

# LUTTE CONTRE L'ÉROSION AVEC DES CONTENEURS GÉOSYNTHÉTIQUES

## EROSION COUNTERMEASURES INCORPORATING GEOSYNTHETIC CONTAINERS

Michael Heibaum

BAW - Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Allemagne

**RÉSUMÉ** – Pour empêcher les différentes formes d'érosion de se développer ou bien minimiser leurs conséquences, il y a deux possibilités : réduire l'action ou augmenter la résistance. Les géosynthétiques se sont révélés être des matériaux appropriés. Concernant l'érosion de surface, les barrières géosynthétiques peuvent réduire l'action, les conteneurs peuvent augmenter la résistance des digues par exemple. Concernant la formation d'affouillements, des épis pour diriger le courant et ainsi réduire l'action sont construits en utilisant des conteneurs géosynthétiques. Pour augmenter la résistance contre la formation d'affouillements, les conteneurs sont appliqués comme protection des berges ou, installés côte à côte, pour créer un tapis filtrant sous des charges hydrauliques fortes, quand l'installation d'un filtre est compliquée par la vitesse du courant d'une fleuve ou par la force des vagues.

**Mots-clés** : érosion, conteneur géosynthétiques, filtre, seuil, épi.

**ABSTRACT** – To prevent erosion or to reduce the effects of erosion processes, there are two possibilities: either to reduce the actions or to increase the resistance. Geosynthetics can contribute significantly to both approaches. As to surface erosion, geosynthetic barriers can reduce the action while geosynthetic containers can increase the resistance of dikes, for example. As to scouring, groins for flow training and this way reducing the actions can be built with geosynthetic containers. To increase the resistance, containers can be used as bank protection or, placed continuously, to form a filter layer even when strong hydraulic loads are acting and the placement of a filter is hindered by the flow velocity or by wave impact.

**Keywords**: erosion, geosynthetic containers, filter, sill, groin.

## 1 Introduction

Pour empêcher les processus d'érosion ou au moins réduire leurs effets il y a, en principe, deux méthodes : on peut soit réduire l'action soit augmenter la résistance. Réduire l'action signifie limiter l'afflux d'eau ou influencer la quantité d'eau, la vitesse d'écoulement ou la forme des ondes de telle manière à ce qu'il n'y ait plus de transport de particules. Pour augmenter la résistance à l'érosion, il faut trouver des moyens de traiter le sol de façon à ce qu'il ne puisse plus être érodé par des actions hydrauliques. Dans les deux cas, des géotextiles et en particulier des conteneurs géotextiles peuvent considérablement contribuer à la protection contre l'érosion.

Les conteneurs géosynthétiques (aussi appelés « géosystèmes », Pilarczyk 2000) sont des éléments multifonctionnels. Selon le besoin, ils peuvent être fabriqués dans des formes, tailles et matériaux complètement différents, dans le but de remplir les exigences spécifiques des cas respectifs. Dans ce sens, le mot « conteneur » est utilisé de manière plus large ici, se référant à tous les géocomposites dans lesquels un géotextile enveloppe une charge minérale.

## 2 L'érosion de surface

La force d'écoulement de l'eau dans le sol peut mettre en mouvement des parties de fractions granulométriques de couches de sol ou bien le sol en entier. En fonction de l'endroit où l'érosion a lieu, on distingue l'érosion de surface et l'érosion interne.

L'érosion de surface résulte de l'action de l'eau sur une surface de sol. Pour cette raison, elle peut apparaître aussi sur des sols seulement partiellement saturés ou sur des sols secs. L'érosion peut se développer dès le premier impact d'une goutte d'eau lorsque l'énergie d'impact met en mouvement des particules de sol (« effet splash »). Les particules du sol détachées sont d'abord transportées vers le bas sous forme d'un film d'écoulement fin, ce qui donne naissance à la formation de sillons d'érosion au fur et à mesure que la profondeur augmente. Donc plus les mesures de protection et les contre-mesures contre l'érosion commencent tôt dans le processus d'érosion, plus elles seront efficaces. L'idéal serait

d'empêcher l'érosion complètement. Si le processus d'érosion a déjà commencé, il faut prendre des mesures pour empêcher que le transport de matériaux solides ne se renforce et surtout ne devienne pas progressif.

