

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LA RESTAURATION DE BERGES SUR L'ALZON ET LES SEYNES (30) ET SUR L'AUDE À COURSAN (11)

FEEDBACK ON BANKS RESTORATION ON THE RIVERS ALZON AND LES SEYNES (30) AND AUDE IN COURSAN (11)

Alain HÉRAULT ¹, Miguel FERNANDES ²

1 Low & Bonar, Antony, France

2 BRL Ingénierie, Nîmes, France

RÉSUMÉ – Le sud de la France est soumis à des intempéries parfois très dévastatrices qui nécessitent des travaux d'entretien et de restauration des berges de rivières. Une géonatte de protection contre l'érosion avec filtre minéral et liant bitumineux fut mise en œuvre en 2005 et 2006 sur les berges des cours d'eau Alzon, les Seynes et l'Aude. De nombreux essais de laboratoire et à grande échelle avaient permis de justifier cette solution géosynthétique pour ces projets de restauration. On constate, plus de 10 ans après les travaux, le bon fonctionnement et la pérennité de cette protection face aux fortes crues enregistrées sur cette période.

Mots-clés : Érosion, berges, rivières, cours d'eau, déversoirs.

ABSTRACT – South of France is sometimes subject to very devastating storms which require maintenance works and restoration of rivers banks. An erosion control geomat including mineral filter and bituminous binder was installed in 2005 and 2006 on the banks of rivers Alzon, Seynes and Aude. Many laboratory and large-scale tests had justified this geosynthetic solution for these restoration projects. More than 10 years after the works, the good behavior and durability of the erosion control geomat against strong floods recorded during this period are confirmed.

Keywords: Erosion, banks, rivers, waterways, spillways.

1. Introduction

Dégradées par des intempéries souvent plus dévastatrices dans le sud de la France que dans le reste du pays, les berges des cours d'eau Alzon, les Seynes (30) et de la rivière Aude (11) ont fait l'objet en 2005 et 2006 de travaux de confortement. Les travaux, dont la maîtrise d'œuvre a été confiée au bureau d'études BRL Ingénierie, eurent pour objet le remodelage de la berge et la protection de celle-ci par technique mixte comprenant génie végétal et génie civil, intégrant notamment une solution géosynthétique constituée d'une géonatte tridimensionnelle. Les dernières crues ont mis à l'épreuve les techniques de confortement utilisées en 2011 et 2016 sur l'Aude et en 2014 sur l'Alzon.

Cet article donne l'opportunité de faire un rappel des essais réalisés et des matériels utilisés par différents laboratoires et organismes en Allemagne, Pays-Bas et au Royaume-Uni il y a maintenant quarante ans pour alimenter les réflexions du groupe d'experts qui sera en charge au sein du Comité Européen de Normalisation CEN TC 189/WG4 de rédiger le projet de norme d'essai déjà évoqué en commissions de normalisation française et européenne.

2. Mise au point du dispositif de protection géosynthétique végétalisable

2.1. Description du produit

Le géosynthétique utilisé dans le cadre de ces travaux de restauration de berges est une géonatte tridimensionnelle constituée de monofilaments en polyamide thermosoudés aux points de contact, spécialement dotée d'une semelle également filamenteuse pour le remplissage en usine du produit avec un filtre minéral composé de gravillons calibrés et d'un liant bitumineux. La structure filamenteuse tridimensionnelle est conçue pour obtenir une parfaite imbrication du filtre minéral et de son liant (Figure 1).

