

Juin 2009

FLUVIAL

AMÉNAGEMENT DES BERGES DES VOIES NAVIGABLES RETOUR D'EXPÉRIENCES



Préface

Palplanches, enrochements, tunages, gabions et dispositifs en béton ont longtemps constitué des réponses systématiques à l'érosion des berges des voies navigables. Avec le renouveau des techniques en génie végétal dans les années 90, les solutions de protection de berges alternatives aux techniques traditionnelles de génie civil se sont progressivement imposées. Aujourd'hui, l'environnement est une préoccupation centrale et la Directive Cadre sur l'Eau impose d'atteindre un bon état ou le bon potentiel écologiques des eaux en 2015. Le recours aux techniques en génie végétal ou mixte pour la protection des berges est devenu fondamental lorsque toutes les conditions de site sont favorables.

Le Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF), service technique central du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, chargé entre autres d'élaborer et de diffuser les techniques dans le domaine des aménagements et des ouvrages maritimes et fluviaux, a décidé de produire un nouveau guide sur les défenses de berges. Cet ouvrage traite de l'ensemble des techniques de protection de berges et de leurs fonctionnalités environnementales.

En 1995, déjà, le STCPMVN¹ avait publié un catalogue des défenses de berges qui traitait principalement des techniques traditionnelles de génie civil mais n'abordait que légèrement les techniques mixtes et en génie végétal.

Destiné notamment à tout gestionnaire, concepteur ou entrepreneur impliqué dans un projet d'aménagement de berges de voies navigables, le nouvel ouvrage a été réalisé en collaboration avec le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement de Lyon qui a mené un travail de retour d'expériences sur les techniques de protection de berges des Voies Navigables de France.

Sur la base d'une analyse bibliographique et de ce retour d'expériences, cette nouvelle production méthodologique, dans une première partie rappelle les phénomènes d'évolution des berges et les principes généraux pour assurer leur protection, puis présente et évalue quelques aménagements de berges par techniques mixtes et végétales.

Le Directeur du CETMEF



Geoffroy CAUDE

¹ STCPMVN Service Technique Central des Ports Maritimes et Voies Navigables , service qui a précédé le CETMEF
CETMEF

Remerciements

Le CETMEF tient à remercier toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce document et notamment :

- Les rédacteurs de ce document :
 - Mathieu GALIANA- CETMEF
 - Delphine LE BRIS – CETE Lyon
 - Denise DUBOIS – CETMEF
 - Bertrand de BRUYN – CETMEF
- Les personnes qui ont été consultées pour l'élaboration des fiches de retour d'expériences et en particulier :
 - Adel BENSALÉM – CETE Est
 - Fabienne TRANNOY – CETE Lyon
 - Patrick ADOLPH – SN Nord-Est / Arrondissement Eau Environnement
 - Bruno RYDZIK – SN Nord-Est / Subdivision Givet
 - Séverin PAGAZZI - SN Nord-Est / Subdivision Givet
 - Daniel MARTIN – SN Nord-Est / Subdivision de Nancy
 - Dave GHISLAIN – SN Nord-Est / Subdivision de Nancy
 - Noël CORGET - SN Rhône-Saône / Subdivision Mâcon
 - Paul LANNOY - SN Rhône-Saône / Subdivision Dole
 - Jean-Pierre SEGUIN - SN Rhône-Saône / Subdivision Gray
 - Denis JEANDENAND - SN Rhône-Saône / Subdivision Port-sur-Saône
- Les relecteurs internes :
 - Brahim BENAÏSSA – CETMEF
 - Philippe ROCHETTE – CETMEF
 - Noël TERRACOL – CETE Lyon
 - Damien PHAM VAN BANG – CETMEF
- Les relecteurs externes :
 - Patrick ADOLPH – SN Nord-Est
 - Jean-Jacques BRIOIST – CETE Nord Picardie
 - Claire PERARD-ALBIN – VNF Béthune
 - Alain LECERF – VNF Béthune

Sommaire

1.Introduction.....	6
2.Phénomènes d'évolution des berges.....	7
2.1.Types d'évolution de berges.....	7
2.2.Facteurs d'évolutions	8
3.Démarche générale pour la définition d'une solution d'aménagement de berges.....	11
3.1.Diagnostic technique et environnemental du site	12
3.2. Définition des enjeux	12
4.Panorama des principales techniques de protection de berges.....	14
5.Principes généraux pour la conception d'une technique de protection de berges	21
5.1.Détermination des sollicitations hydrauliques, de la stabilité de la berge et du potentiel environnemental du site	21
5.2.Conception géométrique du profil de berge.....	22
5.3.Dimensionnement - choix des matériaux et des végétaux.....	26
6.Retour d'expériences sur des aménagements de berges avec techniques mixtes ou végétales.....	28
6.1.Tableau de synthèse et fiches de retour d'expériences	28
6.2. Bilan.....	68
7.Conclusion générale	73
8.Références bibliographiques.....	74
9.Références internet.....	76
10.Glossaire.....	77
11.Liste des abréviations	79
12.Liste des illustrations.....	81
13.Liste des tableaux.....	82
14.Annexes.....	83

1. Introduction

Les berges des voies navigables constituent des zones de transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Elles assurent diverses fonctions : physiques (soutènement d'ouvrages, étanchéité, support du chemin de service,...) ; hydrauliques (atténuation des inondations, échanges d'eau entre la voie d'eau et la nappe, etc.) ; écologiques (filtre de l'eau, dépôts ou départs de sédiments, circulation des animaux, biodiversité, échanges entre milieux terrestre et aquatique...) ; socio-économiques (accueil d'activités telles que les ports, la pêche, le vélo, la navigation touristique) et paysagères.

Suivant le type de voie d'eau, rivières navigables ou canaux artificiels, et les caractéristiques du site, les berges des voies navigables peuvent être soumises à différents types de dégradations d'intensités variables : crues, marnage, batillage, jets d'hélice, animaux fouisseurs, activités humaines... Si des travaux de protection de berges s'avèrent nécessaires, le gestionnaire de la voie d'eau a alors le choix entre plusieurs types de techniques de défense de berges pour réhabiliter son ouvrage : des techniques de génie civil (enrochements, palplanches,...), des techniques végétales (fascines, tressages,...) ou des techniques mixtes qui sont une combinaison des deux types de techniques précédentes.

Après un chapitre de rappel sur les phénomènes d'évolution des berges des voies navigables, la présente publication fournit une démarche générale pour définir une technique de protection de berges et un panorama des principales techniques de protection de berges. Ensuite, des principes généraux pour la conception d'une technique de protections sont exposés. Enfin, un retour d'expériences mené sur seize aménagements de protection de berges par techniques végétales ou mixtes est présenté. Pour chaque aménagement, des fiches de cas ont été établies, elles renseignent sur le contexte de l'aménagement, le dispositif mis en œuvre, le déroulement des travaux et le bilan technique, fonctionnel et environnemental de la protection de berges réalisée. Les aménagements étudiés se situent sur la Meuse, le canal des Vosges, la petite Saône et la Saône à grand gabarit.

2. Phénomènes d'évolution des berges

2.1.Types d'évolution de berges

Les berges peuvent subir des mécanismes de rupture globale (instabilité d'ensemble de la berge) et des mécanismes de rupture par perte progressive de matière superficielle altérant la stabilité locale.

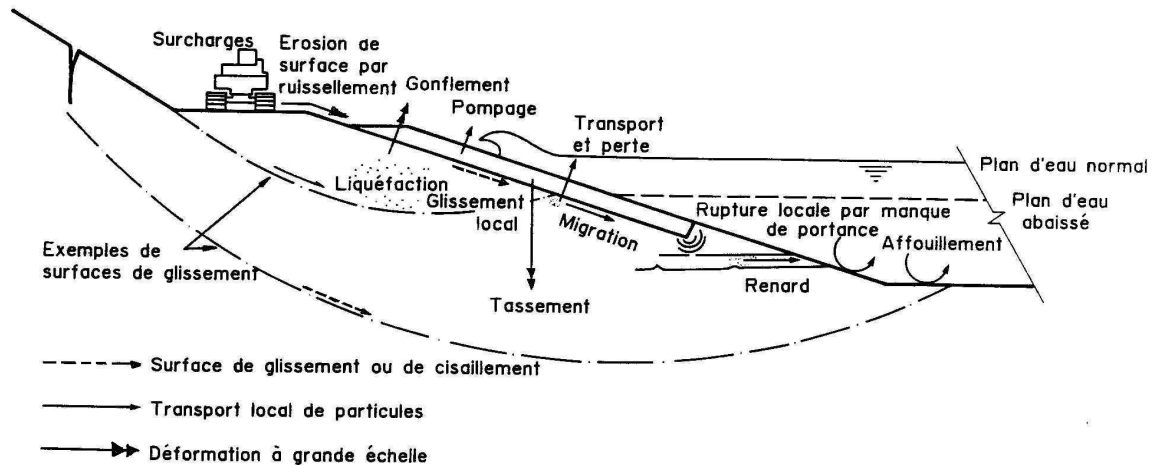


Illustration 1 : Mécanismes de rupture du sous-sol [AIPCN, 1987]

L'évolution des berges se manifeste sous la forme :

- de glissements locaux ou d'ensemble ;
- d'érosion de surface suite au ruissellement de l'eau de pluie, à l'action du gel, à la pression de la glace ;
- de liquéfaction du sol qui correspond à une perte totale de cohésion entre les grains par suite d'une augmentation de la pression interstitielle ou du chargement dynamique d'un sol composé de matériaux grenus peu compactés ;
- de transport et perte de matériaux : migration (transport de particules de sols sous l'ouvrage de protection) ; pompage (aspiration de particules sous l'effet de charges répétées ou de chocs associés à une liquéfaction du sol à l'interface) ;
- d'érosion interne (renard, suffusion) ;
- de tassements (déformation due à la diminution de volume de sol) ou de gonflements (déformation due à l'augmentation de volume du sol) ;
- d'affouillement, phénomène dû aux actions hydrodynamiques des écoulements turbulents au contact des ouvrages et particulièrement au contact de l'ouvrage et de sa fondation. L'érosion du pied de berge se présente le plus souvent sous forme de niches plus ou moins circulaires avec des parois verticales et provoque par ruptures successives, la destruction du talus [CETMEF, 2002].

Tous ces phénomènes d'évolution de berges n'ont pas la même probabilité d'occurrence suivant la situation dans laquelle se trouve l'ouvrage : durable (exploitation normale, mise en charge permanente de l'ouvrage), rare ou transitoire (chômage du bief, crue) ou accidentelle (défaut des dispositifs de protection ou vidange rapide, par exemple). L'ouvrage et ses fonctionnalités sont également affectés différemment par tous ces mécanismes (notion d'Etats-limites)².

²pour ces aspects de situations et d'Etats limites, se référer à ROSA 2000 ou au rapport du CFBR sur la justification des digues et des barrages en remblai .

2.2.Facteurs d'évolutions

2.2.1.Sollicitations hydrauliques et hydrodynamiques

Les sollicitations liées à l'eau ont trois origines principales :

- le passage des bateaux (batillage, courants de retour, déferlement, jets d'hélice, etc.) ;
- les fluctuations du niveau de l'eau pour d'autres raisons (fonctionnement des écluses, abaissement pour chômage, différences piézométriques avec une nappe de versant, ...) ;
- les phénomènes naturels (cas des rivières) tels que les courants naturels, les crues, les évolutions morphologiques dans les méandres (répartition des vitesses non uniformes et surélévation de la surface libre du côté de la rive concave), etc.



Illustration 2 : Impact de la navigation [source CETMEF]

Quelle que soit leur origine, quatre natures de sollicitations se distinguent :

- les courants (courants naturels ou induits par la navigation, par exemple) ;
- les vagues (vagues de vent ou de batillage) ;
- l'abaissement du plan d'eau (marnage, abaissement du plan d'eau dû à la navigation, chômage, etc) ou son exhaussement (crues, onde de proue,...) ;
- l'arrivée d'eau par le sol (apports d'eaux souterraines).

Les courants et les vagues peuvent provoquer une érosion des matériaux de la berge et du lit, alors qu'un abaissement rapide du plan d'eau ou l'arrivée d'eau par le sol peuvent produire des glissements ou des affaissements de terrain [BAW, 2005].

Les courants significatifs dans l'évolution des berges des voies navigables sont des courants turbulents tels que les courants de retour dus au déplacement des bateaux ou ceux qui apparaissent à l'aval des barrages ou dans les zones de manœuvre (courants dus aux jets d'hélices). Dans ces zones particulières de manœuvre, c'est lorsque le bateau est à l'arrêt et utilise toute sa puissance pour démarrer ou manœuvrer, que les courants provoqués par les jets d'hélice ont leur intensité maximale. Les érosions se rencontrent alors généralement à proximité des écluses (notamment au raccordement du radier de l'écluse avec le fond), le long des quais ou d'appontements et dans les courbes [CETMEF, 1996].

Les vagues prépondérantes sont celles causées par la navigation et par l'exploitation des ouvrages de navigation (barrages ou écluses, par exemple). Pour les sections de canaux ou de rivières en alignement sur plusieurs kilomètres ou très larges, il peut par ailleurs être observé des vagues de vent d'amplitude non négligeable par rapport à celles induites par la navigation.

Tout passage de bateaux donne naissance à des vagues de batillage, qui se partagent en un système d'ondes primaires et secondaires (cf illustration ci-après). Le système d'onde primaire comprend le bourrelet de proue, les vagues de poupe, les courants de retour et l'abaissement qui se produit à proximité du bateau. Il se propage à la même vitesse que ce dernier. Le système d'ondes secondaires comprend des ondes transversales et divergentes liées à la poupe et à la proue et il se propage loin du bateau. Le système d'ondes primaires est prépondérant dans le cas d'une navigation lourde (bateaux de commerce navigant à faible vitesse) alors que le système d'ondes secondaires domine dans le cas d'une navigation légère ou rapide (plaisance).

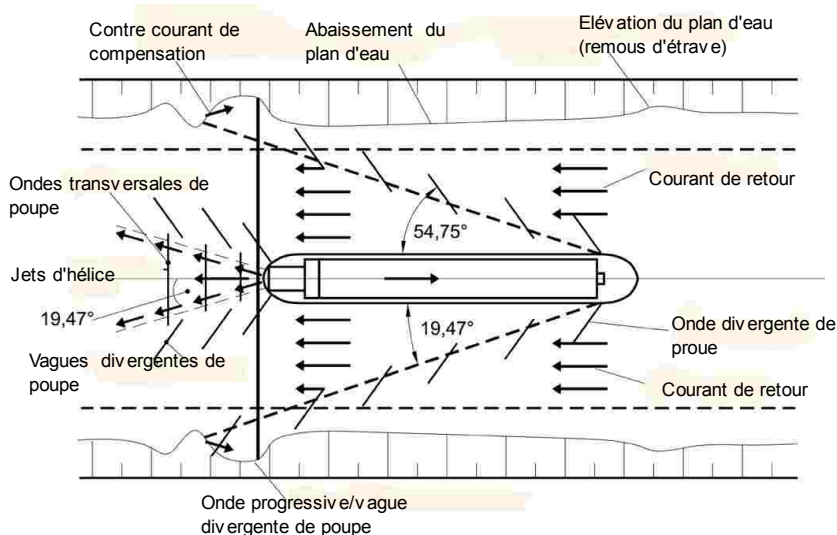


Illustration 3 : Composantes de l'agitation de l'eau induite par la navigation [BAW, 2005]

Les berges sont sollicitées par les phénomènes de batillage de différentes façons selon la géométrie de la voie navigable, du chenal et selon la gamme de vitesse de navigation.

Pour un bateau chargé navigant dans la gamme des vitesses commerciales normales, l'agitation induite varie peu avec la vitesse. Au-delà l'agitation croît fortement avec la vitesse. Les bateaux les moins chargés peuvent provoquer une agitation très supérieure à celle des bateaux chargés dans la mesure où ils ont la possibilité de naviguer plus vite et éventuellement près du bord. Cela est également valable pour les embarcations de plaisance [CETMEF et VNF, 2008].



Illustration 4 : Anse d'érosion de berges [source CETMEF]

Les effets de la navigation sur l'environnement ont été traités par le groupe de travail n° 99 de l'AIPCN et des graphiques extraits du rapport de ce groupe [AIPCN, 2008] figurent en annexe.

2.2.2.Facteurs divers d'évolutions des berges

Les évolutions de berges sont également favorisées par :

- les caractéristiques de la berge : nature et caractéristiques du sol (meuble, argileux, friable...), état de la végétation (état naturel, entretenue, dégradée, envahissante, plantes indésirables...) ;



Illustration 5 : Perte de matériaux favorisée par les caractéristiques médiocres du sol [source CETMEF]

- l'action du milieu naturel et l'action anthropique : ruissellement, vent (basculement d'arbres par exemple), embâcles, animaux fouisseurs, activités humaines (promeneurs, pêcheurs, plaisanciers, plants de peuplier...) voire vandalisme, charges de trafic sur le chemin de halage...;
- les phénomènes liés à l'exploitation de la voie navigable : chocs de bateaux, surcharges d'engins en crête lors de travaux, opérations de dragage (risque de déstabilisation du pied de berge), fausse manœuvre ou rupture d'une vantellerie d'ouvrage hydraulique (il peut en découler une onde solitaire)... ;
- le défaut des dispositifs de défense de berges : défaut de continuité des protections verticales (palplanches sorties de leurs serrures, pieux non jointifs,...), corrosion de palplanches, pourrissement de pieux ou planches en bois, déformation des cages ou des matelas gabions, désagrégation/dislocation, glissement de blocs en enrochements...;



Illustration 6 : Glissement de blocs en enrochements [source CETMEF]

- des obstacles ou des discontinuités ponctuelles (souche en pied de berge, changement brutal de section protégée/ non protégée) qui provoquent des accélérations locales accompagnées de courants tourbillonnaires et induisent des affouillements.

3. Démarche générale pour la définition d'une solution d'aménagement de berges

Avant de mettre en œuvre une protection de berges, il est nécessaire de justifier l'aménagement et de se poser les questions pratiques suivantes [CETMEF, 2000] :

- Faut-il protéger la berge ?
- Pourquoi ?

Un élément de réponse sera contenu dans les conséquences qu'aurait une érosion de la berge. S'il y a peu de conséquence ou encore que les enjeux qui nécessitent la protection ne sont pas importants, il n'est pas nécessaire de protéger la berge. Dans tous les cas, la réflexion doit être menée dans un contexte large et bénéficier d'une vision globale. L'échelle retenue pour justifier un tel aménagement devrait être systématiquement celle du bassin versant. Lorsqu'ils existent, il peut être utile de se référer à des documents comme les Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) qui permettent d'orienter l'action. Les aménagements projetés doivent être conformes à ces documents de référence. Par exemple, la décision de ne pas protéger une berge, pourra être prise pour les raisons suivantes :

- les érosions de berge ne mettront pas en péril l'activité de navigation ou une infrastructure à conserver ;
- rendre un espace de liberté au cours d'eau, dans l'objectif plus global de chercher à rétablir un équilibre morphodynamique, voire d'éviter une érosion à l'aval ;
- redonner de l'espace aux biotopes aquatiques.

Une fois le choix fait de protéger la berge, il faut entrer dans une logique de développement durable pour optimiser le choix de la technique [CETMEF, 2004]. Il est essentiel de prendre en compte l'ensemble des aspects caractérisant le milieu (fonctionnement morphodynamique, caractéristiques de la voie d'eau, paysage urbain, rural, agricole, naturel), d'intervenir uniquement sur les zones où l'état de la berge et les enjeux associés le justifient, il est également important de ne pas surdimensionner la technique de protection.



*Illustration 7 : Aménagement de berges sur la Meuse
[source VNF]*

La définition de la solution de protection de berges passera par une phase de diagnostic qui comprend les deux phases suivantes :

- le diagnostic technique et environnemental du site ;
- la définition des enjeux.

3.1. Diagnostic technique et environnemental du site

Ce diagnostic doit permettre de dresser un bilan de l'état actuel de la berge, de sa stabilité et de son potentiel environnemental. Il est nécessaire :

- **de comprendre, évaluer et localiser les phénomènes de dégradation** de la berge : actions hydrauliques et hydrodynamiques, zones préférentielles d'affouillements, dynamique de l'érosion (ponctuelle, récurrente, permanente...) ;
- **d'observer les caractéristiques du milieu récepteur pour déterminer le fonctionnement écologique de celui-ci** : interactions faune/flore, échanges entre milieu terrestre et aquatique, présence de frayères, de zones de refuge pour la faune, zones aquacoles proches, présence, type et état de la végétation ;
- **de déterminer l'état physique de la berge** et ses caractéristiques avec une distinction entre parties inférieures (immergées) et supérieures (émergées) : profondeurs d'eau, hauteur de berge immergée et émergée, pentes, présence de risberme, étendue des dégradations, présence et état des ouvrages, protections en place, type de sol, ... ;

Les données à recueillir pour cette étape et les suivantes sont d'ordre :

- géotechnique (type de sol, stabilité, ...) ;
- morphologique et morphodynamique (profils de la berge, profondeur d'eau,...) ;
- hydraulique (niveau d'eau théorique et réel pratiqués, courants, vagues, batillage, mouillage...) ;
- hydrologique (caractéristiques du bassin versant, régime des eaux, pluviométrie...) ;
- climatique (ensoleillement, exposition,...) ;
- environnemental (identification et recensement des espèces et des habitats à l'amont et à l'aval du site, cycle d'immersion et de submersion, ...) ;
- biologique, physique et chimique. Il est important de connaître les caractéristiques de l'eau (qualité de l'eau, présence de polluants, évaluation du transport solide ...) et les conditions de sol (potentiel hydrique, richesse en éléments nutritifs, texture, présence ou non d'argile, cohésion, degré d'humidité...) ;
- non technique (accessibilité, matériaux disponibles, périodes de mise à sec, contraintes sociales telles que les usages,...).

3.2. Définition des enjeux

Les enjeux sont définis à partir des contraintes du site et des besoins et exigences du gestionnaire de la voie navigable.

3.2.1. Identification des contraintes du site

Les contraintes sont les éléments dépendants de la législation ou du site et dont la prise en compte dans le projet ne peut être éludée [VNF, 2006b]. Les contraintes à identifier sont d'ordre social, économique, technique et environnemental. Il peut s'agir :

- ⇒ de la sécurité publique ou la sécurité d'ouvrages autres que ceux des voies navigables (habitations, activités humaines, usages sur berges et voie d'eau avec fréquentation, routes, etc.) ;

- ⇒ de la sécurité d'ouvrages des voies navigables (stabilité, dégradation des chemins de service, ouvrages d'art, digues...) ;
- ⇒ du maintien des caractéristiques géométriques du chenal de navigation (diminution du mouillage ou de la largeur, par exemple) ;
- ⇒ des emprises foncières (emprise du canal, chemins d'accès) ;
- ⇒ du potentiel environnemental du site (espèces, habitats, paysage) ;
- ⇒ du zonage environnemental [VNF, 2006a] : ZNIEFF, réserve naturelle, zone importante pour la conservation des oiseaux, zone Natura 2000, zone à haute valeur écologique, site classé, espace boisé...

3.2.2.Définition des besoins et des exigences du gestionnaire

Les besoins du gestionnaire sont le socle incontournable des fonctions à remplir par l'ouvrage. Les exigences sont les objectifs spécifiques non règlementaires que s'impose le gestionnaire de voies navigables pour le projet, tels que la réalisation de fonctions non indispensables directement liées à son activité, la prise en compte d'objectifs de qualité technique, économique, environnementale non réglementaire, les besoins des autres acteurs et/ou maîtres d'ouvrages [VNF, 2006b].

La technique de protection devra posséder a minima des qualités de stabilité, durabilité, intégration dans l'environnement, facilités de mise en œuvre, d'entretien et de réparation compatibles avec les besoins du gestionnaire.

Les besoins du gestionnaire seront d'abord liés à l'objectif premier de la voie d'eau : assurer la navigation et les activités qui y sont associées (postes d'amarrage, zones éclusières....). Le gestionnaire prendra également en compte les activités annexes de la voie d'eau, généralement liées aux fonctions écologiques, aux loisirs, à l'agriculture, au paysage ou à la nature (aménagement de pistes cyclables ou de zones de pêche, création d'habitats, amélioration de la qualité des eaux, du paysage...).

Les étapes précédentes doivent permettre de dégager les enjeux du site, le degré d'urgence de l'aménagement à mettre en place ainsi que les contraintes et les facteurs influants qui pourraient limiter l'application d'un type de technique. Ce sera à l'issue d'une analyse multicritère et de la phase de conception que le choix définitif de la technique de protection de berges sera effectué.

4. Panorama des principales techniques de protection de berges

On peut distinguer les trois types de techniques de protection de berges suivantes :

- les techniques en génie végétal comme par exemple les fascines d'hélophytes ou le tressage, qui sont des techniques utilisant des végétaux vivants entiers ou parties. Ces techniques reposent sur l'aptitude des plantes utilisées à se multiplier, à fixer le sol par le développement de leur système racinaire et à dissiper l'énergie hydraulique par perte de charge au sein des textures végétales. Elles sont à privilégier dans les secteurs où les contraintes hydrauliques sont modérées et où les disponibilités foncières en crête de talus externe permettent un retalutage en pente douce ;
- les techniques de protection issues du génie civil dites « dures », qui sont justifiées dans les secteurs à fortes contraintes géométriques et hydrauliques. Ces techniques peuvent avoir des fonctions anti-érosives (enrochements, matelas gabions ...) ; de soutènement (murs gabions, palplanches, rideaux de pieux,...) ; d'étanchéité (palplanches, dispositifs d'étanchéité, ...) ;
- les techniques mixtes, qui sont une association d'éléments de techniques issues du génie civil et de techniques végétales (enrochements végétalisés ou tunage et plage plantée d'hélophytes, par exemple), permettant de combiner les atouts des techniques végétales et de techniques dites « dures » lorsque cela est nécessaire.