## **2.1 Mesures pour réduire l'action**

### **2.1.1 Barrière géosynthétique**

À première vue, il semble que la pose d'un revêtement d'étanchéité soit la méthode la plus simple pour empêcher l'érosion par des écoulements d'eau interstitielle, car sans une entrée d'eau dans la structure des grains, aucun processus de transport ne peut y avoir lieu. Mais ceci n'est valable que s'il s'agit d'une barrière complète donc si elle n'est ni infiltrée ni contournée par l'écoulement. Pour étancher les corps de terre, de multiples matériaux existent – habituellement on utilise de l'argile naturelle, du bitume, du béton ou des géosynthétiques.

Les barrières utilisant des géosynthétiques comprennent non seulement les barrières à base de polymères ou bitumineuses, mais aussi les barrières argileuses géotextiles (« matelas de bentonite ») et des matelas de béton. Dans le premier cas, la bentonite est insérée entre un géotextile de revêtement et un géotextile porteur et ainsi à l'épreuve de l'érosion. Il a été ainsi démontré qu'un délavage de cette couche de barrière minérale est empêché même sous l'effet d'une épreuve turbulente (BAW, 2001). Dans le cas des revêtements d'étanchéité réalisés par des matelas de béton, deux couches de tissu géotextile sont déployées, cousues l'une à l'autre en bande continue et ensuite remplies de béton. Une épaisseur uniforme est assurée en posant des fils d'écartement à des distances régulières, ce qui donne la forme d'un matelas. Les matelas de bentonite et de béton peuvent donc être considérés comme de conteneurs minces.

### **2.1.2 Seuils perpendiculaires à l'écoulement**

Si le début de l'érosion et le transport de matériau du sol dans les sillons d'érosion ne peuvent être empêchés, il vaut mieux maintenir l'énergie d'écoulement active et la quantité de sol enlevée à un niveau le plus faible possible. Un moyen classique pour freiner l'écoulement est de poser des seuils (souvent temporaires) dans le sillon d'érosion. Dans ce but, on utilisait et utilise encore des balles de paille qui permettent d'imposer rapidement une telle entrave à l'écoulement. Mais souvent l'écoulement trouvait un passage au-dessous ou à côté des balles, réduisant ainsi fortement leur efficacité. Des seuils en sacs de sable se sont révélés plus efficaces. Les sacs géotextiles ne sont pas remplis complètement, ce qui leur permet de bien s'adapter l'un à l'autre ainsi qu'à la surface. Cette construction a deux effets simultanés : elle réduit la force d'érosion de l'eau et agit comme piège à sédiments, de sorte que le matériau déjà transporté peut se déposer. Si l'on utilise un géotextile filtre et un rembourrage bien perméable, l'écoulement passe au travers de la barrière mais uniquement au-dessus de la barrière dans le cas de grandes arrivées d'eau, ce qui permet de réduire encore l'énergie d'écoulement.

Les barrières en sacs de sable se sont révélées utiles aussi comme protection contre le transport de matériau dans le cas de digues à travers lesquelles passe un écoulement. L'eau sortant sur la face aval est refoulée par des barrières appelées « Kaden » (Figure 1) ; ceci a comme conséquence d'une part une réduction du gradient hydraulique et ainsi de la force de transport de l'eau d'infiltration et, d'autre part, un ralentissement du processus en retenant le matériau.

