

LES GEOSYNTHETIQUES EN PROTECTION CONTRE L'EROSION DES BERGES ET EN CONSTRUCTION D'OUVRAGES HYDRAULIQUES ET MARITIMES

Par : Albert KOFFLER / agent of Ten Cate Geosynthetics Europe

Ahmed BENDRISS / Ingema

Edwin Zengerink / Ten Cate Geosynthetics Europe

I - L'EROSION EN INGENIERIE MARINE ET HYDRAULIQUE

L'histoire commence en 1953 lorsqu'une digue de protection des côtes hollandaises est détruite provoquant de nombreuses pertes en vies humaines.

Pour éviter que ce désastre ne se répète, les ingénieurs hollandais en hydraulique pensèrent alors à de nouvelles méthodes et des matériaux nouveaux pour construire des futures structures de défenses côtières.

Ten Cate Nicolon répondit en développant la première génération de tissé de filtration pour faire du renforcement et pour lutter contre l'érosion dans les structures de protections côtières.

Ces techniques se sont affinées dans les 20 dernières années pour apporter des solutions originales, notamment aux problèmes d'érosion, causés par l'action des vagues, marées, courants et autres mouvements des eaux.

Les conséquences de l'érosion peuvent aller d'une simple perte de surface de sol à l'affouillement et l'effondrement de structures. Pour éviter l'apparition de l'érosion, une variété de mesures préventives peut être utilisée aujourd'hui pour réduire les forces de l'eau pouvant agir sur des structures érodables. Généralement, ces mesures font parties de l'une des trois catégories suivantes :

- des mesures géométriques, où la forme de la structure est modifiée pour réduire les forces de l'eau sous un seuil minimum.
- des mesures de stabilité, où la structure exposée est protégée contre l'érosion par la stabilisation du sol érodable. Les exemples incluent l'incorporation de revêtements, et notamment l'interposition de filtre géosynthétiques.
- des mesures externes, où la structure exposée est protégée contre l'érosion par l'apport d'une structure de protection placée à un certain endroit selon l'ouvrage. Les exemples incluent les brise-lames sous-marins, les butées de pieds, des épis, des digues, la construction d'îles artificielles, etc.

Nous évoquerons principalement ces dernières mesures externes grâce aux solutions géosystèmes consistant à confiner des matériaux fins, pour permettre la construction ou la protection des ouvrages contre l'érosion.

II. LES GEOSYNTHETIQUES POUR LE CONFINEMENT DES SOLS.

Les géosynthétiques, de type tissé, la plupart du temps en polypropylène, sont utilisés pour le confinement des sols pour une variété de structures maritimes et hydrauliques.

Dans ce type de technique, le sol local, en règle générale le sable, est placé dans une enveloppe géosynthétique qui procure une peau de protection empêchant la perte des sols contenus. Selon les applications, ces enveloppes sont fabriquées selon l'une des trois formes de base suivantes :

- une structure longue et tubulaire, mise en œuvre et remplie par injection hydrauliquement sur site, ou géotube
- une structure sous-marine de large volume mise en œuvre par barge à clapet sous forme de poche ou géocontainer
- des sacs de petit volume ou géobag

1- Structure tubulaire ou Géotube®

Une structure tubulaire est une structure sous forme de tube constitué d'une enveloppe géotextile tissé de haute résistance remplie de matériaux. La structure est réalisée in situ et remplie par pompage hydraulique avec des matériaux locaux, à l'intérieur de l'enveloppe. Ceci entraîne la création d'une structure flexible, monolithique et continue qui est très résistante aux forces de l'eau. C'est le sable qui est le matériau de remplissage le plus communément utilisé du fait de son incompressibilité mais d'autres types de sols pompables peuvent également être utilisés.

Le tube est fabriqué en utilisant un géotextile spécialement mis au point pour ce type d'application. Le géotextile dispose de pores fins capables de retenir les matériaux injectés tout en ayant une grande perméabilité permettant l'écoulement de l'eau durant la phase d'injection hydraulique. Par ailleurs, le géotextile a des résistances élevées, de même que les coutures, pour résister aux fortes tensions apparaissant durant la phase de remplissage hydraulique et pour maintenir sa forme structurelle.

Le tube est pré fabriqué selon une grande variété de diamètres et de longueurs selon les applications spécifiques. La structure est caractérisée normalement par son diamètre théorique, sa circonférence et sa longueur. Le diamètre théorique du tube va de 1,50m à 5m.

Chaque élément est fabriqué en utilisant les propriétés techniques de la technologie d'assemblage par couture qui assure que la résistance est suffisamment élevée sur l'ensemble de la surface de l'enveloppe. Pour le remplissage, des cheminées sont mis en place à des intervalles spécifiques tout le long du tube.

