



Protection côtière par tubes filtre conteneurs Cas de la plage de l'«Amélie».

Olivier Artières^(a), Jean Bougis^(b), Michel Dunand^(c),
Françoise Durand^(d), Patrick Vassal^(e)

^(a) *Chef de Projets de Développement, Bidim Geosynthetics S.A., 9 rue Marcel Paul, B.P. 80,
95873 Bezons Cedex, Tél. : 01.34.23.53.63, o.artieres@bidim.com*

^(b) *Ingénieur Conseil, 34 Chemin du Moulin, 06650 OPIO, France
Tél. : 04.93.77.74.22, jbougis@aws.fr*

^(c) *Directeur Technique Sud, Guintoli, Saint-Etienne-du-Grès, B.P. 22, 13156 Tarascon Cedex
Tél. : 04.90.91.60.20, mdunand@guintoli.fr*

^(d) *Géologue Consultant, MD Consultants, 60 rue des Queyries, 33100 Bordeaux,
Tél. : 06.89.09.12.42, f.durand@wanadoo.fr*

^(e) *Ingénieur ISITV, Le Gault, 43330 Saint-Ferreol d'Auroure,
Tél. : 06.83.44.89.13, pat_422000@yahoo.fr*

Résumé:

Les ouvrages hydrauliques en tubes conteneurs sont des alternatives ou des compléments intéressants aux solutions traditionnelles de protection côtière mettant en œuvre des enrochements ou du béton. Un ouvrage " test " en tubes conteneurs a été construit pour protéger une zone sensible de la plage de l'Amélie : il a montré un bon comportement hydraulique et fait preuve depuis un an d'une bonne stabilité à la houle. Des essais en canal et en bassin à houle sur des modèles physiques ont confirmé l'étonnante stabilité des tubes conteneurs à la houle.

Abstract:

Hydraulic works made with container tubes are interesting alternatives to classical coastal protection solutions built with rocks or concrete. A new structure with tubes was tested to protect a sensitive area on the "Amélie" beach : it has shown a good hydraulic behaviour and a good stability to swell for more than 1 year. Trials in waves canal and basin on physical models have confirmed this performance.

Mots-clés : Protection côtière, Plage sableuse, Tube, Conteneur, Modèle

Keywords : Coastal protection, Sandy beach, Tube, Container, Model

1.Introduction

Les ouvrages hydrauliques en tubes conteneur sont des alternatives ou des compléments intéressants aux solutions traditionnelles mettant en œuvre des enrochements ou du béton et, dans certains cas, s'adaptent mieux aux contraintes liées à l'économie et à l'environnement naturel.

Cette technique a déjà été utilisée dans plusieurs chantiers ces dernières années. Une réalisation récente est le brise-lames construit en décembre 2002 pour stabiliser l'érosion dunaire le long de la plage de l'Amélie. Cette réalisation est décrite dans la première partie de l'article. Bien qu'ouvrage " test " implanté dans des conditions hydrauliques sévères et à vocation provisoire, le brise-lames en tubes conteneurs de la plage de l'Amélie a montré un bon comportement.

Par ailleurs, des essais en canal et en bassin à houle sur des modèles physiques, dont les principaux résultats seront détaillés dans la deuxième partie de l'article, ont confirmé l'étonnante stabilité des tubes conteneurs à la houle.

2.Ouvrage test: les brise-lames de la plage de l'«Amélie»

2.1.Le contexte géologique et hydraulique du Nord Médoc

La côte Aquitaine est sableuse, bordée par des formations dunaires, dépourvue d'îles et directement exposée aux houles. L'influence des fonds marins s'exerce à une distance variable suivant les caractéristiques de la houle. Ils provoquent un gonflement des vagues, une augmentation de leur cambrure et un déferlement en gros rouleaux près du rivage.