Toutes ces techniques apportent à la berge une résistance structurale, qui est obtenue par des procédés différents et sur des échelles de temps différentes suivant le type de technique. Pour les techniques en génie végétal, la résistance aux sollicitations hydrauliques est obtenue après une période d'une ou deux années, période optimale requise pour la reprise des racines et le développement des plants. Par opposition, les techniques en génie civil offrent une résistance immédiate.

Dans le tableau suivant, établi à partir de l'ensemble des références bibliographiques et internet (cf. chapitres 8 et 9) , nous présentons les principales techniques en génie végétal et celles issues du génie civil. Des exemples de techniques mixtes, qui découlent de la combinaison des deux types de techniques précédentes seront présentés par ailleurs dans la partie consacrée au retour d'expériences. Il est important de noter que tout aménagement de protection de berges doit être conçu au cas par cas et pour un site donné, seules certaines techniques parmi celles des tableaux 1 et 2 seront adaptées.

TABLEAU 1

PRINCIPALES

TECHNIQUES DE

PROTECTION DE

BERGES

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêts majeurs	Limites majeures	Coût indicatif (hors travaux préparatoires)	Entretien
Techniques végétales	TECHNIQUES VÉGÉTALES	<i>Disponibilité foncière en crête et en talus externe, permettant un retalutage en pente douce.</i> <i>Contraintes hydrauliques modérées.</i> <i>Possibilités d'entretien.</i>	<i>Amortissement du batillage.</i> <i>Adaptables à de nombreuses morphologies de berges.</i> <i>Bonne intégration paysagère.</i> <i>Bonne transition entre milieu aquatique et milieu terrestre.</i> <i>Création d'habitats pour la faune et la flore et favorables à la grande faune (végétation, pentes douces).</i> <i>Contribution à l'épuration de l'eau (MES) et au « piégeage » des flottants après crue.</i>	<i>Protections inefficaces dans les zones aux contraintes hydrauliques fortes.</i> <i>Des berges trop raides et des disponibilités foncières insuffisantes limitent l'utilisation de ces techniques.</i> <i>Problèmes rencontrés avec les animaux fouisseurs notamment (ragondins).</i> <i>Aucun rôle d'étanchéité.</i>		
	Fascines de saules. Mise en place de fascines (fagots) de branches vivantes, fixées par une double rangée de pieux et recouvertes de terre végétale.	Stabilisation immédiate du pied de berge. Adapté aux niches (anses) d'érosion et irrégularités de la berge.	Limitation accrue des effets du batillage après reprise des saules (développement aérien et racinaire). Peut se réaliser avec des matériaux issus de l'entretien d'autres secteurs.	Peu de rôle de soutènement. Nécessite des quantités importantes de végétaux lors de la mise en œuvre. Sensible à la présence abondante de rongeurs. Accessibilité aux berges réduite. Limitation du gabarit de navigation en cas d'absence d'entretien.	50 à 95 €/ml. pour les fascines simples. (retour d'expériences auprès de VNF).	Important (recépage pour éviter un développement trop important des saules).
	Fascines d'hélophytes. Mise en place de mottes d'hélophytes, souvent au travers d'un treillis coco, et recouvertes de terre végétale.	Stabilisation immédiate du pied de berge. Adapté aux niches (anses) d'érosion.	Protection immédiate du pied de berge. Limitation accrue des effets du batillage après enracinement et développement du feuillage.	Rôle de soutènement minime. Protection moins résistante aux contraintes hydrauliques que la fascine de saules.	100-120 €/ml. (retour d'expériences auprès de VNF).	Limité. (vérification de la bonne reprise des hélophytes).
	Tressage ou clayonnage. Branches de saules entrelacées autour de pieux battus, formant un « mur » végétal.	Stabilisation de pied de berge. Adapté aux irrégularités de la berge.	Protection immédiate du pied de berge. Limitation accrue des effets du batillage et du marnage après enracinement et développement du feuillage.	Limitation du gabarit de navigation en cas d'absence d'entretien. Hauteur de protection relativement limitée.	40-50 €/ml. (guide VNF, 2001). 65 à 130 € pour les doubles rangées.	Important. (taille et sélection des rejets).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêts majeurs	Limites majeures	Coût indicatif (hors travaux préparatoires)	Entretien
Techniques Végétales	Peigne. Enchevêtrement de branches, troncs, solidement attachés et fixés à la berge, permettant de combler l'encoche d'érosion et de piéger les alluvions.	Adaptée aux cours d'eau charriant beaucoup d'alluvions. Pied de berge sapé ou sous-cavé. Berge affouillée. Comblement d'anse d'érosion.	Mise en place possible toute l'année (étiage recommandé). Souvent utilisé en complément d'autres techniques pour le piégeage des sédiments.	Application sur des cours d'eau avec un important transport d'alluvions fines et des crues fréquentes.	30-50 €/m ³ (Lachat, 150F en 1994).	Limité.
	Lits de plançons. Disposition, côte à côte et sur plusieurs paliers, de branches vivantes et/ou de plants enracinés.	S'applique plus particulièrement sur des berges présentant des risques de glissement, avec des pentes assez raides et des hauteurs pouvant être élevées.	Consolidation rapide (protection immédiate), effet anti-sapement, piégeage des sédiments. Enracinement profond et dense. Peut se réaliser avec des matériaux issus de l'entretien d'autres secteurs.	Nécessité d'entretien. Le développement de la végétation peut entraîner des fermetures du paysage. Sensible à la présence abondante de rongeurs. Peu de rôle de soutènement.	31 à 80 €/ml (prix HT donné par BIEF) 15-25 €/ml/étage (guide VNF).	Important (taille et sélection des rejets).
	Couches de branches (tapis vivant). Plaquage de couches de branches vivantes (dont la base est recouverte de terre) contre la berge, pour dissiper le courant et permettre un dépôt d'alluvions.	Berges érodées nécessitant une protection de surface. Berges soumises à une forte traction.	Protection immédiate de la berge. Préserve le caractère naturel de la berge. Peut se réaliser avec des matériaux issus de l'entretien d'autres secteurs. Intéressant en complément d'autres techniques pour piégeage des sédiments. Forme une ceinture dense et durable capable de résister à de fortes crues.	Ne protège pas le pied de berge. Nécessité d'entretien. Difficultés pour avoir une diversification des espèces (ligneuses) pendant les premières années. Entraîne une fermeture du paysage. Sensible à la présence des rongeurs en phase initiale. Peu de rôle de soutènement.	70 à 150 €/ml 50-75 €/ml (guide VNF).	Important (taille des rejets, éclaircie des pousses).
	Caissons végétalisés. Ils sont constitués de rangées parallèles de rondins en bois sur lesquelles sont fixées des rondins perpendiculaire formant des caissons. L'ensemble est orienté côté berge. Chaque étage est remblayé de matériaux terreux végétalisé.	Peut être réalisé sur des pentes très raides, fortement sapées et caractérisées par des terrains instables (glissements), même s'il y a peu de place pour la protection. La réalisation par étages successifs permet d'adapter la hauteur de l'ouvrage à toute situation. Application dans les situations où aucune autre technique végétale ne peut être utilisée à cause de fortes pentes.	Protection très résistante et immédiate de la berge. Hauteur de protection adaptable. Rôle de soutènement. Compatible avec le développement de la flore rivulaire. Bonne intégration paysagère.	Difficultés de mise en œuvre avec des remblais en eau. Coûts élevés de mise en œuvre. Nécessite des terrassements importants et de l'espace.	Coût élevé 140 à 300 €/m ³ mis en œuvre. 200 à 300 €/ml. (guide VNF).	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêts majeurs	Limites majeures	Coût indicatif (hors travaux préparatoires)	Entretien
Techniques végétales	Boudins d'hélophytes. Boudins en géotextile de coco remplis de matériaux terreux et plantés d'hélophytes. Ils peuvent être préfabriqués et ensemencés ou réalisés et plantés sur place.	Berges sans hauteur, soumises à une érosion par batillage, ne nécessitant pas de soutènement.	Atténue la vague due au batillage. Facilité d'adaptation aux irrégularités de la berge.	Cette technique demande un complément de réalisation en pied ou en partie supérieure du talus par exemple pose de treillis de géotextile et de plantation complémentaires.	120 €/ml.	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).
	Géotextile (matériau complémentaire). Revêtement superficiel biodégradable constitué de fibre naturelles (jute, fibre de coco, de laine de bois, de coton, de lin, de roseaux...) ou matériau non dégradables (tissé, non tissé).	Dans les techniques végétales ou mixtes, les géotextiles accroissent la résistance de l'ouvrage dès la fin de sa mise en œuvre, pendant la période où les végétaux n'ont pas encore acquis un développement suffisant.	Protection de la couche superficielle de la berge contre l'érosion. Renforcement de la stabilité du talus et de l'ouvrage. Action de filtre retenant les particules fines de la berge.	Ancrage nécessaire du géotextile au sommet de la berge dans une tranchée, et fixation au talus au moyen d'agrafes (40 à 80 cm de profondeur).	2 à 10 €/ml. (source TenCate).	Limité (vérification de la bonne fixation).
	Géogrille (matériau complémentaire). Revêtement superficiel non dégradables constitué de matériaux de synthèse (nylon, polyester...), permettant le développement de la végétation et favorisant la croissance et l'ancrage racinaire.	Peut être utilisée de façon individuelle ou en complément à des techniques végétales et/ou minérales.	Protection des talus contre l'érosion superficielle (eaux de pluie, ruissellement).	N'est efficace que dans des zones avec un faible batillage ou sur les terrains marneux ou argileux (peu de frottement). Nécessite une fixation par brochage métallique.	2 à 10 €/ml. (source TenCate).	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêts majeurs	Limites majeures	Coût indicatif (hors travaux préparatoires)	Entretien
Techniques de génie civil	TECHNIQUES ISSUES DU GENIE CIVIL	<i>Contraintes hydrauliques fortes. Disponibilités foncières limitées. Enjeux importants.</i>	<i>Protections efficaces dans les zones à fortes contraintes géométriques et hydrauliques. Protection immédiate de la berge.</i>	<i>Réduisent au minimum les échanges entre milieux terrestre et aquatique entre les hydrosystèmes. Atteintes aux fonctionnalités écologiques des berges et des digues (flore et faune), intérêt paysager réduit. Faible atténuation de l'agitation du plan d'eau. Techniques soumises à des contraintes réglementaires.</i>		
	Gabions et matelas- gabions. Structures en grillage métallique double ou triple torsion dont le remplissage est effectué avec des matériaux pierreux.	Digue avec forts enjeux. Pentes douces (2/1 au minimum). Couche de protection d'un système d'étanchéité.	Adaptation aux déformations des terrains notamment pour les matelas gabions. Soutènement efficace des talus (gabion « boîte » et rôle drainant intéressant dans la stabilisation des terrains notamment pour les gabions. La pénétration de l'eau à l'intérieur de la protection de berge autorise le développement d'une activité biologique entre milieu aquatique et milieu terrestre.	Artificialisation du milieu et réduction des habitats. Réduction des possibilités de franchis- sment du canal par la faune terrestre (parfois à l'origine de la mort des animaux par noyade). Risque d'érosions accru en amont et aval immédiats de l'ouvrage. Nécessite des terrassements importants.	Gabions :350 à 500 €/ml. Matelas gabions: 150 à 250 €/ml.	Faible.
	Enrochements naturels. Couche de matériaux granulaire.	Protection de pied de berges. Pentes douces (2/1) au minimum.	Possibilité de création d'abris pour la faune aquatique. Autorisent le franchissement par la faune terrestre.	Nécessite de l'espace. N'est pas favorable au développement d'une flore rivulaire diversifiée. Aucun rôle d'étanchéité et de soutè- nement.	60-100 €/tonne.	Faible (surveillance tenue des blocs).
	Enrochements naturels liés avec du coulis de ciment ou du bitume.	Secteurs à courant, et batillage très important. Digue avec forts enjeux.	Utilisation sur des pentes plus raides que celles des protections classiques en enrochements. Utilisation de matériaux de taille inférieure à ceux des protections en enrochements classiques et réduction de l'épaisseur de la protection.	Artificialisation du milieu et réduction des habitats. Rôle d'étanchéité faible (variable suivant la quantité et le type de produit injecté).		Faible.

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêts majeurs	Limites majeures	Coût indicatif (hors travaux préparatoires)	Entretien
Techniques de génie civil	Palplanches métalliques. Rangée de pieux en métal battus en terre en s'enclenchant aux pieux voisins par l'intermédiaire de nervures latérales.	Digue avec forts enjeux. Besoins en étanchéité.	Assurent une protection efficace de l'ouvrage, en préservant le rectangle de navigation. Faible emprise. Rôle de soutènement et d'étanchéité.	Artificialisation du milieu et réduction des habitats. Interdit tout échange latéral entre le milieu aquatique et la berge. Interdit le franchissement du canal par la faune, provoquant la noyade des animaux (possibilité d'installer des échelles pour la faune).	Généralement 400 à 1250 €/ml.	Faible.
	Revêtement en béton bitumineux, dispositif d'étanchéité par géomembrane.	Digues avec forts enjeux. Besoins en étanchéité.	Rôle d'étanchéité.	Artificialisation du milieu et réduction des habitats. Interdit tout échange latéral entre le milieu aquatique et la berge.	100 €/tonne (béton bitumineux).	Faible.
	Tunage. Pieux derrière lesquels sont placés horizontalement des troncs et/ou des rondins.	Berges exposées aux courants majeurs. Anses d'érosion.	Intéressant si on dispose de remblais pour reprofiler la berge en paliers. Protection solide et compacte. S'intègre relativement bien en secteur péri-urbain. Favorable à la flore rivulaire.	Durée de vie limitée (de 5 à 10 ans). Rôle de soutènement faible. Ne crée pas d'abri pour la faune aquatique.	100 à 130 €/ml.	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).
	Systèmes préfabriqués. Systèmes non liaisonnés ou imbriqués comme les systèmes de plaques alvéolées en béton fixées sur géotextile ou les blocs béton liaisonnés par câble ou nappes et matelas géotextiles.	En section canalisée de préférence. Pentes inférieures à 2/1.	Aspect relativement naturel une fois végétalisé.	La mise en place en eau est compliquée. Privilégier la mise à sec du bief (1 mois). Sans rôle d'étanchéité. Protection superficielle, résultat très tributaire de la qualité du substrat (ou des sous couches/filtres).	160 €/ml.	Faible à limité (une tonte par an sur le haut de talus).
	Graves agglomérées par de la résine Carapace de graves mélangées avec du polyuréthane (épaisseur 10-20 cm).	Protection de surface.	Atténuation des vagues de battillage. Approvisionnement en matériaux plus simple que pour des enrochements.	Mise en œuvre : dispersion possible des éléments ; nécessité de mise à sec. Certification en cours pour la non interaction entre polyuréthane frais et milieu aquatique.		Faible

5. Principes généraux pour la conception d'une technique de protection de berges

5.1.Détermination des sollicitations hydrauliques, de la stabilité de la berge et du potentiel environnemental du site

Avant de procéder à la conception géométrique et au dimensionnement de la technique de protection de berges, il est important d'évaluer les sollicitations hydrauliques, la stabilité de la berge et le potentiel environnemental du site.

5.1.1.Les sollicitations hydrauliques

Il s'agit d'évaluer les vitesses de courant, l'amplitude de variation du plan d'eau et la hauteur des vagues.

Trois cas peuvent se présenter :

- le cas où les phénomènes naturels sont prépondérants par rapport aux phénomènes liés à la navigation (crues, zones de remous à l'aval de barrage,...) ;
- le cas où les phénomènes liés à la navigation en section courante sont prépondérants par rapport aux phénomènes naturels. Le courant de retour et le batillage seront alors dimensionnants ;
- le cas des zones particulières où les bateaux manœuvrent ou s'approchent de la berge, ce seront les effets des jets d'hélices qui devront être pris en compte.

De nombreuses références existent sur ces sujets (cf. références bibliographiques et l'annexe 2), elles devront être consultées pour la détermination de ces conditions aux limites.

5.1.2.La stabilité de la berge

Pour connaître la stabilité de la berge, il sera nécessaire au préalable de déterminer :

- l'état physique du sol : poids volumique, teneur en eau, porosité, granulométrie, indices de plasticité, taux de compactage... ;
- les caractéristiques hydrauliques du sol : perméabilité, succion, gradients... ;
- les caractéristiques mécaniques du sol : cohésion, angle de frottement, contraintes de consolidation ...

Ensuite, la stabilité de la berge par rapport aux mécanismes de cisaillement et d'érosion pourra être évaluée à partir des formules classiques de la géotechnique, de formules empiriques ou de logiciels de calcul.

5.1.3.Le potentiel environnemental du site

Le potentiel environnemental du site consiste à connaître :

- le potentiel de croissance offert par le sol à la végétation. Il s'agit de la potentialité de développement des racines qui varie avec les caractéristiques physiques du sol (texture du sol, degré d'humidité du sol, aération), chimiques et aqueuses (pH, concentration et apport en éléments nutritifs pour les végétaux, substances en concentrations toxiques) ;

- la faune terrestre et aquatique devant vivre dans la zone stabilisée ainsi que ses effets négatifs et positifs sur les divers systèmes envisagés.

Il est à noter que la connaissance des espèces présentes sur le site pourra permettre d'accéder à des informations relatives aux conditions locales de vie végétale et d'indiquer notamment le type de plantes adaptées aux conditions existantes.

Une étude des fonctions environnementales du site permettra de mieux appréhender le rôle du milieu en terme de biens et de services rendus. Elle pourra permettre une meilleure prise en compte du milieu vivant en vue d'améliorer sa qualité.

5.2. Conception géométrique du profil de berge

Tout aménagement de protection de berges doit être conçu au cas par cas. Il n'est pas possible, en particulier, de transposer un aménagement efficace d'un site à l'autre. Enfin, il est essentiel de privilégier les aménagements avec pentes douces [CETMEF et VNF, 2008].

La conception devra tenir compte des souhaits et enjeux liés aux usages, aux loisirs, au milieu naturel, au paysage, à l'agriculture, etc. C'est en étudiant et en pondérant ces exigences que l'espace nécessaire sera déterminé [AIPCN, 1997]. L'inclinaison des berges sera ensuite fonction de la stabilité du sol de la berge, du type de protection envisagé et de la largeur disponible de part et d'autre de la voie navigable ainsi que de la largeur minimale du chenal.

5.2.1. Détermination du profil d'équilibre

La conception doit autant que possible respecter le profil d'équilibre de la berge susceptible d'apparaître en l'absence de protection.

Dans le cas des rivières [AIPCN, 1997], le profil d'équilibre peut être déterminé en collaboration avec des ingénieurs géotechniciens et hydrauliciens, compte-tenu en particulier de la stabilité géotechnique interne et externe et d'un éventuel affouillement en période de crue, ainsi que d'autres éléments relevant de la dynamique fluviale.

Sur des voies navigables relativement rectilignes dotées d'un profil normal ou supérieur à la normale [AIPCN, 1997], la partie de la section dépassant en profondeur deux fois la hauteur de la vague de calcul $H_{\max}$ peut être en équilibre dynamique. Sous réserve que le dragage d'entretien ne perturbe pas le profil, il suffira alors de protéger la berge sur une hauteur légèrement supérieure à deux fois la hauteur de la vague de calcul (traits interrompus sur l'illustration ci-après). Dans les courbes ou dans les zones très sollicitées, il sera préférable de prévoir une protection totale jusqu'en pied de berge.

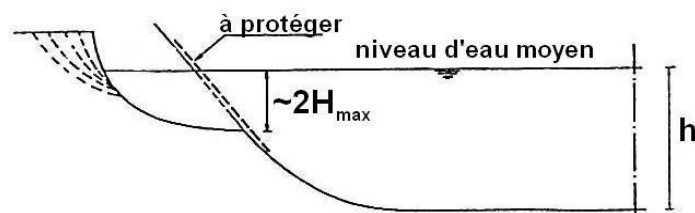


Illustration 8 : Profil en travers d'une berge de voie navigable [AIPCN, 1997]

$H_{\max}$ représente la hauteur maximale de la vague de calcul

h représente la profondeur de la voie navigable

5.2.2. Conception géométrique des techniques mixtes et végétales

L'illustration ci-après présente des exemples de profils en travers envisageables pour des techniques mixtes ou végétales.

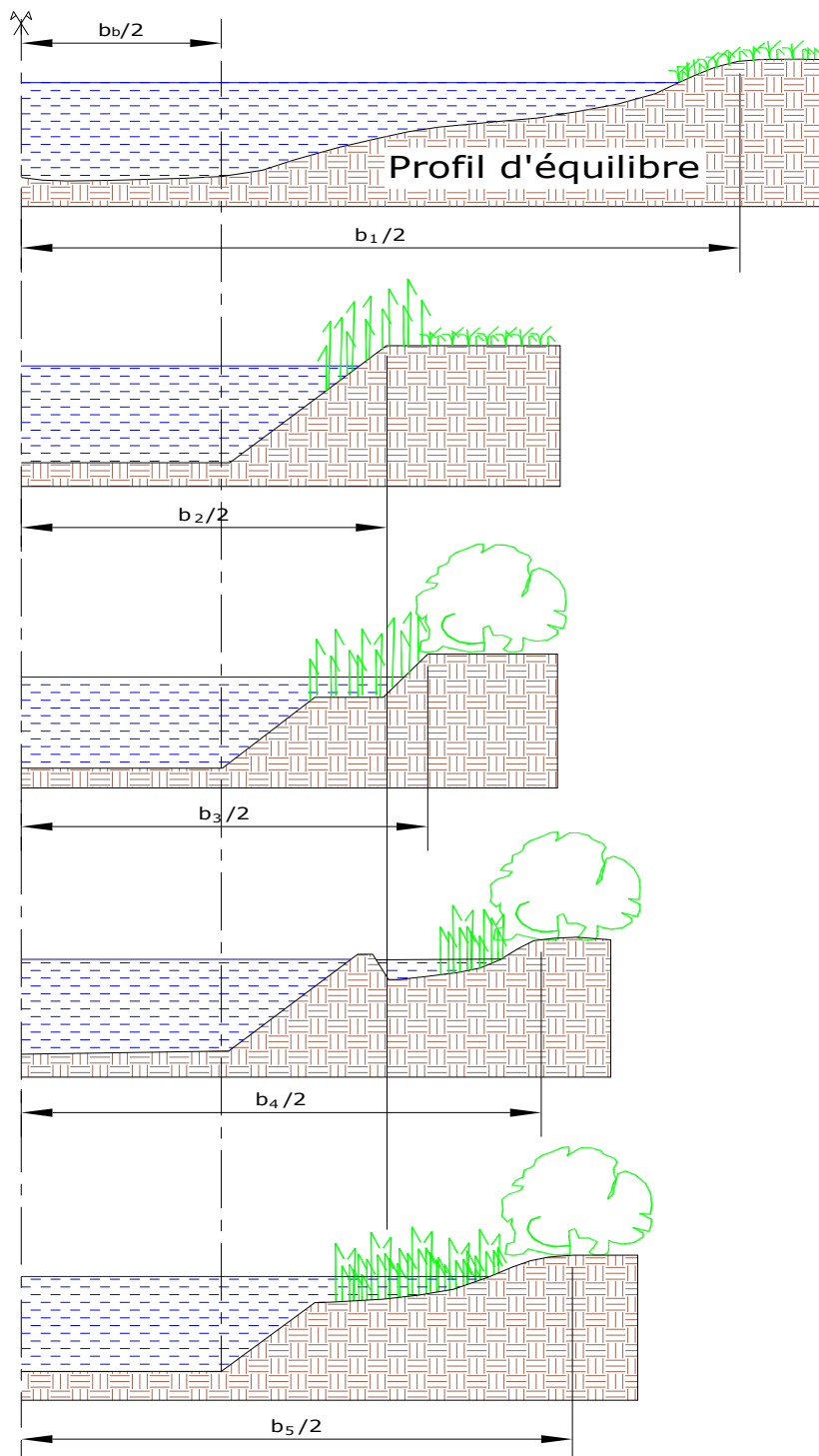


Illustration 9 : Exemples de profils en travers pour des techniques mixtes ou végétales [AIPCN, 1997]

b_i représente la largeur de la voie navigable pour plusieurs profils

b_b représente la largeur du chenal navigable

Pour accroître l'efficacité des protections de berges par génie végétal dans les zones fortement sollicitées, des solutions atténuant considérablement l'énergie de la vague comme les risbermes ou les merlons peuvent être mises en place en avant du pied de berge. Ce type d'aménagement doit évidemment faire l'objet d'études, afin que l'ouvrage ne déplace pas l'érosion de la berge vers un autre secteur par déplacement des contraintes hydrauliques. En ce qui concerne les risbermes, une étude de la Compagnie Nationale du Rhône [CETMEF et VNF, 2008] et des expérimentations menées par le STCPMVN sur la Deûle et la Lys à la fin des années 90 [FAGON, 1999], ont montré que :

- à emprise sensiblement égale les profils présentant une risberme permettaient un meilleur amortissement des mouvements hydrauliques à l'approche de la rive ;
- la réalisation d'une risberme contribuait sensiblement à l'efficacité du futur développement des espèces implantées.

Pour créer des aménagements écologiques, des ouvrages d'amortissement des vagues peuvent être interposés entre la berge et le cours d'eau. Si la largeur disponible de la voie navigable est grande ou si la charge due aux vagues est très faible, l'ouvrage d'amortissement peut n'être que temporaire (sujet à l'érosion ou biodégradable). La crête de cet amortisseur de vagues pourra être située à environ $H_{\max} / 2$ au-dessus du plan d'eau ($H_{\max}$ étant la hauteur maximale des vagues) et la partie arrière de l'ouvrage devra être protégée contre l'érosion due à son franchissement.



Illustration 10 : aménagement écologique sur le canal du Rhône au Rhin [source CETMEF]



Illustration 11 : aménagement écologique sur le canal des Vosges [source CETMEF]

5.2.3. Conception géométrique des techniques de génie civil

Dans la mesure du possible, il sera conseillé d'éviter les éléments verticaux, tels que les palplanches ou les panneaux en géotextile, car ils constituent une barrière écologique et créent une réflexion de l'énergie de la vague, engendrant ainsi des vagues hautes [AIPCN, 1997].

