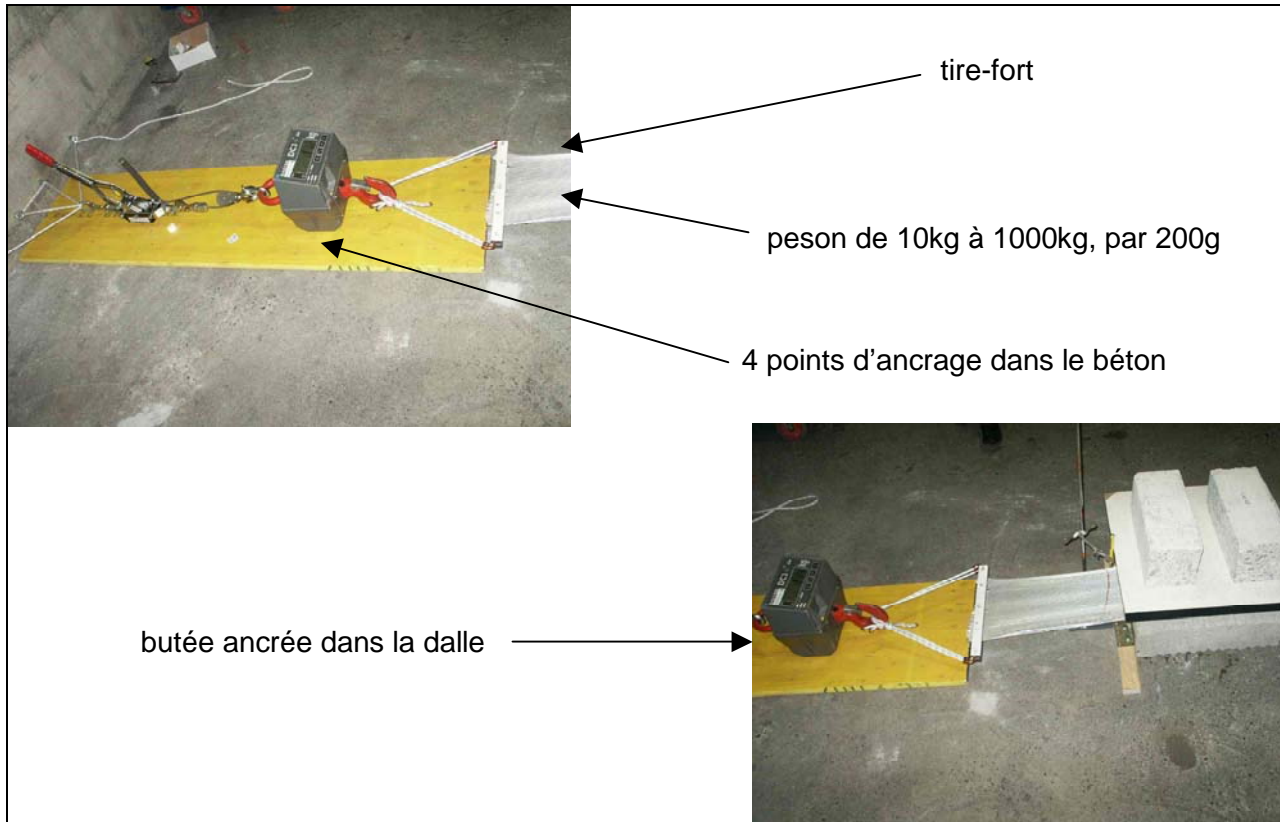


Figure 3. Essais de géotextiles : appareillage utilisé.

5. Instrumentation de l'ouvrage

Le Maître d'œuvre a souhaité connaître les éventuelles déformations de l'ouvrage à l'intérieur du massif en sol renforcé à court et long terme. Il a été prévu un système d'instrumentation en vue de mesurer les éventuelles déformations (figure 4). Le système utilise la technologie optique avec des fiches insérées dans un support géotextile (figure 5). Trois bandes sont adaptées à la configuration du parement et à la longueur des nappes de géotextile de renforcement. Chaque bande est équipée d'une ligne optique insérée lors de la fabrication et comportant 7 points de mesures de la déformation. L'allongement de la fibre se traduit par un déplacement de la longueur d'onde caractéristique. Insérée dans un géotextile, la fibre optique suit les déformations des géotextiles et entraîne le déplacement de la longueur d'onde permettant ainsi la mesure de déformation. La déformation du sol est transmise au géotextile et à la fibre optique. L'appareil de mesure connecté à la fibre permet de lire et d'enregistrer les valeurs de longueur d'onde qui sont analysées ensuite en termes de déformations.

