

RETOUR D'EXPÉRIENCE DE PROTECTIONS DE BERGES EN GÉOSYNTHÉTIQUES DATANT DES ANNÉES 1990

GEOSYNTHETICS FOR BANK PROTECTION - FEEDBACK ON 1990'S TESTING

Miléna BARRAS¹, Laurent LUCHEZ², Véronique HEILI¹

1 Cerema Direction territoriale Est, Nancy, France

2 Cerema Eau, mer et fleuves, Compiègne, France

RÉSUMÉ – Un diagnostic de techniques de protection de berges utilisant des géosynthétiques installés depuis les années 1990 a été réalisé sur des chantiers expérimentaux le long de canaux. L'objectif est d'améliorer la connaissance du comportement de ces matériaux sur le long terme et de promouvoir leur utilisation en fonction des sites et des besoins. Les visites des sites, dans le but d'évaluer l'état fonctionnel des systèmes, ont permis la rédaction d'une recommandation d'aide à la décision pour les gestionnaires. L'étude, qui porte essentiellement sur des sites à faibles contraintes, a montré une bonne tenue dans le temps pour une majorité des techniques. Ce projet pourra être étendu vers d'autres techniques, plus récentes ou classiques.

Mots-clés : berges, retour d'expérience, géosynthétique, états fonctionnels

ABSTRACT – A diagnosis of techniques using geosynthetics in bank protection installed since the 1990s was realized on experimental construction sites along canals. The objective is to improve the knowledge of the behaviour of these materials on the long term and to promote their use according to sites and needs. The site visits, with aimed at estimating the functional state of the systems, allowed to write a recommendation to help decision by the administrators. The study, which concerns essentially sites with low constraints, showed a good behaviour of a majority of techniques. This project can be extended to other techniques, more recent or classic.

Keywords: embankment, bank protection, geosynthetics, functional conditions

1. Présentation du projet et de son contexte

Dans le domaine des protections de berges contre l'érosion fluviale, Voies Navigables de France a entrepris plusieurs chantiers expérimentaux de procédés employant des géosynthétiques en 1995. Une autre vague d'expérimentations utilisant des techniques végétales a eu lieu en 2005.

Certaines de ces techniques sont aujourd'hui couramment employées par les gestionnaires pour réhabiliter des linéaires étendus de berges dégradées. Néanmoins, il n'existe à ce jour aucune connaissance approfondie du comportement de chacune de ces solutions sur le long terme.

Afin d'aider à la prise de décision dans les situations de réfections de berges, le Cerema, un organisme de l'État reconnu pour son expertise dans les domaines des infrastructures et des réseaux de transport, a décidé de réaliser un retour d'expérience permettant d'évaluer l'état fonctionnel de ces techniques alternatives de protection de berges.

Les informations issues d'archives (Fagon, 1998 ; Antoine et Richard, 1993) et présentant les planches d'expérimentations établies au début des années 1990 sur des voies d'eau ont orienté le choix des premières visites réalisées dans le cadre de ce projet. Dix sites ont été retenus, se situant dans les régions du nord et du centre de la France.

Le projet a pour objectif de réaliser un diagnostic de l'ensemble des techniques ayant fait l'objet d'expérimentations pour améliorer la connaissance du comportement des géosynthétiques dans le temps et pour permettre aux gestionnaires de la voie d'eau de cibler les solutions techniques les mieux adaptées à leurs sites et à leurs besoins.

Le diagnostic des techniques expérimentées dans les années 1990 porte sur leur évaluation fonctionnelle dans le but de déterminer leurs points forts, avec une prise en compte des contextes des sites qui peuvent être variables d'une planche d'essais à l'autre, et d'identifier les pathologies des techniques et des échecs par rapport aux résultats escomptés, avec une estimation des causes de ces problèmes et, le cas échéant, des propositions d'améliorations. L'assistance des exploitants lors des

visites a apporté un témoignage précieux sur le comportement au quotidien des systèmes de protection en géosynthétique.

Enfin, ce projet a pour ambition de se généraliser à l'ensemble des techniques de protection utilisant des géosynthétiques, des solutions végétalisées, ou des techniques plus « classiques », afin de rédiger un catalogue des protections de berges inventariant les avantages et les inconvénients des différentes options ainsi que leurs besoins matériels (coût, main d'œuvre). Ce guide se veut être une aide à la décision pour les maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre lors de programmation de travaux.