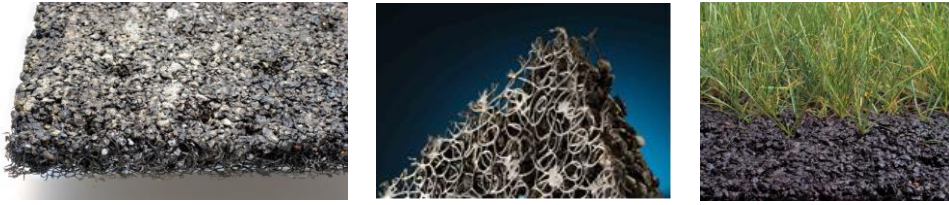


Figure 1. Géonatte de protection de berges Enkamat A20

Cette géonatte se caractérise notamment par une forte perméabilité à l'eau qui évite les sous-pressions sous la géonatte, un poids propre de lestage de 20 kg/m² apporté par le filtre minéral et son liant bitumineux qui empêche par la contrainte induite le déplacement des particules de sol de la berge ou du déversoir, et enfin une grande rugosité du liant bitumineux qui réduit la vitesse de l'eau au contact de la surface protégée. La grande porosité du produit fini permet à la végétation de bien se développer à travers la géonatte, l'environnement humide et la chaleur emmagasinée puis restituée par le liant bitumineux ont pour effet d'accélérer la végétalisation de la berge. La géonatte est stabilisée aux Ultra-Violets par du noir de carbone.

Appliqué notamment sur les berges de la Sèvre niortaise dans le marais poitevin depuis l'an 2000, site sensible par sa biodiversité et son attrait touristique, le produit fit l'objet sur site d'une étude avec prélèvements de sédiments et d'eaux de surface visant à vérifier sur le long terme son innocuité (Héroult et al., 2016). Cette étude a été réalisée par un laboratoire indépendant à la demande de l'I.I.B.S.N (Institution Interdépartementale du Bassin de la Sèvre Niortaise) conformément à l'arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou de canaux, complété par l'arrêté du 23 décembre 2009.

2.2. Essais réalisés sans végétation

Le domaine d'emploi des différents produits de la gamme a été défini il y a maintenant 40 ans sur la base de nombreux essais de laboratoire qui ont permis de déterminer les vitesses de courant critiques sur un lit de sable revêtu d'une géonatte ou laissé sans protection. Les géonattes testées disposaient ou pas d'un remplissage minéral, avec ou sans liant bitumineux. Low & Bonar, à l'époque sous le nom de Enka Industrial Systems, a fait réaliser ses premiers essais en 1977 sur canal expérimental au Laboratoire Hydrologique de Delft (Pays-Bas) – centre de Voorst (Delft Hydraulics Laboratory, 1977). Les essais se sont poursuivis de façon analogue dans son propre laboratoire d'Arnhem (Pays-Bas) après l'acquisition d'un canal expérimental (Figure 2). Les résultats obtenus en interne ont fait l'objet d'une vérification en 1982, dans le cadre d'un programme d'essais mené dans le canal du laboratoire du Centre Expérimental d'Hydrologie de l'Université Technique de Karlsruhe (Allemagne) qui a permis également de déterminer le coefficient de rugosité du produit selon Manning-Strickler (Muth, 1983).