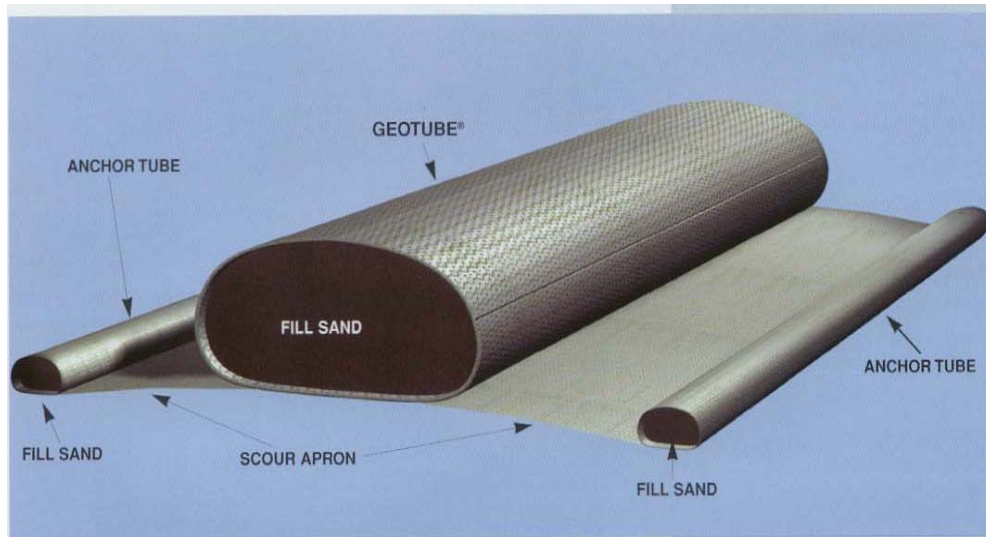
Après remplissage, la structure du tube n'atteint pas la même hauteur que son diamètre théorique, mais peut atteindre un maximum de 60 à 70% de son diamètre, selon la mise en œuvre et les techniques de remplissage. Dans certains cas, pour créer une surface de contact plus importante permettant d'augmenter la stabilité, il n'est effectué qu'un remplissage partiel.

La structure peut également être associée à un tapis anti-affouillement. Ce tapis assure la protection de la base du tube. Ce tapis peut être posé sous le tube et prolongé des deux côtés ou d'un côté uniquement, selon le type d'ouvrage, la largeur du tapis dépendant de la taille du tube utilisé. Le tapis est mis en œuvre avant la pose de la structure en tube et les petit tubes d'ancrage de part et d'autre, servant de lest, sont également remplis hydrauliquement pour créer un lest en pieds de tapis.

Le tube peut être rempli hydrauliquement à terre, soit à sec, ou toute ou partie dans l'eau. Le tube pré fabriquée est déroulé sur site et ancrée à sa position finale. Des points d'attache sont cousus le long du tube en usine pour permettre la fixation provisoire, lors de la mise en œuvre, avant de le remplir. Si nécessaire, le tapis anti-affouillement est placé préalablement au déroulement du tube.

Le tube peut être rempli en utilisant différents types de pompes allant de la petite pompe submersible à la pompe utilisée pour le dragage. Le type de système de

pompage dépend du type de projet et de la facilité de la mise en place sur site. La pompe hydraulique est branchée sur les points d'injection localisés le long du tube. L'eau ressort par les pores du géotextile, et le sable reste dans le tube qui se remplit progressivement. Pendant la phase de remplissage, d'autres points d'injection peuvent être utilisés pour évacuer le flot d'eau en excédent. Dès que l'élément de tube atteint la hauteur requise, les points d'injection sont fermés.



2- Les poches ou Géocontainer®

Les poches sont des cellules larges, contenant de grande quantité de matériaux de dragage ou d'autre type de matériaux, qui sont coulées jusqu'au fond de l'eau par le biais d'une barge à clapet, fendable en son milieu.

La poche est fabriquée avec un géotextile qui a été mis au point spécialement pour ce type d'application. Le géotextile dispose de résistance élevée pour permettre de résister à la grande variété de contraintes imposées pendant le remplissage et l'installation. Les poches sont pré fabriquées en usine selon les dimensions des barges. Le volume d'une poche peut varier de 100 à 600 m³. La poche est déposée dans la barge. La barge est ensuite remplie de matériaux, puis refermée par couture spécifique. La barge vient ensuite se positionner sur la zone de largage et enfin le largage de la poche est effectué, les profondeurs de mise en œuvre variant de - 5m à - 20m.



3 - Sac ou géobag

Les éléments de géobag sont des grands sacs en géotextile remplis de sable. Le volume est en général compris entre 1 et 10 m³, mais dans la plupart des cas, il est inférieur à 6 m³. Le sac est fabriqué avec un géotextile de résistance élevée pour résister aux contraintes importantes imposées pendant le remplissage, le transport et l'installation. Par ailleurs, le géotextile a été spécialement conçu pour retenir le sable de remplissage tout en permettant en même temps une perméabilité élevée.