2. Méthodologie

2.1. Visites sur sites

Pour pouvoir généraliser les données issues des visites sur sites, il a été développé une méthodologie de visite. Chaque visite a été réalisée selon la même chronologie :

- *une étude préliminaire à la visite*, consistant en l'analyse des documents d'archives (Fagon, 1998 ; Antoine et Richard, 1993), des données de trafic, de la morphologie du réseau et des données issues d'outils SIG. Cette phase est primordiale, car elle permet d'avoir une vision globale du site et de ses contraintes (urbanisation, position des planches d'essais par rapport aux écluses amont et aval, dimensionnement du réseau et besoin hydraulique) qui peuvent expliquer les pathologies détectées lors de la visite ;
- *un entretien avec l'exploitant* est réalisé en pré-visite du site. Les personnes rencontrées à ce jour étaient présentes lors de la pose des dispositifs de protection de berge en géosynthétique et pouvaient ainsi compléter les informations issues des archives. Ces entretiens se sont révélés précieux, car ils ont permis de préciser les contraintes du site (trafic, tonnage des bateaux, conditions météorologiques, problématiques propres au réseau) et de capitaliser des retours d'expérience concrets sur le comportement des systèmes depuis leur pose jusqu'à aujourd'hui, permettant d'évaluer leur intérêt et leur résilience du point de vue de l'exploitation ;



Figure 1. Photographie du géosynthétique dans la zone de batillage (observation : peu de dégradation due au batillage ou à la végétation)



Figure 2. Même système vu depuis la berge opposée (observation : bon maintien de la structure de la berge)

- *une évaluation du système* est réalisée sur le terrain par les agents impliqués dans le projet, qui relèvent, à dire d'expert, les dégradations visibles sur le site. Chaque pathology est répertoriée, mesurée ou évaluée en fonction de sa gravité et de son ampleur. La visite est réalisée minutieusement sur toute la longueur du linéaire, même en zone de batillage (Figure 1) afin de ne pas oublier une dégradation sur l'ensemble du linéaire. Chaque dégradation est associée à une fonction liée à l'ouvrage et son origine probable est recherchée (animale, anthropique, structurelle, végétale, climatique). Le relevé de terrain qui est réalisé comporte des enregistrements photographiques des constatations ainsi que la position topographique de chacune d'elle afin de pouvoir exploiter ces informations lors de la rédaction des rapports ;

- *une inspection visuelle depuis la berge opposée* (Figure 2) est aussi réalisée afin de changer de point de vue et d'évaluer les problèmes structurels de la berge inspectée et l'intégration du système de protection dans son environnement.

2.2. Rapport de visite

Un rapport de visite est rédigé pour chaque site, avec pour objectif de compléter les archives sur ces planches d'essais et d'assurer un suivi simplifié de leur évolution dans le temps. Pour cela, les rapports de visite comportent l'ensemble des détails enregistrés et sont rédigés indépendamment les uns des autres.

Le premier rapport de visite finalisé après plusieurs évolutions a servi de modèle de rédaction pour les autres rapports.

Le sommaire détaillé en début de rapport a été pensé dans un souci d'efficacité dans la recherche des informations. Il comprend les informations suivantes :

- *Introduction* : identique pour chacun des rapports, elle permet de rappeler le projet initial et ses objectifs ;
- *situation et contextes originels du site* : cette partie regroupe les informations obtenues dans les archives et lors de l'entretien avec l'exploitant afin de rapporter le contexte dans lequel l'expérimentation a été réalisée et d'avoir les contraintes auxquelles ont été soumises les planches d'essais ;
- *description du dispositif étudié* : cette partie détaille, à l'aide de schémas explicatifs (Figure 3) la technique expérimentée, et énumère les matériaux utilisés avec le plus d'informations possibles, issues des différentes sources disponibles récoltées. Elle présente également les différentes modalités de la phase chantier ;