Suivant les caractéristiques du site, la protection de berge pourra être partielle, totale ou être associée à une solution de soutènement et/ou à une solution d'étanchéité.

L'illustration ci-après présente des exemples de profils en travers envisageables pour des techniques de génie civil.

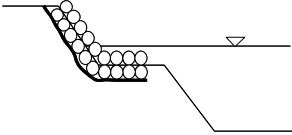
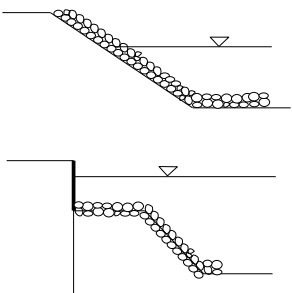
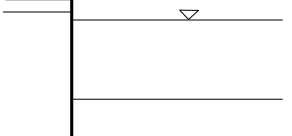
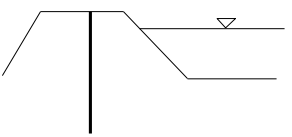
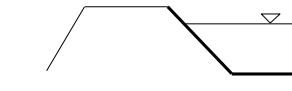
TYPE DE PROTECTION	DOMAINE D'UTILISATION	CONTRAINTES	EXEMPLES DE DISPOSITIFS
<u>Protection partielle</u> 	●Phénomène de surface prépondérants (batillage).	●Disponibilité d'emprise (risberme).	●Enrochements ; ●Rideaux alternés de palplanches ; ●Tunages bois ; ●Tunages géotextiles ; ●Gabions, matelas gabions ; ●Gabions géotextiles ; ●Techniques végétales.
<u>Protection totale</u> 	●Courant de retour, courant naturel importants ; ●Phénomènes dans les courbes des rivières (évolution de la morphologie fluviale).	●Disponibilité d'emprise (risberme et/ou pente de talus).	●Enrochements ; ●Matelas gabions ; Rideaux alternés, gabions ou tunages et protection de risbermes en enrochements ou matelas gabions.
<u>Protection totale + soutènement</u> 	●Courant de retour, courant naturel importants ; ●Phénomènes dans les courbes des rivières (évolution de la morphologie fluviale).	●Emprise imposée et réduite ; ●Accostage de bateaux.	●Rideaux de palplanches autostables/ancrés ; ●Murs poids en gabions.
<u>Ecran vertical étanche</u> 	●Fuites : si horizon imperméable en fondation de digue ; ●Stabilité (érosion régressive, stabilité d'ensemble) ; ●Érosion de berges.		●Rideaux de palplanches (positionné en rive pour la protection des berges contre l'érosion) ; ●Injection de coulis bentonite-ciment
<u>Étanchéité amont</u> 	●Fuites ; ●Et conséquences sur la stabilité (érosion régressive, stabilité d'ensemble) ; ●Érosion des berges.	●Mise en œuvre en chômage.	●Dispositif d'étanchéité par géomembrane ; ●Béton bitumineux ; ●Béton de ciment ou autres.

Illustration 12 : Exemples de profils en travers et domaine d'utilisation pour des techniques en génie civil [STCPMVN, 1995]

5.3.Dimensionnement - choix des matériaux et des végétaux

5.3.1.Techniques végétales

Avec l'utilisation des techniques en génie végétal, de multiples possibilités sont envisageables pour une même section à protéger. L'essentiel dans la définition et le dimensionnement de la protection en génie végétal est de bien connaître la fonction de chaque élément de protection, pour ensuite créer une combinaison adaptée aux diverses situations. Par exemple :

- les géotextiles servent à renforcer les caractéristiques mécaniques du sol ou à retenir les éléments fins, ou à protéger de l'érosion superficielle par l'eau ;
- la toile coco permet de protéger des affouillements et les jeunes plants des espèces végétales plantées ;
- les fagots de bois morts permettent de piéger les sédiments. Si, le transit sédimentaire est suffisant, il peut être envisageable d'organiser une protection uniquement par la fixation de fagots à l'aide de pieux, dans une anse d'érosion par exemple ;
- les pentes douces avec plantation d'herbacées d'espèces diverses permettent de freiner et d'amortir les vagues, et créent des niches écologiques.

Il sera essentiel de protéger le pied de berges, de couvrir au maximum les sols et de favoriser le mélange des espèces végétales [CETMEF et VNF, 2008].

• *Conception du pied de berges*

Le pied de berge pourra être protégé par l'un des dispositifs suivants :

- géotextiles putrescibles (toile coco par exemple) dans lequel seront implantés les végétaux ;
- fagots de bois morts ayant pour fonction de piéger les sédiments et de favoriser le développement des végétaux vivants ;
- enrochements ou fascinage pour résister aux sollicitations hydrauliques.

• *Choix des végétaux*

Les espèces végétales peuvent être de différents types selon la fonction recherchée (résistance aux courants, au piétinement, aux submersions permanentes ou temporaires,...).

Lors du choix des végétaux, il est indispensable de prendre en compte les données relatives aux variations du plan d'eau puisque chaque espèce est adaptée à un certain degré d'immersion pour lequel sa croissance est optimale. Il est recommandé de privilégier la diversité végétale et d'être vigilant à la compatibilité inter-espèces pour éviter qu'une espèce colonise l'ensemble du site. Seules les compétences d'un spécialiste ou d'un botaniste confronté aux conditions du site, permettra de dresser un zonage des espèces et d'optimiser ainsi le pourcentage de reprise (puis de résistance) des espèces végétales. Il est conseillé de retenir des espèces autochtones [FAGON, 1999], recensées au cours de l'étude de site mais également d'importer des espèces équivalentes dont certaines caractéristiques essentielles à la protection de berge seront plus performantes : meilleure rigidité des feuilles soumises à un courant et à des vagues, développement racinaire profond ou dense, meilleure résistance aux immersions...

En bref, les végétaux retenus pour le projet devront [AIPCN, 1997]:

- ⇒ croître de manière dense ;
- ⇒ constituer une barrière continue d'amortissement des vagues et résister aux effets de la navigation ;
- ⇒ avoir une emprise limitée sur le cours d'eau pour ne pas être un obstacle à la navigation ;

- ⇒ être au moins compatibles avec la présence des autres éléments nutritifs issus du cours d'eau et s'accommoder d'un dépôt éventuel de sédiments (dépendant du type de cours d'eau) ;
- ⇒ avoir été choisis en considérant les facteurs bioclimatiques (ensoleillement, vent dominant, température) ;
- ⇒ être entretenus, ou au moins surveillés quant à leur reprise.

5.3.2. Techniques de génie civil

Pour le dimensionnement de techniques de génie civil, il faut se reporter aux ouvrages de références dans le domaine, comme notamment ROSA 2000 [CETMEF, 2000]. Dans le cas particulier de protection en palplanches, il est possible d'avoir recours à de nombreux logiciels de calculs et il pourra être intéressant d'effectuer préalablement au dimensionnement, un prédimensionnement à partir de logiciels gratuitement téléchargeables à partir d'internet comme par exemple le logiciel Prosheet.

• *Cas particulier des protections en enrochements*

Dans le cas particulier des solutions en enrochements, il sera important de dimensionner les couches de filtre et de protection en se référant au guide enrochement [CIRIA/CUR/CETMEF, 2009]. Pour les filtres granulaires, il faudra notamment vérifier les conditions de non entraînement des particules, de perméabilité et de ségrégation. Pour les filtres géotextiles, il faudra spécifier les caractéristiques fonctionnelles telles que la permittivité³ et l'ouverture de filtration. Pour le choix des matériaux de protection, il faudra d'abord déterminer le diamètre médian D_{50} des blocs (utilisation de formules comme celle d'Isbash) puis le fuseau granulométrique (référence aux normes en vigueur pour la blocométrie). L'épaisseur de la couche de protection, devra être au minimum égale à deux fois le diamètre moyen des blocs. Des pentes adaptées devront être retenues et un dispositif de butée de pied ou de bêche en pied pourront être prévus.

• *Choix des matériaux*

Pour les spécifications relatives aux matériaux, il faut se reporter aux normes en vigueur telles que :

- NF EN 13 383 1 « Enrochements - Spécifications » et NF EN 13 383 2 « Enrochements – Méthodes d'essais » ;
- NF P 94325- 2 « Exécution des travaux géotechniques spéciaux – ouvrages en gabions » ;
- NF EN ISO 11058 « Géotextiles et produits apparentés – Détermination des caractéristiques de perméabilité à l'eau normalement au plan, sans contrainte mécanique », NF EN ISO 12956 « Géotextiles et produits apparentés – Détermination de l'ouverture de filtration caractéristique », NF EN 13255 « Géotextiles et produits apparentés – Caractéristiques requises pour l'utilisation dans la construction de canaux ».

³La permittivité d'un géotextile est le rapport de sa perméabilité normale à son épaisseur. Elle est déterminée en fonction de la perméabilité du sol et du niveau de sécurité de l'ouvrage.

6. Retour d'expériences sur des aménagements de berges avec techniques mixtes ou végétales

La réussite d'un aménagement de berges passe nécessairement par les étapes déjà décrites auparavant. Dans la présente partie, nous nous sommes intéressés à des aménagements particuliers de berges de voies navigables afin de tirer des enseignements acquis par certains services de navigation et de diffuser l'expérience pour les aménagements à venir. Nous avons effectué un retour d'expériences sur seize aménagements de berges situées sur les voies navigables suivantes : la Meuse, le canal des Vosges, la petite Saône et la grande Saône (rivière naturelle et dérivation). Nous nous sommes plus particulièrement focalisés sur les aménagements avec des techniques de protection en génie végétal ou en génie mixte. Concernant les techniques de génie civil, elles ont fait l'objet d'un retour d'expériences dans le cadre d'une étude sur les réparations de digues de voies navigables ; une publication devrait avoir lieu en 2010.

Pour mener à bien notre travail, nous nous sommes appuyés sur une grille d'entretien type et des visites de terrain. Pour chaque aménagement, nous avons établi des fiches de cas, qui renseignent sur le contexte de l'aménagement, la technique de protection employée, le déroulement des travaux et les résultats obtenus.

Dans les pages suivantes, nous donnons :

- une liste de l'ensemble des techniques de protection ainsi qu'une présentation détaillée de chaque aménagement de berges ayant fait l'objet du retour d'expériences (partie 6.1) ;
- un bilan de ce retour d'expériences (partie 6.2).

6.1. Tableau de synthèse et fiches de retour d'expériences

Dans cette partie les techniques de protection utilisées sont présentées dans un tableau de synthèse et l'ensemble des aménagements sont détaillés dans des fiches de retour d'expériences.

TABLEAU 2

SYNTHESE DES TECHNIQUES DE PROTECTION

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêt	Limites	Coût (avec travaux préparatoires)	Entretien	Retours d'expériences
Techniques végétales	Double tressage. Mise en place de deux rangées parallèles de branches de saules entrelacées autour de pieux battus, formant un double « mur » végétal remblayé de terre végétale.	Stabilisation de pied de berge. Adapté aux niches (anses) d'érosion.	Protection solide, à effet immédiat. Limitation accrue des effets du batillage après reprise des saules. Peut se réaliser en partie avec des matériaux issus de l'entretien d'autres secteurs. Adaptation à la morphologie des berges. Création d'habitats pour la faune et la flore.	Sensible aux terriers de ragondins. Limite l'accès au cours d'eau (pêcheurs...). Nécessite un entretien régulier (recépage régulier des plus gros sujets ligneux).	100 €/ml.	Important (sélection et recépage des saules tous les 1 à 2 ans).	Fiche technique végétale 1. Grande Saône (1998).
	Boudins d'hélophytes sans soutènement. Mise en place d'un boudin d'hélophytes ancré par deux rangs de pieux de bois mort (« tunage-boudin »).	Berges sans nécessité de soutènement, soumises au batillage.	Limite immédiatement les effets du batillage sur la berge.	Peu de rôle de soutènement de la berge.	120 €/ml.	Limité (une fauche par an).	Fiche technique végétale 2. Grande Saône (2005).
	Tressage et natte prévégétalisée. Mise en place d'un tressage de saule (chêne-noisetier) en pied de berge, et natte prévégétalisée en arrière.	Risberme large avec une hauteur d'eau faible (0,25m en pied de berge).	Utilisation de matériaux issus de l'entretien d'autres secteurs (branchages de saule, chêne, noisetier).	Sensible aux terriers de ragondins. Nécessite un entretien régulier (recépage régulier de plus gros sujets ligneux).	99 €/ml.	Important (une fauche par an à l'arrière et sélection et recépage des saules tous les 1 à 2 ans).	Fiche technique végétale 3. Canal des Vosges (2004).
Techniques végétales	Fascines d'hélophytes. Mise en place d'un boudin d'hélophytes au niveau de la ligne d'eau, ancré par des pieux morts, création d'une risberme immergée avec plantes anti-affouillement et haut de berge reprofilé enherbé.	Secteurs soumis au batillage et aux crues.	Limite immédiatement les effets du batillage sur la berge. Le géotextile sur le talus limite les effets des crues.	Peu de rôle de soutènement. Risques d'affouillement par l'arrière ou le dessus de l'ouvrage.	109 €/ml.	Limité (une fauche par an).	Fiche technique végétale 4. Canal des Vosges (2004).
	Fascines végétalisées à l'avant d'une frayère. Mise en place d'un boudin d'hélophytes appuyé sur des demi-dosses à l'avant d'une frayère à vocation piscicole. Retalutage de l'arrière.	Création d'une zone refuge ou zone de frai, risberme assez large.	Amélioration nette de l'écosystème. Atténue la vague due au batillage.	Pour que la frayère soit efficace, il faut veiller à ce que sa largeur soit suffisante et elle doit être aménagée de pertuis.	156 €/ml.	Limité (une fauche par an à l'arrière).	Fiche technique végétale 5. Canal des Vosges (2004).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêt	Limites	Coût (avec travaux préparatoires)	Entretien	Retours d'expériences
	Plages d'hélophytes et d'hydrophytes. Retalutage de la berge en pente douce et mise en place de la plage (géotextile et hélophytes)	Risberme large avec une faible hauteur d'eau.	Pente douce limitant les effets du batillage.	Interruption de la navigation pendant les travaux (abaissement du niveau d'eau de 0,20 à 0,30 m).	134 €/ml.	Limité (une fauche par an).	Fiche technique végétale 6. Canal des Vosges (2004).
	Caissons végétalisés et plages d'hélophytes-hydrophytes. Mise en place de caissons immergés et surmontés d'une plage d'hélophytes et d'hydrophytes.	Hauteur d'eau importante (1,40 à 1,50m). La pose de caissons permet de regagner de l'espace pour une plage d'hélophytes en avant.	La pose de caissons immergés permet de regagner de la hauteur, et de l'espace pour une plage d'hélophytes. Peu de dégâts sur l'environnement lors des travaux. Utilisation d'espèces végétales locales.	Interruption de la navigation pendant les travaux (abaissement du niveau d'eau de 0,20 à 0,30 m).	385 €/ml.	Limité (une fauche par an).	Fiche technique végétale 7. Canal des Vosges (2004).
Techniques mixtes	Tunage et plage plantée d'hélophytes Pieux derrière lesquels sont placés horizontalement des troncs et/ou des rondins et en contrebas de laquelle se développe une plage d'hélophytes.	Hauteur d'érosion importante, emprises foncières suffisantes. Berges exposées aux courants majeurs.	Permet de reprofiler la berge, de regagner la hauteur d'érosion (tunage). Protection solide et compacte. S'intègre relativement bien en secteur péri-urbain.	Le géotextile de la risberme d'hélophytes doit être solidement fixé au sol. Nécessite une surveillance de la reprise des hélophytes. Des plants/espèces peuvent ne pas reprendre racine ou être arrachés de la plage. La technique nécessite une surveillance de la reprise des hélophytes.	200 €/ml.	Limité (une fauche par an).	Fiche technique mixte 1. Grande Saône (2006).
	Lits de plançons et enrochements. Mise en place d'enrochements immergés en pied de berge et surmontés de lits de plançons de saule.	Niches d'arrachement hautes et raides. Berges et pentes en terre friable qui nécessitent une stabilisation profonde. Batillage important, érosion bien marquée (recul de la berge et hauteur d'érosion assez importants).	Bon maintien du pied de berge. Utilisation d'espèces végétales locales (récupération suite à un entretien).	Au début, faible stabilité entre les rangées. Les arbres peuvent s'étouffer dans les plançons. Risque de déstabilisation de l'enrochement en pied de berge par les racines de saule.	100 €/ml.	Important (sélection et recépage des saules tous les 1 à 2 ans).	Fiche technique mixte 2. Meuse (2001).
	Boudins d'hélophytes, lits de plançons et plaquettes calcaires. Mise en place de plaquettes calcaires immergées à la base de la berge, d'une fascine d'hélophyte en avant du pied de berge et de lits de plançons de saule sur la partie émergée.	Batillage important, érosion bien marquée (recul de la berge et hauteur d'érosion assez importants).	Bon maintien du pied de berge. Utilisation d'espèces végétales locales. (récupération suite à un entretien).	Positionnement de la fascine d'hélophytes.	375 €/ml.	Important (un fauchage par an des hélophytes, et sélection et recépage des saules tous les 1 à 2 ans).	Fiche technique mixte 3. Meuse (2005).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêt	Limites	Coût (avec travaux préparatoires)	Entretien	Retours d'expériences
Techniques mixtes	Matelas d'hélophytes avec butée en enrochements. Mise en place d'enrochements immergés sur lesquels vient s'appuyer un matelas d'hélophytes.	Berge étroite avec hauteur d'eau de 1m environ.	Adoucissement de la pente, permettant la mise en place des hélophytes.	Interruption de la navigation pendant les travaux (abaissement de 0,20 à 0,30m du niveau d'eau).	102 €/ml.	Limité (une fauche/an).	Fiche technique mixte 4. Canal des Vosges (2004).
	Caissons végétalisés et matelas-gabions. Mise en place de caissons formés de rondins de bois et végétalisés, montés sur un matelas-gabions.	Pentes très raides, fortement sapées et caractérisées par des terrains instables (glissements). La réalisation par étages successifs permet d'adapter la hauteur de l'ouvrage à toute situation.	Protection immédiate et solide de la berge. Les caissons sont montés sur un matelas-gabions pour assurer une assise stable à l'ouvrage et jouer le rôle de couche drainante. Compatible avec le développement de la flore rivulaire. Bonne intégration paysagère.	Difficultés de mise en œuvre avec des remblais en eau. Coûts élevés de mise en œuvre. Technique mixte soumise du fait de la présence des gabions, soumise à des contraintes réglementaires. La configuration verticale de la berge est conservée, exposant la structure à des contraintes érosives fortes. Le géotextile est donc indispensable pour éviter l'évidement des caissons qui pourrait compromettre la reprise des saules. Nécessite des terrassements importants et de la place. Ne crée pas d'abri pour la faune aquatique. Le bois mort peut pourrir avec le temps.	1000 €/ml.	Limité (maîtrise des végétaux).	Fiche technique mixte 5. Petite Saône (2003).
Techniques mixtes	Enrochements végétalisés. Mise en place d'enrochements sur une pente reprofilée à 2/1, recouverts de terre végétale et enherbés.	Section canalisée, batillage faible.	Protection immédiate de la berge. Bonne résistance aux contraintes hydrauliques fortes. Possibilité de création d'abris pour la faune aquatique. Rôle de soutènement. Stable, bonne insertion paysagère.	Nécessite de l'espace. N'est pas favorable au développement d'une flore rivulaire diversifiée.	80 €/ml.	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).	Fiche technique mixte 6. Dérivation de la Saône (1998-1999).

Type	Technique	Cas d'utilisation	Intérêt	Limites	Coût (avec travaux préparatoires)	Entretien	Retours d'expériences
	Enrochements végétalisés et gabions. Pose de cages gabions en pied de berge, surmontées d'enrochements végétalisés sur le talus et le haut de berge.	Secteurs canalisés, batillage important.	Stable, bonne atténuation de la vague. Favorable à la flore rivulaire et à la faune aquatique (fonction de la taille des caches que ménage les gabions) Bonne insertion paysagère.	Interruption de la navigation et abaissement de la ligne d'eau pour la mise en œuvre (batardage). Légère emprise sur le lit mineur (largeur du gabion). Sensibilité aux opérations de cassage des glaces.	360 €/ml.	limité (une tonte par an sur le haut de talus).	Fiche technique mixte 7. Dérivation de la Saône (2007).
	Fascines d'hélophytes et cages gabions. Mise en place d'une fascine d'hélophytes en pied de berges, renforcée en son pied par une cage gabion cylindrique. Terre végétale et géotextile sur le talus.	Secteur canalisé, batillage important.	Protection immédiate, stable, bonne atténuation de la vague. Bonne insertion paysagère Facilité d'installation même en eau.	Légère emprise sur le lit mineur (largeur du gabion). Abaissement de la ligne d'eau pour la mise en œuvre. Sensibilité aux opérations de cassage des glaces.	260 €/ml.	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).	Fiche technique mixte 8. Dérivation de la Saône (2004).
	Merlon avec zone à hélophytes. Mise en place d'une fascine d'hélophytes en pied de berges Terre végétale et géotextile sur le talus.	Protection du pied de berge (2/1).	Bonne intégration paysagère. Favorable à la flore rivulaire et à la faune aquatique.	Emprise sur le lit mineur. Pas de rôle de soutènement.	185€/ml.	Limité (une tonte par an sur le haut de talus).	Fiche technique mixte 9. Petite Saône (2004).

FICHES DE RETOUR D'EXPERIENCES

Fiche technique végétale 1 : Double tressage

Grande Saône (1998) à Dracé

Service Navigation Rhône Saône / Subdivision VNF de Mâcon

Contexte

Situation

- Commune de Dracé (69)
- Chenal d'accès amont à l'écluse

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Linéaire concerné : 400 m, ligne droite
- Paysage de plaines et boisements
- 20-30 jours d'inondation par an
- Grand gabarit : 5000 bateaux par an (75 % commerce, 25 % plaisance)
- Courant : 0,2 à 2 m/s (rivière peu érosive)
- Batillage: +/- 0,50 cm (grande proximité du chenal navigable, moins de 10 m)

Enjeux

- Maintien de la digue

Nature et cause des dégradations

- Digue construite en 1978 sans protection
- Érosion de la berge liée au fort batillage et aux crues



Illustration 13 : Protection de berge par double rang de tressage
[Source CETE de Lyon]

Objectifs

- Stopper l'érosion régressive
- Assurer le maintien de la digue

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation Rhône Saône

Protection choisie et matériaux utilisés

- Double tressage de saule (pieux plantés à l'étiage) séparés par une poche en géotextile remplie de terre avec phragmites (+ grillage à mailles fines dit « grillage à poule » pour maintenir la terre lors des crues), toile de coco, boutures de saule et engazonnement sur le haut de berge. Les matériaux utilisés sont :
 - des pieux vivants (saule blanc) de 2,50 m, diamètre 0,10 à 0,25 m
 - des branches (assez longues) de saules jaunes (moins cassants) pour tresser
 - une toile de coco
 - un géotextile, un grillage à maille fine dit « grillage à poules »

Critères de choix de la technique

- D'après la documentation (Lachat, 1994)

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 400 m
- Hauteur totale : 3,50-4 m
- Hauteur émergée : 3 m (0,50 m immergée)

Particularités

- En raison de la situation de la protection, (entrée d'écluse) le batillage est très important
- Les branchages doivent être solidement fixés aux pieux pour éviter tout mouvement de la fascine. L'arrière du dispositif doit être protégé par un géotextile synthétique avant d'être remblayé afin d'éviter un affouillement de l'ouvrage par l'action des vagues de batillage

Coût de revient de la protection au ml

- 100 €

Dispositif mis en œuvre

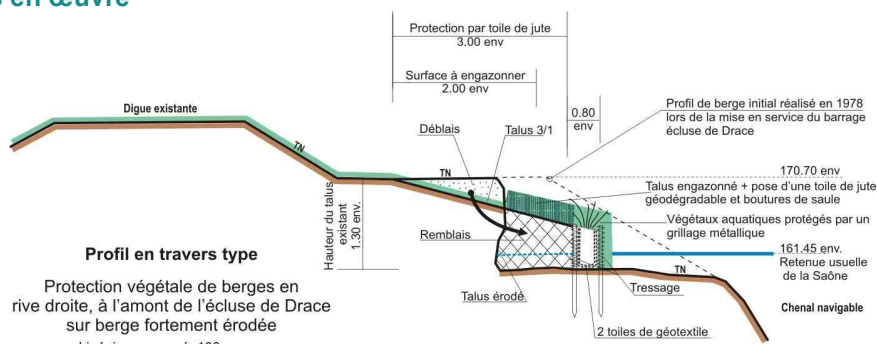


Illustration 14 : Coupe transversale [source VNF]

Travaux

Procédures réglementaires

- Aucune procédure mise en œuvre
- Courriers envoyés à la fédération de pêche et Conseil Supérieur de la Pêche (CSP)

Contraintes de mise en œuvre

- Il n'y a eu aucune interruption de la navigation pendant les travaux

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés en mars 1998 et avril 1999 pendant une durée de 8 et 20 jours environ

Description des travaux

- Mise en œuvre du rideau de tressage côté Saône (fichage des pieux à la pelle mécanique, recépage puis tressage entre pieux des branches de saule)
- Mise en place du géotextile synthétique à l'arrière du premier rideau avec retour en pied sur environ

2 m en arrière

- Mise en œuvre du second rideau de tressage à environ 0,80 m à l'arrière du premier
- Remplissage de matériaux terreux marneux entre les deux rideaux de tressage avec en couverture sur une épaisseur d'environ 0,50 m de matériaux tourbeux contenant une densité importante de racines et de rhizomes d'hélophytes
- Couverture par un grillage métallique (type « grillage à poules ») amarré sur les pieux des deux rideaux pour éviter l'entraînement des matériaux tourbeux en cas de crue
- Remblaiement à l'arrière du second rideau pour reprofilage du talus environ 3/1
- Mise en place d'une toile de coco sur le talus, de 4m de large, plantation de boutures de saule arbustif sur la partie inférieure sur environ 2m de large, et enherbement de la partie supérieure du talus reconstitué

