

QUAI MARITIME EN ÉLÉMENTS MODULAIRES RENFORCÉS PAR GÉOTEXTILES – RETOUR D'EXPÉRIENCE DU CHANTIER DE HARTLEPOOL

MARITIME EMBANKMENT MADE OF MODULAR BLOCKS REINFORCED WITH GEOTEXTILES - FEEDBACK HARTLEPOOL REALISATION

Dominique ROSSI, Olivier WYSS
EDICO BETOCONCEPT, Nice, France

RÉSUMÉ – La stabilisation des bords de mer est une opération délicate du fait de l'érosion permanente des matériaux en contact avec les courants marins. Cet article présente un ouvrage de protection maritime surplombant une baie en mer du Nord, à côté du port de Hartlepool (Royaume-Uni). Un soutènement existant de palplanches était fortement corrodé, à tel point que de nombreux trous s'étaient formés. Les effets successifs des tempêtes et des marées avaient alors formé des vides à l'arrière de cet ouvrage. Avec deux marées par jour, une nouvelle structure devait être réalisée selon un cycle de temps limité, et devait être capable de résister aux mouvements marins alternatifs en phase travaux, alors que l'ouvrage était partiellement construit. C'est la solution Leromur[®] en éléments modulaires béton associé à un remblai renforcé par nappes de géosynthétique qui a été retenue.

Mots-clés : géosynthétique – ouvrage maritime – mur de soutènement – éléments modulaires

ABSTRACT – Stabilization of the seaside is a delicate operation because of the constant erosion of materials in contact with the sea current. This paper presents a sea wall at the head of a bay, next to the port of Hartlepool (Great Britain). The purpose was to re-face an existing sheet pile sea wall that had fallen into a poor condition. In a number of locations the sheet piles had corroded to such an extent that holes had formed. With two tides each day a new structure would need to be constructed within a cycle of time limits and the wall would need to be capable of withstanding tides in partially built form. With its dry build structure Leromur[®] reinforced with geotextiles was selected.

Keywords: geosynthetic – sea wall – retaining wall – modular blocks

1. Introduction

Les géotextiles peuvent assurer un grand nombre de fonctions sur différents ouvrages tels que les quais, les digues, les berges, se substituant à des techniques classiques de génie civil.

Ainsi les techniques se sont affinées depuis les 20 dernières années pour apporter des solutions originales, notamment aux problèmes d'érosion, causés par l'action des vagues, marées, courants etc., (Koffler et al., 2009). Les problèmes liés à l'action des eaux peuvent aller d'une simple perte de surface de sol à l'affouillement et l'effondrement de structures. Nous présentons dans cet article une solution associant l'utilisation de géotextiles de renforcement à des éléments modulaires béton, pour la lutte contre l'érosion.

2. Situation et problématique

Le site était loué à la Heerema UK limited, société spécialisée dans les constructions offshore, en particulier dans les plates-formes d'exploration de gaz et de pétrole. L'ouvrage existant, réalisé en palplanches (Figure 1), surplombe une plage de sable d'une baie à côté du port Hartlepool (Figure 2), bordant la mer du Nord en Grande Bretagne. Sur la partie supérieure se trouve un hangar où les opérations de soudure étaient de plus en plus limitées par les vibrations causées par les vagues le long de la face profilée en palplanche.

En conséquence de la combinaison de la situation du site et d'un modèle dynamique de rotation des marées, d'importantes variations saisonnière du niveau de la plage étaient observées. Ces variations pouvant aller jusqu'à 1 mètre. Après chaque marée, la plage se revêtait également de déchets venant du large. Ces détritiques étant ramassés quotidiennement, le maintien d'un accès pour ces travailleurs était impératif.



Figure 1. Présence de nombreux trous dans la structure existante

De nombreux trous causés par la corrosion sont apparus dans la structure. Puis le phénomène s'est amplifié suite à une tempête qui a projeté de nombreux débris, issus d'un ouvrage en gabions adjacents. À chaque marée l'eau s'infiltrait toujours plus à l'arrière de l'ouvrage, entraînant de fortes vibrations, contraignant le maître d'ouvrage à stopper son activité de soudure. Les travaux de confortement devaient donc débuter rapidement, avec de courts délais d'exécution. Après avoir écarté les solutions de type structures en acier ou béton traditionnel en raison de conditions de mise en œuvre lourde, son choix s'est donc porté sur une solution de blocs en béton assemblés à sec et associés à des géotextiles de renforcement. Cette solution lui semblait particulièrement adaptée aux conditions de mise en œuvre, avec des délais permettant la reprise des activités de soudure rapidement.