6. Méthode de calcul et aspect normatif

Dans un processus de normalisation, la norme expérimentale française XPG38064 nous donne les bases nécessaires pour le dimensionnement de ce type d'ouvrage. (STABCONCEPT) Pour ce type de soutènement, considérer les états limites du sol pour le calcul de la poussée n'est pas approprié étant donné que le sol est un matériau renforcé et que les lignes de rupture peuvent varier en fonction de la densité des éléments de renforcement ou des sollicitations. Ainsi, la conception d'un tel mur nécessite une adaptation des méthodes de calcul à la rupture en considérant :

- la stabilité externe, ou l'ensemble parement et sol renforcé est considéré comme un mur poids. Dans le cas notamment des murs sur pente, de grandes surfaces de rupture potentielle sont à considérer.
- la stabilité interne, dont la justification conduit au choix du géosynthétique, du nombre et de la position de chaque nappe, du type de bloc de béton. Cela nécessite la connaissance des caractéristiques du sol, des géosynthétiques et de leurs comportements au sein du sol (interaction sol-élément). Pour cela, les essais et notamment celui d'arrachement nous donnent les paramètres nécessaires. D'autres essais nous donnent aussi les paramètres de comportement des géotextiles dans le temps (fluage, vieillissement etc...) données qui peuvent être intégrées et utilisées dans des logiciel spécialement adaptés (Faure 2006)

Pour cette stabilité interne, les courbes de rupture potentielles sont déterminées à travers chaque interface entre blocs avec en mode circulaire les centres des cercles sur un quadrillage octogonal. Pour les ruptures non circulaires des fonctions « cubic-spline » sont utilisées, elles permettent ainsi des courbes composites qui suivent les plans de rupture 'préférentiel' le long des interfaces sol-géotextile. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau II.