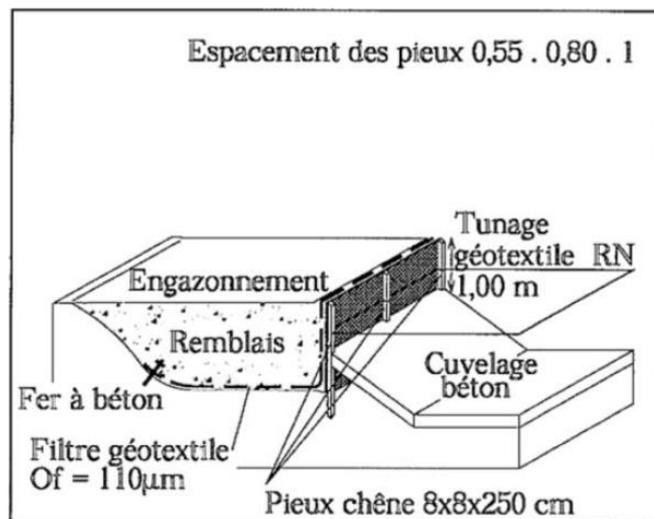


Figure 3. Système de protection de berge sous forme de tunage géosynthétique maintenu par des pieux en bois (Fagon, 1998)

- *retour d'expérience de 1991-1992 et de 1997-1998* : cette partie résume les résultats fournis par les rapports d'archives (Fagon, 1998 ; Antoine et Richard, 1993). Cela permet de comprendre les contraintes liées au site et de les confronter aux observations récentes réalisées dans le cadre de ce projet ;
- *retour d'expérience de 2017* : cette partie est le cœur du travail réalisé dans ce projet. Elle comprend l'ensemble des constatations et hypothèses issues de la visite de la planche d'essais, avec la volonté d'appuyer chaque propos par des photographies représentatives de ce qui a été observé sur site ;
- *conclusion* : elle résume les principales interprétations sur l'efficacité et la résilience du système de protection géosynthétique étudié ainsi que sur les perspectives d'évolution du système ;
- *annexe 1 – Photographies supplémentaires* : cette partie comporte les enregistrements photographiques de la visite. Elle permet de ne pas surcharger le cœur du rapport, déjà illustré en images ;

- *annexe 2 – Conditions de visite du site* : cette annexe permet de garder une trace sur les conditions de visites (conditions climatiques, matériel utilisé) qui peuvent influencer les conclusions, comme, par exemple, la réalisation de visites en hiver qui ne permet pas de rendre compte de l'emprise de la végétation sur le système de protection, et d'avoir un regard critique afin de développer les techniques d'inspection.

2.3. *Fiches techniques*

L'objectif de ce projet est de permettre à un maître d'ouvrage de cibler rapidement et efficacement le type de protection à mettre en place en fonction des contraintes à respecter et des moyens dont il dispose.

Il est donc prévu la rédaction d'une recommandation composée de fiches techniques, chaque fiche correspondant à un système de protection de berge.

Chaque fiche comprend des tableaux rendant compte des informations pertinentes pour la compréhension du principe et pour son adéquation aux sites et aux besoins ciblés et répondant aux titres suivants :

- Principe de la protection et fonctions assurées par les composantes du système (notamment, le géosynthétique) ;
- Pathologies constatées en 1998 ;
- Pathologies constatées en 2017 ;
- Conclusion concernant l'usage de la technique de protection et des matériaux la composant.

Les trois premières parties permettent d'étudier l'évolution du dispositif dans le temps, sa résistance et sa résilience. Elles résument les informations détaillées dans le rapport de visite et abordent l'évaluation fonctionnelle du système de protection.

Les fonctions analysées dans ces fiches sont les fonctions de renforcement, d'étanchéité, de filtration, d'environnement, de drainage, de séparation et de protection à l'érosion, qui correspondent aux fonctions attendues par un système de protection de berge. À chaque étape d'inspection (lors de la pose, en 1998 et en 2017), ces fonctions sont évaluées, et la présence ou non de signes extérieurs de dégradation (perte de matière, fuites, pertes de fines, arrachement, effondrement de berge, érosion), ainsi que leurs origines envisagées (animale, végétale, anthropique, climatique, structurelle) sont relevées.

Le dernier paragraphe de la fiche (Tableau 1) est le plus significatif pour le maître d'ouvrage, car il donne des informations essentielles (domaine d'application, points faibles, sites ciblés) sur la technique utilisée et sur ses matériaux, mais aussi sur les moyens nécessaires à sa mise en place (coût, main d'œuvre) comportant aussi des suggestions d'amélioration qui devraient permettre de limiter les pathologies révélées.