Figure 2. Vues aériennes de la zone d'étude, proche du port d'Hartlepool en bordure de la mer du Nord

3. Choix d'une solution de réhabilitation

La structure existante consiste en des panneaux métalliques type « LARSEN » désarticulés par les tempêtes, arrachés par endroits et troués sur le restant. Les parties désarticulées avaient été comblées par des gabions, qui n'ont pas résisté à la force des vagues.

Le système de modules préfabriqués de type Leromur[®] (Rossi et al., 2006), a été choisi pour ses caractéristiques d'emboîtement empêchant les mouvements pendant et après la construction. Les modules des rangées supérieures sont posés manuellement sur les rangées inférieures pour constituer

un parement poids de 0,5 mètre d'épaisseur. Toutefois pour une hauteur de 5,50 mètres, le seul effet poids des blocs ne suffit pas à en justifier la stabilité. C'est pour cette raison qu'ils ont été associés à des géotextiles de renforcement de type Betonap[®], tendus horizontalement dans le remblai. Pour cet ouvrage, le géotextile joue le rôle de renfort. Il doit assurer impérativement deux fonctions pendant toute la durée de service de l'ouvrage : le maintien de la résistance mécanique et la tenue vis-à-vis de l'altération physico-chimique. Ainsi, l'avantage de cette solution par rapport aux solutions de renforcement par armatures métalliques est sa tolérance à des PH alcalins (que l'on retrouve en milieux marins) et de ne pas être soumise à la corrosion. L'assemblage des éléments modulaires en béton, associé aux géosynthétiques (Figure 3) crée une structure qui peut s'adapter au cycle des marées tout en étant capable de résister aux dépassements des eaux pendant la phase de construction.

Un autre avantage a résidé dans la possibilité de poursuivre la construction lors des grandes marées, ce qui s'avérait très difficile avec d'autres structures en acier ou béton traditionnel.