## **2.2 Mesures pour augmenter la résistance**

Un grand risque apparaît en cas de débordement des digues, qui provoque l'érosion de la crête de la digue ainsi que du talus extérieur. Comme les niveaux des crues ont augmenté au fil du temps et augmenteront encore, il est raisonnable de prévoir des protections appropriées – et les géotextiles s'y prêtent très bien. Les matelas posés sur les crêtes et sur les faces en aval des digues comme protection contre l'érosion assurent la couverture en herbes et empêchent ainsi l'érosion du matériau de la digue. Une protection encore plus importante des digues est assurée par la construction de conteneurs. Ceci consiste à construire soit la digue toute entière soit sa partie supérieure en conteneurs géotextiles et de la couvrir par une couche de végétation. Celle-ci est enlevée dans le cas d'un débordement, le noyau de la digue, par contre, restant intact. Un effet similaire est atteint si l'on « emballe » le matériau de la digue couche par couche avec un géotextile ou une combinaison de géotextile et de géogrilles (Heerten et al., 2008).



Figure 1. Barrières en sacs de sable (« Kaden »)

La plupart des géotextiles nontissés de filtration sont enracinés sans problème, ce qui a pour conséquence de ne pas gêner la végétation et d'assurer une protection durable contre l'érosion. Le géotextile provoque une rétention effective du sol sans affecter sa perméabilité ; il agit donc comme un filtre vis-à-vis d'un écoulement venant de l'extérieur.

### 3 Formation d'affouillements

Les affouillements sont 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 ; cet effet peut, le cas échéant, être encore renforcé par des gradients et des variations de pression élevées dans l'interaction entre l'eau interstitielle et l'eau superficielle. La résistance à l'érosion est déterminée par la cohésion interne du matériau sollicité (résistance de la roche, cohésion d'un sol cohérent) et par la taille et la masse de l'élément individuel exposé à l'action de l'écoulement sur la surface sollicitée. Plus la résistance interne est élevée et l'élément individuel est grand, plus le risque d'érosion est faible.

Des endroits connus pour comporter un risque d'affouillement sont, par exemple, le bief aval des barrages, les berges extérieures dans les coudes de rivières ou fleuves, les postes d'amarrage de bateaux ainsi que toutes les constructions placées dans le courant, comme par exemple les piles de ponts.

Pour combattre la formation d'affouillements, il est préférable d'appliquer des mesures de protection contre l'érosion qui soient exécutées de manière flexible pour assurer une bonne transition entre les bords et les aires non protégées. Les méthodes de construction utilisant des géotextiles s'y prêtent très bien.

#### 3.1 Mesures pour réduire l'action - Les épis pour diriger le courant

Les mesures dirigeant le courant servent à empêcher des effets négatifs sur les berges – en ne considérant ici que la prévention de l'érosion. Les épis sont des constructions classiques pour diriger le courant dans des eaux intérieures et sur la côte. Vu la charge hydraulique élevée, la plupart d'entre eux sont réalisés sous forme d'enrochements de dimensions suffisantes, le cas échéant avec un noyau de sable et un filtre approprié. Ici, l'installation de tubes ou sacs en géotextiles enveloppant le matériau du noyau de l'épi de tous les côtés garantit une stabilité particulièrement élevée, car elle rend impossible toute érosion du matériau de remblai. Si une section de berge munie d'épis est utilisée pour pratiquer des sports aquatiques, les épis recouverts d'enrochements constituent un obstacle dur. Pour cette raison, la construction d'épis en conteneurs géotextiles réduisant notablement le risque de blessures pour les planchistes a été développée en Australie sur les plages. Un choc sur un conteneur géotextile équivaut « seulement » à un choc sur la plage de sable (assez dure, quand même).

Les conteneurs utilisés à cette fin doivent supporter, outre la charge hydraulique, des sollicitations prolongées dues au transport de sédiments, ce qui exige une résistance à l'abrasion élevée. Avec des géotextiles nontissés, ceci est plus facile à obtenir qu'avec des géotextiles tissés. Des structures où cette méthode a été réalisée avec succès se trouvent sur la Gold Coast en Australie (Hornsey et al., 2002). Les surfaces d'épis où les conteneurs sont, en plus, exposés à une charge UV ont fait leurs preuves. Grâce à une couche de protection supplémentaire de géotextile appliquée aux géo-conteneurs, aucun endommagement par les rayons UV n'a été détecté au bout de 10 ans. De la même façon,

l'installation de grands conteneurs a permis d'influencer positivement les courants côtiers par la construction d'un récif artificiel et de stabiliser ainsi les plages – et de créer, en plus, des formations de vagues optimales, de sorte que le nom de « Surfers Paradise » est parfaitement justifié.

