

SYSTÈMES IMMERGÉS DE CONTRÔLE DE L'ÉROSION PAR GÉOSYNTHÉTIQUES EN MILIEU FLUVIAL ET MARITIME

UNDERWATER INSTALLATION OF EROSION CONTROL SYSTEMS FOR WATERFRONT AND COASTAL STRUCTURES

Omar NACIRI¹, Aristide HEHNER²

1 BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel, Allemagne

2 NAUE Applications S.A.R.L., Vienne, France

RÉSUMÉ – Les ouvrages constituant les quais maritimes et fluviaux assurent une liaison importante entre les activités maritimes et terrestres. Les ouvrages situés dans un milieu fluvial et maritime, qui subissent des sollicitations hydrauliques parfois très fortes, sont affectés par l'érosion et la formation d'affouillement. C'est le cas par exemple des piles de ponts, des fondations d'éoliennes en mer (offshore, par exemple les mono-pieux) et d'autres ouvrages portuaires.

Cette communication présente plusieurs systèmes à base de géosynthétiques immergés utilisés comme protection efficace contre l'érosion et l'affouillement en milieu fluvial et maritime, comme par exemple: matelas de fascines avec enrochement, matelas géosynthétique contenant du sable et conteneurs géotextiles (CGC). Ces systèmes de géosynthétiques pour la protection contre l'érosion et l'affouillement ont été utilisés avec succès dans plusieurs projets.

Mots-clés: Affouillement, érosion, géosynthétiques, conteneurs géotextiles, filtre

ABSTRACT – Quay walls are an important linkage between onshore and offshore logistics of global trading systems and its serviceability must be ensured by any means. The movable bottom of waterfront structures is affected by scour as a removal of sediments by hydrodynamic forces. Also other waterfront structures like seawalls, piers, pipelines, harbour inlet and outlet structures or offshore wind energy foundations (e. g. mono-piles) are affected by scouring processes.

This paper presents several submerged geosynthetics systems used as effective protection against erosion and scour, such as: mattress fasciated with rock, geosynthetics mattresses containing sand and geosynthetic containers (GSC). Successful geosynthetic scour protection systems have been realized for a variety of projects, if designed properly and performed material characteristics are chosen.

Keywords: Scouring, erosion, geosynthetics, geotextile containers, filter

1. Introduction

Le phénomène d'affouillement touche une multitude d'ouvrages, comme le montre la figure 1. Outre les murs de quai, les digues, les piles et fondations de ponts, l'installation continue d'éoliennes en mer à travers le monde soulève des questions concernant leur longévité et leurs besoins en entretien.

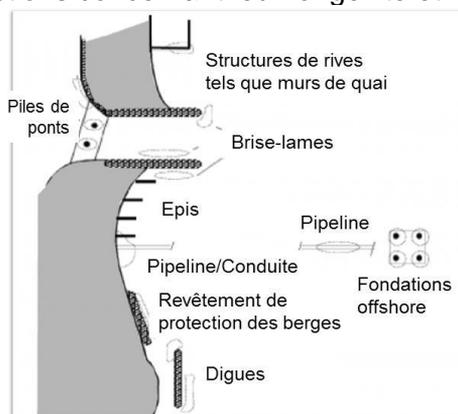


Figure 1. Ouvrages affectés par affouillement dans la pratique de l'ingénierie hydraulique (Peters, et al, 2011).

L'affouillement est une forme particulière d'érosion où le matériau de la berge et du fond du lit est enlevé par l'effet d'une action hydraulique importante. Il y a un phénomène d'affouillement lorsque les contraintes hydrodynamiques de cisaillement sur le fond marin sont supérieures aux contraintes de cisaillement critiques sur les sédiments. Sans protection adaptée du lit contre les affouillements, les sédiments mobiles peuvent être érodés sous l'effet de différentes forces hydrodynamiques, notamment celles qui suivent :

- les courants causés par les rotations d'hélice ;
- les courants de marée ;
- l'effet conjugué des vagues et courants (en mer) ;
- les augmentations localisées de vitesse orbitale dues à la réflexion des vagues ;
- les obstacles à l'écoulement et resserrlements qui accélèrent l'écoulement ;
- les zones de transition entre le fond dur et le lit érodable.