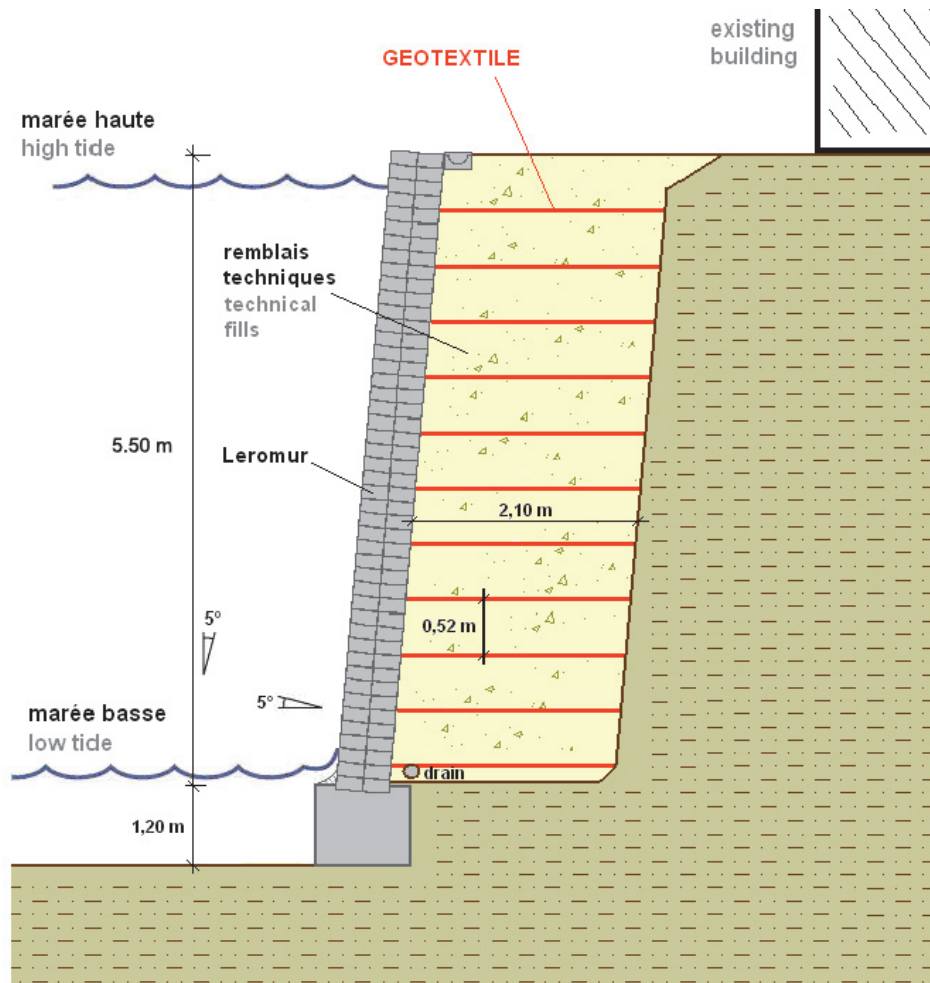


Figure 3. Coupe du projet

4. Méthode de dimensionnement

La conception d'un tel ouvrage se justifie par une approche à la rupture qui comprend la justification de la stabilité interne du massif en sol renforcé. L'effort stabilisateur mobilisable des géotextiles est pris en compte comme un effort tangentiel résistant. Il s'ajoute à l'effort tangentiel mobilisable à la rupture pour le calcul du coefficient de sécurité, selon la méthode des tranches. La méthode consiste en un découpage du massif en un nombre fini de tranches, le long de la surface de rupture. On évalue l'équilibre de chaque tranche et l'on somme sur le nombre de tranches pour déterminer l'équilibre global du massif et le coefficient de sécurité qui lui incombe. Il existe donc une très forte influence des armatures géotextiles sur la stabilité du massif et sur le coefficient de sécurité obtenu. Le géotextile se trouve confiné par la contrainte exercée par le poids des terres situées au-dessus de lui.

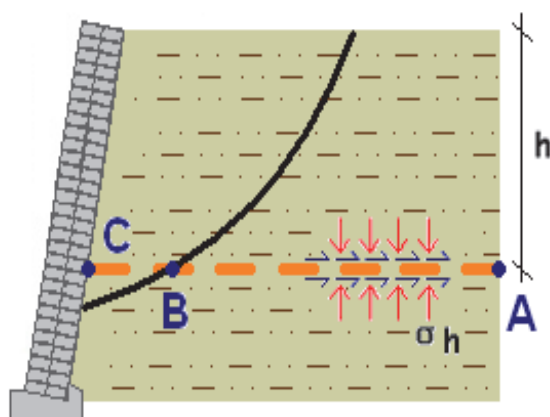


Figure 4. Fonctionnement sol/géotextile

C'est le frottement entre le sol et la partie de gauche (zone passive longueur AB, figure 4) qui permet de maintenir en équilibre le massif qui veut se détacher. La partie de gauche sur ce schéma (longueur BC, figure 4) ne participe pas à l'équilibre puisqu'elle est en glissement (zone active).

L'effort mobilisable est calculé avec un angle de frottement entre le sol et le géotextile pris égal à 20 degrés. Le sol en place a pour caractéristiques un angle de frottement de 30 degrés et une cohésion de 20 kPa. Les blocs en béton jouent un rôle stabilisateur dans le calcul avec comme paramètres un angle de frottement de 35 degrés et une cohésion bloc sur bloc de 100 kPa. Des véhicules pouvant circuler en amont du mur, une surcharge de 10 kPa a été prise en compte. Du fait de la perméabilité du mur lors des marées, une nappe d'eau est représentée par un trait bleu sur la figure 5.

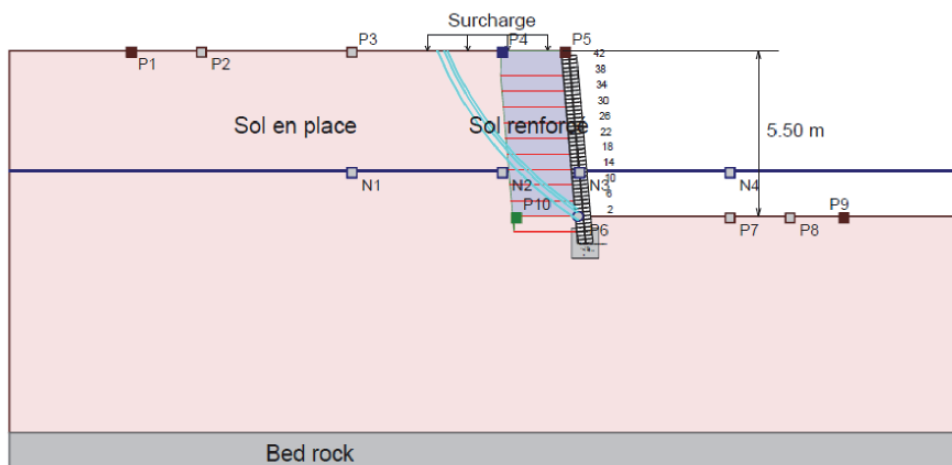


Figure 5. Coupe de calcul

L'étude de stabilité impose des nappes de géotextile, avec une résistance à la rupture en traction de 150 kN/m (Tableau 1). Elles sont tendues sur une largeur minimale de 2,10 mètres, tous les 0,52 mètres.