Le littoral Nord Médoc est soumis à une érosion à la fois irrégulière et violente sous l'action de la mer et du vent depuis la fin du XVIII^{ème} siècle. C'est au milieu du XIX^{ème} siècle que le recul du trait de côte devient problématique et réside principalement dans la réduction des quantités de sables mobilisables sur la plate-forme continentale. Par ailleurs, en Aquitaine, les tempêtes sont moins fréquentes depuis une quarantaine d'années mais elles sont beaucoup plus intenses. L'érosion du Nord Médoc résulte donc d'un déficit sédimentaire important. La perte a été chiffrée à environ 1 750 000 m³/an. Sur une période avoisinant la centaine d'années (1890-1994), le recul moyen annuel de la côte a été de 3,4 m/an. Entre 1888 et 1979, la côte a reculé de plus de 300 m, engloutissant deux rues habitées. Puis, cette érosion s'est accélérée, passant à un taux 8 m/an. Avec la tempête du 27 décembre 1999, c'est 10 à 15 m d'épaisseur de dune qui ont été emportés.

L'Amélie, sur la commune de Soulac-sur-Mer, ne bénéficiera des premiers aménagements qu'en 1994. Un cordon en enrochements, d'une longueur de 270 m, est édifié suite aux dégâts causés par les tempêtes de 1993-1994. L'hiver suivant lui inflige des dommages importants. En 1996, l'enrochement est conforté et des ouvrages en retour sont édifiés de part et d'autre de celui-ci pour éviter un contournement de l'ouvrage. Mais, ces protections ne font que déplacer les érosions encore plus vers l'intérieur des terres où les dunes subissent les attaques frontales de la mer (Figure 1). En 1998, une protection expérimentale est implantée sur le haut de plage constituée de 4 rangées de pieux en quinconce, disposées soit perpendiculairement au trait de côte, soit parallèlement à celui-ci. En 2000, sous l'action des houles de la tempête de décembre, l'enrochement de l'Amélie montre des signes d'affaissement et la dégradation de l'ouvrage donne lieu à des travaux de confortement en urgence. En septembre 2002, le caractère d'urgence est décrété par le tribunal administratif et un aménagement mettant en œuvre des tubes conteneurs remplis de sable est implanté sur la plage.

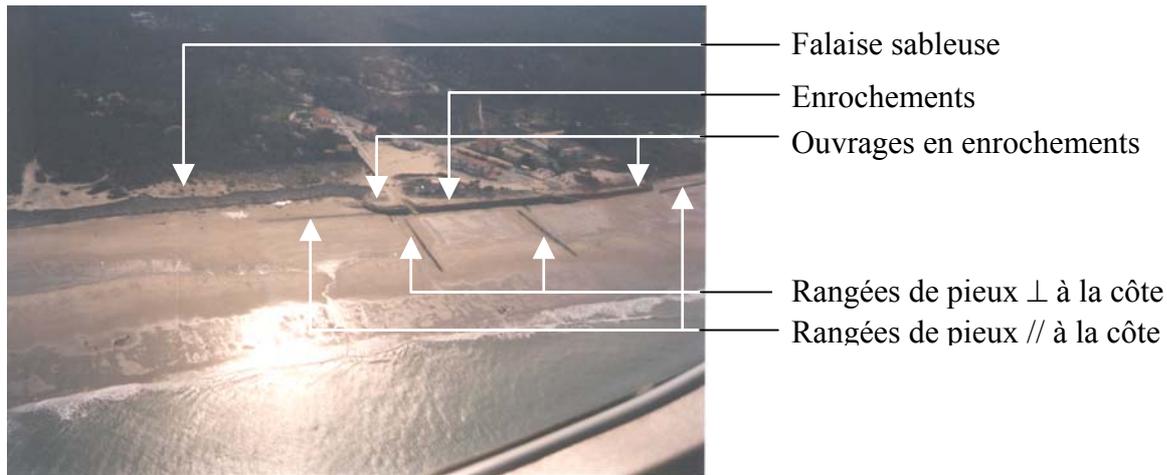


Figure1 : Vue aérienne des ouvrages de protection de la plage de l'Amélie en mars 1998 (cliché F. Durand).

2.2. Le tube brise-lames

2.2.1. Le tube conteneur

Le tube est réalisé à partir d'une enveloppe filtre cousue sur place. Les dimensions du panneau utilisé sont de 40 m de long et 6 m de large, à partir duquel un cylindre de base circulaire de 1.80 m de diamètre est construit, en laissant aux extrémités deux manches d'injection.