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection est tout à fait adaptée au site : l'efficacité est très bonne, la berge ne s'érode plus. L'intégration paysagère est intéressante, et donne un aspect très naturel au chenal d'accès à l'écluse
- La biodiversité s'est développée dans le secteur, avec la multiplication des populations de poissons et d'oiseaux aux abords de la berge
- La protection joue également le rôle de blocage des corps flottants après crue (et facilite leur récupération)

Type d'entretien et suivi

- L'entretien est fait en régie
- Taille et sélection des rejets : recépage des gros sujets de saule tous les ans à 20 cm du sol. Aucun désherbant n'est utilisé
- Des visites ont lieu 2 fois par an pour vérifier le bon enracinement des saules, prévoir l'entretien et surveiller de nouvelles érosions ponctuelles liées au batillage

Problèmes rencontrés

- Présence de ragondins ponctuellement qui détruisent localement la protection
- Quelques coupes sauvages dans les saules par les pêcheurs

Ajustements éventuels

- Vérification des zones érodées
- Très ponctuellement, remplacement des saules qui n'ont pas pris racine



Illustration 15 : Le tressage nécessite un recépage régulier [Source CETE Lyon]

Fiche technique végétale 2 : Boudins d'hélophytes

Grande Saône (2005) à Guéreins

Service Navigation Rhône Saône / subdivision VNF de Mâcon

Contexte

Situation

- Commune de Guéreins (71)

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Berge d'annexe hydraulique (écologique/piscicole), au droit des pertuis de connexion avec la Saône
- Profondeurs variables
- Inondations 30 à 80 jours par an
- Grand gabarit : 5000 bateaux par an (75 % commerce, 25 % plaisance)
- Courant : 0,30m/s à 1,5m/s (rivière peu érosive)
- Batillage important (+/-0,50 m pour les paquebots-hôtels)

Enjeux

- Aménagement écologique (reconstitution de frayères dans des pertuis constamment en eau, jouant le rôle de refuge, de nourrissage, de production planctonique)
- Résistance des berges les plus exposées au batillage

Nature et cause des dégradations

- Aucune dégradation : cette protection a été mise en place lors de la création de l'annexe hydraulique



Illustration 16 : Boudins d'hélophytes [Source VNF]

Objectifs

- Protection anti-batillage. Pas de fonction de soutènement
- Amélioration de l'écosystème

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation Rhône Saône

Protection choisie et matériaux utilisés

- Boudin d'hélophytes ancré par des pieux de bois morts. Les matériaux constitutifs sont :
 - feutre aiguilleté et treillis coco posé en forme de boudins et lesté de galets
 - terre végétale
 - mottes d'hélophytes
 - pieux d'ancrage en bois mort

Critères de choix de la technique

- Recherche d'une technique végétale lors de l'aménagement de l'annexe hydraulique à partir de la bibliographie existante (Cetmef, Silène-Biotec, B. Lachat)

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 70 m
- Hauteur totale : 0,70 m
- Hauteur émergée : 0,50 m

Coût de revient de la protection au ml

- 120 €

Dispositif mis en œuvre

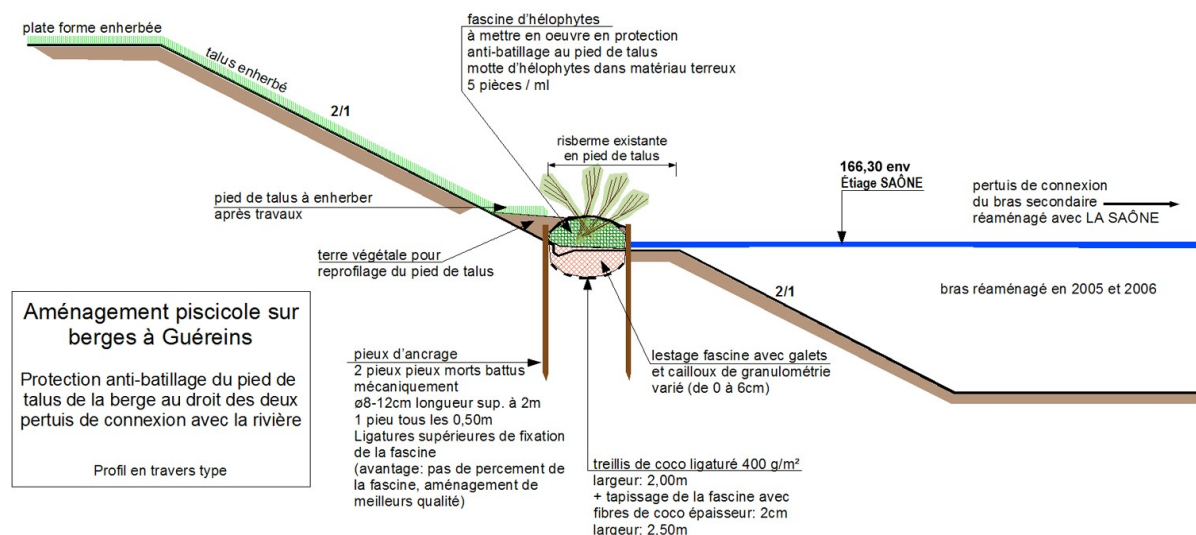


Illustration 17 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- Thierry Chassagne (Tossiat, 01)

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre :

- Il n'y a eu aucune interruption de la navigation

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés en 2005 et 2006 (phasage des aménagements). Ils ont duré 15 jours.

Description travaux :

- Création d'une risberge immergée dans le talus, de 1,50 m de largeur et calée de -0,10 à -0,20 m sous la cote d'étiage
- Mise en œuvre d'un boudin d'environ 0,70 m de diamètre constitué d'un feutre aiguilleté, treillis coco contenant des matériaux terreux marneux et des galets (fermeture par des agrafes)



Illustration 18 : Boudins d'hélophytes janvier 2008 [Source CETE Lyon]

- Ancrage du boudin par double rangée de pieux morts avec cavaliers en croisillon de fil de fer
- Reconstitution d'un talus reprofilé à l'arrière du boudin à 3/1 avec mise en œuvre d'une toile de coco ancrée et enherbement
- Plantation sur boudin de mottes d'hélophytes (4 par m²) et d'essences diverses (joncs, carex, phragmites...)

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection montre une très bonne résistance au batillage
- La protection est quasiment imperceptible, son aspect est très naturel avec un beau développement des hélophytes en période estivale. Cette protection dans des annexes hydrauliques renforce leur vocation écologique et piscicole en créant des habitats pour la faune et la flore et en autorisant le frai

Type d'entretien et suivi

- Observations régulières de l'état général de la protection
- Reprise si présence d'encoques d'érosion

Problèmes rencontrés

- Aucun

Ajustements éventuels

- Néant

Fiche technique végétale 3 : Tressage et natte prévégétalisée

Canal des Vosges (2004) à Neuwilliers sur Moselle

Services Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41, rive gauche

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Gabarit Freycinet : 1 000 bateaux de plaisance par an et 100 de commerce
- Batillage de l'ordre de 20 cm
- Courants très faibles

Enjeux

- Canal à proximité d'une route départementale

Nature et cause des dégradations

- La berge n'était pas protégée, et elle était en proie à l'érosion depuis 25 ans

Objectifs

- Protection de berges
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de techniques végétales

Technique employée

Bureau d'études

- Service navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Tressage et natte prévégétalisée

Critères de choix de la technique

- Condition géométrique : risberme large avec une hauteur d'eau faible (0,25 m en pied)
- Coût
- Insertion paysagère et écologique
- Utilisation de petits matériels
- Peu de dégâts sur l'environnement lors des travaux

- Utilisation d'espèces végétales locales
- Entretien à long terme

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 210,5 m
- Hauteur totale : 0,30 m
- Hauteur émergée : variable

Particularités

- Natte prévégétalisée

Coût de revient de la protection au ml

- 99 €

Dispositif mis en œuvre

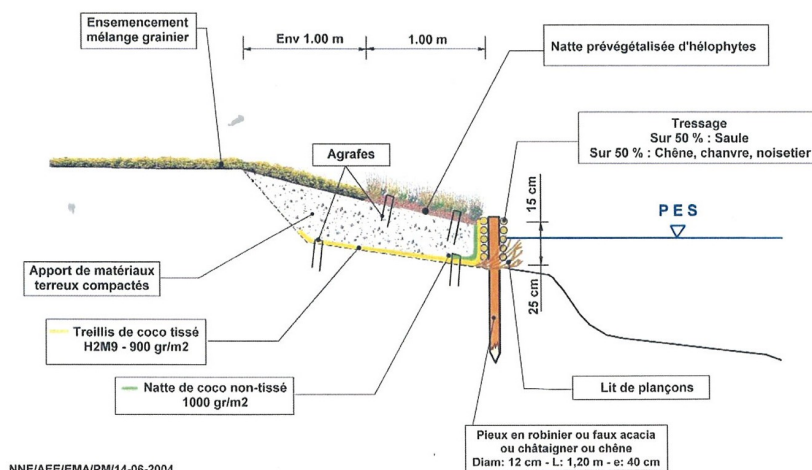


Illustration 19 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydraulique

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il était constitué de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR (Plan de Prévention des Risques), ICPE (Installations classées pour la Protection de l'environnement), etc.
 - un zonage environnemental : site natura 2000, ZICO (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux), etc.
 - un recensement de la faune et la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Abaissement de 0,20 à 0,30 m du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - mise en place des pieux et tressage
 - remblaiement
 - mise en œuvre de la natte prévégétalisée



Illustration 20 : Fagots pour le tressage [Source VNF]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- Les hydrophytes montrent une bonne résistance au batillage, l'érosion est stoppée
- Le tressage n'a pas repris
- Les fonctionnalités écologiques des berges sont favorisées par la flore rivulaire et la pente adoucie des berges
- La protection apporte un intérêt paysager non négligeable

Type d'entretien et suivi

- Fauchage une fois par an à l'automne au maxi-



Illustration 21 : Vue du tressage et de la végétation [Source VNF]

mum

Problèmes rencontrés :

- Le tressage n'a pas été réalisé correctement du fait de l'inexpérience de l'entreprise. Le tressage aurait dû être réalisé de telle sorte que la base des branches de saules le constituant soit plantée dans le sol pour que les saules reprennent

Ajustements éventuels :

- Aucun, les hydrophytes s'étant développés suffisamment



Illustration 22 : Vue des nattes prévégétalisées [Source VNF]

Fiche technique végétale 4 : Fascines prévégétalisées d'hélophytes

Canal des Vosges (2004) à Neuwillers sur Moselle

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41 rive gauche

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Gabarit Freycinet : 1 000 bateaux de plaisance par an et 100 de commerce
- Batillage de l'ordre de 0,70 à 0,80 m
- Courants très faibles

Enjeux

- Canal à proximité d'une route départementale

Nature et cause des dégradations

- La berge n'était pas protégée, elle était en proie à une érosion passive depuis 25 ans

Objectifs

- Protection de berges
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de technique végétale

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Aménagement par géotextile végétal constitué des matériaux suivants :
 - pieux de 1,20 m
 - plants d'hélophytes en godets
 - branches anti-affouillement
 - matériaux pour remblaiement de pied
 - fascine d'hélophytes constituée de :
 - géogrille synthétique, de treillis de coco tissé, feutre de coco non tissé et noyau de matériaux terreux ou de coco chips
 - enveloppe de coco tissé remplie de coco médium de diamètre 40 cm
 - fascines préfabriquées constituées de fibres et de copeaux de coco enfermés dans un filet de coco noué de diamètre de 40 cm

Critères de choix de la technique

- Coût
- Insertion paysagère et écologique
- Utilisation de petits matériels
- Peu d'impact sur l'environnement lors des travaux
- Utilisation d'espèces végétales locales
- Entretien à long terme

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 99 m
- Hauteur totale : boudin 0,30 m et pente 1/1
- Hauteur émergée : 1,00 m

Particularités

- Aucune

Coût de revient de la protection au ml

- 109 €

Dispositif mis en œuvre

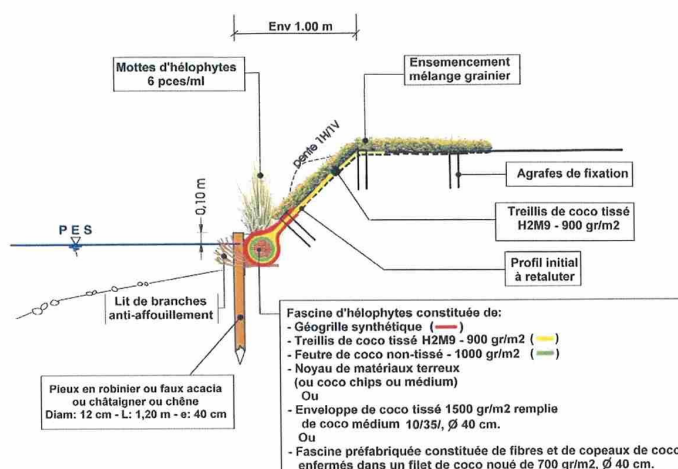


Illustration 23 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydraulique

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre.
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il est constitué de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR (Plan de Prévention des Risques), ICPE, (Installations classées pour la Protection de l'Environnement) etc.
 - un zonage environnementale : site natura 2000, Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux, etc.
 - un recensement de la faune et de la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Interruption de la navigation
- Abaissement de 0,50 m à 0,60 m du niveau du ca-

nal pour les phases de travaux dans l'eau

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon le phasage suivant :
 - mise en forme d'une banquette à l'aide du godet de la pelle hydraulique
 - mise en place de pieux en acacias, une ou deux rangées en quinconce selon le nombre de boudins (1 ou 2)
 - mise en place d'une géogrille en fibres polyester recouverte d'une toile verte en polypropylène, d'un treillis coco tissé puis d'une natte coco non tissée. Ce complexe est rempli de matériaux terreux puis fermé pour former le boudin en pliant le treillis. Les deux géotextiles sont ficelés et fixer sur les pieux

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection de la berge joue son rôle, l'érosion est stoppée
- Les plants d'hydrophytes ont bien repris et résistent au battillage
- Les fonctionnalités écologiques des berges sont favorisées par la flore rivulaire et la pente adoucie des berges
- La protection s'intègre bien dans le paysage



Illustration 24 : Vue de la fin des travaux [Source VNF]

Type d'entretien et suivi

- Fauchage une fois par an à l'automne

Problèmes rencontrés

- Aucun

Ajustements éventuels

- Néant



Illustration 25 : Vue détaillée des végétaux [Source VNF]

Fiche technique végétale 5 : Fascines végétalisées à l'avant d'une frayère

Canal des Vosges (2004) à Neuville sur Moselle

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41, rive gauche

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Il s'agit d'un gabarit Freycinet où naviguent 1000 bateaux de plaisance et 100 de commerce par an
- Batillage : environ 0,70-0,80 m
- Courants très faibles

Enjeux

- Le canal longe une route départementale

Nature et cause des dégradations

- La berge n'était pas protégée et depuis 25 ans elle subissait l'érosion

Objectifs

- Protection de berges
- Création d'une zone de refuge ou de frai
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de techniques végétales

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Fascines prévégétalisées sur demi-dosses à l'avant d'une frayère à vocation piscicole

Critères de choix de la technique

- Condition géométrique adaptée à la technique avec une risberme large et une hauteur d'eau faible
- Création d'une frayère
- Coût
- Bonne insertion paysagère et écologique
- Utilisation de petits matériels
- Peu de dégâts sur l'environnement lors des travaux

- Utilisation d'espèces végétales locales
- Entretien facile à long terme.

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 230 m
- Hauteur totale : 0,90 m
- Hauteur émergée : 0,15 m
- Frayères : largeur 2,50 m
- Profondeur : 0,50 à 0,60 m

Particularités

- Création d'une frayère avec hélrophytes et hydrophytes

Coût de revient de la protection au ml

- 156 €

Dispositif mis en œuvre

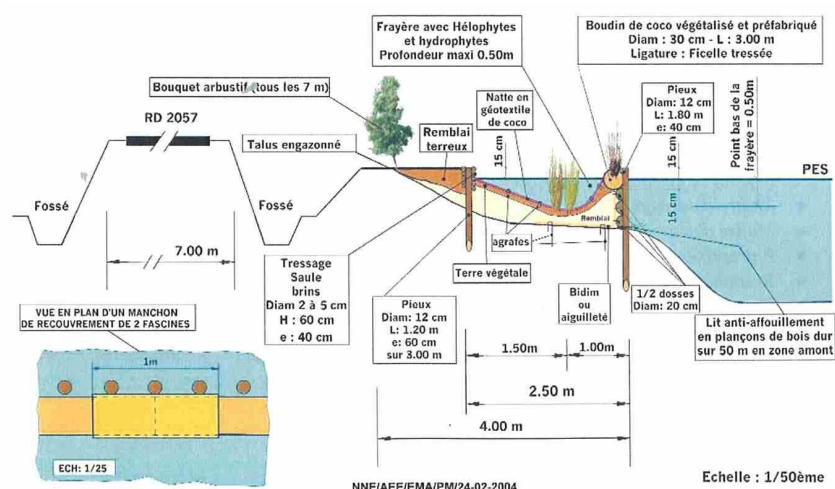


Illustration 26 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydrauliques

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre.
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il est constitué de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR, ICPE, etc.
 - un zonage environnemental : site natura 2000, ZICO, etc.
 - un recensement de la faune et de la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Interruption de la navigation (période de chômage)
- Abaissement de 0,20 à 0,30 m du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - plantation de pieux et pose de demi-dosse sur les pieux
 - remblaiement, mise en forme de la frayère et pose de la natte en géotextile
 - aménagement à l'arrière de la frayère en pente douce
 - tressage mis en place au droit des pertuis,
 - mise en place du boudin prévégétalisé au dessus des demi-dosses

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- L'objectif de protection de la berge est atteint : les hélophytes montrent une bonne résistance au battillage, l'érosion est stoppée
- La frayère permet l'abreuvement et le passage du gibier, la population piscicole a colonisé la frayère
- La protection apporte un intérêt paysager non négligeable

Type d'entretien et suivi

- Fauchage au maximum une fois par an à l'automne

Problèmes rencontrés :

- Certaines espèces n'ont pas apporté la tenue attendue. Il s'agit de la salicaire qui n'a pas repris la deuxième année et du rumex qui s'est trop développé et a étouffé les autres plantes
- La frayère n'est pas assez large, pour permettre son utilisation dans les meilleures conditions par les poissons
- Une prolifération d'une fougère a eu lieu durant l'été 2007 asphyxiant le milieu et réduisant l'utilisation de la frayère

Ajustements éventuels :

- Création de nouveaux pertuis et élargissement de la frayère



Illustration 27 : Vue après travaux
[Source VNF]



Illustration 28 : Vue après la pousse de la végétation
[Source VNF]

Fiche technique végétale 6 : Plages d'hélophytes et d'hydrophytes

Canal des Vosges (2004) à Neuwilliers sur Moselle

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41, rive gauche

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- 1 000 bateaux de plaisance par an et 100 de commerce empruntent le canal au Gabarit Freycinet
- Batillage : 0,70 à 0,80 m
- Courants très faibles

Enjeux

- Une route départementale borde le canal

Nature et cause des dégradations

- la berge n'étant pas protégée depuis 25 ans elle subissait l'érosion.

Objectifs

- Protection de berges
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de techniques végétales

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Plage d'hélophytes et d'hydrophytes maintenue par un pieux

Critères de choix de la technique

- Risberme large avec une faible hauteur d'eau
- Coût intéressant
- Insertion paysagère et écologique
- Utilisation de petits matériels
- Emploi d'espèces végétales locales

- Peu de dégâts sur l'environnement lors des travaux
- Entretien à long terme.

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 126 m
- Pente : 5/1 sur 2,00 m de largeur
- Hauteur totale : variable suivant le fruit du talus
- Hauteur émergée : variable

Coût de revient de la protection au ml

- 134 €

Dispositif mis en œuvre

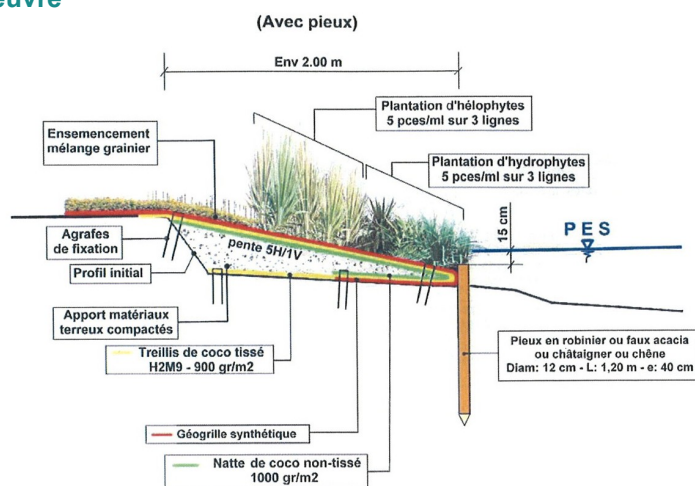


Illustration 29 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydrauliques

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il est constitué de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR, ICPE, etc.
 - un zonage environnemental : site natura 2000, ZICO, etc.
 - un recensement de la faune et de la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Abaissement de 0,20 à 0,30 m du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - mise en place des pieux
 - installation du géotextile et de la géogridde
 - remblaiement
 - plantation des héliophytes et hydrophytes

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- Les hydrophytes et les héliophytes ont une bonne résistance au battage stoppant ainsi l'érosion
- Les fonctionnalités écologiques des berges sont favorisées par la flore rivulaire
- La protection préserve le paysage

Type d'entretien et suivi

- Fauchage une fois par an à l'automne

Problèmes rencontrés :

- Au moment de la réalisation, un boudin (non prévu au projet) a été mis en œuvre à l'avant de la protection ce qui a induit une pente moins douce que prévue

Ajustements éventuels :

- Néant



Illustration 30 : Vue après la pousse des végétaux [Source VNF]

Fiche technique végétale 7 : caissons végétalisés

Canal des Vosges (2004) à Neuville sur Moselle

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41, rive gauche, tout de suite à l'aval de l'écluse 40

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Gabarit Freycinet : 1 000 bateaux de plaisance par an et 100 de commerce
- Batillage : 0,70-0,80 m
- Courants très faibles

Enjeux

- Le canal côtoie une route départementale

Nature et cause des dégradations

- La berge n'étant pas protégée, l'érosion a pu s'installer

Objectifs

- Protection de berges
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de techniques végétales

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Caissons végétalisés et plages d'hélophytes et d'hydrophytes

Critères de choix de la technique

- La hauteur d'eau importante (1,40 à 1,50 m)
- Regagner de l'espace pour la plage
- Coût
- Insertion paysagère et écologique
- Peu d'impact sur l'environnement lors des travaux
- Utilisation d'espèces végétales locales

- Entretien à long terme

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 60 m
- Hauteur totale : 2,00 m
- Hauteur émergée : 0,30 m

Particularités

- Caissons immergés pour le soutien à la plage d'hélophytes

Coût de revient de la protection au ml

- 385 €

Dispositif mis en œuvre

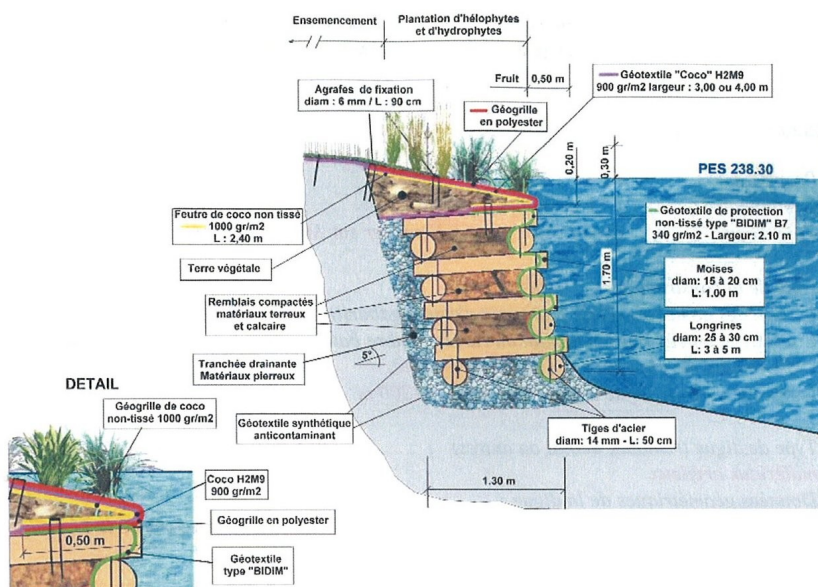


Illustration 31 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/Ingédia]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydrauliques

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre.
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il est constitué de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR, ICPE, etc.
 - un zonage environnemental : site natura 2000, ZICO, etc.
 - un recensement de la faune et de la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Période de chômage pour la mise en place des caissons
- Interruption de la navigation

- Abaissement de 0,20 à 0,30 m du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - terrassement pour la mise en forme de la plate forme
 - mise en place des caissons en bois à l'aide d'une mini-pelle
 - remplissage des caissons avec un géotextile et des remblais compactés (matériaux terreux et calcaire)
 - mise en place de la plage d'hélophytes avec la plantation de ces derniers

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- Les hydrophytes protègent la berge par leurs résistances au batillage et l'érosion est stoppée
- Les hélophytes se sont très bien développées et contribuent à l'aspect paysager du site
- La flore rivulaire favorise les fonctionnalités écologiques des berges

NB : Il convient d'utiliser des bois imputrescibles pour la réalisation des caissons si l'on veut obtenir une longévité satisfaisante de l'ouvrage

Type d'entretien et suivi

- Fauchage restreint au maximum une fois par an à l'automne

Problèmes rencontrés :

- Caissons en bois difficile à mettre en place car l'entreprise ne connaissait pas cette technique

Ajustements éventuels :

- Néant



Illustration 32 : Fin des travaux [Source VNF]