Toute construction installée sur le fond de la mer a une influence sur le régime d'écoulement local, le lit marin et l'équilibre dynamique entre les forces hydrodynamiques extérieures et le plancher toujours mobile (figure 2). Souvent, le fond marin naturel et le lit se composent de sables plus ou moins denses et fins. Du fait de l'interaction entre la structure de la fondation et le fond marin, des processus plus ou moins marqués d'érosion et de sédimentation, causés par les courants et les vagues, se produisent et peuvent nuire au bon fonctionnement et à la stabilité de la structure.

Les formations d'affouillement sont difficiles à prévoir, c'est pourquoi une protection adaptée est nécessaire. Les fosses d'affouillement peuvent compromettre la stabilité de la structure ou le régime d'écoulement, avec des conséquences sérieuses pour les activités de transport maritime. Ces processus d'érosion dépendent du type de structure, des forces hydrodynamiques et des propriétés du fond marin.

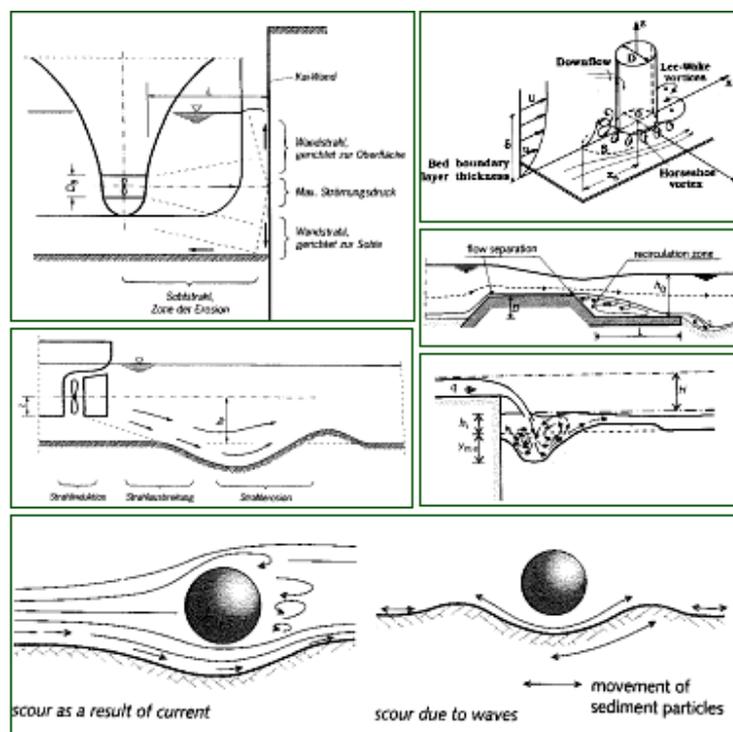


Figure 2. Les processus d'affouillement (Hofmanns et Verheij, 1997).

2. Protection contre les phénomènes d'affouillements

2.1 Éléments

Les solutions de protection contre les phénomènes d'affouillements sont bien développées. Cependant, lorsque le sol est fin, la profondeur d'eau importante, les courants ou vagues forts, le succès pratique des systèmes de protection classiques n'est pas garanti. Aucun système de protection contre les affouillements ne peut fonctionner efficacement sans couche filtrante entre la couche de protection et le lit mobile, puisque la protection risque de s'enfoncer dans le lit/fond.

De nombreux systèmes de protection contre les affouillements avec de très bonnes couches filtrantes à gravier ont été élaborés. Mais un examen plus approfondi révèle que la réalisation et l'état final sont en réalité loin des conceptions scientifiques d'origine. Traditionnellement, les couches filtrantes se composent d'un enrochement mineur avec un mélange de graviers bien gradué (1-200 mm par ex.) et sont recouvertes d'une couche de protection (classes de roches, enrochement majeur). Les couches de protection en enrochement exigent toujours une couche filtrante en dessous pour limiter le transfert des forces causé par les affouillements. Les couches filtrantes granulaires qui sont dimensionnées selon les critères de TERZAGHI ne fonctionnent pas en mer, mais les couches filtrantes sont des éléments importants pour éviter que :

- les couches de protection ne s'enfoncent dans le fond ;
- la protection contre les affouillements ne soit dégradée par érosion à la surface et autour ;
- le sol ne soit aspiré à travers la couche de protection ;
- le déchargement de matière rocheuse n'endommage les fondations de structures sensibles (câbles électriques dans le cas des parcs éoliens, par exemple).