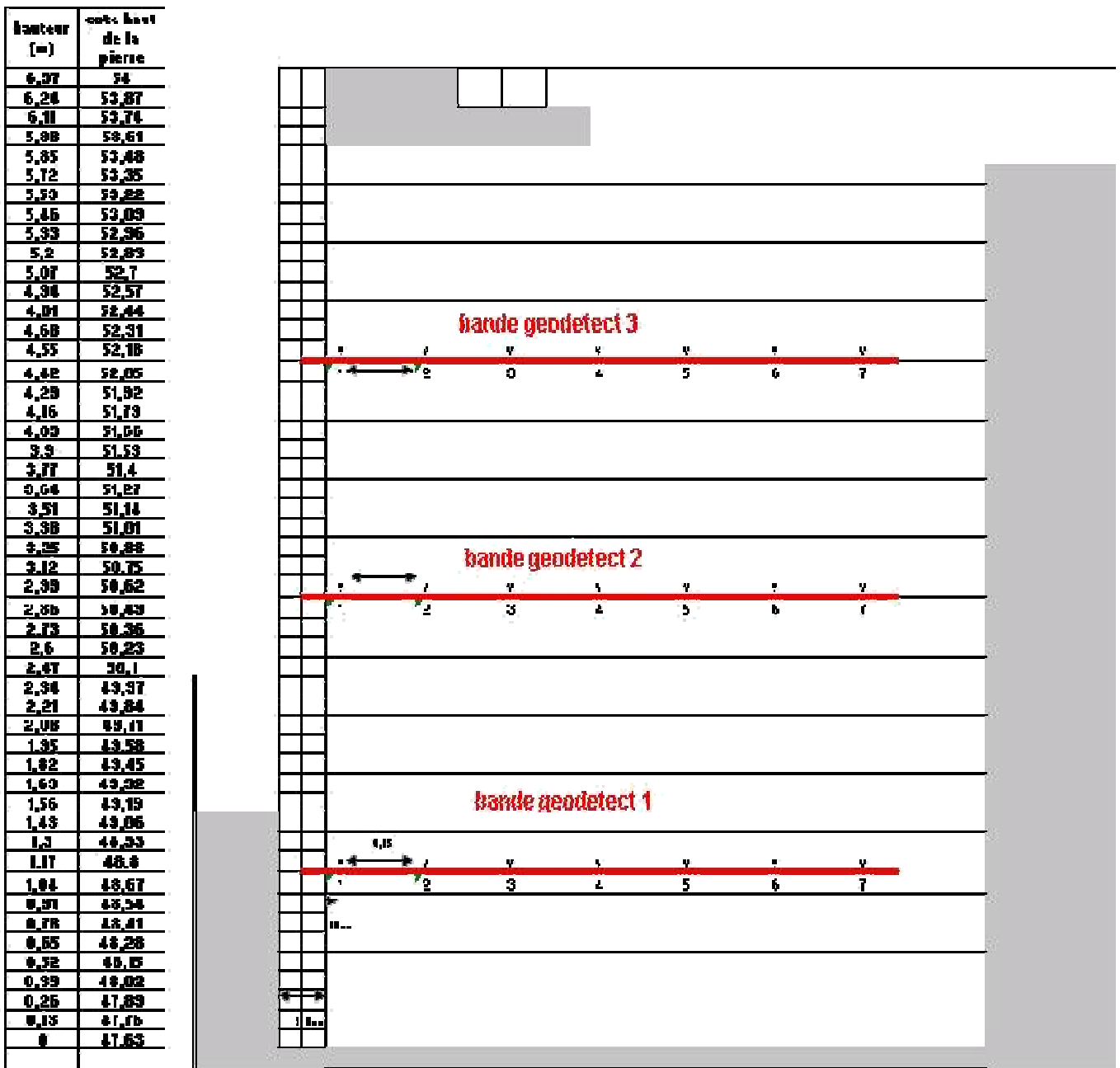


Figure 4. Mur instrumenté.

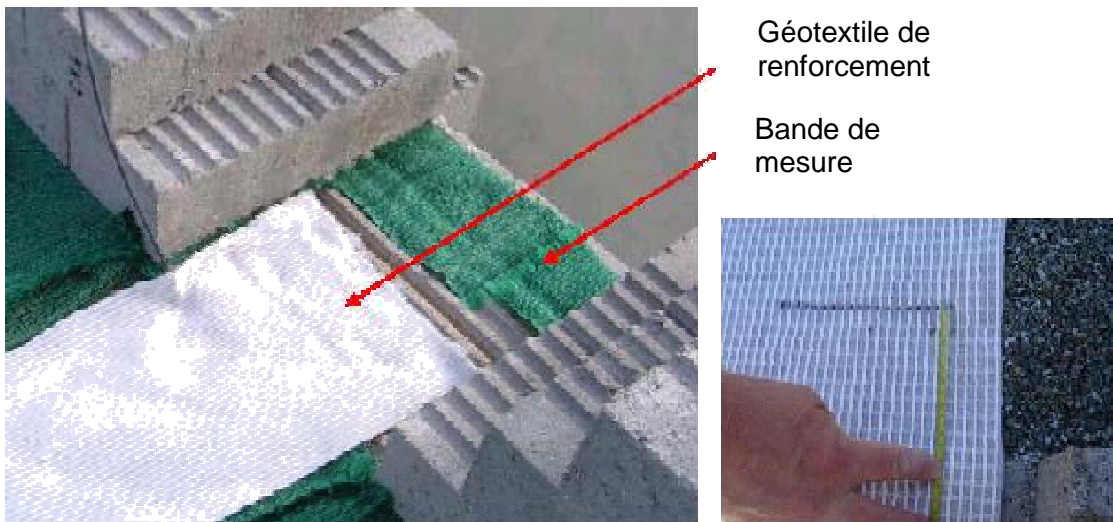


Figure 5. Bande équipée de fibre optique et dispositif de mesure

Tableau II. Résultats des calculs.