Illustration 33 : Vue après la pousse des végétaux [Source VNF]

Fiche technique mixte 1 : tunage et plage plantée d'hélophytes

Grande Saône (2006) à Replonges

Service Navigation Rhône Saône / subdivision VNF de Mâcon

Contexte

Situation

- Commune de Replonges (70)
- Canal de dérivation du Pont de Mâcon (Mâcon), grande courbe

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Grand gabarit : 5000 bateaux par an (75 % commerce, 25 % plaisance)
- Inondations 30 à 60 jours par an
- Courant : 0,3 à 2 m/s (rivière peu érosive)
- Batillage +/- 50 cm (paquebots-hôtels)

Enjeux

- Maintien du chemin de service

Nature et cause des dégradations

- Canal réalisé en 1991 sans protection sur ce secteur
- Érosion de la berge liée au fort batillage et proximité importante du chenal navigable (10 m)



Illustration 34 : Protection par tunage
[Source CETE de Lyon]

Objectifs

- Remise en état du chemin de service
- Protection anti-batillage

Technique employée

Bureau d'études

- Biotec et Service Navigation Rhône Saône

Protection choisie et matériaux utilisés

- Protection mixte composée d'un tunage bois assurant le soutènement supérieur du chemin de service et d'une risberme d'hélophytes en pied de berge destinée à assurer la protection de la berge
- Les matériaux utilisés sont les suivants :
 - pieux 2m de hauteur, 160 mm de diamètre
 - contredosses 40 mm d'épaisseur
 - géotextile
 - fagots de bois mort et pieux inertes de châtaignier
 - feutre aiguilleté, treillis de coco
 - terre végétale, hélophytes, boutures de saules

saules

Critères de choix de la technique

- Solution mixte choisie par nécessité de rendre la pente de la berge existante (environ 2/1) plus douce pour la porter à environ 4/1 et mettre en œuvre des techniques par génie végétal (risbermes d'hélophytes sur une section en canal type grand gabarit)

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 250 m
- Hauteur totale : 3 m
- Hauteur émergée : 2,80 m
- Distance berge-chenal : 10 m environ

Coût de revient de la protection au ml

- 200 €

Dispositif mis en œuvre

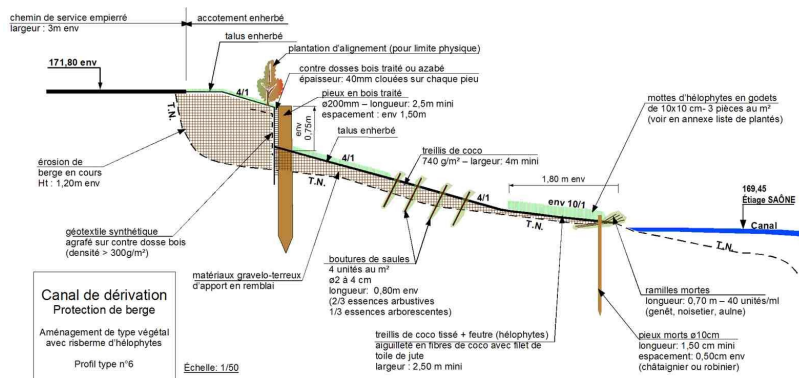


Illustration 35 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF Mâcon]

Travaux

Entreprises :

- Socafil (Pont de Veyle, 01)
- Thierry Chassagne (Tossiat, 01)

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Courriers à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

- Il n'y a pas eu d'interruption de la navigation

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés en juin 2006 pendant 1 mois

Coût de revient de la protection au ml

- 200 €

Description travaux

- Mise en œuvre d'un tunage bois de 1 m environ hors sol, composé de pieux (hauteur 2 m, dia-

mètre 160 mm) battus mécaniquement tous les 2m, de contredosses (épaisseur 40 mm) fixées à l'arrière des pieux et d'un géotextile agrafé sur les contredosses

- Reprofilage du talus supérieur environ 4/1, enherbement et plantations
- Reprofilage du talus inférieur avec pente 4/1 et de 10/1 en pied de berge
- Mise en œuvre d'une risberme d'hélophytes composée d'une fascine de fagots de bois mort fixés par pieux de châtaigniers (pour assurer une protection temporaire anti-batillage), d'un feutre aiguilleté et d'un treillis de coco de 3 m de largeur (ancrage au sol par agrafes métalliques) recouvrant une couche de terre végétale de 0,25 m d'épaisseur
- Plantation de mottes d'hélophytes d'espèces diverses (joncs, carex, phragmites...), 4 unités/m²
- Enherbement du talus à 4/1 compris entre tunage et risberme d'hélophytes avec ponctuellement mise en œuvre de saule arbustif

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- Même si les observations manquent de recul (observations sur un an et demi), on observe une bonne résistance au batillage la 1^{ère} année et une bonne tenue de la berge. L'intégration de la protection dans le paysage est intéressante : les pentes douces du talus et de la risberme donnent un aspect naturel à la protection, le tunage bois s'intègre du fait du choix du matériau et se trouve estompé par la végétation d'hélophytes en saison estivale
- La protection est très intéressante en termes de biodiversité et de fonctionnalité écologique (pente douce favorable à la faune, création d'habitats pour la faune et la flore)

NB : Il convient d'utiliser des bois imputrescibles pour la réalisation du tunage qui sert de soutènement du chemin de service si l'on veut obtenir une longévité satisfaisante de l'ouvrage.

Type d'entretien et suivi

- L'entretien se fait en régie par deux fauches annuelles uniquement sur la partie enherbée
- Des visites ont lieu 2 fois par an pour vérifier le bon état des hélophytes, prévoir l'entretien et surveiller l'apparition de nouvelles érosions ponctuelles liées au batillage

Problèmes rencontrés

- Ponctuellement le géotextile a été arraché en pied de berge du fait du batillage. La fixation de la protection anti-batillage de fagots (de bouleaux ou aulnes) fixés par pieux de châtaignier semble être en cause

Ajustements éventuels

- Vérification des zones érodées
- Ponctuellement, remplacement des espèces qui n'ont pas pris racine
- Plantation d'un alignement d'arbres sur le haut de berge pour créer une limite physique et marquer la cassure verticale du talus créée par le tunage (peu visible lorsque la végétation herbacée est haute ou en période de crue)

Fiche technique mixte 2 : Lits de plançons et enrochements

Meuse (2001) sur la section Charleville-Nouzonville

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Givet

Contexte

Situation

- Tronçon entre Montcy et Nouzonville

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural et urbain
- Gabarit Freycinet : 3000 bateaux plaisance et 300 péniches par an
- Batillage d'environ 0.40 m causé par les bateaux de plaisance
- Courants importants lors des crues de la Meuse (environ 1fois par an)

Enjeux

- Maintien de la piste cyclable, qui se situe sur le chemin de halage

Nature et cause des dégradations

- Batillage et crues de la Meuse

Objectifs

- Protection de berges
- Aménagement touristique pour la piste cyclable

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Branches de saules, géotextiles, enrochements
- Pierres sèches et enrochements

Critères de choix de la technique

- Conditions géométriques
- Insertion paysagère et écologique
- Utilisation d'espèces végétales locales

Dimensions de la protection linéaire :

- Linéaire : 600 m
- Hauteur totale : environ 8,00 m
- Hauteur émergée : entre 3 à 5 m

Particularités

- Quelques arbres existants ont été conservés.

Coût de revient de la protection au ml

- 110 €

Dispositif mis en œuvre

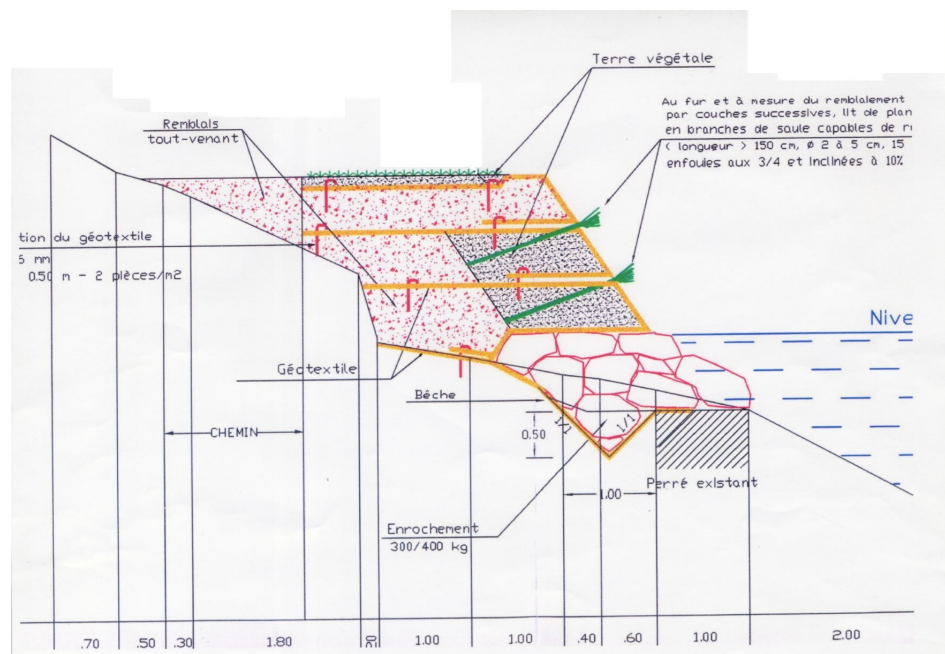


Illustration 36 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- Guglielmi de Montcy Notre Dame (08) bief 43

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Un état des lieux a été réalisé avant travaux, des profils ont été établis à chaque changement de configuration. Un état visuel et un relevé des dégradations ont été faits

Contraintes de mise en œuvre

- Aucune, les travaux ont été réalisés en eau

Année et durée des travaux

- 2001 et pour une durée de 1 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - terrassement pour la mise en forme de la plate forme à l'aide d'une grue

- pose de géotextile et enrochement en pied de talus
- mise en place des boudins en géotextile remplis de terre et plantation de saules buissonnants



Illustration 37 : Coffrage végétal [Source VNF]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- L'objectif de protection de la berge est atteint, la reprise de la végétation est bonne et résiste bien au battillage du fait des plants employés (saules buissonnants qui plient)
- Le milieu reste naturel et s'intègre bien dans le paysage
- Aménagement très apprécié des riverains et usagers de la piste cyclable et de la voie d'eau



Illustration 38: Berge deux ans après les travaux [Source VNF]

Type d'entretien et suivi

- Jusqu'en 2008 aucun entretien n'avait été effectué

Problèmes rencontrés

- Aucun

Ajustements éventuels :

- Entretien régulier taille des arbustes tous les 4 ans



Illustration 39 : Berge en 2008 [Source CETMEF]

Fiche technique mixte 3 : Boudins végétalisés et plaquettes calcaires

Meuse canal de dérivation à l'écluse (2005) à Montigny
Service Navigation Nord Est / subdivision VNF de Givet

Contexte

Situation

- Bief 55 à Montigny

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Gabarit Freycinet : 3000 bateaux plaisance et 300 péniches par an
- Batillage d'environ 0.40 m causé par les bateaux de plaisance
- Faible influence des crues de la Meuse (canal de dérivation)

Enjeux

- Maintien de la digue

Nature et cause des dégradations

- Affouillement par batillage causé par la navigation

Objectifs

- Protection de la digue
- Arrêt de l'érosion

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation Nord Est

- Utilisation d'espèces végétales locales

Protection choisie et matériaux utilisés

- Branches de saule, boudins végétalisés, plaquettes calcaires

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 2 km
- Hauteur totale : 4 m environ
- Hauteur émergée : 3 m

Critères de choix de la technique

- Conditions géométriques
- Insertion paysagère et écologique

Coût de revient de la protection au ml

- 750 000€ pour 2 km soit 375 € du ml

Dispositif mis en œuvre

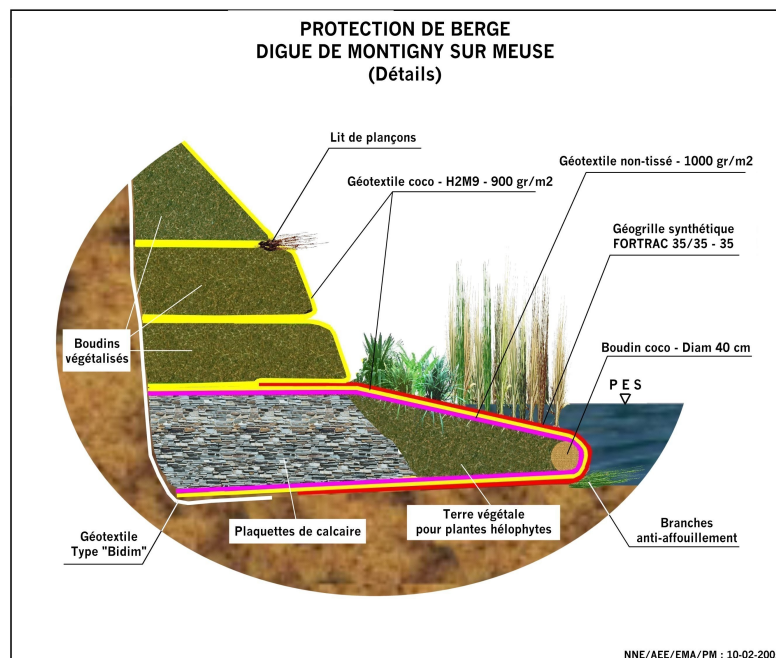


Illustration 40 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- Forêt et paysage
- Savariau

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Un état des lieux a été réalisé avant travaux, des profils ont été établis à chaque changement de configuration. Un état visuel et un relevé des dégradations ont été faits

Contraintes de mise en œuvre

- Les travaux ont été réalisés pendant le chômage

Année et durée des travaux

- 2005
- La durée des travaux a été d'un mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - débroussaillage de la digue,
 - terrassement pour la mise en forme de la plate forme destinée à recevoir les

plaquettes calcaires (extraites d'une carrière de la région) qui servent d'assises aux boudins

- pose de branchage anti affouillements
- mise en place des plaquettes calcaires et des boudins en géotextiles coco et remplissage de ces derniers à l'aide d'une mini-pelle
- pose des couches supérieures et talutage au dessus de la protection



Illustration 41 : Confection du boudin [Source VNF]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- L'objectif de protection de la berge est atteint, les hélophytes ont bien repris et résistent au battage. Le caractère naturel et végétal sont préservés

Type d'entretien et suivi

- Un fauchage par an et une taille tous les ans

Problèmes rencontrés :

- Le positionnement du boudin de base
- L'obligation de reformer la berge, un piquetage a été réalisé
- Pour accéder aux travaux, il y a eu obligation de conforter un pont
- Dégradation des jeunes plantations de la protection par les rats musqués

Ajustements éventuels :

- Pièges pour les rats musqués



Illustration 42 : Vue de la berge en 2008 [Source CETMEF]

Fiche technique mixte 4 : Matelas d'hélophytes avec enrochements

Canal des Vosges (2004) à Neuwilliers sur Moselle

Service Navigation du Nord Est / subdivision VNF de Nancy

Contexte

Situation

- Bief 41, rive gauche

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Milieu rural
- Gabarit Freycinet : 1 000 bateaux de plaisance par an et 100 de commerce
- Batillage : 0,70 à 0,80 m
- Courants très faibles

Enjeux

- Canal près d'une route départementale

Nature et cause des dégradations

- La berge n'était pas protégée, et elle était en proie à l'érosion depuis 25 ans

Objectifs

- Protection de berges
- Amélioration de l'écosystème
- Valorisation du canal du point de vue touristique
- Création d'un observatoire de techniques végétales

Technique employée

Bureau d'études

- Service Navigation du Nord Est

Protection choisie et matériaux utilisés

- Matelas d'hélophytes avec butée en enrochements

Critères de choix de la technique

- Condition géométrique : berge étroite avec une hauteur d'eau de 1 m
- Coût
- Insertion paysagère et écologique
- Préservation de l'environnement lors des travaux

- Utilisation d'espèces végétales locales
- Entretien à long terme

Dimensions de la protection linéaire :

- Linéaire : 268 m
- Hauteur émergée : variable suivant le fruit du talus selon la configuration de la berge
- Pente : 1V/ 3H variable selon la configuration de la berge

Coût de revient de la protection au ml

102 €

Dispositif mis en œuvre

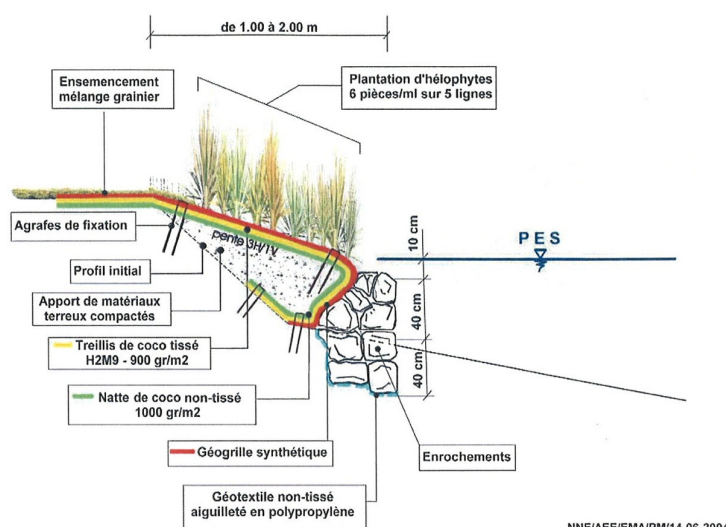


Illustration 43 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- SETHY travaux hydrauliques

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre.
- Un état des lieux de l'environnement avant aménagement a été réalisé, il est composé de :
 - une présentation du site et des travaux
 - un descriptif succinct de l'environnement (milieu rural, industriel, etc.)
 - un tableau de sensibilité : PPR, ICPE, etc.
 - un zonage environnemental : site natura 2000, ZICO, etc.
 - un recensement de la faune et de la flore particulière

Contraintes de mise en œuvre

- Période de chômage pour la mise en place des enrochements
- Interruption de la navigation
- Abaissement de 0,20 à 0,30 m du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau

- Les travaux se sont déroulés à partir d'octobre 2004 et pendant une période de 4 mois

Description des travaux

- Les travaux ont été effectués selon les phases suivantes :
 - terrassement pour la mise en forme de la plate forme
 - mise en place des enrochements à l'aide d'une mini-pelle
 - mise en place de la géogridde et du remblai compacté (matériaux terreux compactés)
 - plantation d'hélophytes



Illustration 44 : Vue des enrochements [Source VNF]

Année et durée des travaux

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- L'objectif de protection de la berge est atteint : les hydrophytes montrent une bonne résistance au battage, l'érosion est stoppée
- Les fonctionnalités écologiques des berges sont favorisées par la flore rivulaire et la pente adoucie des berges
- Présence d'escargots, de grenouilles et d'alevins dans les trous des enrochements
- La protection apporte un intérêt paysager



Illustration 45 : Vue après la repousse des végétaux [Source VNF]

Type d'entretien et suivi

- Fauchage une fois par an à l'automne au maximum

Ajustements éventuels :

- La taille des enrochements devrait être plus adaptée à la problématique (les enrochements mis en œuvre sont trop gros)



Illustration 46 : Vue détaillée du géogridde [Source VNF]

Fiche technique mixte 5 : Caissons végétalisés et matelas gabions

Petite Saône (2003) à Autet

Service Navigation Rhône Saône / subdivision VNF de Gray

Contexte

Situation

- Commune d'AUTET (70)

Caractéristiques du site et de la voie d'eau :

- Paysage de plaine et boisements
- Gabarit Freycinet : 6000 bateaux de plaisance par an et 250 péniches
- Batillage : 0,10 m
- Courants : 0,5 m/s maxi
- Distance du chenal navigation par rapport à la berge (20m)

Enjeux

- Chemin de halage aménagé en piste cyclable par le Conseil Général
- Valorisation paysagère du site

Nature et cause des dégradations

- Affouillement du pied de berge, érosion régressive de la berge liée au fort batillage et au marnage, forte pente
- Effondrement du chemin de halage
- Entretien drastique ne permettant pas un développement suffisant de la strate arbustive

- Erosion par ruissellement

Objectifs

- Stopper l'érosion de la berge
- Maintien du caractère végétal



Illustration 47 : Protection de berge de la Saône à Autet par caissons et matelas gabions [Source VNF]

Technique employée

Bureau d'études

- BCEOM - 78, allée John Napier - CS 89017- 34965 MONTPELLIER Cedex 2

Protection choisie et matériaux utilisés

- Caissons végétalisés en saules montés sur matelas gabions pour assurer une assise stable et drainante
- Pose de géotextile synthétique de filtration sous les matelas gabions et entre les étages pour limiter le lessivage des matériaux fins (terre végétale)
- Enherbement sur le sommet de la structure

Critères de choix de la technique

- Une étude a été menée par un bureau d'études, comparant diverses techniques possibles. Le choix s'est orienté vers cette technique étant donné les fortes pentes de la berge et les hauteurs de marnage (0,80 à 2 m)

Dimensions de la protection

- Linéaire : 45 m
- Hauteur totale : 3,5 à 4 m
- Hauteur émergée : 2 m

Particularités

- La configuration verticale de la berge est conservée, exposant la structure à des contraintes érosives fortes. La mise en place d'un géotextile est indispensable dans les étages des caissons pour éviter leur évidement par érosion qui compromettrait la reprise des saules et l'efficacité de la protection
- L'utilisation du matelas gabions garantit une protection efficace et durable contre l'affouillement sous les caissons et facilite la mise en place des premiers étages de caissons

Coût de revient de la protection au ml

- 1000 €

Dispositif mis en œuvre

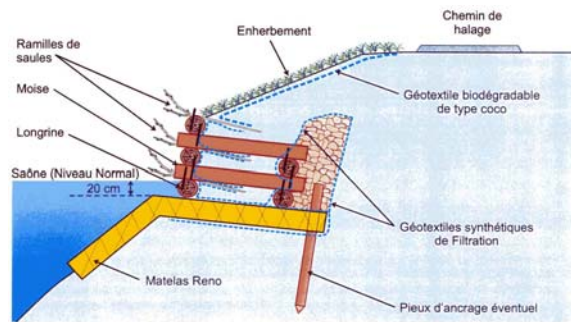


Illustration 48 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/BCEOM]

Travaux

Entreprises

- MILLET S.A. - 354, Route des Chênes - BP 21 - 73420 DRUMETTAZ-CLARAFOND

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre (dérivation)
- Des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

Interruption de la navigation (mise en place d'un batar dage)

Année et durée des travaux

Les travaux se sont déroulés en 2003 pendant 1 mois

Description des travaux

- Déblais du talus pour pose du matelas gabions et de la structure en rondins des caissons et leurs armatures
- Remblais en matériaux terreux en intégrant le géotextile synthétique de maintien

- Mise en place de la terre végétale de surface compactée recouverte par un géotextile biodégradable ensemencé hydrauliquement
- Mise en place des boutures de saules en période hivernale



Illustration 49 : Mise en œuvre des caissons au-dessus du matelas gabion [Source VNF]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection est stable et présente une bonne résistance au batillage et aux courants, même sur les secteurs à forte pente
- Une fois végétalisée, la protection par caissons s'intègre bien dans le paysage en créant une flore rivulaire qui génère des habitats intéressants pour la faune
- La protection concerne un linéaire limité à 40 m n'ayant pas engendré à l'heure actuelle de problème particulier auprès des usagers

Type d'entretien et suivi

- Entretien en régie
- Une tonte par an (automne) et broyage des matériaux sur place

Problèmes rencontrés

- Aucun

Ajustements éventuels

- S'attacher à maintenir à l'amont et à l'aval une végétation bien en place ou des souches recépées permettant d'assurer la pérennité de la berge

NB : Une mise en place ponctuelle de ce type de protection risque d'engendrer la formation de points durs exposant les berges à l'aval et à l'amont immédiat de l'ouvrage à une érosion accrue

Fiche technique mixte 6 : Enrochements végétalisés

Dérivation de la Saône (1998-1999) à Dracé

Service Navigation de Rhône Saône / subdivision VNF de Mâcon

Contexte

Situation

- Commune de Dracé (69), au droit des postes d'amarrage amont d'attente aux écluses

Caractéristiques du site et de la voie d'eau :

- Inondations 20 à 30 jours / an
- Grand gabarit : 5000 bateaux / an (75 % commerce, 25 % plaisance)
- Peu de courant (rivière peu érosive) : 0,2 à 2 m/s
- Beaucoup de batillage : 0,50 m (grande proximité du chenal navigable, moins de 10 m)

Enjeux

- Maintien de la digue et du chemin d'accès au poste d'amarrage en attente d'écluse.