Tableau 1. Caractéristiques techniques du géotextile

Résistance à la rupture en traction	NF EN ISO 10319	kN/m	SP* : 150	Val. mini
			ST* : 50	Val. mini
Résistance en traction à 2% de déformation SP		kN/m	22	
Résistance en traction à 3% de déformation SP		kN/m	31	
Résistance en traction à 5% de déformation SP		kN/m	51	Val. mini
Déformation à la rupture en traction	NF EN ISO 10319	%	SP* : 11	± 20%
			ST* : 11	± 20%

* SP : sens production / ST : Sens trame

5. Étapes de construction

Les structures existantes ont été nettoyées, les éléments tordus arrachés et les gabions évacués. Il a fallu tenir compte des mouvements naturels de la plage dus à la nature répétitive des marées à l'intérieur de la baie. Il a donc été décidé de commencer la construction quand la plage était considérée à son plus bas niveau. Avec la certitude que chaque marée remplirait à nouveau les fouilles, il a été décidé de former une masse de béton « phase 1 » au sein d'une fondation avec un système de revêtement servant de coffrage permanent (Figure 6). Un ciment à prise rapide a été utilisé pour recevoir la marée peu après la mise en œuvre. Les horaires des marées étaient régulièrement contrôlés et un programme quotidien d'excavation/coffrage/coulage du béton était programmé sur une longueur réalisable de mur. Avec un support plus stable, la « phase 2 » de la fondation pouvait être alors engagée avec la mise en œuvre des premières rangées d'éléments modulaires béton et des nappes de géotextiles.



Figure 6. Mise en œuvre de la semelle de fondation des éléments modulaires

La première rangée d'éléments modulaires en béton a été scellée sur un massif accroché au sol variant de 80 cm à 100 cm d'épaisseur sur 1 mètre de largeur. Le montage s'est ensuite effectué à sec à chaque marée basse. La mise en œuvre des blocs s'est faite manuellement (Rossi et al., 2006). Les nappes de géosynthétique utilisées étaient tissées tricotées, tramées, à mise en tension immédiate (Tableau 1). Les géotextiles étaient pincés entre deux rangées chaque cinq modules. À chaque marée haute, l'ouvrage était submergé par les eaux. Lors de cette phase importante des travaux, aucun déplacement ou dommage n'a été constaté. Après la mise en place d'un calendrier de travail selon les heures des marées, l'assemblage a progressé rapidement de 30 à 35 m² par jour (Figure 6).

Arrivé à mi-hauteur, l'ouvrage a subi les assauts d'une tempête sans qu'aucun désordre ne soit constaté. L'eau du massif en remblai renforcé s'évacuant par le système de drains perforés.

La construction du mur a été réalisée avec l'aide d'une grue télescopique capable de soulever directement les palettes sur la structure. Le matériau de remblai utilisé est un béton concassé. En fin de travaux l'ouvrage a été couronné par une dalle béton préfabriquée.



Figure 7. Photos de l'ouvrage à marée basse (à gauche), et lors d'un coup de mer (à droite)

6. Conclusion

Depuis sa construction, le mur a résisté à l'assaut agressif des marées de la mer du Nord (Figure 7). Toutefois notre étude ne concerne que l'étude statique du mur, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ne souhaitant pas d'étude spécifique pour la quantification des efforts dynamiques sur le mur (solllicitations en pression et en succion). Nous regrettons que la maîtrise d'ouvrage n'ait pas souhaité instrumenter l'ouvrage, ce qui nous aurait permis à terme de mieux en comprendre le comportement dans des conditions particulières. Cependant, le mur a été suivi régulièrement sans qu'aucun mouvement de glissement ou autre n'ait été constaté. Une fois terminé, le niveau de vibration dû aux ondes traversant la structure a été considérablement réduit. Ceci a permis la poursuite des opérations de soudure dans le hangar en amont du mur lors des grandes marées. Le mur a été inspecté par Grass Concrete LTD pour permettre la validation de la garantie de 10 ans pour la structure. Il a été noté que le mur était en bon état sauf la face d'un seul bloc ayant rompu, probablement à cause de dommages liés aux impacts.

Le même type d'ouvrage a été réalisé récemment en Corse du Sud (Figure 8), et d'autres projets sont à l'étude.



Figure 8. Autre exemple de réalisation de protection contre l'érosion du littoral, Porticcio, Corse du Sud

7. Références bibliographiques

- Koffler A., Zengerink E., Ascione J.-C., Birukof J.-M. (2009). Un atténuateur de houles en tube géosynthétique pour limiter l'érosion de la plage de la Capte à Hyères. *Actes des 7èmes Rencontres géosynthétiques, Nantes, 2009.*
- Rossi D., Faure R.M., Ducol J.P., Nancey A. (2006). Culée de pont porteuse réalisée avec un mur fait de blocs d'aspect pierre éclatée et renforcé par des géotextiles. *Actes des 6èmes Rencontres Géosynthétiques, Montpellier, 2006, 429-434.*