III - EXEMPLES D'APPLICATION.

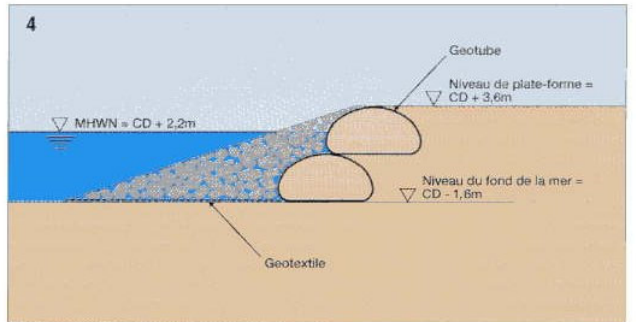
1- Ile Amwaj, BAHRAIN

Près de 30 kilomètres de géotubes ont été utilisés pour construire les digues de confinement permettant de créer des îles artificielles à BAHRAIN, en vue du développement d'un habitat de prestige dans le golfe persique..

Les nouvelles surfaces ont été créées en deux étapes. La première étape a consisté à l'installation d'un géotube d'une hauteur rempli d'environ 2,60m sur l'ensemble du périmètre des îles, y compris les voies d'accès. L'étape suivante a été de réaliser un remblaiement hydraulique en sable à l'arrière des géotubes, jusqu'à atteindre le niveau du géotube rempli. Une seconde rangée de géotube a été installée pour atteindre la côte de la plate-forme finie de + 3,60m, elle-même suivi d'un nouveau remblaiement hydraulique en sable. Une fois les travaux achevés, une couche d'enrochement 60-300 kilogrammes a été posée sur les géotubes côté mer.

Des brise-lames sous-marins complémentaires, également en géotube, ont enfin été posés, pour atténuer l'énergie de la houle et favoriser la création de plage artificielle.

L'utilisation des géotubes a permis de valoriser les matériaux sableux, disponibles sur site, comme matériaux de construction, et de limiter l'apport d'enrochement, beaucoup plus coûteux.



1. Vue aérienne de l'île artificielle pendant la construction.
2. Pose du géotube.
3. Installation du géotube supérieur.
4. Coupe de la digue de confinement.

2- Digue de protection à Sea Isle City, NEW JERSEY, USA

Une ligne de géotube a été utilisée pour la construction d'une digue de protection enterrée pour protéger la route côtière et une zone d'habitation contre les inondations.

Lors de chaque saison d'ouragan, sur la côte atlantique, des vents violents et une houle intense causaient des inondations de plus en plus importantes le long de la côte, avec des dégâts de plus en plus élevés.

Une rangée de géotube a été enterrée devant la dune de sable pour éviter la rupture de la digue de protection lors des tempêtes, et ainsi fixer le trait de côte.

Afin d'éviter les affouillements risquant de déstabiliser le sol de fondation sur lequel est posé le géotube, un tapis anti-affouillement en géotextile tissé a été posé préalablement.

L'utilisation des géotubes a permis d'utiliser le sable comme matériaux de construction et d'éviter l'utilisation des enrochements.



1. Installation du géotube.
2. Depuis l'installation du géotube, il n'y a plus eu d'inondation.
3. Le géotube est posé sur un tapis anti-affouillement en géotextile.
4. Attaque de la houle pendant la construction.

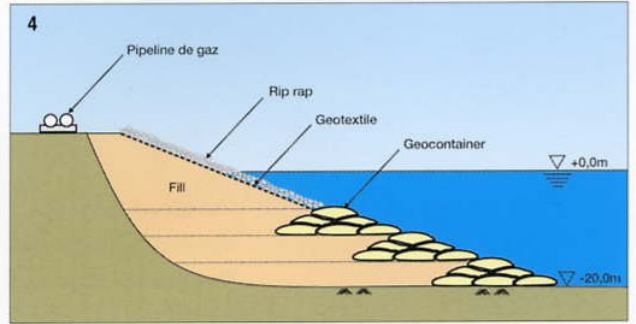
3 - Couverture d'un affouillement à Zoutkamp, PAYS-BAS

Des géocontainers ont été utilisés pour reconstituer sous eau une berge affouillée par l'érosion, en vue de réassurer sa stabilité.

L'érosion de la berge a créé un affouillement très important, risquant de provoquer la rupture du talus, menaçant un pipeline de gaz.

La reconstitution de la berge a nécessité plusieurs étages de géocontainers avec des remblais attenants. Le niveau de géocontainer le plus profond a été posé à environ 20 m sous la surface de l'eau.