2.2.2. Propriétés principales de l'enveloppe filtre du tube

L'enveloppe textile agit comme un filtre industriel qui doit séparer les particules solides du fluide dans lequel elles sont transportées, sans toutefois retenir les fines (eau boueuse) qui risquent de la colmater trop rapidement. La perméabilité de l'enveloppe est en effet importante : plus l'enveloppe est perméable, plus la pression d'eau dans le tube est dissipée rapidement, ce qui permet d'atteindre des vitesses et des taux de remplissage élevés. De plus, le matériau à l'intérieur du tube se densifie plus vite, car drainé sur toute la périphérie.

L'enveloppe du tube est soumise à des contraintes mécaniques au cours du remplissage : le mélange sol/eau qui s'écoule à l'intérieur du tube produit une abrasion de la paroi interne de l'enveloppe. Cette abrasion est compensée par une surépaisseur de paroi, mais sa structure et sa densité sont également importantes.

La pression hydraulique interne occasionne aussi des tensions tangentielles et longitudinales dans l'enveloppe. Ces contraintes dépendent de la pression du mélange et de la forme finale du tube [1].

2.2.3. L'enveloppe filtre bicouche

Ce composite non-tissé aiguilleté de filaments continus associe dans un même produit une couche de filtration avec des propriétés hydrauliques optimisées :

- $63 \mu\text{m} \leq$ ouverture de filtration (mesurée selon NF EN ISO 12956) $\leq 80 \mu\text{m}$,
 - $25 \leq$ nombre de constriction (mesurée selon NF XP G 38030) ≤ 40 ,
- et une couche externe pour accroître les propriétés mécaniques :
- résistance à l'abrasion,
 - résistance à la traction).

La couche externe constituée de filaments plus gros que la couche interne possède une ouverture de filtration plus grande, ce qui augmente la perméabilité globale de l'enveloppe filtre et réduit la vitesse de colmatage interne (Figure 2).

La résistance à la traction de l'enveloppe filtre bidim F80 utilisée dans le cadre du confortement de l'«Amélie» est de 35 kN/m, ce qui est suffisant. Une propriété des non-tissés aiguilletés est la possibilité de réaliser des assemblages par couture très résistants. Par cette technique, la résistance des assemblages des tubes est très proche de la résistance propre de l'enveloppe. Par sécurité, on réalise une double couture parallèle.

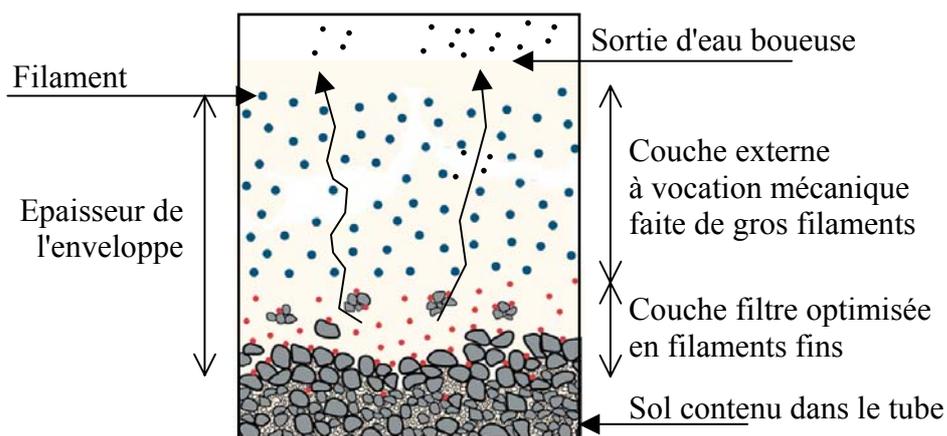


Figure 2 : Coupe schématique de l'enveloppe filtre bicouche du tube.

2.2.4. Le brise-lames

Les tubes sont positionnés vides à leurs emplacements définitifs et sont remplis de sable. La pente transversale des tubes, résultat de l'empilement de trois tubes sur la plage nord et de deux sur la plage sud, est de 20 %. Sur la plage nord, l'altimétrie du tube médian est de 6.50 CM, pour la plage sud c'est le deuxième qui est à cette cote. Sur la plage nord, l'altitude des tubes est donc respectivement 6.10, 6.50 et 6.90 CM et pour la plage sud 6.10 et 6.50 CM. La dénivelée entre le sol et la génératrice supérieure du premier tube est de 0.40 m.