N° cercle	X Centre (m)	Y Centre (m)	Rayon (m)	F bishop	F _{bishop} mur et géotextile	W _{Total} (KN)	Influence surcharge (KN)	$\Sigma W(i) \sin \alpha (i)$	Effort Mur (KN)	Effort Géotextile (KN)
101001	4.52	10.33	11.39	0.76	3.33	771.13	45.43	5,694.54	117.11	1,662.57
101002	4.52	10.33	11.28	0.76	3.46	745.70	45.18	5,472.05	116.17	1,696.21
101003	4.52	10.33	11.16	0.76	3.31	720.73	44.93	5,255.42	115.22	1,579.00
101004	4.52	10.33	11.04	0.75	3.41	696.23	44.67	5,044.58	114.28	1,598.53

7. Rappels de chimie

Afin de traiter des problèmes de durabilité des géosynthétiques, quelques remarques sont abordées dans la partie suivante, basées sur les propriétés chimiques des matériaux.

L'utilisation des géosynthétiques non tissés avait commencé avec les polyesters composés de fibres obtenues par une réaction de polycondensation. Toutes ces fibres ont une terminaison hydroxyle (-OH). Une des principales caractéristiques de ce groupe est de réagir très facilement avec des éléments alcalins que nous pouvons trouver, par exemple dans le voisinage des bétons frais.

C'était en général une cause de pathologie souvent invoquée. Cependant, en ce qui concerne les murs fait de blocs, ce risque est moindre dans la mesure où l'élément est sec et mature. La faible quantité des éléments alcalins drainés par les eaux de précipitations n'est pas suffisante pour détruire des couches de non tissés.

Pour éviter le risque, les fabricants ont depuis plusieurs années, échangé les polyesters par des polyoléfinés telles que les polypropylènes ou les polyéthylènes qui ne possèdent pas de groupe -OH et ne présentent pas le risque de réaction de saponification. (RILEM, 1988) (Rollin et Rigo, 1991)

Pour les caractéristiques mécaniques des géosynthétiques que l'on condense sous le vocable fluage (effets différés, vieillissement) les nouveaux produits fournissent de bonnes garanties.

8. Conclusions

Le mur de Saint Saturnin est à notre connaissance une première en France. La volonté de la CDOA de la DDE du Mans d'utiliser cette solution, nous a permis de formater plus précisément notre concept technique à partir de divers essais en laboratoire et tenant compte de l'expérience dans l'usage de ce type de mur pour des applications plus courantes. Un moyen d'instrumentation efficace va permettre au Maître d'Oeuvre (DDE) de bien comprendre l'évolution du mur dans les années à venir. La réalisation de ce mur récompense de nombreuses années de travail acharné et assure de nouvelles perspectives à cette technique (figure 6).



Figure 6. Ouvrage réalisé.

9. Références bibliographiques

- Auray G. (2005) TFE N°16 2005, Prise en compte des déplacements dans une méthode de calculs à la rupture. *Travail des fin d'études, ENTPE, 76 pages.*
- BSNR (2000) Géotextiles et produits apparentés, géomembranes. *Avant projet de norme expérimentale XP G 38064. 43 pages.*
- Delmas P., Berche J.C., Gourc J.P. (1986) Le dimensionnement des ouvrages renforcés par géotextile. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, no. 142, pp 33-44.*
- Faure R.M., Magnan J.P., Moreau M., Pilot G. (1976) Calcul sur ordinateur des ouvrages en terre. *RGRA, 338, pp 25-38.*
- Faure R.M., Rajot J.P., Chan K.S., (1988), *Prise en compte du déplacement pour l'évaluation de la stabilité d'une pente.* Proc of ISL Lausanne
- Gouria F. (1998) Renforcement des sols par géotextiles. *Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 204p.*
- RILEM (1988) Durability of geotextiles. *Chapmann and Hall Edition, 210 pages.*
- Rollin A., Rigo J.M. (1991) *Geomembranes, identification and performance testing.* Chapmann and Hall Edition, 130 pages.