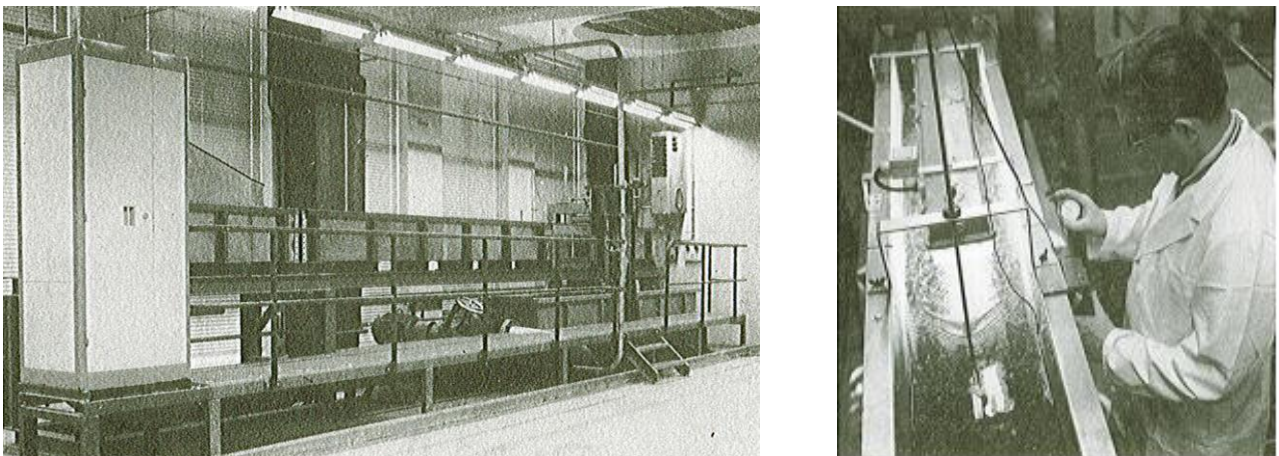


Figure 2. Canal expérimental d'Arnhem

Le sol étudié est un sable de rivière non cohésif pour évaluer les performances des géonattes dans les conditions de sol les plus défavorables. La vitesse critique est définie comme la vitesse à laquelle le lit de sable commence à s'éroder ou à laquelle du sable commence à sortir de la géonatte. Les caractéristiques des canaux des trois laboratoires figurent dans le tableau 1.

Tableau 1. Dimensions des canaux de laboratoires utilisés

	Delft	Arnhem	Karlsruhe
Hauteur d'eau	0,40 m	0,25 m	0,32 m
Longueur	30,00 m	10,60 m	2,87 m
Largeur	0,72 m	0,30 m	0,31 m

La compilation de l'ensemble de ces résultats d'essais a permis d'établir un abaque fournissant, pour les différentes protections testées sans végétation, la vitesse de courant maximale admissible en fonction de la durée de l'évènement ou de la phase transitoire non végétalisée. Il en ressort notamment que le sable de rivière non cohésif de $d_{50} = 0,60$ mm protégé par la géonatte avec filtre minéral et liant bitumineux de la version commercialisée résiste pendant dix heures à une vitesse de courant de 2,5 m/s, vitesse maximale testée. La formulation et la structure du produit n'ont pas été modifiées depuis.

2.3. Essais réalisés avec végétation

Le produit fit ensuite l'objet entre 1984 et 1987 d'essais après végétalisation, menés sur le site du réservoir de Jackhouse (UK) par différents organismes de recherches à l'initiative de l'association CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) dans le cadre d'un projet de recherche de grande ampleur (Hewlett et al., 1986).

L'expérimentation s'est déroulée sur 10 canaux de section trapézoïdale de base 1 m, de profondeur 0,70 m avec flancs à 1H/1V, d'une longueur de 25 m, selon une pente de 2,5H/1V (Fig.3).

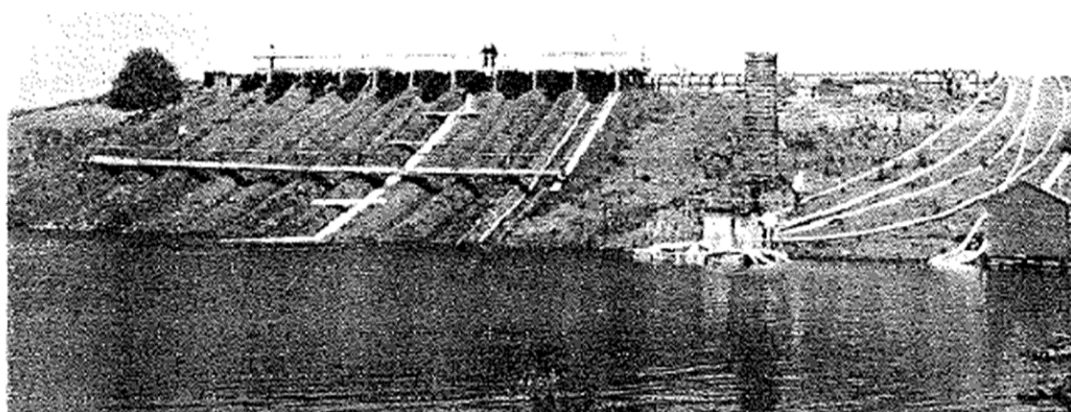


Figure 3. Vue générale du site du réservoir de Jackhouse

Le sol support est une terre végétale permettant la bonne croissance des plantes herbacées. Le mélange herbacé est constitué de 40% de Ray grass, 30% de fétuque rouge traçante, 20% d'herbe des prés à tige lisse, 10% d'agrostis stolonifère. Quatre tontes furent réalisées entre l'ensemencement en Octobre 1984 et les essais hydrauliques, il y eut deux applications de fertilisant, une application d'herbicide sélectif pour éviter une invasion de trèfle, une dernière tonte à une hauteur de 50 mm a été effectuée trois semaines avant le début des essais au terme desquels la végétation a atteint 150-200 mm de hauteur.