La couche de protection est nécessaire pour maintenir la couche filtrante près du lit mobile et stabiliser le fond (éviter un déplacement du sol). La couche de protection apporte le poids et la stabilité nécessaire contre les forces hydrodynamiques pour que le sous-sol soit stabilisé par les contraintes de confinement. De ce fait, une couche filtrante doit être capable de retenir le sol tout en fournissant une perméabilité élevée à l'eau. Les premières expériences sur les techniques de protection contre les affouillements pour les structures en mer sont l'œuvre de Heerten et al. et datent de 1981. Aujourd'hui, les problèmes cités sont toujours d'actualité.

Tenant compte des deux exigences susmentionnées, il est préférable d'appliquer des mesures de protection contre l'érosion qui soient mis en œuvre de manière flexible pour assurer une bonne transition entre les bords et les aires non protégés. La conception avec des géotextiles est très bien adaptée à ces fins. Les conteneurs de sable en géotextiles non tissés confèrent des avantages notables en termes d'installation et d'efficacité, assurant une protection sûre et adaptable du lit contre les affouillements. La couche de protection et la couche filtrante peuvent toutes les deux être remplacées par des conteneurs de sable en géotextiles non tissés aiguilletés.

2.2 Filtres géotextiles

Un avantage majeur des filtres géotextiles par rapport aux filtres granulaires est leur stabilité permanente à l'érosion. Depuis plus de 40 ans, les géotextiles en matériau épais non tissé aiguilleté sont employés en Allemagne comme solution alternative aux filtres granulaires avec une réussite extraordinaire (Heerten, 1980 et 2005). Dans la construction de voies navigables, ces couches filtrantes se sont imposées comme la norme pour les systèmes de protection des fonds et berges le long des fleuves, voies navigables et ouvrages de bord de mer. Des réglementations sur les essais de performance des géotextiles ainsi que des recommandations pour leur conception ont été élaborées au début des années 1990 par l'Institut Fédéral Allemand d'Études et de recherches pour les constructions hydrauliques (Bundesanstalt für Wasserbau, BAW). À la différence des conceptions telles que celle présentée dans PIANC (1987) avec des couches intermédiaires sur le géotextile, la figure 3 montre un exemple-type de revêtement contre les marées utilisant un géotextile non tissé.

Aucune défaillance ou presque ni aucun autre problème sérieux (par exemple, des couches filtrantes de géotextiles non tissés aiguilletés endommagées lors du déchargement des pierres) n'ont été observés en Allemagne. L'une des raisons est que seuls les géotextiles présentant des caractéristiques de performance spécifiques peuvent être utilisés comme couche filtrante dans les voies navigables. Les géotextiles doivent présenter une haute résistance à l'abrasion. Établies après des essais selon la méthode du BAW (RPG, 1994), les exigences sont définies dans les Recommandations pour la fourniture et l'installation de filtres géotextiles dans les voies navigables en Allemagne (TLG, 2008). Tous les géotextiles utilisés dans les systèmes de protection des fonds et berges doivent faire l'objet d'essais de performance. Pour obtenir la filtration la plus efficace possible, les géotextiles doivent posséder une certaine épaisseur et des capacités de rétention du sol déterminées par tests dans des conditions d'écoulement turbulent.



Figure 3. Protection côtière et revêtement de berge

2.3 Installation immergée de systèmes à base de géosynthétiques

Il existe plusieurs systèmes à base de géosynthétiques immergés utilisés comme protection efficace contre l'érosion et l'affouillement en milieu fluvial et maritime, comme par exemple : matelas de fascines avec enrochement, matelas géosynthétiques contenant du sable et conteneurs géotextiles (CGC).