En principe, le matériau d'enveloppe doit être choisi de telle manière à résister à toutes les sollicitations mécaniques durant la pose. D'habitude, il faut choisir entre les géotextiles tissés (géotissés) ou bien nontissés. Les tissés (géotissés) peuvent être fabriqués avec une résistance à la traction très élevée; les géotextiles nontissés, par contre, présentent l'avantage d'une très haute extensibilité. Puisque les géotextiles nontissés cèdent sous des sollicitations de pointe et sont très extensibles, ils résistent souvent mieux aux sollicitations de choc que les tissés, qui offrent une forte résistance à la traction, lors d'impacts sur le sous-sol ou lorsque les enrochements de la couche de protection sont répandus.

### 3.2 Mesures pour augmenter la résistance

Pour une protection efficace contre l'affouillement et une réparation d'affouillement efficace, il faut des éléments qui soient suffisamment larges pour résister à l'action hydraulique et qui en même temps retiennent le sol. Outre les matelas de fascines avec des enrochements dimensionnés de manière appropriée, traditionnellement on utilisait de grosses fascines de saule immergées, avec un noyau en enrochement, qui peuvent être placés à presque toutes les profondeurs. Les conteneurs géosynthétiques sont le résultat du perfectionnement de ces éléments. Ils peuvent mieux s'adapter à la géométrie du sous-sol (par exemple aux affouillements qui se sont déjà formés) que les fascines immergées et ils peuvent aussi répondre à tout affouillement ultérieur sans problème – par exemple sur les bords d'une couche de protection, comme déjà mentionné. Ils peuvent être dimensionnés en fonction des conditions concrètes 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 d'application. Les plus petits conteneurs sont les sacs de sable classiques, qui peuvent servir de couche de protection temporaire ou de protection immédiate d'un affouillement tout récemment développé.

Des revêtements perméables permettant un échange d'eau interstitielle et d'eau de surface et contribuant ainsi à prévenir la naissance d'une surpression d'eau sont aptes à augmenter la résistance des surfaces exposées à l'eau. Par contre, on se contente souvent de répandre seulement du matériau grossier sur le sol, avec une granularité qui empêche qu'il soit entraîné par les courants. Le succès d'une telle mesure n'est que de courte durée, car le matériau du sol – qui est fin dans la majorité des cas – peut être enlevé au travers des espaces vides de cette couche de protection. Une couche de filtre entre le sous-sol et la couche de protection est indispensable pour empêcher que cela n'arrive.

Sous la charge des vagues et dans l'eau courante, par contre, il n'est pas du tout possible de placer un filtre – soit un filtre granulaire soit un géotextile – à moins d'y consacrer de grands efforts. Si la vitesse du courant est faible, on peut utiliser des géocomposites, qui comportent une couche de sable incluse entre deux couches de géotextiles (« matelas de sable »). Dès que l'énergie du courant ou des vagues est plus élevée, les filtres granulaires comme les matelas de géotextiles sont enlevés plus rapidement qu'ils ne peuvent être placés et sécurisés.

La forme habituelle et la plus vieille de protection contre l'affouillement en grande surface sur le littoral et dans des fleuves et rivières très larges est le matelas de fascines – qui consiste en des protections en fascines attachées sur un géotextile agissant comme couche portante et filtre. Les matelas de fascines sont préparés sur terre et remorqués à l'endroit d'installation souhaité ; ils y sont mis en place et sont ensuite recouverts d'enrochements.