Les vitesses d'écoulement ont été mesurées à mi-profondeur, au centre du canal. La figure 4 indique les vitesses mesurées sur le canal revêtu de la géonatte et sur le canal sans protection. L'essai comporte 3 phases de $\frac{3}{4}$ h, 1 h $\frac{1}{2}$ et 3 h soit une durée totale maximale de 5 h $\frac{1}{4}$.

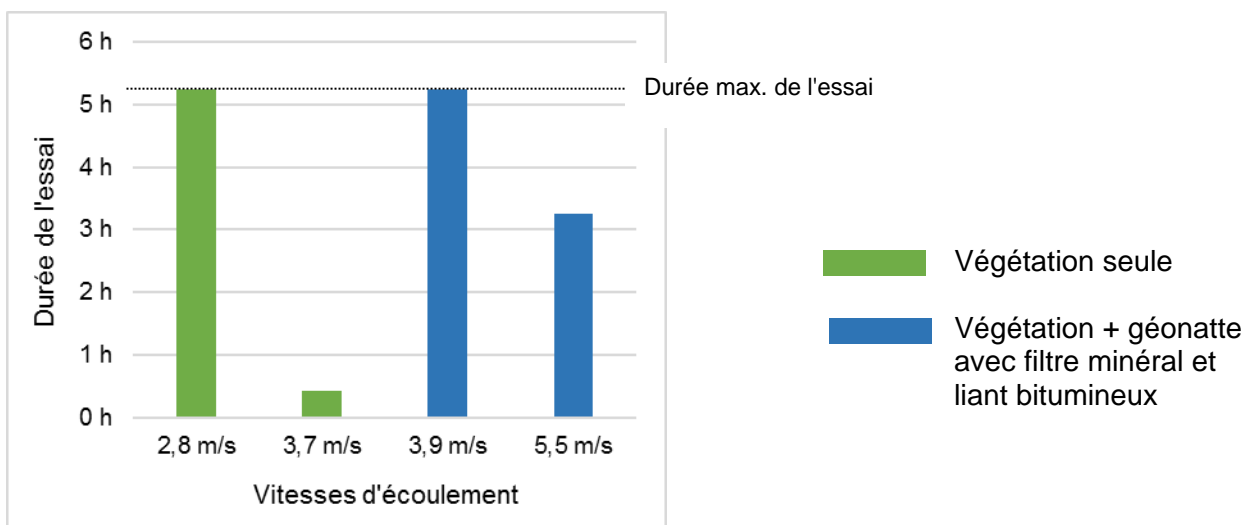


Figure 4. Résultats d'essais avec et sans la géonatte

Sur le canal sans protection, la végétation fut endommagée pendant l'essai réalisé à 2,8 m/s avec la mise à nu en surface des racines de certains plants de graminées et l'apparition d'affouillements, la rupture est ensuite intervenue après 25 minutes pour une vitesse d'écoulement de 3,7 m/s, il y a eu localement arrachement du complexe sol/système racinaire et la transformation d'un affouillement en une rigole de 150 mm par 150 mm de section.

Sur le canal protégé par géonatte avec filtre minéral et liant bitumineux, l'essai est allé jusqu'à son terme avec peu de dommages pour une vitesse de 3,9 m/s. La rupture s'est ensuite produite après 3h $\frac{1}{4}$ d'essai, dont 2h $\frac{1}{4}$ à 5,5 m/s et 1h à 5,7 m/s, avec la soudaine apparition d'un bombement de 0,50 m de diamètre et de 80 mm de hauteur sous le produit. Après réparation, un nouvel essai de près de 2h $\frac{1}{2}$ a eu lieu avec des paliers à 5,1 m/s ($\frac{1}{4}$ h), 5,6 m/s (1h), 5,8 m/s (1h), avant une rupture après 10 min à une vitesse de 6,5 m/s, les racines des graminées fixant la géonatte au sol ont rompu par tension excessive.