Nature et cause des dégradations

- Digue construite en 1978 sans protection.
- Érosion de la berge liée au fort batillage (poste d'attente)



Illustration 50 : Enrochements végétalisés (postes d'attente) [Source CETE de Lyon]

Objectifs

- Stopper l'érosion régressive due au fort batillage (démarrages de bateaux)
- assurer le maintien de la digue

Technique employée

Bureaux d'études

- Technicien Service Navigation Rhône Saône

Protection choisie et matériaux utilisés

- Enrochements selon une pente de 1H/2V et toile de coco enherbée sur le haut de talus
- Les matériaux utilisés sont :
 - des blocs rocheux calcaires de 10-100kg (0,5 m³/ml) bouchonnés par de la pierre cassée calcaire 50-200 mm (0,3 m³/ml)
 - de la terre végétale et de l'enherbement sur le talus réglé à 3/1 (raygras, trèfle, fétuques élevées, paturins, lotier, pantier et carex en pousse naturelle)

Dispositif mis en œuvre

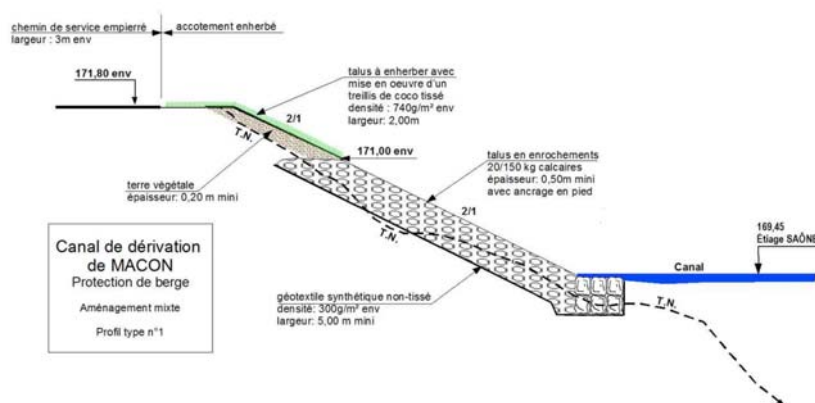


Illustration 51 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

- une toile de coco ou de jute

Critères de choix de la technique

- Pas de technique avec végétation haute, car il s'agit d'un secteur d'accès aux pontons

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 100 m
- Hauteur totale : 3 m
- Hauteur émergée : 2,50m
- Distance par rapport au chenal de navigation : 10 m

Coût de revient de la protection au ml

- 80 €

Travaux

Entreprises :

- SOCAFL (Pont de Veyle, 01)

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

- Pas d'interruption de la navigation

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés en avril 1999. Leur durée totale a été de 6 jours

Description des travaux

- Mise en œuvre de cordons d'enrochements bouchonnés en pieds de talus
- Reprofilage du talus avec apport de terre végétale
- Mise en place de la toile de coco et enherbement

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection est efficace, la berge ne s'érode plus. Elle s'intègre bien au site, l'aspect est très végétal (on ne voit plus les enrochements). Le choix d'une végétation rase permet de préserver la fonctionnalité du secteur (accès aux pontons) tout en assurant la transition linéaire entre les quais minéraux de l'écluse en aval et les berges végétalisées en amont (protections par tressage)
- Les usagers signalent l'amélioration esthétique de ce site d'attente aux écluses

Type d'entretien et suivi

- L'entretien se fait en régie : 3 à 4 tontes par an pour la zone enherbée et 1 fauche pour la zone d'hélophytes en pied de berges

Problèmes rencontrés

- Néant

Ajustements éventuels

- Aucun

Fiche technique mixte 7 : Enrochements végétalisés et gabions

Dérivation de la Saône (2007) à Apremont

Service Navigation Rhône Saône/ subdivision VNF de Gray

Contexte

Situation

- Commune d'APREMONT (70)

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Gabarit Freycinet : 6000 bateaux de plaisance et 250 péniches par an
- Paysage de plaine et boisements
- peu de matière en suspension (M.E.S.)
- Très peu de courant,
- Batillage : 0,20 m

Enjeux

- Chenal et chemin de halage

Nature et cause des dégradations

- Érosion régressive de l'enrochement liée au fort battillage

Objectifs

- Stopper l'érosion régressive de la digue
- Assurer le maintien de la berge et du chenal navigable (mouillage garanti : 2m X 7,50m)



Illustration 52 : Protection par enrochements végétalisés, boudin d'hélophytes et gabion
[Source CETE de Lyon]

Technique employée

Bureau d'études

- Service navigation Rhône-Saône

Protection choisie et matériaux utilisés

- Mise en place de blocs rocheux calcaires sur le talus, recouverts de terre végétale enherbée

Critères de choix de la technique

- Le choix de la technique a été fait au regard des fortes pentes de la dérivation et des hauteurs de marnage (0,80 à 1m)

Dimensions de l'ouvrage

- Linéaire : 500 m
- Hauteur totale : 3,5 à 4 m
- Hauteur émergée : 2 m
- Distance berge-chenal de navigation : immédiate

Coût de revient de la protection au ml:

- 360 €

Dispositif mis en œuvre

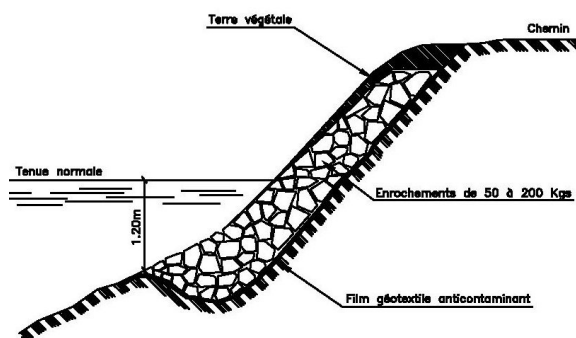


Illustration 53 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF]

Travaux

Entreprises

- Société Jurassienne d'Entreprise - BP 09 - 39570 MESSIA SUR SORNE

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre (canal)
- Des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

- Il n'y a pas eu d'interruption de la navigation

Année et durée des travaux

- La pose des enrochements s'est faite en hiver pendant la période de chômage, et l'engazonnement au printemps 2007. Au total, les travaux ont duré 2 mois

Description travaux

- Une pelle mécanique a été utilisée depuis la berge pour les travaux (terrassment, mise en place des enrochements et de la terre végétale)
- Engazonnement hydraulique

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection est efficace, la berge ne s'érode plus, et l'aspect est très végétal (on ne voit plus les enrochements) et s'intègre bien au paysage de plaines et boisements. La protection s'avère efficace contre les destructions par les animaux fouisseurs (ragondins...). Elle est cependant assez favorable à la grande faune du fait de la pente peu abrupte
- Les usagers signalent l'amélioration esthétique

Type d'entretien et suivi

- L'entretien est effectué en régie et consiste à faire une tonte par an (automne) et à broyer des matériaux sur place (engrais vert)

Problèmes rencontrés

- Approvisionnements conséquents en tonnage nécessitant des réparations de chaussées après travaux

Ajustements éventuels

- Aucun

Aménagement des berges des voies navigables

Fiche technique mixte 8 : Fascines d'hélophytes et cages gabions

Dérivation de la Saône (2004) à Vereux

Service Navigation Rhône Saône / subdivision de Gray

Contexte

Situation

- Commune de VEREUX (70)

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Gabarit Freycinet : 6000 bateaux de plaisance par an, 250 péniches
- Peu de courant,
- Batillage : 0,20 m
- Peu de matières en suspensions (M.E.S.)
- Paysage de plaine et boisements

Enjeux

- Chenal navigable et chemin de halage.

Nature et cause des dégradations

- Effondrements ponctuels de berges et dysfonctionnement des protections existantes (enrochements végétalisés, perrés), liés aux crues de la Saône, au batillage, aux circulations d'eau entre la nappe et la rivière

Objectifs

- Maintenir la navigation (mouillage garanti : 2m x 7,50m), préserver les usages actuels du chemin de halage (randonnée...)
- Assurer la mise en valeur environnementale

et paysagère du site

- L'objectif recherché vise une logique de développement durable afin d'optimiser les choix techniques d'aménagements par la prise en compte de l'ensemble des aspects caractérisant le secteur d'études



Illustration 1 : Protection par cages gabions et fascines d'hélophytes (décembre 2007) [Source CETE de Lyon]

Technique employée

Bureau d'études

- BCEOM - 78, allée John Napier - CS 89017 - 34965 MONTPELLIER Cedex 2

Protection choisie et matériaux utilisés

- Mise en place d'une fascine d'hélophytes en pied de berges, renforcée en son pied par une cage gabion cylindrique. Terre végétale et géotextile sur le talus. Les matériaux utilisés ont été :
 - Gabions cylindriques de 0,5 m de diamètre et 3 m de longueur, remplis de cailloux de classe granulaire 90/180, durs à moyennement durs
 - Blocs de pierre (interfaces gabion/perrés et gabions/fascines)
 - Géotextile synthétique (à poser sous les cages gabions)
 - Terre végétale et géotextile biodégradable en coco
 - Fascine d'hélophytes préfabriquée (diamètre 30 cm)
 - Pieux morts (acacia ou châtaignier) pour maintenir la fascine

Critères de choix de la technique

- Les gabions ont été utilisés pour garantir l'interface entre le boudin d'hélophytes et le perré existant. Le gabion a également été choisi pour sa facilité d'installation notamment dans les zones toujours en eau
- La fascine destinée à protéger des effets du batillage et à la création d'un cordon végétal est favorable au développement de la faune et de la flore

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 960 m
- Hauteur totale : 2 m
- Hauteur émergée : 1,2 m
- Distance berge-chenal de navigation : immédiate

Coût de revient de la protection au ml :

- 260 €

Dispositif mis en œuvre

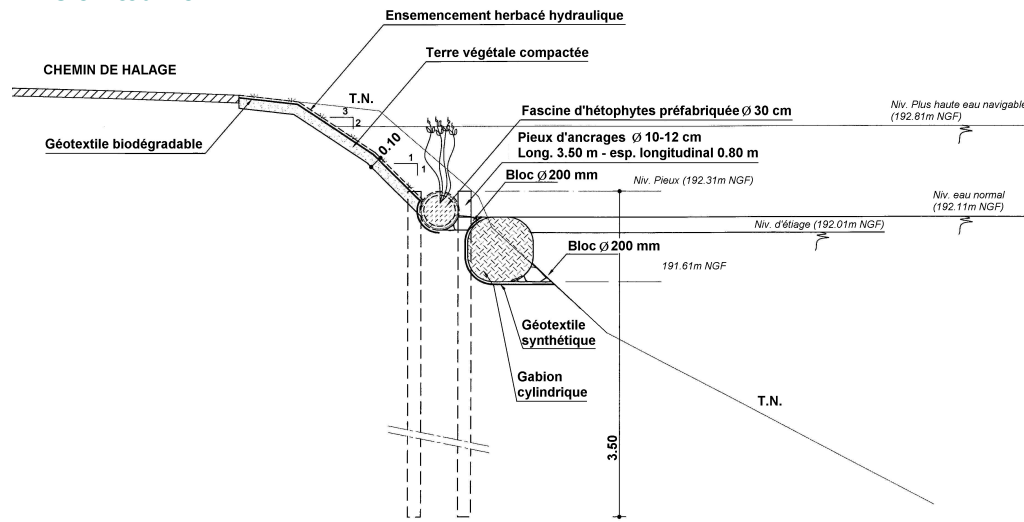


Illustration 55 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/BCEOM]

Travaux

Entreprises

- France Clôture Environnement Sarl - BP 9 - 25270 LEVIER

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre (canal)
- Des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

- Il n'y a pas eu d'interruption de la navigation pendant les travaux

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés à l'été 2004 pendant une période de 2 mois. La pose des gabions s'est effectuée à l'étiage

Description des travaux

- Une pelle mécanique équipée d'un grappin et d'une benne preneuse a été utilisée. Une double rangée de pieux battus mécaniquement est mise en place pour

maintenir la fascine le temps du développement de la végétation



Illustration 56 : Fin des travaux [Source CETE de Lyon]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La protection donne de très bons résultats contre les effets du battillage et contre les terriers d'animaux fouisseurs (ragondins, par exemple). La tenue de la berge est très bonne
- L'intégration dans le paysage est très intéressante, avec la mise en place d'éléments linéaires le long du bief. La fascine d'hétophytes facilite l'intégration, avec un beau développement de la flore en saison estivale, et crée des habitats pour la faune et la flore
- Le profil de la berge, en paliers, est également favorable à la grande faune

- Les usagers signalent l'amélioration esthétique

Type d'entretien et suivi

- L'entretien est effectué en régie et consiste à faire une tonte par an (automne) et à broyer des matériaux sur place (engrais vert)

Problèmes rencontrés

- Aucun

Ajustements éventuels

- Aucun

Fiche technique mixte 9 : Merlon avec zone à hélophytes

Petite Saône (2004) à Port sur Saône

Service Navigation Rhône Saône / subdivisions VNF de Gray

Contexte

Situation

- Rive droite de la dérivation de Montureux les Baullay (PK 383 de la Saône en amont de l'écluse)

Caractéristiques du site et de la voie d'eau

- Paysage de plaine et boisements
- Gabarit Freycinet : 6000 bateaux de plaisance et 250 péniches par an
- Batillage : 0,20 m
- Courants très faibles
- Distance chenal navigation par rapport à la berge (2 à 3 m)

Enjeux

- Berge surmontée d'une digue supportant le chemin de halage (emprunté par les véhicules de service et les riverains)

Nature et cause des dégradations

- La protection d'origine en palplanches béton couronnées d'une poutre s'est effondrée sur plusieurs secteurs (fiche de 60cm insuffisante). Sur les parties où il est encore en place, ce mur présente une déformation importante avec menace de chute et présence d'affouillements à l'arrière

Objectifs

- Mettre en œuvre une solution pour permettre une bonne résistance aux contraintes hydrauliques (crue, batillage)
- Respecter le caractère paysager et environnemental



Illustration 57 : Montureux les Baullay protection après la pousse
[Source VNF]

Technique employée

Bureau d'études

- INGEDIA FACILITEUR
Parc d'activités du Chêne
8, allée du Général Benoist
69673 BRON Cedex

Protection choisie et matériaux utilisés

- Protection par une fascine d'hélophytes et un géotextile
- Les matériaux utilisés sont les suivants :
 - Géotextile rempli de matériaux terreux
 - Pieux 2,5 à 4 m
 - Plants d'hélophytes en godets
 - Branches anti-affouillement
 - Matériaux pour remblaiement de pied

Critères de choix de la technique

- Coût

- Insertion paysagère et écologique
- Complexité de mise en œuvre
- Entretien à long terme

Dimensions de la protection :

- Linéaire : 260 m
- Hauteur totale : 4,50 m
- Hauteur émergée : 2,50 m

Particularités

- La protection à mettre en œuvre peut être fondée en avant du rideau existant à une distance de 1 m maximum du pied de la berge actuelle

Coût de revient de la protection au ml

- 185 €

Dispositif mis en œuvre

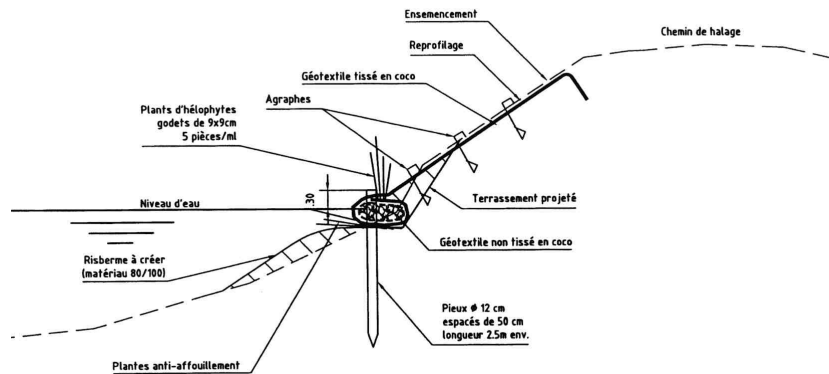


Illustration 58 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/Ingédia]

Travaux

Entreprises

- France Clôture Environnement SARL
BP 9 - 25270 LEVIER

Procédures réglementaires

- Aucune procédure n'a été mise en œuvre
- Des courriers ont été envoyés à la fédération de pêche et au CSP

Contraintes de mise en œuvre

- Aucune interruption de la navigation
- Abaissement de 20 cm du niveau du canal pour les phases de travaux dans l'eau (remplissage de boudin, plantation en pied de pieux)

Année et durée des travaux

- Les travaux se sont déroulés en 2004 pendant une période de 2 mois

Description des travaux

- Une mini-pelle a été utilisée pendant les travaux compte-tenu des difficultés d'accès
- Pour ne pas déstabiliser le talus dans les zones critiques, les travaux ont été effectués par tronçons de 10 m, selon les phases suivantes :
 - terrassement pour enlèvement du rideau de palplanches existant

- remblaiement du talus avec création de la risberme
- mise en place des branches anti-affouillement
- mise en place du géotextile non-tissé
- remplissage par des matériaux terreux du géotextile
- fermeture du géotextile en le remontant et en l'agrafant jusqu'à la tête du talus
- battage des pieux selon leur espacement
- plantation des godets d'hélophytes



Illustration 59 : Mise en œuvre de la protection dans le canal en eau [Source VNF]

Résultats obtenus et entretien

Bilan fonctionnel et environnemental de la protection de berge

- La fascine d'hélophytes montre une bonne résistance au battillage et l'érosion est stoppée. De plus, les fonctionnalités écologiques des berges sont favorisées par la flore rivulaire et la pente adoucie des berges. Les hélophytes donnent un aspect très naturel et la symétrie propre aux paysages de voies navigables est respectée

Type d'entretien et suivi

- Surveillance de la végétation et planification d'intervention en entretien les premières années
- Peu d'entretien à long terme (autogestion du développement des hélophytes) : 1 tonte par an à partir de 2-3 ans sur le haut du talus

Problèmes rencontrés :

- Mise en œuvre en eau

Ajustements éventuels :

- Aucun

6.2. Bilan

6.2.1. Le diagnostic

- *Le diagnostic technique et environnemental*

Le retour d'expériences montre que le diagnostic technique et environnemental est souvent peu formalisé. En effet, il se limite trop souvent à l'expérience et à la connaissance de l'agent en charge de la voie d'eau et des berges.

Les entretiens effectués au cours du retour d'expériences ont montré que des aspects devraient être plus développés et formalisés, notamment sur :

- ⇒ **les actions hydrauliques et hydrodynamiques**, souvent connues sommairement, mais non nécessairement mesurées ou bien évaluées. Certaines actions sont facilement observables, quantifiables et faciles à expliquer (par exemple : le batillage à plus ou moins quelques centimètres, lié au passage de bateaux de commerce/plaisance, les zones d'arrêt/d'accélération...). Les crues (origine/hauteur/période de retour) sont également un phénomène bien observé, mais ce sont les conséquences possibles sur les berges qui devraient être mieux évaluées (courants forts érosifs...). D'autres contraintes hydrauliques sont moins bien connues et font rarement l'objet de mesures ou de recherches : marnage, vitesse des courants, importance du ruissellement terrestre ou de nappes... ;
- ⇒ **la géométrie de la voie d'eau et les flux et les dynamiques** qui s'y opèrent ;
- ⇒ **la section de berge** concernée par rapport à l'ensemble du linéaire, aux contraintes et aux usages ;
- ⇒ **la morphologie de la berge** (profils, formes particulières) pour comprendre l'origine de l'érosion et son évolution. Pour cet aspect, l'exemple à suivre serait celui du bief 41 du canal des Vosges. Les berges ont fait l'objet d'un important état des lieux, avec notamment la réalisation de profils réguliers depuis l'arrière de la digue jusqu'à environ 80cm de profondeur (parfois plus), montrant les différentes formes et évolutions de l'érosion. Il s'agit d'une bonne démarche car trop souvent, des mesures sont réalisées au moment de caler la protection, plutôt qu'en amont pour comprendre l'érosion ;
- ⇒ **les caractéristiques écologiques de la berge** (variables selon le milieu environnant, mais aussi la qualité des eaux...) qui peuvent être déterminées à partir d'un inventaire des espèces végétales, d'un repérage des corridors privilégiés par la faune terrestre, mais aussi des caractéristiques de la faune aquatique (des pêches électriques avant et après la réalisation de la protection, ont permis par exemple de montrer l'apport écologique des protections sur la Saône ou le canal des Vosges) ;
- ⇒ **les particularités d'usage** de la voie d'eau et des berges. Par exemple sur la Meuse canalisée (Montigny sur Meuse), la hauteur d'eau réelle du bief pratiquée par le gestionnaire était plus basse que la hauteur théorique, ce qui a engendré un mauvais calage de la protection.

A retenir : la formalisation d'un diagnostic complet permet de se poser des questions pertinentes sur l'origine et l'évolution de la berge, de préciser des caractéristiques géométriques, morphologiques, écologiques de la berge, et donc de réfléchir à un aménagement adapté à chaque cas de berge.

- *La définition des enjeux*

Le retour d'expériences montre que les enjeux sont généralement bien identifiés. Il s'agit dans la plupart des cas de protéger un chemin de service, une route, une digue ou encore de préserver le chenal navigable, ou de gérer la ressource en eau.

Dans le cas de voies d'eau naturelles (rivières), l'érosion d'une berge peut ne mettre en péril aucun enjeu important ; si les emprises le permettent, et après en avoir évalué les conséquences (perte de surface agricole par exemple), il peut alors être envisagé de ne pas protéger les berges. Cette démarche peut apporter la solution la plus intéressante, en permettant au cours d'eau de rétablir son équilibre et en évitant ou limitant ainsi d'autres érosions en amont ou en aval dans des secteurs à enjeux forts. Cette solution a été par exemple adoptée pour les berges de la Saône dans le secteur de Mâcon, avec l'acquisition de terres agricoles riveraines pour permettre la libre divagation de la rivière.

***A retenir :** Un aménagement en technique végétale peut permettre de répondre au problème de l'érosion tout en préservant ou en restaurant les fonctionnalités des berges. Ces aménagements sont un bon moyen de concilier les objectifs d'aménagement et d'exploitation d'une voie navigable, avec le respect des milieux aquatiques et rivulaires.*

6.2.2. Le choix et l'adaptation de la technique de protection

Les entretiens effectués auprès des subdivisions des Services de Navigation ayant mis en œuvre des techniques végétales montrent qu'en réponse à une érosion, diverses solutions peuvent être apportées. Les critères à l'origine de la recherche d'une solution de protection de berges par technique mixte ou végétale sont :

- **l'urgence des travaux** : lorsque le gestionnaire peut planifier ses travaux de protection de berges sans pression due à l'urgence (risque de rupture de digue ou fuites importantes, par exemple), il s'avère que les techniques mixtes ou végétales seront plus facilement recherchées ;
- **les moyens à disposition du gestionnaire**, en terme de délais d'étude, de mise en œuvre, et principalement d'ouvertures de crédits nécessaires en volume et en délais associées aux disponibilités foncières. Par exemple, les berges de la Saône à grand gabarit sur le canal de dérivation du Pont de Mâcon ont pu être protégées par une risberme d'hélophytes et un tunage bas, étant donné la largeur des emprises dont on disposait à l'arrière ;
- **la connaissance de l'environnement du site**. Lorsque le technicien appréhende les enjeux environnementaux des berges et possède la connaissance des apports et améliorations possibles par les techniques végétales, ce type de protection est souvent recherché voire privilégié ;
- **la sensibilité aux problématiques écologiques**. Certains gestionnaires privilégient le rôle d'infrastructure de la voie d'eau, et n'utilisent que les techniques issues du génie civil, les critères environnementaux ne venant qu'en arrière plan ;
- **la volonté du gestionnaire** et surtout les directives sur le mode de protection des berges.

L'application d'une technique telle que présentée sur un exemple n'est pas transposable telle quelle. Chaque cas d'érosion de berge est particulier, lié à un contexte spécifique, et doit donc recevoir un aménagement particulier et adapté. Le retour d'expériences a montré que lorsqu'une protection de berge a été pensée, adaptée et mise en œuvre au regard des forces et contraintes susceptibles de l'éroder, des réponses adaptées et concluantes ont été trouvées. Dans tous les cas réussis de protection en technique mixte ou végétale, il est apparu qu'il y avait une connaissance des techniques de base (tressage, tunage, fascines, plages, peigne, lits de plançons, caissons...), des caractéristiques des matériaux pouvant être utilisés (géotextiles synthétiques, toile coco, intissé...) et des végétaux (hélophytes, hydrophytes, caractéristiques racinaires, vivaces, annuelles...) pour les combiner au mieux et choisir les composants qui répondaient au mieux à l'érosion et au contexte (courants plus ou moins forts, batillage plus ou moins important, crues plus ou moins régulières...).

Le retour d'expériences montre que les problèmes rencontrés peuvent concerner la protection elle-même et notamment :

- **le choix des espèces végétales.** Le retour d'expériences sur des aménagements utilisant des fascines d'hélophytes montre que les boudins prévégétalisés sont plus rapides à mettre en place. Cependant ils ne permettent pas de choisir les espèces en fonction de leurs caractéristiques (résistance à l'immersion/émersion, vivaces...) et ils nécessitent des engins lourds de manutention dont la mise en œuvre n'est pas sans risque selon le contexte. Il vaut mieux préférer les boudins réalisés sur place et choisir les espèces les plus adaptées au niveau où on prévoit de fixer la fascine (sous l'eau ou au-dessus). Il est aussi préférable de préciser les espèces souhaitées dans les Dossiers de Consultation des Entreprises (mise en place éventuellement d'une assistance à Maître d'Ouvrage) et de rencontrer l'entreprise à ce sujet ;



Illustration 60 : Mise en place d'un boudin à Montigny sur Meuse
[Source VNF]



Illustration 61 : Plantation d'un boudin à Montigny sur Meuse
[Source VNF]

- **la mauvaise fixation de la protection** (géotextiles en pied de berge, comme dans le cas de la grande Saône à Replonges), dont des éléments peuvent être entraînés par le courant ou lors des crues ;
- **le pourrissement des bois** en particulier pour les ouvrages non immergés en permanence. Il est préférable de choisir des pieux en bois peu putrescibles, acacia ou châtaignier ;
- **le mauvais calage de la protection**, par rapport au niveau d'eau réel du bief (comme dans le cas de la Meuse canalisée au niveau de la digue de Montigny).

Des problèmes plus aléatoires peuvent survenir :

- **les plants qui n'ont pas pris racine.** Les godets ou les boutures adaptés selon les espèces et les contraintes d'immersion des sites d'implantation, ainsi que les espèces qui développent au maximum leur système racinaire pour s'ancrer dans le sol et solidifier la protection sont à privilégier. Sur les berges de la grande Saône à Replonges, différentes espèces ont été testées sur la section à protéger : certaines se révèlent efficaces pour la tenue de la protection tandis que d'autres n'ont pas pris racine ; la diversité végétale donne les meilleurs résultats (enchevêtrement de racines superficielles ou profondes) ;
- **le développement d'espèces végétales invasives** (fougères aquatiques par exemple sur le canal des Vosges durant l'été 2007) qui asphyxient les espèces de l'aménagement de berge. L'entretien et la surveillance régulière permettent d'agir avant l'asphyxie totale du milieu (nettoyage) ;
- **les dégâts occasionnés par les animaux fouisseurs** (ragondins ou rats musqués) qui creusent des terriers et disloquent la protection. Ces dégâts ont été observés notamment sur les protections en tressage de saule (Dracé), où la végétation dense offre des habitats appréciés des animaux. La mise en place de grillages ou de grilles peut pallier ce problème ;

- **les dégâts liés aux activités humaines** (pêcheurs qui peuvent être tentés de tailler une « fenêtre » dans la strate arbustive de saules, piétinement des hélophytes...). Une sensibilisation à l'aide de panneaux explicatifs du milieu, de sa fragilité, de son intérêt et de la protection mise en place peut suffire pour remédier à ces problèmes. C'est ce qui a été par exemple mis en place aux abords des aménagements d'annexes écologiques de la Saône (Guéreins, Jassans).