La pose de matelas de fascines n'est, par contre, raisonnable que sur de grandes surfaces et seulement dans le cas d'un fond horizontal ou seulement faiblement incliné. Dans tous les autres cas, donc par exemple si 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.

Un exemple : sur la rivière Jamuna Meghna, au Bangladesh, des mesures classiques de protection des berges ne se sont pas révélées durables et l'on a cherché une méthode flexible pour permettre une adaptation au régime du fleuve, qui change en permanence. En plus il fallait maintenir les coûts à un niveau très bas. On a pour cette raison utilisé des conteneurs en géotextiles, qui étaient bien meilleur marché que les roches ou blocs en béton habituellement utilisés, qui auraient nécessité des importations coûteuses (Heibaum et al., 2008). On disposait d'une main d'œuvre suffisante pour remplir les conteneurs. Leur taille (125 kg) fut choisie de sorte qu'un homme seul soit capable de porter un conteneur et que ce conteneur résiste suffisamment à la charge hydraulique. Depuis 2002, des millions de

sacs ont été placés et ont démontré leur stabilité (Figure 2). Comme, sous l'eau, les sacs ne sont pas protégés par une couche de recouvrement, le géotextile devait présenter une haute résistance à l'abrasion. À cette fin, les géotextiles utilisés ont été testés selon la méthode du BAW (Institut Fédéral Allemand d'Études et de Recherches des Voies Navigables) (RPG, 1994).



Figure 2. Protection des berges par conteneurs géosynthétiques (Photo: Oberhagemann)

La protection dans le cas de ce qui est peut-être l'affouillement le plus grand de la côte allemande de la Mer du Nord démontre les possibilités de protection contre l'affouillement à l'aide de conteneurs géosynthétiques dans les cas limites (HANSA 1994). On s'y est servi de conteneurs de 1 m<sup>3</sup> pour protéger la berge d'un affouillement profond de 23 m devant le Barrage de l'Eider (Figure 3). L'affouillement s'était développé parce que, pour des travaux de réparation, l'une des portes du barrage devait rester fermée pendant assez longtemps, 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. Une protection par matelas de fascines n'était pas possible parce que la berge de l'affouillement présentait, dans sa partie supérieure, une pente atteignant 1:1 à cause de la présence de minces couches d'argile agissant comme renforcement. 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, on a choisi un nontissé 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. On a répandu des enrochements sur les conteneurs pour augmenter l'inclinaison de la berge de l'affouillement à 1:3. Ensuite la couche de surface a été posée avec des enrochements de 1 à 7 t, pour résister durablement aux sollicitations dans cette section de la côte.

Une méthode similaire à la fabrication de conteneurs est de placer des parois rembourrées : on déploie des couches de géotextile, verse du sable dessus et ensuite retourne le géotextile vers le haut. De cette manière, en principe un nombre illimité de couches peut être posé l'une sur l'autre. Cette méthode s'est révélée stable sur l'île allemande de Sylt où la maison « Kliffende » a pu être préservée de la destruction par la Mer du Nord (Nickels & Heerten, 2000). Dans ce cas, le géotextile doit présenter d'un côté une solidité suffisante et, de l'autre, il doit être dimensionné comme filtre pour que le sol adjacent soit retenu mais qu'aucune surpression d'eau ne puisse se développer derrière la paroi.