L'utilisation des géocontainers a permis d'utiliser le sable comme matériaux de construction, en remplacement de matériaux de carrière, ce qui a permis une économie substantielle dans le projet.



1. Remplissage du sable dans le géocontainer disposé dans la barge à clapet.
2. Début d'ouverture de la barge.
3. Largage du géocontainer rempli.
4. Coupe sur la berge reconstituée.

4 - Réalisation d'un batardeau sur le barrage SMBA à Rabat, MAROC.

Le barrage Sidi Mohamed Ben Abdellah (SMBA), situé à proximité de la ville de Rabat, alimente en eau potable toute la cote atlantique, allant de Rabat à Casablanca, soit l'équivalent de 30% de la population du Maroc. Ce barrage a fait l'objet de travaux de surélévation pour doubler sa capacité de rétention (de 480 Mm³ à 1025 Mm³) visant à garantir les besoins de cette région à l'horizon 2025.



photo1 : site initial
à sec



photo2 : Batardeau achevé et chantier

La réalisation des principaux ouvrages hydrauliques, à savoir :

- Démolition de l'évacuateur de crues initial, à seuil libre, et la reconstruction d'un autre ayant 4 pertuis vannés et un seuil libre surélevé,
- Tour de prise additionnelle d'eau potable et galerie d'adduction (700 ml, diam. 3ml),
- Tour de vanne de tête et galerie de vidange additionnelle (240 ml, diam. 5.50 ml)

passé inévitablement par la protection, à l'amont du chenal, par un batardeau provisoire ayant une hauteur de 6 m. Celui-ci devant être stable et submersible en cas de crues durant le chantier.

A l'alternative d'une solution de base, contractuelle, constituée par une digue en terre ou en enrochements, l'entrepreneur avec l'appui de son fournisseur, a proposé une solution basée sur le procédé de géotubes, qui présente plusieurs avantages et évite en particulier les difficultés d'accès et le remblaiement dans l'eau tout en assurant l'étanchéité de la digue.

Le principe de la solution réside dans l'emploi de géotubes synthétiques, devant être remplis de sable par pompage hydraulique, en vue de construire une digue stable sur la largeur du chenal (60 m) au moyen de 3 géotubes empilés : 2 en pied et un en crête, l'ensemble devant être recouvert par une géomembrane ancrée assurant le rôle d'étanchéité.



photo2 : radeau- pose géotube
géotubes



photo3 : Remplissage des

L'opération a nécessité les moyens suivants:

- 3 géotube® de 65 m de longueur et 15 m de circonférence, formant chacun un boudin de 3 m de hauteur,
- 1 géomembrane de 34 x 80 m, livrée en deux parties ayant été soudées sur site,
- 4000 m³ de sable extrait des plages alluvionnaires avoisinantes,
- 1000 sacs de lestage,
- Fils d'attaches,
- Pompe à sable TOYO DP50B de 400 m³/h et conduites de refoulement,
- 15 éléments de Pontons flottants, fabriqués sur place,
- 2 grues à tour de 50m de flèche,
- Eléments préfabriqués en béton armé pour l'alignement contre les parois rocheuses
- Profilés HEB 180, boulons
- Equipes de plongeurs

Le projet fut réalisé en l'espace de deux mois environ en raison de difficultés technologiques ou logistiques, alors qu'il aurait pu être achevé en un mois environ. Cependant cela n'a pas eu d'incidence sur le reste de travaux.

La géomembrane a été ancrée au pied amont comme contre les parois latérales en panneaux préfabriqués. Le chantier a pu être mis à sec pendant plus d'une année et demie moyennant un faible pompage de résurgences qui résultaient de la fondation et non du dispositif de batardage.

CONCLUSIONS.

Les solutions géosynthétiques se sont imposées dans le monde entier depuis plusieurs dizaines d'années pour protéger les berges de cours d'eau et le littoral, dans le cadre de la lutte contre l'érosion, et pour construire des ouvrages hydrauliques et maritimes.

Elles offrent de nombreux avantages :

- valorisation du sable comme matériau de construction, le sable étant pratiquement toujours disponible en abondance sur ou à proximité du site
- remplacement de toute ou partie des enrochements et des matériaux de carrière.
- réduction importante des coûts de construction
- construction beaucoup plus rapide que les solutions traditionnelles
- moyens matériels beaucoup moins importants pour la mise en œuvre
- mise en œuvre sous eau ou au dessus de l'eau simple
- diminution et ou suppression des incidences de transport terrestre du fait de la réduction ou de la suppression de l'utilisation des enrochements ou des matériaux de carrière
- solution facilement réversible à moindre coût par rapport à une solution traditionnelle
- solution environnementale du fait de la mise en œuvre des matériaux du site.

Référence : GEOSYSTEMS : exemples d'application – TEN CATE NICOLON

Geotube® is a registred trademark of Ten Cate Nicolon BV.