Les matelas de fascines immergés (figure 4) sont des panneaux préfabriqués (sur place et à sec) ; ils sont tirés sur la surface de l'eau par flottabilité à l'endroit d'installation prévu puis chargés avec l'enrochement (couche de protection). Le système se compose de fascines attachées sur un géotextile, ce dernier a le rôle de couche portante et de filtre. Les fascines nécessaires (fagots de branches quadrillés) sont attachées par des boucles à la face tissée du géocomposite tissé / non tissé. La méthode de matelas de fascines avec des enrochements dimensionnés de manière appropriée, est une méthode classique de protection contre l'affouillement utilisée sur le littoral et dans des fleuves et rivières larges. Ces matelas immergés conviennent à une installation sur de surfaces planes aux fonds horizontaux mais peu aux pentes.



Figure 4. Immersion des fascines pour la stabilisation des épis.

L'installation sous l'eau des applications hydrauliques se fait au moyen de navires spécialement équipés (figure 5).

Autre solution au géocomposite susmentionné, des nappes géotextiles intégrant une couche granulaire mince ont été développées en 1992. L'ajout de matériaux minéraux (sable, sable graveleux, silicate de fer granulé, par ex.) entre deux couches de géotextiles (géocomposite matelas de sable) permet d'accroître notablement la masse surfacique (figure 6). L'installation peut s'effectuer de manière conventionnelle à l'aide d'une pelle munie d'un palonnier. Cette méthode est réalisable, si la vitesse du courant est faible.

Pour les installations sous l'eau, les systèmes à géocomposites présentent l'avantage d'avoir une meilleure stabilité hydraulique (pas de déplacement vertical, pas de plis). Grâce à leurs coûts d'installation réduits et leur résistance aux courants, les matelas géosynthétiques contenant du sable sont devenus des produits standards respectés utilisés comme filtre géotextile dans la construction de voies navigables. Avec les équipements conventionnels, l'installation sous l'eau des matelas immergés ou matelas géosynthétiques contenant du sable est limitée par la profondeur d'eau et les charges hydrauliques lors de la construction.

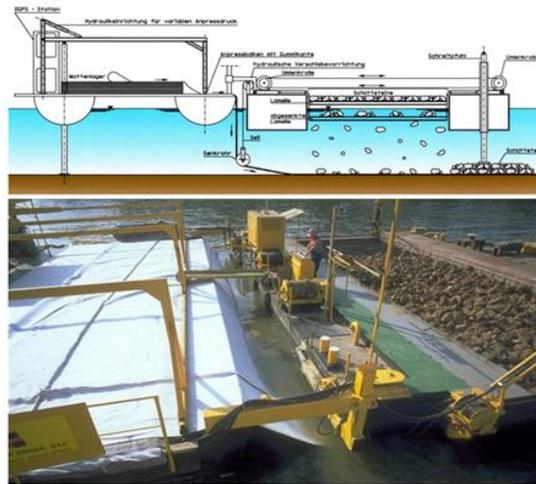


Figure 5. Navire spécialement équipé avec l'installation d'une nappe infinie et la barge pour la chute d'enrochement.

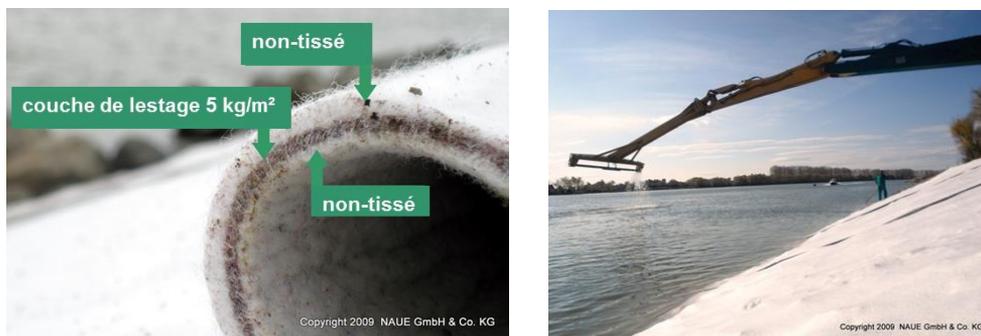


Figure 6. Protection de berge par l'utilisation d'un géocomposite matelas de sable pour une installation sous l'eau.