3. Application et retour d'expérience sur ouvrages réels

3.1. Cours d'eau Alzon et les Seynes (30) - 2005

Les travaux de restauration de berges avec géonatte tridimensionnelle concernaient deux sites, l'un sur le cours d'eau Alzon au lieu-dit « Pont des Charrettes » sur la commune d'Uzès, l'autre sur le cours d'eau Les Seynes situé dans la traversée de la localité de Serviers-et-Labaume. Les travaux ont consisté au remodelage de la berge et à sa protection par technique mixte comprenant génie végétal et génie civil. Sur les zones de plus fortes vitesses (à l'aval direct des ouvrages), le choix s'est porté sur la mise en œuvre d'une géonatte tridimensionnelle avec filtre minéral et liant bitumineux. Cette solution offre l'avantage de pouvoir être réalisée sans accès direct en pied ou crête de berge pour un engin. La protection est déroulée grâce à une grue automotrice et un palonnier. Le délai de mise en œuvre de cette protection est rapide par rapport à une protection classique. La possibilité d'occurrence de crues pendant la durée du chantier imposait la plus grande vigilance de la part des intervenants.

Le site du Pont des Charettes est le plus complexe (Figure 5). Le talus à conforter s'apparente à un remblai de type décharge dont la purge partielle, prévue dans le cadre des travaux, s'avérait délicate. Il n'existait aucun élément sur les types de matériaux ou autres éléments entreposés. L'accès au site pour les engins de chantier n'a pu se faire que par la rive droite, les entreprises ont donc dû prévoir une ou plusieurs traversées de cours d'eau (mise en place de gués temporaires) pour accéder à la berge concernée par les travaux de protection les plus importants. Les entreprises devaient veiller à conserver, au pied des berges traitées, les arbres les plus intéressants pour la stabilité du talus et la qualité paysagère du site.



Figure 5. Restauration des berges de l'Alzon au Pont des Charrettes - Uzès (30)

Le site de Serviers et Labaume concerne la traversée du village avec une intensité de travaux et techniques de protection variables sur les linéaires. La rive droite est celle qui est concernée par les travaux de confortement les plus importants, alors que ce sont principalement des opérations forestières (abattages, coupes de formation, élagage, recépage, plantations, bouturages...), qui ont eu lieu sur la rive gauche. La difficulté du chantier est liée à la mise en œuvre de nombreuses techniques et aux soins particuliers qu'il a fallu apporter aux liaisons entre les techniques envisagées (notamment entre berges protégées et non protégées). Le traitement paysager est particulièrement important en traversée de village. Là encore, il était attendu un soin particulier en ce qui concerne la mise en œuvre des protections afin d'aboutir à une reconquête la plus naturelle possible des talus.

Les berges traitées sont constituées de matériaux d'apport limoneux de type A1 et A2. Ils sont mis en œuvre après la purge et l'évacuation en décharge des matériaux présents sur site et impropres à une réutilisation (déchets, gravats, souches...). Une fois les remblais réalisés et le génie végétal mis en œuvre, les talus sont ensemencés. Le mélange de semences est constitué de 30% de Ray grass, 15% de fétuque rouge, 15% de fétuque élevée, 10% de fétuque traçante, 10% de Plantin, 10% de Lotier et 10% d'agrostis, il a été appliqué par hydro ensemencement. La dernière étape consiste à mettre les protections de surface, natte coco et géonatte tridimensionnelle. Ces dernières sont fixées aux remblais par la mise en œuvre de cavaliers en acier et d'ancres harpons en complément pour la géonatte.

Après les événements climatiques locaux de ces dernières années, notamment les crues de 2014 de l'Alzon, aucun dégât n'a été constaté.