Une fois le sable injecté, un cylindre de section "circulaire écrasée" est obtenu (Figure 3). La hauteur est de 1.40 m et la largeur 2.10 m.

2.3. Mise en oeuvre

Une fois le tube positionné, il est raccordé à la pompe de remplissage. Elle est positionnée au plus près des tubes afin de limiter les pertes de charge. L'eau chargée de sable (15 à 20 %) est refoulée dans le tube par l'une de ses extrémités. Le sable se dépose sur le fond par gravité et l'eau s'évacue surtout par la surface filtrante de l'enveloppe et par l'extrémité opposée à l'injection. Les deux chaussettes d'injection sont ligaturées afin d'assurer l'étanchéité du tube, voir figure 3. Le temps de remplissage moyen est de deux heures. Le volume de chaque tube est d'environ 100 m³. Le sable injecté est mis en place hydrauliquement, donc la compacité est très élevée.



Figure 3: Tubes en cours de remplissage. Première rangée sur la droite. Remplissage de la troisième rangée (à gauche).

Les tubes mis en œuvre sur la plage de l'Amélie ont une longueur standard de 38 m. La rangée la plus proche de la mer est enterrée d'environ 1 m pour limiter l'affouillement devant les tubes. La période de réalisation coïncidait avec la période de grandes marées aussi avons-nous perdu très rapidement 0.50 m de sable devant nos tubes les laissant ainsi émergés d'environ 1 m.

La continuité de la barrière est réalisée par la superposition des extrémités des deux tubes successifs. Cette phase est délicate et seule la compétence de l'équipe de pose permet de pallier ce problème.

Les tubes d'extrémités sont enfouis dans la dune sur une dizaine de mètres. La deuxième rangée est mise en œuvre en respectant la pente et le décalage des joints. Une fois la barrière créée, le sable est remblayé à l'arrière des tubes.

2.4. Comportement du brise-lames de l'«Amélie»

Lors de la construction sur la plage nord se sont produites quelques tempêtes de forces grandissantes. La première n'a fait que prélever le sable devant la première rangée de tubes laissant ainsi à découvert une marche de l'ordre de 1 m à la place des 40 cm prévus.

La deuxième plus importante, avec des creux de 2.50 m, est survenue avant la fin de réalisation des tubes. Les trois rangées de tubes parallèles au trait de côte étaient achevées cependant le retour ne comportait qu'une seule rangée ancrée dans la dune. Les tubes ont résisté et certains se sont déformés sans se déchirer. Mais fait plus important, la première rangée s'est enfoncée dans le sable laissant dépasser le tube d'environ 0.40 m. Cette position semble être une position d'équilibre. (Figure 4).

La troisième, et dernière tempête de 2002, présentait une houle avec des creux de 6 m, montant ainsi à la cote + 8.00 m CM. L'ensemble a résisté. Une très grande quantité de sable a été emportée, dont 50 cm devant la première rangée redécouvrant ainsi le tube de 1.0 m.



Figure 4: Brise-lames en tubes de la plage nord pendant (à gauche) et après (à droite) la deuxième tempête.

3. Etude de la stabilité hydraulique des tubes conteneurs en bassin à houle

3.1. Similitude des essais en bassin

Les conditions de similitude du comportement hydro-élasto-plastique de tubes conteneurs de fort allongement (rapport longueur sur largeur de 15 à 20) sont compliquées à maîtriser. Les formules de stabilité empiriques usuelles ne sont plus applicables, ou pas comme pour des blocs monolithiques peu allongés. Les similitudes géométrique et des masses volumiques suffisent à assurer la similitude de l'écoulement (Froude) et la similitude mécanique monolithique, mais pas la similitude mécanique de déformation des tubes pour laquelle le rayon de courbure doit être à l'échelle E_L des longueurs. Pour cela, la similitude de Cauchy impose la conservation du rapport entre les efforts d'inertie et les efforts élastiques, soit, si E est le module d'Young et I est l'inertie de section du tube, que la raideur de flexion EI soit à l'échelle E_L^5 . Deux solutions permettent de construire un modèle en similitude complète :

- La similitude géométrique est exacte avec le matériau en similitude de Cauchy.
- Le matériau est conservé avec une adaptation d'inertie.