Le troisième système des conteneurs géotextiles (CGC) non tissés (figure 7) offre donc une alternative efficace à la solution conventionnelle puisqu'ils conviennent aux profondeurs > 30 m et aux courants forts (cf. chapitre suivant).

Cette méthode est efficace par exemple dans le cas où la place est limitée ou dans le cas de talus raides sous l'eau, la seule possibilité de placer une couche filtrante qui fonctionne est le déversement de conteneurs géotextiles. Ces éléments ont une position suffisamment stable pour ne pas être déplacés, même sous l'impact de vagues ou de courant plus forts, et pour retenir, en même temps, le sol fin de façon efficace. Ils peuvent mieux s'adapter à la géométrie du sous-sol (par exemple aux affouillements qui se sont déjà formés). Ils peuvent être dimensionnés en fonction des conditions du site, le matériau d'enveloppe du conteneur servant de filtre. Les conteneurs synthétiques peuvent être fabriqués en fonction d'exigences liées, par exemple au matériau de départ, à la taille, à la forme, à la capacité filtrante, à la solidité, etc. Ils sont préfabriqués mais ne seront remplis que sur le lieu de pause.



Figure 7. Conteneurs géotextiles (CGC).

3. Système de protection contre les affouillements avec conteneurs en géotextiles. Allongement plutôt que résistance, l'étude de cas inattendue

Le barrage de l'Eider sur la côte Allemande, construit entre 1967 et 1973, protège l'estuaire du fleuve Eider contre les ondes de tempête venant de la mer du Nord, améliore le débit de l'Eider et assure le trafic sur le fleuve. Lorsqu'il a été construit, des protections contre les affouillements ont été posées côté mer et côté terre. Un dispositif de stabilisation du lit rigide dans le sens d'écoulement, d'une longueur minimale de 150 m et d'une inclinaison de 75H:1V, ainsi que des zones de transition adjacentes, d'une largeur minimale de 30 m, visant à prévenir tout affouillement intérieur des berges et à éviter une érosion vers le barrage, ont été créés. Comme il était à prévoir, des affouillements s'étaient développés parce que, pour des travaux de réparation, l'une des portes du barrage devait rester fermée pendant de longues années, ce qui a augmenté la vitesse du courant et a renforcé la courbure du tracé du courant. Il n'était pas possible que l'affouillement se remplisse à nouveau dans une même période de marée.

Depuis 1991, des affouillements se sont formés, notamment côté mer, jusqu'à une profondeur de 25 m. Les berges, à l'intérieur, sont devenues très raides par endroits (environ 1H:1V). Même si la situation côté fleuve était légèrement meilleure, il a fallu stabiliser les pentes des affouillements intérieurs côté mer et côté terre en installant une couche filtrante sur les berges affouillées existantes; les affouillements ont été comblés afin de limiter l'inclinaison à 3H:1V maximum et pour obtenir un profil d'équilibre, enfin une couche d'enrochement a été installée (figure 8).

Pendant les travaux de sécurisation, la vitesse des courants de marée atteignait 2,5 m/s. Les conteneurs ont été placés sur deux couches. Comme matériau d'enveloppe, il a été choisi un non-tissé de filtration et rembourré ce dernier de matériau adapté au filtrage ; ceci devait permettre d'assurer une double sécurité au cas où le matériau des conteneurs ne résisterait pas aux sollicitations. Mais on a constaté que cette crainte n'était pas justifiée. Des enrochements ont été répandus sur les conteneurs pour augmenter l'inclinaison de la berge de l'affouillement à 3H:1V. Ensuite la couche de surface a été posée avec des enrochements de 1 à 4 t, pour résister durablement aux sollicitations dans cette section de la côte.