Le retour d'expériences a également montré que des adaptations ou des ajustements de protections après leur mise en œuvre ont été parfois nécessaires. Par exemple :

- la **mise en place de géotextiles intissés** évite le départ des matériaux fins lors des crues, ou encore du grillage à mailles fines dit « grillage à poule » peut maintenir les matériaux plus grossiers ;
- une **rangée d'arbres de haut jet** et résistant à une immersion temporaire peut s'avérer importante pour *matérialiser la berge en période de crue* (par exemple au-dessus du tunage à Replonges) ;
- dans le cas de protections mixtes, le **maintien d'une végétation protectrice à l'amont et à l'aval** de la section protégée, peut permettre d'éviter le déplacement de l'érosion, comme cela a été fait à l'amont et à l'aval de la protection par caissons végétalisés à Autet (petite Saône) ;
- le calage de fascines d'hélophytes sous le niveau d'eau semble plus efficace (les hélophytes peuvent se développer jusqu'à 20-30 cm sous le niveau d'eau) ;
- il est important de bien choisir les espèces végétales en fonction de leur adaptation à l'eau (germination/croissance plus ou moins adaptée en milieu aquatique selon les espèces).

A retenir: *il est indispensable de bien connaître le rôle de chaque composante de base des techniques, afin d'apporter des réponses aux phénomènes érosifs.*

6.2.3. Les travaux

Le retour d'expériences montre que la phase de mise en œuvre est primordiale, et dépend étroitement de l'expérience de l'entreprise : il est essentiel d'être vigilant lors du choix de l'entreprise. Rares sont celles qui ont actuellement développé les compétences spécifiques à ce type d'aménagement. Par exemple, pour l'aménagement des annexes écologiques de Guéreins, il s'agissait de taluter de façon à créer de nombreuses pentes différentes pour générer différents habitats (faibles lames d'eau, eaux plus profondes), et de ne surtout pas créer des pentes bien droites et rectilignes comme il est habituellement demandé aux entreprises de travaux. La mise en place des protections en génie végétal nécessite des méthodes particulières (travail en eau ou travail de tressage de saule par exemple, ce qui est peu fréquent pour les entreprises de travaux), des connaissances de base en botanique, et un savoir-faire propre à ces techniques (par exemple, tous les éléments doivent être correctement fixés, les géotextiles agrafés). Le Dossier de Consultation des Entreprises doit être le plus précis possible, et systématiquement adapté à chaque projet d'aménagement de berge. Aussi, il est important que les agents de travaux aient reçu une formation de base sur ces techniques.

Les entretiens avec les agents des services de navigation révèlent l'importance d'une surveillance du chantier rigoureuse. Il peut être intéressant de sous-traiter la maîtrise d'œuvre à un bureau d'études privé spécialisé pour assurer le suivi du chantier : cela reviendra nécessairement moins cher que de recommencer les travaux plus tard s'ils n'ont pas été effectués correctement.

Sur le canal des Vosges, les travaux ont été réalisés en période de chômage, permettant un abaissement des niveaux d'eau de 20 à 30 cm lors des phases de travaux dans l'eau. En effet, la mise en œuvre hors d'eau permet d'éviter la formation de boue et de favoriser le tassement des matériaux terreux. Les plantations et l'enherbement en revanche s'effectuent préférentiellement à l'automne ou au printemps, pour favoriser leur reprise (l'été, le manque d'eau peut être néfaste pour de nombreuses espèces ; il faut donc penser à les arroser).

A retenir : *il est indispensable de planifier les travaux selon les saisons optimales et d'assurer un suivi rigoureux du chantier, surtout si l'entreprise est peu expérimentée.*

6.2.4. L'entretien

Pour l'ensemble des techniques mises en œuvre, au moins une visite annuelle sur place est réalisée pour surveiller l'état de la protection, vérifier l'éventuelle création d'encoches d'érosion, la reprise des végétaux, et prévoir les entretiens, qui diffèrent selon la technique employée.

L'entretien des hélophytes doit être le plus limité possible : c'est la végétation qui fait la protection, il ne s'agit donc pas de faucher trop souvent ou de tondre à ras les hélophytes. Une fauche à l'automne suffit d'une manière générale. Cette pratique doit être expliquée aux agents chargés de l'entretien, ainsi qu'aux éventuels riverains qui pourraient être tentés d'« entretenir » la berge.

L'entretien des saules est plus important, il nécessite régulièrement une taille et une sélection des rejets : recépage des gros sujets tous les un ou deux ans. Les branchages issus de l'entretien peuvent resservir dans la mise en place (peu onéreuse) d'une nouvelle protection en tressage de saule.

A retenir: *il est indispensable de rester vigilant, surveiller au moins une fois par an (et après les gros épisodes de crues) la bonne reprise des végétaux et l'éventuelle création d'encoches d'érosion afin d'ajuster éventuellement la protection et de prévoir l'entretien.*

6.2.5. La communication externe

L'expérience montre que les usagers peuvent ne pas comprendre ou apprécier l'aménagement, ou ne pas percevoir son intérêt. Il est important donc de communiquer avec les riverains et les principaux usagers (pêcheurs...) afin de faire comprendre et accepter l'aménagement. Cela peut éviter de mauvaises surprises par la suite (tonte « sauvage » par un riverain désireux d'entretenir la berge, vandalisme...).

A titre d'exemple :

- des panneaux explicatifs peuvent être mis en place (comme à Guéreins par exemple) pour informer et sensibiliser le public et les usagers de la berge ;
- des réunions de travail ou d'information peuvent être organisées, avant le début des travaux ;
- lorsque cela est possible, éviter de trop favoriser le passage (laisser quelques ronces, des orties aux abords...) pour éviter le piétinement ;
- le parrainage avec une classe d'école primaire peut être un bon moyen d'appropriation de l'aménagement de berge par la population (projet pédagogique sur l'année, avec théorie et sortie de terrain).

6.2.6. Conclusion

Pour la majorité des aménagements, les techniques de protection de berges en techniques végétales mises en œuvre se sont révélées efficaces, soit parce qu'elles ont été correctement élaborées et mises en place, soit parce qu'elles ont été adaptées par la suite. Nous soulignons qu'il est nécessaire d'avoir un concepteur, un maître d'œuvre et une entreprise qualifiés voire experts. Il est aussi important de ne pas conclure trop hâtivement sur les techniques à adopter et celles à bannir. La solution face à une érosion réside dans la compréhension de la situation et de la connaissance des techniques, afin de bâtir une protection adaptée. Plus que des techniques à appliquer, c'est une **démarche structurée** qu'il faut adapter à chaque cas.

7. Conclusion générale

La réussite d'un aménagement de berges passe par une définition approfondie des buts poursuivis et une conception rigoureuse de la technique à mettre en œuvre. Pour y parvenir, les compétences, l'expérience et le savoir-faire du maître d'ouvrage, de son maître d'œuvre et de l'entreprise sont fondamentaux. La définition de la solution technique nécessite une bonne connaissance du site, une identification des contraintes et une définition des besoins et des exigences du gestionnaire de la voie navigable. La conception de la technique passe par une phase d'analyse des conditions de milieu (solllicitations hydrauliques, stabilité de la berge, potentiel environnemental) ; de conception géométrique ; de dimensionnement et de choix des matériaux et végétaux.

La présente publication fournit des éléments généraux sur les phénomènes d'évolution de berges et sur les techniques de protection de berges. Elle permet, en particulier, de distinguer les facteurs clés de définition et de conception d'aménagements de berges. Elle effectue également un retour d'expériences sur seize aménagements avec des techniques végétales ou mixtes localisés sur les voies navigables des services de navigation Rhône Saône et du Nord-Est. Il est constaté que les techniques végétales, encore peu utilisées il y a quelques années, sont de plus en plus utilisées par les services de VNF. Lorsqu'elles sont bien réalisées, elles sont efficaces en rivière mais aussi en section canalisée, petit ou grand gabarit. Cependant, il est à souligner que le recul n'est que de quelques années (en moyenne de cinq années) pour les aménagements ayant fait l'objet d'un retour d'expériences dans le cadre de cette étude.

Le retour d'expériences présenté dans ce document doit être poursuivi. La capitalisation et le partage d'expériences relatifs à la protection de berges en techniques végétales ou mixtes sont essentiels pour améliorer les projets d'aménagements et accroître la connaissance sur la durabilité des techniques. Parallèlement au retour d'expériences, il est aussi important que la recherche puisse enrichir les pratiques actuelles en mettant notamment au point des outils pour évaluer l'impact des techniques de protections de berges sur l'environnement (bilan carbone, indicateurs de suivi écologique...) et des abaques pour optimiser le dimensionnement de ces techniques de protection de berges en génie végétal et mixte.

8. Références bibliographiques

AIPCN (1987), Recommandations pour le dimensionnement et la construction de revêtements souples incorporant des géotextiles pour les voies navigables intérieures, rapport du groupe de travail n°4.

AIPCN (1997), Protections de berges végétales renforcées incorporant des géotextiles, rapport du groupe de travail n°12.

AIPCN (2008), Considerations to reduce environmental impacts of vessels, rapport du groupe de travail n°99.

ADAM, DEBIAIS, GERBER, F. & B. LACHAT (2008). Le génie végétal - Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. La Documentation Française.

AQUATERRA (2008), Guide des solutions douces pour la protection des berges et l'aménagement des lacs et cours d'eau.

BAW (2005), Bulletin n°88, Principles for the design of bank and bottom protection for inland waterways, Karlsruhe.

BAW-CETMEF, Principes pour la conception des protections des berges et de fonds des voies navigables (version française du bulletin n°88 en cours de traduction).

BCEOM (2003), La réhabilitation des berges dans le respect des écosystèmes et des paysages.

BIEF (2005), Etude de réhabilitation des berges de la Saône navigable entre Corre et Saint-Jean de Losne.

BRL ingénierie (2009), Amélioration des caractéristiques du canal du Rhône à Sète, Etudes d'avant-projet.

CETMEF (2000), Recommandations pour le calcul aux états-limites des ouvrages en site aquatique (ROSA 2000) – fascicule digues des voies navigables.

D. OBERTI, L. COUDERCHET, F. CHAMBAUD (2000), Définition des fonctionnalités écologiques des berges de canaux pour la navigation, application à leur végétalisation. Edition CETMEF, VNF.

CETMEF (2002), Ouvrages de navigation et écoulements souterrains, Phénomènes, surveillances, prévention et réparations.

CETMEF (2004), Lettre du club cours d'eau et environnement.

CETMEF et VNF (2008), actes du colloque « protection des berges », Nancy.

CIRIA, CUR, CETMEF (2009), Guide Enrochement. L'utilisation des enrochements pour les ouvrages hydrauliques. Version française du Rock Manual.

Comité Français des Géosynthétiques (2003), recommandations pour l'utilisation des géosynthétiques

dans la lutte contre l'érosion.

Comité Français des Barrages Réservoirs, recommandations pour la justification des barrages et des digues en remblai (en cours de rédaction – publication prévue en 2009-2010).

Degoutte Gérard (2006), diagnostic, aménagement et gestion des rivières.

FAGON (1999), Evolution de la philosophie du CETMEF en matière de lutte contre l'érosion des berges des voies navigables par emploi de techniques végétales.

HEBENSTREIT Stéphane, TFE ENTPE (2003), Guide de mise en œuvre des protections de berges en techniques végétales.

LACHAT (1994), Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales.

Ministère de l'Équipement des Transports du Logement du Tourisme et de la Mer, CIRIA, CUR (2007), The Rock Manual, the use of rock in hydraulic engineering, Londres.

Office fédéral des eaux et de la géologie (Suisse), 2000, Méthodes de construction du génie biologique, Rapport d'étude n°9.

STCPMVN (1995), Catalogue des défenses de berges.

STCPMVN (1996), Défense de berges en enrochements.

VNF (1999), Petit lexique des termes techniques de la voie d'eau.

VNF (2002), Guide des techniques végétales.

VNF (2005), Direction Interrégionale du Nord-Est, Dossier de presse certification ISO 14001.

VNF (2006a), Service Navigation de Nancy, guide technique pour la réalisation d'état des lieux initial pour la restauration de berges et digues.

VNF (2006b), reconstruction de barrage : cadre du programme.

VNF (2008), circulaire technique – protection des berges.

9. Références internet

http://www.espace-riviere.org/site/sme_tr01.html

www.asqual.com/

<http://www.aquaterra-solutions.fr>

http://www.espace-riviere.org/site/sme_tr01.html

<http://www.eaurmc.fr>

<http://www.baw.de>

10. Glossaire

Affouillement	Erosion causée par le courant au pied d'une berge, d'une protection de berge, d'une pile de pont ou du pied aval d'un ouvrage, c'est un phénomène localisée ; le mot affouillement désigne à la fois le mécanisme et par extension le résultat du mécanisme.
Aquacole	Relatif à l'aquaculture qui recouvre tous les maillons de la chaîne allant de la production à la commercialisation de toutes espèces aquatiques (animales ou végétales)
Aquifère	Formation hydrogéologique d'eau souterraine.
Batillage	Battement de l'eau sur les berges dû au déplacement des bateaux ou au clapot.
Biotope	Composante non vivante de l'écosystème constituée uniquement par ses dimensions physico-chimiques et spatiales. Il correspond, en écologie végétale, à la notion de station.
Écosystème	Unité fonctionnelle de base en écologie comprenant le biotope et la biocénose associée.
Enrochements	Couche de matériaux granulaire.
Érosion interne	Mécanisme d'entraînement des particules constitutives d'un ouvrage hydraulique en terre ou de sa fondation en sol, sous l'effet d'un gradient hydraulique.
Fascine	Technique de protection de pied de berge réalisée par la mise en place de branches vivantes de saules ou d'hélophytes formant un fagot.
Frai	Époque, acte, résultat de la reproduction chez les poissons et les amphibiens
Frayère	Zone du fond des cours d'eau ou des lacs dans laquelle les poissons se réunissent pour se reproduire et où ils déposent leurs œufs.
Gabion	Panier en grillage métallique dans lequel sont entassés des cailloux pour former des murs.
Génie végétal	Ensemble des connaissances et des techniques concernant la conception, la mise en œuvre et les applications dans l'utilisation des plantes pour protéger les sols contre l'érosion et pour stabiliser des berges et des talus. Appelé aussi génie biologique.
Géogrille	Structure plane constituée par un réseau ouvert d'éléments résistants à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, et utilisée dans les domaines de la géotechnique et du génie civil
Géomembrane	Membrane d'étanchéité répondant à des critères précis du génie civil (épaisseur, poids, durabilité, etc.)
Géotextile	Produit ou article textile, en fibres naturelles ou artificielles, utilisé en construction. C'est un matériau perméable, qui peut être tissé, non tissé ou tricoté, utilisé dans les applications de géotechnique et de génie civil.
Hélophyte	Plante adaptée aux biotopes marécageux. C'est aussi une plante aquatique (ou semi-aquatique) pérenne dont les formes de durée sont constituées par des rhizomes enfouis au-dessous du niveau d'eau (le rhizome est un organe végétal souterrain qui constitue une forme de réserve et par lequel les plantes peuvent se multiplier de manière asexuée)
Hydrophyte	Plante se développant uniquement en pleine eau.

Ligneux	De la nature du bois : tige ligneuse. Se dit des arbustes et des arbrisseaux par opposition à herbacé.
Matelas gabions	Cage en forme de parallélépipède rectangle de très grande surface (supérieure à 6m ²), de grande largeur (2 m au moins) et de très faible hauteur (0,15 à 0,3 m).
Marnage	Variation de la hauteur du plan d'eau.
Nappe	Ensemble des lés assemblés de manière définitive en usine ou dans un atelier proche du site de service.
Palplanche	Profil en acier laminé mis en œuvre par battage ou vibrofonçage et formant un rideau d'étanchéité et de soutènement. Les palplanches sont munies de serrures permettant leur emboîtement les unes dans les autres.
Permitivité	C'est l'aptitude d'un géotextile à laisser percoler l'eau. C'est aussi la quantité d'eau traversant un géotextile par unité de temps, par unité de surface et par unité de charge. Elle est égale au rapport K_n/e avec K_n = perméabilité à l'eau normale au plan du géotextile (coef. de Darcy) et e = épaisseur du géotextile.
Plançon	Appelé aussi plantard, est une branche de saule utilisée comme bouture.
Piscicole	Relatif à la pisciculture. Art d'élever et de multiplier les poissons dans un cours d'eau ou un étang.
Ragondin	Espèce originaire d'Amérique du sud, introduite en Europe méridionale et qui pullule actuellement dans les zones humides de la plus grande partie de la France.
Rat musqué	Appelé également ondatre, c'est une espèce de rongeur originaire d'Amérique du nord. Introduite en Europe dans des élevages pour sa fourrure, il colonise maintenant le nord et l'est de l'Europe et est présent dans toute la France, à l'exception de quelques départements méditerranéens et de la Corse. Il est présent en cours d'eau, en étang, au bord des lacs. Il creuse des terriers dans les berges et les digues pouvant provoquer d'énormes dégâts.
Renard	Conduit continu entre l'amont et l'aval d'un ouvrage hydraulique en terre, une digue par exemple. Ce conduit est formé par l'entraînement des grains de sol arrachés à l'ouvrage par un mécanisme d'érosion interne dû à l'eau. L'écoulement dans ce conduit arrache des grains sur les parois ce qui amplifie le mécanisme d'érosion qui peut aller jusqu'à la création d'une brèche si l'alimentation en débit ne s'interrompt pas entre temps.
Résineux	Synonyme de conifère, opposé à feuillu.
Ripisylve	Désigne les formations végétales qui croissent le long des cours d'eau.
Risberme	Partie horizontale ménagée dans un talus. Elle peut être en terre, en pierre, en béton et former un chemin de service.
Rivulaire	Qui vit dans les eaux courantes ou sur leurs berges.
Suffusion	Phénomène correspondant à un entraînement sélectif des petites particules les plus instables dans les espaces poreux interparticulaires d'un sol, par l'eau en mouvement.
Tressage	C'est une protection de pied de berge réalisée avec des branches de saules vivantes, entrelacées autour de pieux (morts ou vivants) battus mécaniquement.
Tunage	Système de protection des berges constitué de pieux derrière lesquels sont placés horizontalement des troncs ou des rondins et d'un matériau intermédiaire en bois, métal ou béton.

11. Liste des abréviations

AIPCN	Association Internationale Permanente des Congrès de Navigation. Fondée en 1885 à Bruxelles où elle a toujours son siège, l'AIPCN est une organisation internationale agréée par les États. Sa vocation est de contribuer à la promotion des conditions d'exploitation de la navigation, tant intérieure que maritime, en encourageant et en favorisant les progrès en matière de planification, conception, construction, aménagement, entretien et exploitation des voies d'eau intérieures et maritimes, des ports intérieurs et maritimes ainsi que des zones côtières, dans les nations industrialisées comme dans les pays en développement. Les installations destinées à la pêche ainsi qu'aux activités de navigation de sport et de plaisance font également partie de son champ d'action.
BAW	Bundesanstalt Für Wasserbau. L'Institut Fédéral allemand d'Études et de Recherches des Voies Navigables est l'autorité supérieure fédérale technique et scientifique centrale soutenant le Ministère Fédéral allemand des Transports, de la Construction et des Affaires urbaines (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS) et l'Administration Fédérale allemande des Eaux et de la Navigation (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, WSV) dans le cadre : • du développement et de la construction nouvelle • de l'exploitation • du maintien des voies navigables fédérales.
CSP	Conseil Supérieur de la Pêche, aujourd'hui ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques), est un établissement public national relevant du service public de l'environnement. Il est l'organisme technique français de référence sur la connaissance et la surveillance de l'état des eaux et sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques. Il contribue à la surveillance des milieux aquatiques, ainsi qu'au contrôle de leurs usages, et participe à la prévention de leur dégradation, à leur restauration et à la préservation de la biodiversité.
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement sont des installations qui peuvent présenter des dangers ou inconvénients pour la commodité du voisinage, la santé, la sécurité et la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement ou la conservation des sites et des monuments (art. L511.1 du Code de l'Environnement).
Natura 2000	Natura 2000 est un réseau écologique européen de Zones Spéciales de Conservation de sites abritant des habitats naturels. Natura 2000 permet de recenser des sites, mais n'apporte aucune mesure de protection réglementaire spécifique. Selon la commission européenne (mars 2008), Natura 2000 est un vaste réseau européen de zones naturelles protégées qui a pour objectif de préserver la flore, les oiseaux et les habitats.
PPR	Plan de Prévention des Risques est la seule procédure spécifique à la prise en compte des risques naturels dans l'aménagement. La loi du 2 février 1995 qui les institue a abrogé les lois précédentes. Les anciennes procédures : Plans de Surfaces Submersibles (P.S.S.), R. 111-3, Plans d'Expositions aux Risques (P.E.R.) approuvées valent P.P.R.

SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux est un document de planification élaboré de manière collective, pour un périmètre hydrographique cohérent. Il a les mêmes objectifs que les SDAGE mais de manière plus concrète. Il s'applique à un niveau local
SDAGE	Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux Il fixe pour chaque bassin hydrographique métropolitain les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau dans l'intérêt général et dans le respect des principes de la loi sur l'eau.
STCPMVN	Service Technique Central des Ports Maritime et des Voies Navigables aujourd'hui CETMEF Centre d'Etudes Techniques Maritime Et Fluviale
ZICO	Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux. Ce sont des surfaces qui abritent des effectifs significatifs d'oiseaux, qu'il s'agisse d'espèces de passage en halte migratoire, d'hivernants ou de nicheurs, atteignant les seuils numériques fixés par au moins un des trois types de critères : • A : importance mondiale • B : importance européenne • C : importance au niveau de l'Union Européenne
ZNIEFF	Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique. L'inventaire de ces zones a pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation.

12. Liste des illustrations

Illustration 1 : Mécanismes de rupture du sous-sol [AIPCN, 1987].....	7
Illustration 2 : Impact de la navigation [source CETMEF].....	8
Illustration 3 : Composantes de l'agitation de l'eau induite par la navigation [BAW, 2005].....	9
Illustration 4 : Anse d'érosion de berges [source CETMEF].....	9
Illustration 5 : Perte de matériaux favorisée par les caractéristiques médiocres du sol [source CETMEF]	10
Illustration 6 : Glissement de blocs en enrochements [source CETMEF].....	10
Illustration 7 : Aménagement de berges sur la Meuse [source CETMEF].....	11
Illustration 8 : Profil en travers d'une berge de voie navigable [AIPCN, 1997].....	22
Illustration 9 : Exemples de profils en travers pour des techniques mixtes ou végétales [AIPCN, 1997].....	23
Illustration 10 : aménagement écologique sur le canal du Rhône au Rhin [source CETMEF].....	24
Illustration 11 : aménagement écologique sur le canal des Vosges [source CETMEF].....	24
Illustration 12 : Exemples de profils en travers et domaine d'utilisation pour des techniques en génie civil	25
Illustration 13 : Protection de berge par double rang de tressage [Source CETE de Lyon].....	36
Illustration 14 : Coupe transversale [source VNF]	37
Illustration 15 : Le tressage nécessite un recépage régulier [Source CETE Lyon].....	37
Illustration 16 : Boudins d'hélophytes [Source VNF].....	38
Illustration 17 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	39
Illustration 18 : Boudins d'hélophytes janvier 2008 [Source CETE Lyon].....	39
Illustration 19 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	40
Illustration 20 : Fagots pour le tressage [Source VNF].....	41
Illustration 21 : Vue du tressage et de la végétation [Source VNF].....	41
Illustration 22 : Vue des nattes prévégétalisées [Source VNF].....	41
Illustration 23 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	42
Illustration 24 : Vue de la fin des travaux [Source VNF].....	43
Illustration 25 : Vue détaillée des végétaux [Source VNF].....	43
Illustration 26 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	44
Illustration 27 : Vue après travaux	45
Illustration 28 : Vue après la pousse de la végétation [Source VNF].....	45
Illustration 29 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	46
Illustration 30 : Vue après la pousse des végétaux [Source VNF].....	47
Illustration 31 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/Ingédia].....	48
Illustration 32 : Fin des travaux [Source VNF].....	49
Illustration 33 : Vue après la pousse des végétaux [Source VNF].....	49
Illustration 34 : Protection par tunage	50
Illustration 35 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF Mâcon].....	50
Illustration 36 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	52
Illustration 37 : Coffrage végétal [Source VNF].....	53
Illustration 38 : Berge deux ans après les travaux	53
Illustration 39 : Berge en 2008 [Source CETMEF].....	53
Illustration 40 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	54
Illustration 41 : Confection du boudin [Source VNF].....	55
Illustration 42 : Vue de la berge en 2008 [Source CETMEF].....	55
Illustration 43 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	56
Illustration 44 : Vue des enrochements [Source VNF].....	57
Illustration 45 : Vue après la repousse des végétaux [Source VNF].....	57
Illustration 46 : Vue détaillée du géogrille [Source VNF].....	57

Illustration 47 : Protection de berge de la Saône à Autet par caissons et matelas gabions [Source VNF]	58
Illustration 48 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/BCEOM].....	59
Illustration 49 : Mise en œuvre des caissons au dessus du matelas gabion [Source VNF].....	59
Illustration 50 : Enrochements végétalisés (postes d'attentes) [Source CETE de Lyon].....	60
Illustration 51 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	60
Illustration 52 : Protection par enrochements végétalisés, boudin d'hélophytes et gabion	62
Illustration 53 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF].....	62
Illustration 54 : Protection par cages gabions et fascines d'hélophytes (décembre 2007) [Source CETE de Lyon].....	64
Illustration 55 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/BCEOM].....	65
Illustration 56 : Fin des travaux	65
Illustration 57 : Montureux les Baulay protection après la pousse [Source VNF].....	66
Illustration 58 : Coupe transversale du dispositif [Source VNF/Ingédia].....	67
Illustration 59 : Mise en œuvre de la protection dans le canal en eau [Source VNF].....	67
Illustration 60 : Mise en place d'un boudin à Montigny sur Meuse [Source VNF].....	70
Illustration 61 : Plantation d'un boudin à Montigny sur Meuse [Source VNF].....	70

13. Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales techniques de protection de berges.....	15
Tableau 2 : Synthèse des techniques du retour d'expériences.....	29

14. Annexes

Annexe 1 : Impacts de la navigation

Annexe 2 : Exemple de méthode pour la détermination des sollicitations hydrodynamiques

Annexe 3 : Exemple de planche de choix de techniques végétales (Service Navigation du Nord Est).