Cette présentation de l'information permettra, à terme, une comparaison efficace des systèmes de protection de berges afin d'aider à la décision de la solution la plus pertinente en fonction des contraintes sur site et des moyens dont dispose le maître d'ouvrage.

Tableau 1. Tableau décrivant les éléments apportés dans la dernière partie de la fiche technique du système de protection géosynthétique étudié

Choix du géosynthétique	
Domaine d'application du géosynthétique	<i>Fonctions assurées par ce type de géosynthétique Autres fonctions possibles au vu des connaissances actuelles</i>
Points faibles	<i>Limites du géosynthétique (déchirure, poids, conditions climatiques...)</i>
Sites ciblés	<i>Sites types dans lesquels ce type de géosynthétique est utile (érosion forte, contrainte hydraulique, effondrements réguliers...)</i>
Choix de la technique (<i>technique = géosynthétique + autres composants (pieux, par exemple)</i>)	
Domaine d'application de la technique	<i>Fonctions assurées par ce type de technique Autres fonctions possibles au vu des connaissances actuelles</i>
Points faibles	<i>Limites de la technique (déchirure, poids, conditions climatiques...)</i>
Sites ciblés	<i>Sites types dans lesquels ce type de technique est utile (érosion forte, contrainte hydraulique, effondrements réguliers...)</i>
Associations des matériaux	<i>Efficacité de l'association des matériaux/techniques ? Interaction (bénéfique, néfaste) entre eux ?</i>

Moyens nécessaires	
Coût (par mètre de longueur)	<i>Coût réel des matériaux</i>
Main d'œuvre	<i>Nombre d'agents pour la mise en place Nombre de jours pour couvrir le linéaire Usage de machines spécifiques</i>
Perspectives d'amélioration	
Association des matériaux	<i>Modification de la technique, de certaines associations de matériaux</i>
Autres	<i>Recommandation pour un autre type de matériau Autres réflexions concernant l'amélioration de la technique, selon les cas</i>

3. Résultats et perspectives d'évolution

3.1. Présentation des résultats

Actuellement, dix systèmes de protections en géosynthétiques ont été recensés. Parmi eux, deux n'ont pas été retrouvés (Tableau 2), et la mémoire les concernant a été perdue, l'exploitant lui-même ne pouvant pas indiquer leur emplacement.

Tableau 2. Détail des systèmes géosynthétiques dont on a perdu la mémoire

Système de protection	Site	Année de mise en œuvre
Tenweb 4/200 ® Confinement alvéolaire	Eswars (59400)	1995
Biconflex ® Géotextile tissé associé à des pavés béton auto-ancrés	Eswars (59400)	1995

Pour les autres systèmes, les résultats de l'étude peuvent être répartis en trois catégories :

- les systèmes de protection n'ayant pas perduré ;
- les systèmes ayant perduré, mais présentant des pathologies susceptibles d'impacter l'exploitation de la berge ;
- les systèmes ayant perduré et apportant une solution satisfaisante.

3.1.1. Les systèmes de protection n'ayant pas perduré

Cette catégorie regroupe trois systèmes (Tableau 3) qui ont pu être réellement inspectés. Ils utilisaient le géosynthétique comme conteneur (nappe, gabions et poches) remplis de granulats.

Tableau 3. Détail des systèmes géosynthétiques n'ayant pas perduré

Système de protection	Site	Année de mise en œuvre
Enkamat A ® Nappe souple tridimensionnelle préremplie par des gravillons liés par du bitume	Denain (59220)	1995
Teragabio ® Gabions PEHD	Denain (59220)	1995
Kang'Uco ® Géotextile à poche	Denain (59220)	1995

Les systèmes de nappe et de poche ont subi des dégradations très rapides (constats de dégradation un an après la pose), ce qui laisse penser à un problème d'origine structurelle, d'autant plus que l'amorce des dégradations s'est réalisée en pied de berge, zone très contrainte par le battillage.

Les conteneurs se sont dégradés sur le long terme, s'éventrant et dispersant le contenu, affaiblissant considérablement la protection de la berge. L'origine des dégradations est difficile à déterminer, elle

pourrait être anthropique ; les conséquences sont importantes, car le linéaire bénéficiant de la protection ne s'est pas mieux comporté que celui maintenu à l'état naturel (Figure 5).