Cette solution, mise en œuvre au début de l'année 1993, marque le premier pas de la popularisation des conteneurs robustes et flexibles en géotextiles non tissés comme élément de stabilisation des affouillements. Environ 48 000 conteneurs en géotextiles ont été installés avec succès par déchargement depuis la surface de l'eau. Cette solution est unique en son genre dans le monde et est considérée comme extrêmement efficace. Moins de 10 conteneurs sur les 48 000 ont été endommagés lors du déchargement.

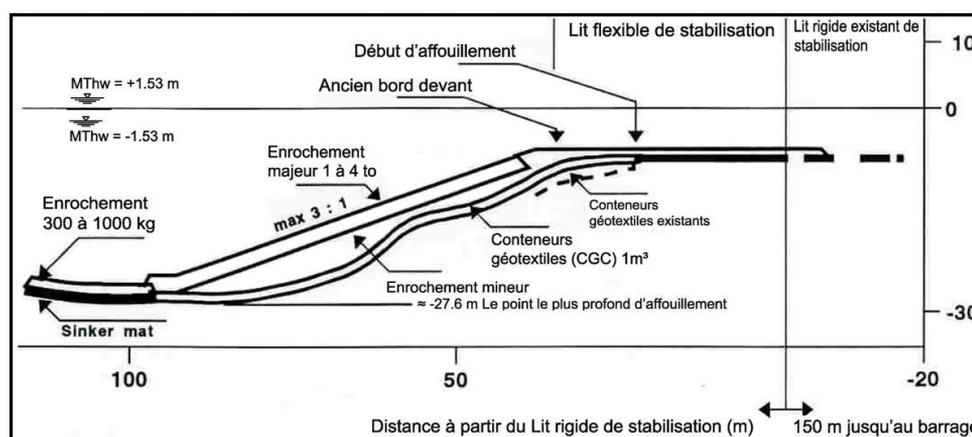


Figure 8. Profil réalisé pour l'affouillement de la digue extérieure (Heerten, 2010).

Après plusieurs années de service et différentes mesures prises pour stabiliser des affouillements, de grandes règles ont été établies pour la conception :

- le matériau non tissé aiguilleté doit être suffisamment épais et présenter des propriétés de filtration, une robustesse et une capacité d'allongement élevées. Les coutures surpiquées doivent être préfabriquées hors site, sauf la couture de fermeture (point de chaînette double). Le géotextile doit agir comme un « filtre » vers la zone remblayée et le sol du fond pour le protéger ;
- aucun matériau de remplissage granulaire particulier n'est nécessaire. Le matériau de remplissage habituellement utilisé est le sable (non cohésif) ;

- le poids doit être suffisamment important et la couche filtrante doit s'étendre sur au moins 2 niveaux (aucune couche de protection n'est nécessaire) ;
- les conteneurs en géotextiles utilisés pour la stabilisation des affouillements doivent être aussi petits que possible et aussi lourds que nécessaire pour résister aux forces hydrodynamiques (Heerten, 2010). Compte tenu des aspects susmentionnés, les sacs doivent être posés à plat sur le fond pour compenser les irrégularités et les creux par leur flexibilité.

4. 12 ans d'exposition aux vagues et courants: résultats de l'évolution de la stabilisation des affouillements (île de Sylt, Allemagne)

En 1994, de forts courants de marée sur l'île de Sylt en Allemagne ont provoqué la formation d'affouillements très importants, avec des pentes d'affouillement inclinées à 1:1 et raides sur 20 m, autour de l'ouvrage de front de mer du port de List (dans la mer du Nord). La stabilité du mur de palplanches en acier était compromise et les pieux en acier ont failli se renverser. Il a fallu protéger la partie immergée des palplanches en déployant environ 7000 conteneurs en géotextiles pour stabiliser en urgence les affouillements. L'opération a demandé l'utilisation d'une grue à flèche (figures 9,10 et 11).

Les conteneurs en géotextiles étaient en matériau non tissé aiguilleté et avaient un volume de remplissage de $V = 1 \text{ m}^3$ et un taux de remplissage de 80 %. Enfoncer ou faire vibrer les pieux en acier à travers les conteneurs de sable en géotextiles installés est tout à fait possible, mais l'extrémité des pieux doit être taillée en forme angulaire avant l'exécution. En plus de cette protection contre les affouillements, le chenal du port a lui aussi été stabilisé à l'aide de conteneurs en géotextiles.