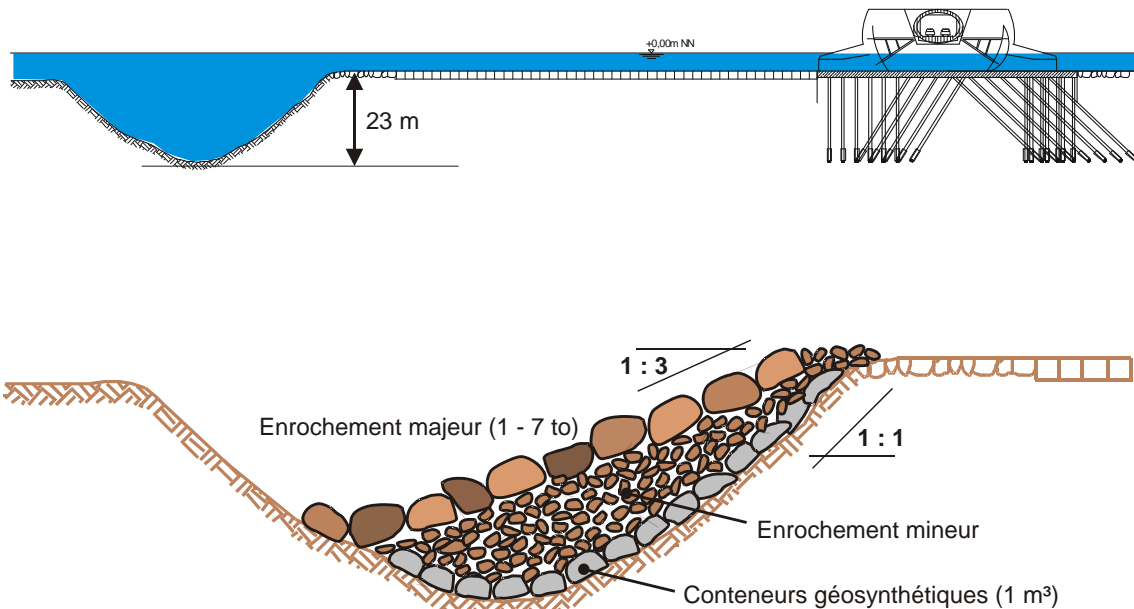


Figure 3. Stabilisation de l'affouillement menaçant le barrage

#### 4 Conclusions

Pour empêcher les différentes formes d'érosion de se développer ou bien minimiser leurs conséquences, il y a deux possibilités : réduire l'action ou augmenter la résistance. Les géosynthétiques, en particulier les systèmes de conteneurs avec une charge minérale, se sont révélés être des matériaux appropriés. Il existe des barrières en géosynthétiques qui empêchent un afflux d'eau sur des structures granulaires présentant un risque d'érosion et il y a beaucoup de possibilités d'envelopper le matériau-sol dans un matériau d'enveloppe en géotextile pour le protéger d'un transport d'origine hydraulique.

#### 5 Références bibliographiques

- HANSA (1994). div. Autoren: Sicherung des Eidersperrwerks gegen Auskolkungen. HANSA 1994, Heft 4.
- Heerten H.G., Heibaum M., Haselsteiner R., Werth K. (2008). Hochwasserbedrohungen – Neue Sicherheiten im Deichbau mit Geokunststoffen. Vorträge der Baugrundtagung 2008 in Dortmund. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik 2008, S. 87-94
- Heibaum M., Oberhagemann K., Faisal M.A., Haque Shahidul (2008). Geotextile bags for sole permanent bank protection. 4th European Geosynthetics Conference 7th - 10th Sep. 2008 Edinburgh, paper n°16
- Hornsey W.P., Heerten G., Jackson L.A., Restall S.J. (2002). Case study showing the growth and development of geotextile sand containers: an Australian perspective. In: Geotextiles and Geomembranes, Vol. 20, 2002, pp. 231-342.
- Nickels H., Heerten G. (2000). Objektschutz Haus Kliffende. In: HANSA 137, Nr. 3, pp. 72-75.
- Pilarczyk K. (2000). Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering. Rotterdam, The Netherlands: A.A. Balkema Publishers, 2000.
- BAW (2001). Recommendations for the use of lining systems on beds and banks of waterways (EAO), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe. (<http://www.baw.de/vip/publikationen/empfehlungen/index.html>)
- RPG (1994). Guidelines for testing geotextiles for navigable waterways (RPG). Karlsruhe, Germany: BAW -Federal Waterways Engineering and Research Institute. (<http://www.baw.de/vip/publikationen/sonderinfo/richtlinie.php.html>)