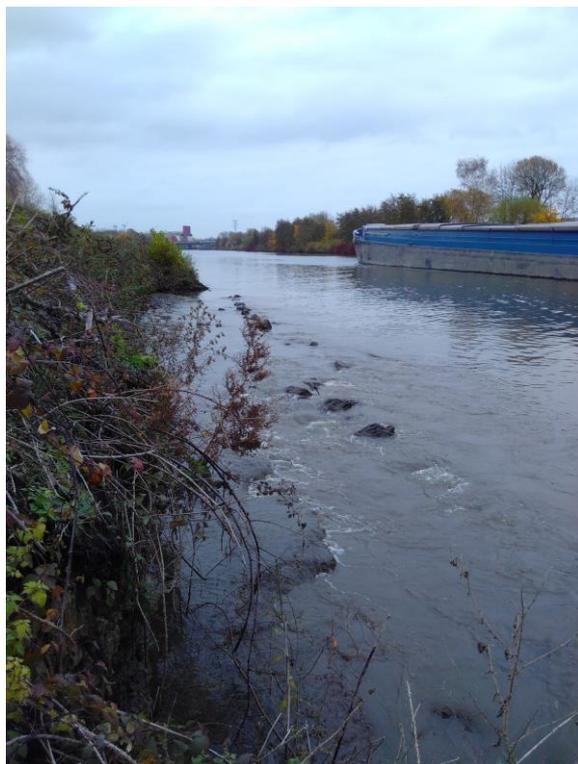


Figure 5. Dégradation complète du système de protection géosynthétique entraînant un recul très important de la berge

3.1.2. Les systèmes de protection ayant perduré, mais présentant des pathologies susceptibles d'impacter l'exploitation de la berge

Deux systèmes présentent cette caractéristique (Tableau 4).

Tableau 4. Détail des systèmes géosynthétiques ayant perduré, mais présentant des comportements impactant l'exploitation de la berge

Système de protection	Site	Année de mise en œuvre
Incomat® Confinement géoconteneur	Denain (59220)	1995
Big bags géosynthétiques	Montceau-les-Mines (71300)	1986 – 1988
	Belfort (90010)	

Le premier, composé d'une nappe dans laquelle du béton a été coulé (Figure 6), est resté complètement en place, mais il est devenu dangereux en cas de verglas ; la surface devenue extrêmement glissante notamment en cas de gel peut générer des chutes à l'eau de personnes ou d'animaux sans permettre un retour sur berge. L'exploitant qui nous a accompagné sur ce site a été lui-même victime de ce risque et donc déconseille fortement ce système de protection. Il est à noter qu'aucune végétation n'a pu coloniser le système, entraînant une intégration médiocre dans le paysage et un bilan environnemental pauvre.

Le second, composé de big bags remplis de graves diverses, est toujours en place mais présente de graves déstructurations entraînant une gêne importante sur la circulation sur berge (Figure 7), voire, selon les zones, un danger pour l'exploitant et les usagers. Le problème rencontré est une forte érosion entre les big bags. Cette problématique pourrait être résolue en modifiant le système, car les autres fonctions sont assurées et cette méthode est peu coûteuse en matériaux et en mise en œuvre.



Figure 6. Système de protection en nappe géosynthétique dans laquelle du béton a été coulé (observation : zone très pentue ne permettant pas aux animaux de remonter facilement, pas de recolonisation de la végétation, zone à risque en cas de grand froid)



Figure 7. Système de protection par big bags géosynthétique remplis de gravas diverses (observation : érosion très forte entre et derrière les big bags entraînant une déstructuration de la berge)

3.1.3. Les systèmes de protection ayant perduré et apportant une solution satisfaisante

Tableau 5. Détail des systèmes géosynthétiques ayant perduré et apportant une solution satisfaisante

Système de protection	Site	Année de mise en œuvre
Profix ® Confinement géoconteneur	Denain (59220)	1995
Tunage géosynthétique	Sept-Saulx (51400)	1991 - 1992
Teramat ® Confinement géoconteneur	Denain (59220)	1995

Les trois autres techniques (Tableau 5) ont donné entière satisfaction :

- toutes assurent leur fonction de protection de la berge, car elles permettent une conservation structurelle de celle-ci (aucun recul, aucune chute, présence de trous, mais qui n'impactent pas la structure de la berge) ;
- la fonction environnementale est aussi assurée, car les systèmes ont tous été recolonisés par la végétation, permettant la vie d'un écosystème important, tout en restant suffisamment résistants aux contraintes du site et de l'exploitation (remontée d'animaux tombés à l'eau, passage de véhicules, notamment pour l'entretien de la flore) (Figure 8) ;
- d'après le retour fait par les exploitants, ces systèmes n'ont jamais nécessité de travaux de réfection ou d'entretien (Figure 9), et ils ont été peu coûteux en matériaux et en main d'œuvre, ce qui en fait des solutions très intéressantes pour le gestionnaire.