3.2. Rivière Aude à Coursan (11) - 2006

Les aménagements consistent à stabiliser et protéger la berge rive gauche de l'Aude dans la traversée de Coursan sur environ 200 m en aval immédiat du pont de la voie ferrée (Figure 6). Dégradée lors des crues annuelles, la berge était affectée par des glissements de peau et des érosions qui menaçaient les habitations situées sur la crête. Les travaux ont eu pour objet le remodelage de la berge et la protection de celle-ci par technique mixte comprenant génie végétal et génie civil.

Le talus reconstitué en limons est bloqué en pied par des fascines de saules et des pieux en châtaignier. À l'aval direct du pont RFF, là où les sollicitations sont les plus fortes, le talus est protégé par une géonatte tridimensionnelle avec filtre minéral et liant bitumineux. Le choix de cette technique découle également du fait de la pente de talus plus raide qu'en section courante et des difficultés d'accès pour la mise en œuvre. Préalablement à la mise en œuvre de la géonatte, la surface est hydroensemencée avec un mélange de semences constitué de 40% de Ray grass, 30% de fétuque élevée et 30% de fétuque traçante. Sur les sections courantes, le talus fut recouvert par une natte coco.

L'Aude a également connu en 2016 une crue vicennale, +8,00 m environ de niveau d'eau à Coursan et des vitesses de l'ordre de 2,5 m/s. Aucun désordre n'a été constaté.



Mise en œuvre en 2006



Après la crue du 15 octobre 2018

Figure 6. Restauration des berges de l'Aude à Coursan (11)

En 2018, l'hydrogramme de l'Aude à Coursan présente un plateau de crue à plus de 8 m se maintenant entre le 15 octobre 14 h (avec 8,10 m) et le 16 octobre 16 h (avec 8,09 m), soit pendant 26 heures, avec un maximum de 8,5 m entre 23 h et 3 h, avec un débit passant de 23 m³/s à plus de 600 m³/s en 8 heures. Cette hauteur est légèrement supérieure à celle de la plus haute crue référencée (le 11 octobre 2010) sur cette station de jaugeage. La berge protégée ne présente pas de signe d'endommagement après cet événement exceptionnel.

4. Conclusions

La pérennité de ces protections confirme les choix réalisés au moment des études. La géonatte tridimensionnelle avec filtre minéral et liant bitumineux permet de réaliser des protections de surface de talus dans des zones difficiles d'accès, dans un délai réduit et avec un aspect végétal à terme. Reste que cette solution ne doit pas être généralisée mais étudiée au cas par cas en fonction des conditions hydrauliques, géotechniques, topographiques et géomorphologiques. Cet article décrit à cette fin quelques-uns des nombreux essais hydrauliques réalisés dans différents laboratoires, puis à grande échelle, pour la mise au point de cette géonatte. Ils ont permis de déterminer son champ d'application et d'établir ses performances mais aussi d'identifier les points clés de sa conception, à savoir une forte perméabilité à l'eau pour éviter les sous-pressions, un poids de lestage de 20 kg/m² pour empêcher le déplacement des particules du sol support, et une grande rugosité du liant bitumineux pour réduire la vitesse de l'eau au contact de la surface protégée.

5. Références bibliographiques

- Delft Hydraulics Laboratory (1977). Enkamatten, kritieke stroomsnelheden in waterlopen, waarbij zand uit met split gevulde Enkamatten treedt, verslag modelonderzoek. *Delft Hydraulics, M1421, Delft, the Netherlands*.
- Hérault A., Chourré G., Breyne N. (2016). Assessment of the effects of a 3D erosion matting filled with bitumen on water quality in sensitive environments. *Proc. 6th Europ. Geosynth. Cong. EuroGeo6, 1305-1310*.
- Hewlett H.W.M., Boorman L.A., Bramley M.E. (1987). Design of reinforced grass waterways. *Report 116, CIRIA London*.
- Muth W. (1983). Hydraulische Versuche an Enkamatt A, Ermittlung des Geschwindigkeitsbewertes, Bericht nr. 834.EnA,. *Versuchsanstalt für Wasserbau Fachhochschule Karlsruhe*.