La complexité de l'opération conduit souvent à adopter un modèle distordu avec une échelle des raideurs de flexion EI de E_L^4 au lieu de E_L^5 . Il faut se faire une raison sur la possibilité de créer des tubes en similitude de Cauchy avec les mêmes matériaux (géotextiles et sable). La distorsion d'échelles nécessite des corrections lors de l'extrapolation des résultats d'essais. Il est cependant difficile de maîtriser la distorsion de similitude des tubes conteneurs. En effet :

- Le changement de gamme de géotextiles ne suffit pas à obtenir une mise à l'échelle mécanique de l'enveloppe et c'est encore plus difficile pour le sable.
- Les tubes peuvent subir des déformations de grandes amplitudes qui modifient l'écoulement autour d'eux. La distorsion entre courbures et déplacements à l'échelle de la période de la houle peut déformer la similitude des écoulements.

3.2. Résultats d'essais

Des essais ont été réalisés à l'Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var par Vassal [2] pour tester des talus en sacs et des structures en tubes constitués d'une enveloppe S71 (2.7 mm, soit 1/3 plus fin que l'enveloppe à l'échelle 1) de 0.80 m de long, 0.25 m de large. La masse moyenne des tubes mouillés est de 6.75 kg, avec une masse volumique de 1680 kg/m^3 .

La stabilité des structures en tubes a été testée aussi bien pour des tubes disposés parallèlement que pour des tubes disposés perpendiculairement aux crêtes de vagues. Différents empilements ont été réalisés avec un, trois, six et dix tubes.

De manière générale, les essais réalisés, que ce soit pour les sacs ou pour les tubes, ont montré que la stabilité des structures en tubes conteneurs est de bien meilleure qualité que nos prévisions ne nous le laissaient espérer. Le premier facteur de ruine de telles structures s'est avéré être la déstabilisation de leurs bases.

Le point clé de la tenue de ces structures à l'assaut des vagues réside donc essentiellement dans la stabilité de leurs fondations et, en particulier de la résistance de ces dernières à l'affouillement. Ce résultat est d'ailleurs conforme à nos connaissances concernant les talus en enrochements et la nécessité de disposer des risbermes pour en éviter l'affouillement par la houle et les courants.

4. Conclusion

Les brise-lames en tubes conteneurs sont des alternatives intéressantes aux solutions classiques, comme les brise-lames en enrochements, et s'adaptent mieux aux contraintes liées à l'économie et à l'environnement naturel. Ils consistent en de longs " boudins " de sable confinés à l'intérieur d'une enveloppe filtre. Ce type de structure est rapide à mettre en œuvre (20 m/heure pour un tube de 1.4 m de haut), réversible si nécessaire, et entre 20% et 30% moins cher que les solutions classiques. Le brise-lames en tubes construit en décembre 2002 stabilise l'érosion dunaire le long de la plage de l'Amélie. Il a montré un bon comportement hydraulique et fait preuve d'une bonne stabilité après avoir essuyé une forte tempête hivernale avec une houle de 6 m avant la fin du chantier. L'étude sur modèle en bassin tend à confirmer cette bonne stabilité.

Les tubes filtre conteneurs présentent également beaucoup d'intérêt dans d'autres applications hydrauliques.

5. Remerciement

Les auteurs remercient la "Communauté de communes de la Pointe du Médoc" et le "Service Maritime et de la Navigation de la Gironde" pour leur assistance au cours de ce projet.

6. Références

1. Artières O., Dunand M., Durand F.: Coastal protection with textile filter tube breakwater, *Proc. XXXth IAHR Congress*, Thessaloniki, pp.531-538, 2003.

2. Vassal P. : Etude du comportement des tubes géotextiles, Rapport de stage de 3^{ème} année de l'ISITV effectué pour Bidim Geosynthetics, Septembre 2003, 98 p.