Figure 8. Le tunage en géosynthétique installé en 1990 assure toujours sa fonction de protection de berge, tout en ayant une bonne intégration environnementale



Figure 9. D'après l'exploitant, aucune réparation n'a été nécessaire sur cette planche d'essais, et les dégradations recensées (déchirure, éclatement de la tête des pieux en bois) n'impactent aucunement l'état fonctionnel du tunage géosynthétique

3.2. Perspectives d'évolution

Les résultats fournis par ce retour d'expérience ne permettent de conclure que sur des techniques et des matériaux dans le contexte de l'étude. L'expérience et l'expertise acquises depuis ont permis de faire évoluer les pratiques dans le domaine des géosynthétiques. Cependant, le travail réalisé jusqu'à présent apporte des informations intéressantes quant aux comportements possibles des systèmes de protection et aux méthodologies d'inspection et d'évaluation de ceux-ci.

Dans une perspective d'évaluation des systèmes de protection pertinente, l'étude pourrait intégrer l'inspection de systèmes de protection utilisant des géosynthétiques dans des projets expérimentaux plus récents, permettant, selon le cas, un suivi régulier de leur évolution dans le temps. Pour exemple, un projet d'expérimentation de protection en géonaturel à base de chanvre a été réalisé dans la région Grand Est en 2018 et pourrait bénéficier d'un suivi sur le long terme à travers ce projet afin de déterminer son comportement fonctionnel dans le temps.

Afin de réaliser un inventaire le plus large possible des solutions techniques de protection de berges, il est envisagé de le reconduire aux autres systèmes de protection que ceux utilisant du géosynthétique, tels que les systèmes de protection végétales ou « classiques » (palplanche, maçonnerie, enrochements). Cela permettra d'étendre la comparaison des techniques à toutes les solutions disponibles afin d'aider les gestionnaires dans le choix de la meilleure solution pour la situation rencontrée, avec un éclairage sur les performances efficacité/coût.

Cette étude pourrait aussi intégrer l'évaluation de systèmes de protection peu ou pas connus, mais répondant aux contraintes réelles des exploitants. Il nous a notamment été donné l'occasion d'évaluer des systèmes de protection réemployant des plaques de béton issues d'anciennes structures (Figure 10), qui présentent l'avantage d'avoir un coût limité tout en apportant une solution durable, s'intégrant dans le paysage (Figure 11) et assurant une bonne résistance aux contraintes d'exploitation.



Figure 10. Système de protection de berge alternatif issu du recyclage de plaque béton posées à plat par-dessus la maçonnerie d'une berge, dans une zone à fortes contraintes (batillage)



Figure 11. Vue depuis la rive opposée du système de protection alternatif en plaques de béton (observation : bonne intégration dans le paysage et recolonisation de la végétation)

4. Conclusion

Ce retour d'expérience a permis d'évaluer le niveau d'efficacité des dispositifs de protection de berges à base de géosynthétique. Il a confirmé l'intérêt de leurs usages dans ce contexte, car certains systèmes étudiés démontrent un bon renforcement des berges, ce malgré l'usure due au temps et aux contraintes propres aux sites, et l'absence totale d'entretien. Cependant, les résultats présentés correspondent à des systèmes de protections anciens, qui ne correspondent ni aux matériaux existant actuellement, ni aux techniques développées depuis.

Ce projet pourrait s'étendre à l'étude de sites intégrant des systèmes de protection utilisant des matériaux et des techniques plus récents ou alternatifs. Cette étude pourrait mettre en évidence les propriétés de simplicité de mise en œuvre, d'intérêt économique, et de durabilité temporelle et environnementale des dispositifs de protection de berges.

5. Références bibliographiques

Antoine F., Richard F. (1993). Expérimentation de tunages géotextiles en défense de berge. STCPMVN
Fagon Y. (1998) Protections de berges de voies navigables par procédés géosynthétiques : bilan de réalisation courantes et expérimentales