Après 12 ans de service dans les conditions rudes de la mer du Nord, des études et analyses de terrain ont été menées (Schade, 2008). Les pentes d'affouillement se sont bel et bien stabilisées et une couche naturelle d'algues et moules (figure 12) s'est formée sur les conteneurs en géotextiles. Malgré des courants de marée permanents (environ 2 m/s) et donc des charges hydrodynamiques, la stabilité hydraulique des conteneurs en géotextiles est satisfaisante.



Figure 9. Manutention, remplissage et fermeture des conteneurs géotextiles pour la stabilisation de l'affouillement (Saathoff et Witte, 1994).



Figure 10. Stabilisation de l'affouillement en utilisant une barge pour le déversement des conteneurs (Saathoff & Witte, 1994).

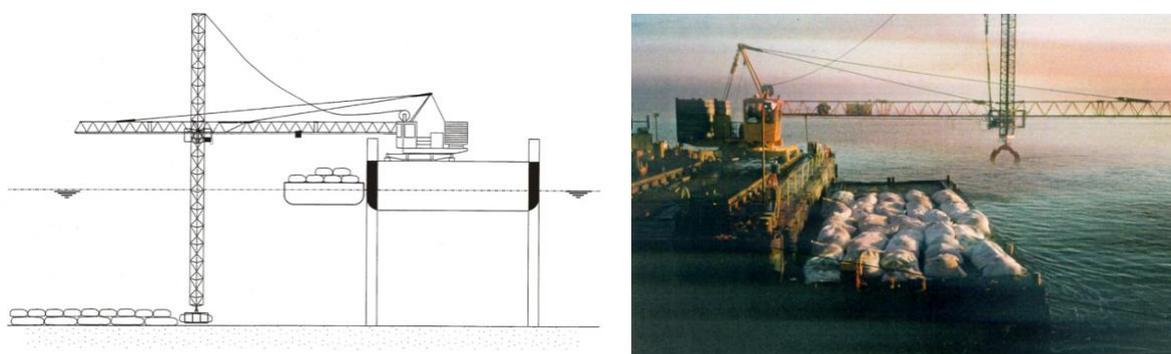


Figure 11. Travaux de stabilisation d'affouillement par l'utilisation d'une grue à flèche (Heerten, 2010).



Figure 12. Développement marin sur la protection de l'affouillement Secutex® Soft Rock après 10 ans d'exposition au port List (Schade, 2008).

5. Conclusions

Aujourd'hui, les géosynthétiques sont employés partout dans le monde et sont des matériaux indispensables dans la construction hydraulique. La première pierre de ce développement mondial a été posée lors de l'installation de filtres géotextiles non tissés dans le Mittellandkanal (la plus longue voie navigable artificielle en Allemagne) en 1969. Aujourd'hui, presque 50 ans plus tard, les presque 200 km de revêtement stable et quasiment sans entretien des berges du Mittellandkanal réalisés avec des géotextiles non tissés aiguilletés sont un grand succès. D'un point de vue technique, les solutions de protection des berges et fonds sont réalisées de la même manière que les solutions de protection contre les affouillements. Les deux systèmes nécessitent un filtre pour créer une couche limite stable et une couche de surface pour résister aux forces hydrodynamiques.

L'expérience acquise avec l'utilisation de géotextiles pour la protection des côtes remonte déjà à plus de 50 ans. Les couches filtrantes en géotextiles sont une alternative efficace aux filtres granulaires pour lutter contre l'érosion s'ils sont en matériau non tissé aiguilleté épais et robuste. Leur résistance aux perforations dynamiques lors du déchargement de pierres est excellente sachant que les géotextiles sont normalement connus pour être sensibles aux charges mécaniques. L'explication réside dans la capacité d'allongement des géotextiles non tissés aiguilletés, qui permet d'éviter de façon fiable les sollicitations critiques du matériau en cas de chocs.

Mis à l'épreuve dans des projets depuis le début des années 1990 et analysés dans des canaux à houle (Recio, 2008) et études de terrain (Schade, 2008 ; Heerten & Peters, 2011), les conteneurs de sable en géotextiles sont des outils éprouvés pour la construction hydraulique.

Ces conteneurs en matériau non tissé aiguilletés simplifient donc la construction en combinant une fonction de filtre et une fonction de conteneurisation, tout en s'adaptant parfaitement à la géométrie des zones d'affouillements. Aucun matériau granulaire supplémentaire n'est nécessaire pour compléter le système de protection contre les affouillements. Les zones de transition vers la partie du lit non protégée sont flexibles par nature, puisque les éléments «souples» remplis de sable s'adaptent aux déformations du fond. De nombreux projets ont été menés avec des conteneurs de sable en géotextiles

non tissés utilisés comme système de protection contre les affouillements depuis le début des années 1990 et sont décrits dans la littérature. Qui plus est, des chiffres sur leur efficacité après 10 ans d'exposition à l'extérieur sous l'influence de la mer sont déjà disponibles.

Ce concept de protection contre les affouillements devrait permettre une réduction des coûts pour le marché florissant de l'énergie éolienne en mer et une meilleure stabilité permanente des pieux. Il est indispensable que les fondations des ouvrages soient protégées par des systèmes simples et faciles à mettre en œuvre, dans la mesure où la profondeur de la mer peut atteindre 40 mètres et les conditions (vent et vague) peuvent être très rudes. Les tests réalisés dans le grand canal à houle d'Hanovre se sont révélés positifs concernant la stabilité hydraulique et l'efficacité du système (figure 13).



Figure 13. Des essais à grande échelle de la protection de l'affouillement des fondations des éoliennes offshore (Gruene et al, 2007).

6. Références bibliographiques

- Comité Français des Géosynthétiques CFG (2003). *Recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques dans la lutte contre l'érosion*, Édition Janvier 2003
- Grüne J., Sparboom U., Oumeraci H., Schmidt-Koppenhagen R., Wang Z., Hildebrandt A. (2007). Offshore-wind turbines – Large-scale investigations on scour protection for monopile foundations under sea state conditions. *Conference Windforce 2007, Bremerhaven*
- Heerten G. (1981). Experience of different scour protection techniques at offshore-structures in the North Sea. *5th Australian Conference on Coastal and Ocean Engineering, 25-27 November 1981*
- Heerten G. (1995). Lessons learned from the failure of revetment systems on the bank of a canal. *Geosynthetics '95, Pre-Conference Short Course "Geosynthetics: Lessons Learned from Failures"*. Monitored by J.P. Giroud, Nashville, Tennessee USA
- Heerten G. (2010). Geotextile containers for coastal and hydraulic engineering structures made of specially designed nonwoven geotextiles. *Key-Note Lecture on 9th International Conference on Geosynthetics ICG. Rio de Janeiro, Brasil, 2010*
- Heibaum M. (2002a). Scour protection and repair by filtering geosynthetics containers. *First International Conference on Scour of Foundations, ICSF-1, Texas A&M University, College Station, Texas, USA, November 17-20, 2002*
- Heibaum M. (2002b). Geosynthetic containers – a new field of application with nearly no limits. *7th International Conference on Geosynthetics, Nice, France, 2002*
- Heibaum M. (2009). Lutte contre l'érosion avec des conteneurs géosynthétiques. *Rencontres Géosynthétiques 2009, Nantes, pages 287-292*
- Hoffmans G.J., Verheij H.J. (1997). Scour manual. *Taylor and Francis. 224p.*
- PIANC (1987). Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways. *Report of Working Group 4 of the Permanent Technical Committee I. Permanent International Association of Navigation. Supplement to Bulletin No 57.*
- Saathoff F., Witte J. (1994). Use of geotextile containers for stabilizing scour embankments at the Eidersperrwerk. *Geosynthetics World, issue September 1994*
- Schade D. (2008). Long term stability of a harbour protection measure. *Proceedings, International Conference on Coastal Engineering ICCE, Hamburg. August 31 to September 5, 2008*

Werth K., Pries J. (2012). Underwater installation of erosion control systems for waterfront and coastal structures. EuroGeo 5 Valence, Espagne (2012).