Annexe 4 : Procédures administratives préalables à des aménagements de berges

Annexe 1 : impacts de la navigation

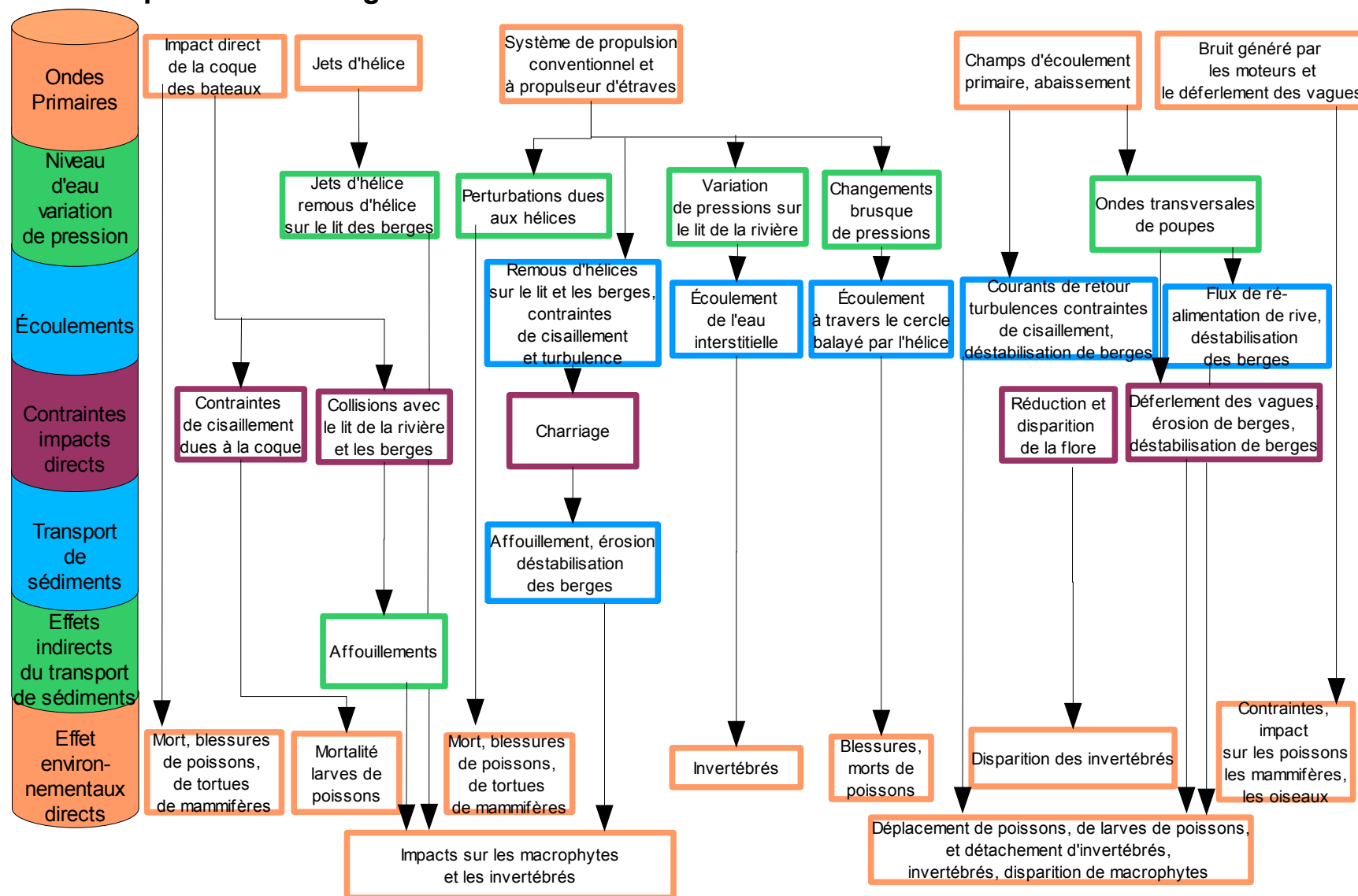


Illustration 1 1: Chaîne d'impact – courants générés par la navigation [source AIPCN 88]

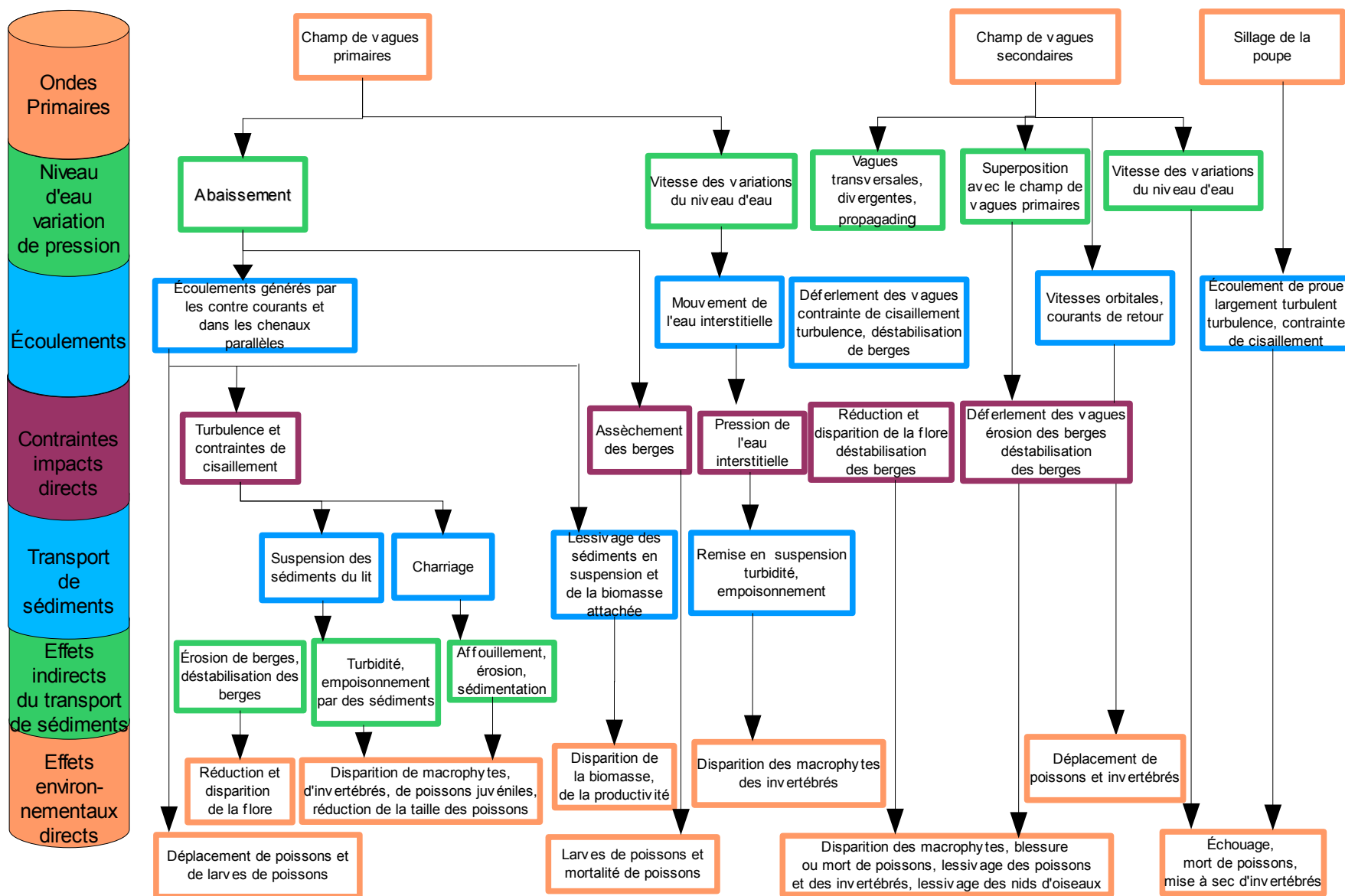


Illustration 1.2 : Chaîne d'impact –vagues générées par la navigation [Source AIPCN 88]

Annexe 2 : Exemple de méthode pour la détermination des sollicitations hydrodynamiques

Théorie de Schijf

En première approche, la méthode de SCHIJF permet à partir de la connaissance du coefficient de blocage n (rapport de la section mouillée à la section droite du bateau) d'évaluer à l'aide d'un abaque, la vitesse limite du bateau V , l'abaissement moyen Z du plan d'eau et la valeur moyenne U du courant de retour. Elle s'applique dans le cas d'un canal rectangulaire ou trapézoïdal et il est fait l'hypothèse que l'abaissement du plan d'eau et le courant de retour sont uniformes.

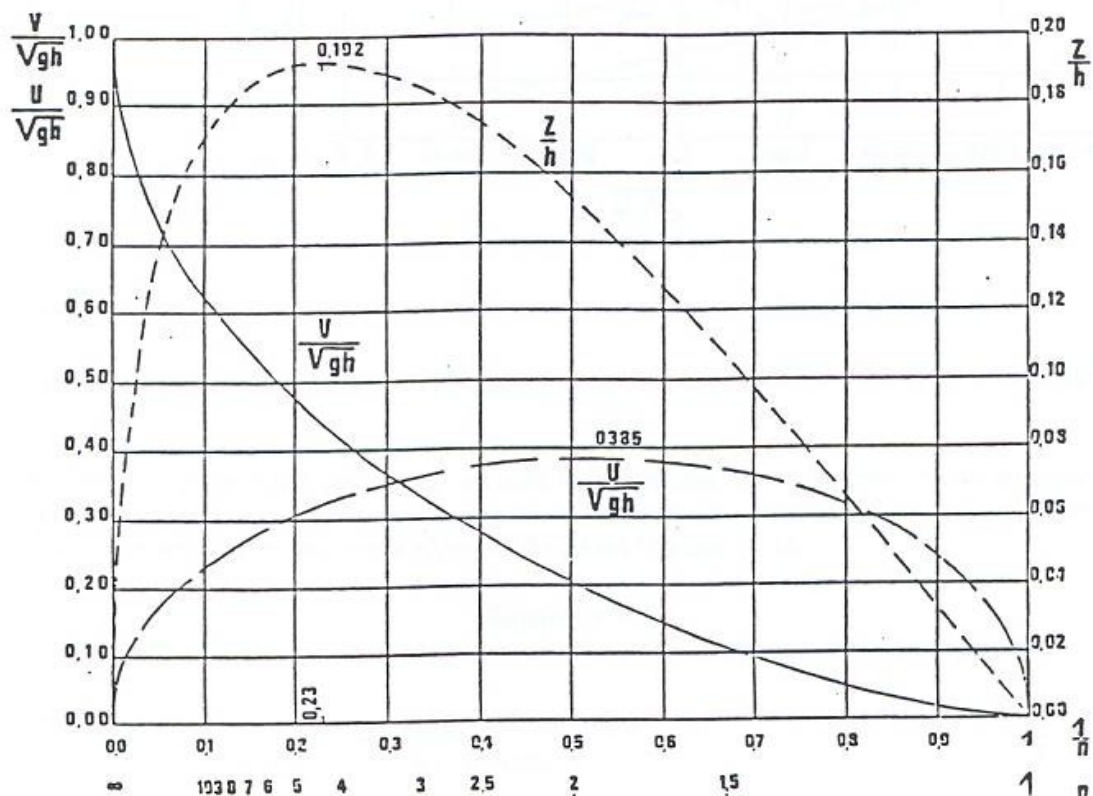


Figure 1.1 : Abaque de Schijf

Les paramètres de l'abaque sont :

V [m/s] : vitesse limite

Z [m] : abaissement du plan d'eau (à la vitesse limite)

U [m/s] : courant de retour (à la vitesse limite)

h [m] : hauteur moyenne (section mouillée/largeur au miroir du canal)

n [-] : rapport de la section mouillée à la section droite du bateau

Annexe 3 : Exemple de planches de choix de techniques végétales

Il s'agit de grilles de choix appliquées par le Service de Navigation du Nord Est pour ses aménagements (extrait du rapport de stage de Stéphane HEBENSTREIT « Guide de mise en œuvre de protection de berges en techniques végétales »), pour des berges basses et des berges hautes.

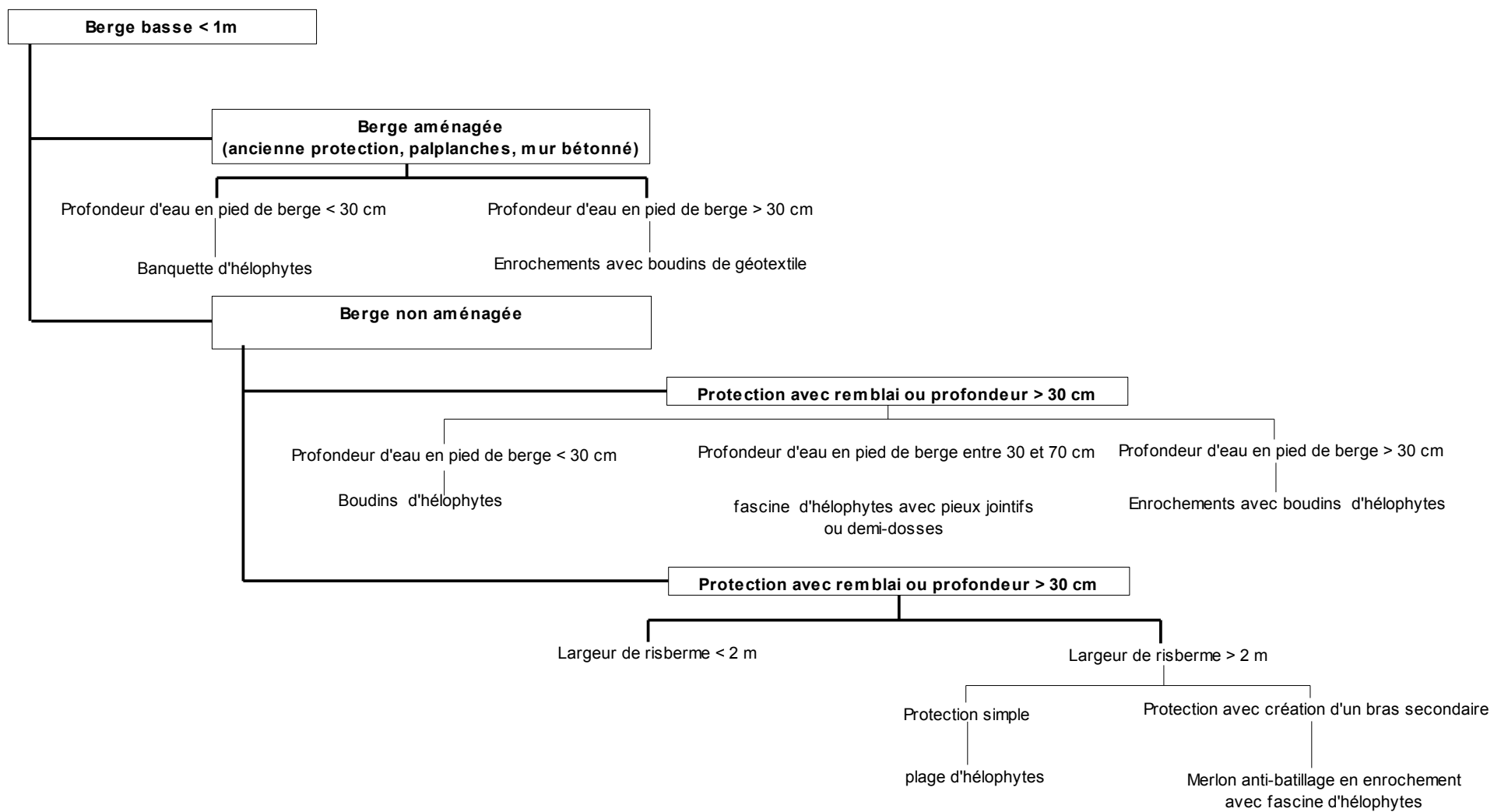


Figure 3.1 : Berge basse

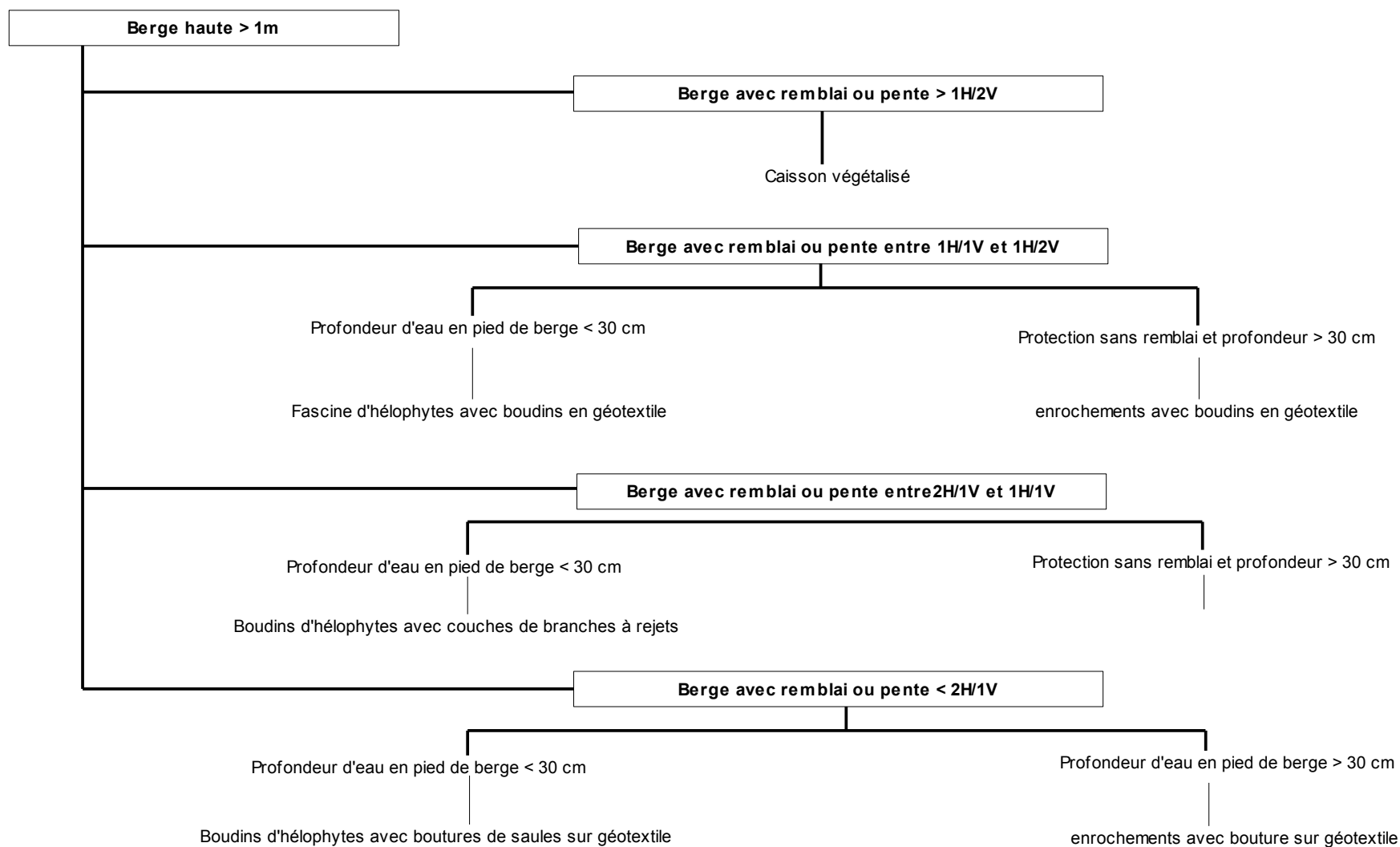


Figure 3.2 : Berge haute

Annexe 4 : Procédures administratives préalables à des aménagements de berges

La réalisation de protections de berges peut être soumise à différentes réglementations nationales ou locales.

1. Réglementation nationale

Le Code de l'environnement différencie les canaux artificiels des rivières (naviguées ou non).

- Canaux artificiels :

Les protections de berge ne sont soumises ni à autorisation ni à déclaration au titre du Code de l'environnement. Cependant, il faut vérifier qu'une autre réglementation ne s'applique pas au niveau local où des contraintes réglementaires particulières peuvent exister (voir partie 2).

- Rivières (naviguées ou non) :

Les travaux peuvent être soumis à la rubrique 3.1.4.0. Cette rubrique précise que la consolidation ou la protection de berges, par des techniques autres que végétales vivantes est soumise à déclaration à partir de 20 m de longueur, et à autorisation à partir de 200m de longueur. Il faut également vérifier que le projet n'impacte pas une zone citée dans la rubrique 3.1.5.0 (frayère, zone de croissance ou zone d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens) ou ne fasse pas obstacle à l'écoulement des crues dans le lit mineur dans la rubrique 3.1.1.0.

2. Règlement local

Il faut s'assurer de la compatibilité des travaux au SDAGE. Certaines orientations peuvent concerner la préservation de la mobilité des cours d'eau.

Lorsqu'une protection de berge doit être réalisée, il convient donc de s'assurer qu'elle ne vient pas contraindre l'érosion du cours d'eau à un endroit où il n'y a pas d'enjeu particulier et fort (voie de communication, habitations, etc..).

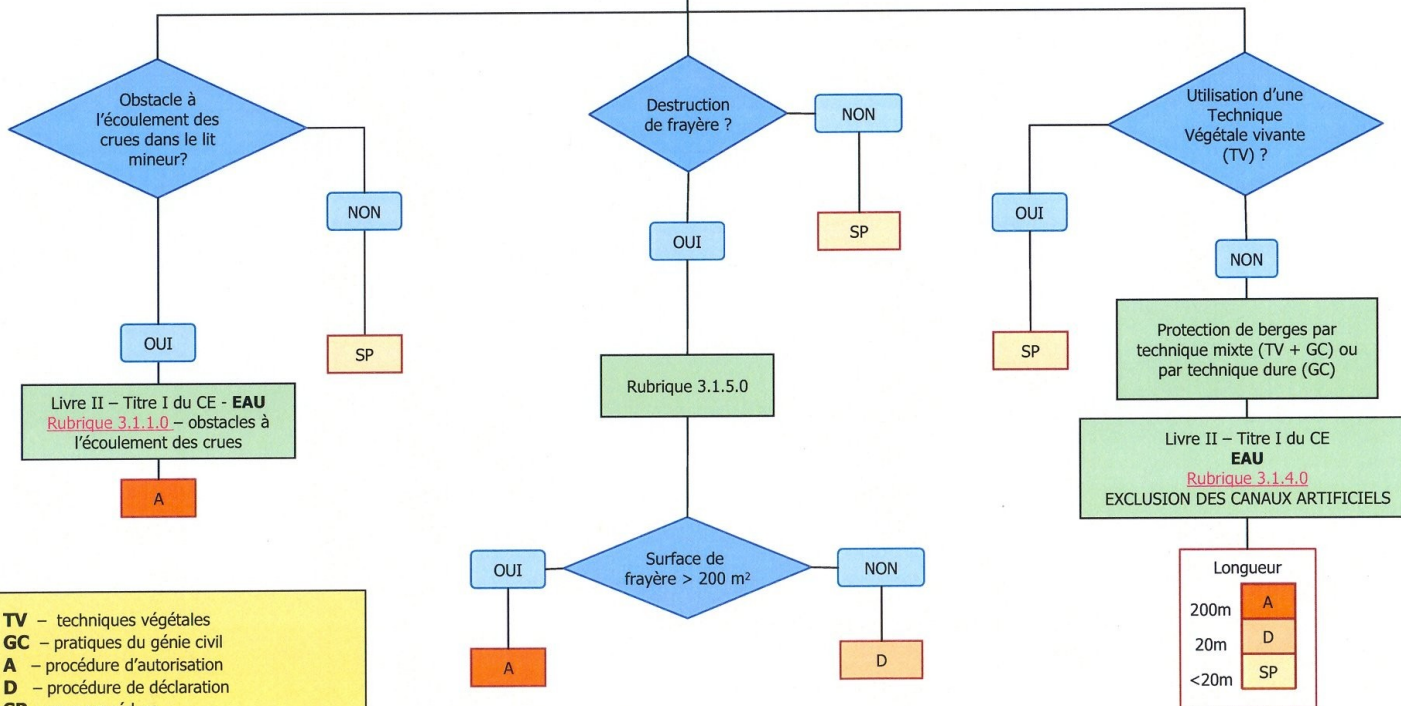
Plus localement, il faut vérifier si un SAGE existe afin de respecter les prescriptions qu'il peut comporter.

3. Diagrammes synthétiques de la réglementation (extraits de la circulaire technique VNF - « Protection de berges » - Claire Albin, 2008)

Procédures administratives préalables aux nouveaux aménagements

DIRECTIVE EUROPEENNE 2000/60/CE du 23/10/2000
«Les états membres protègent et améliorent toutes les masses d'eau artificielles ou fortement modifiées en vue d'obtenir d'ici 2015 un bon potentiel écologique »

Protection de berges

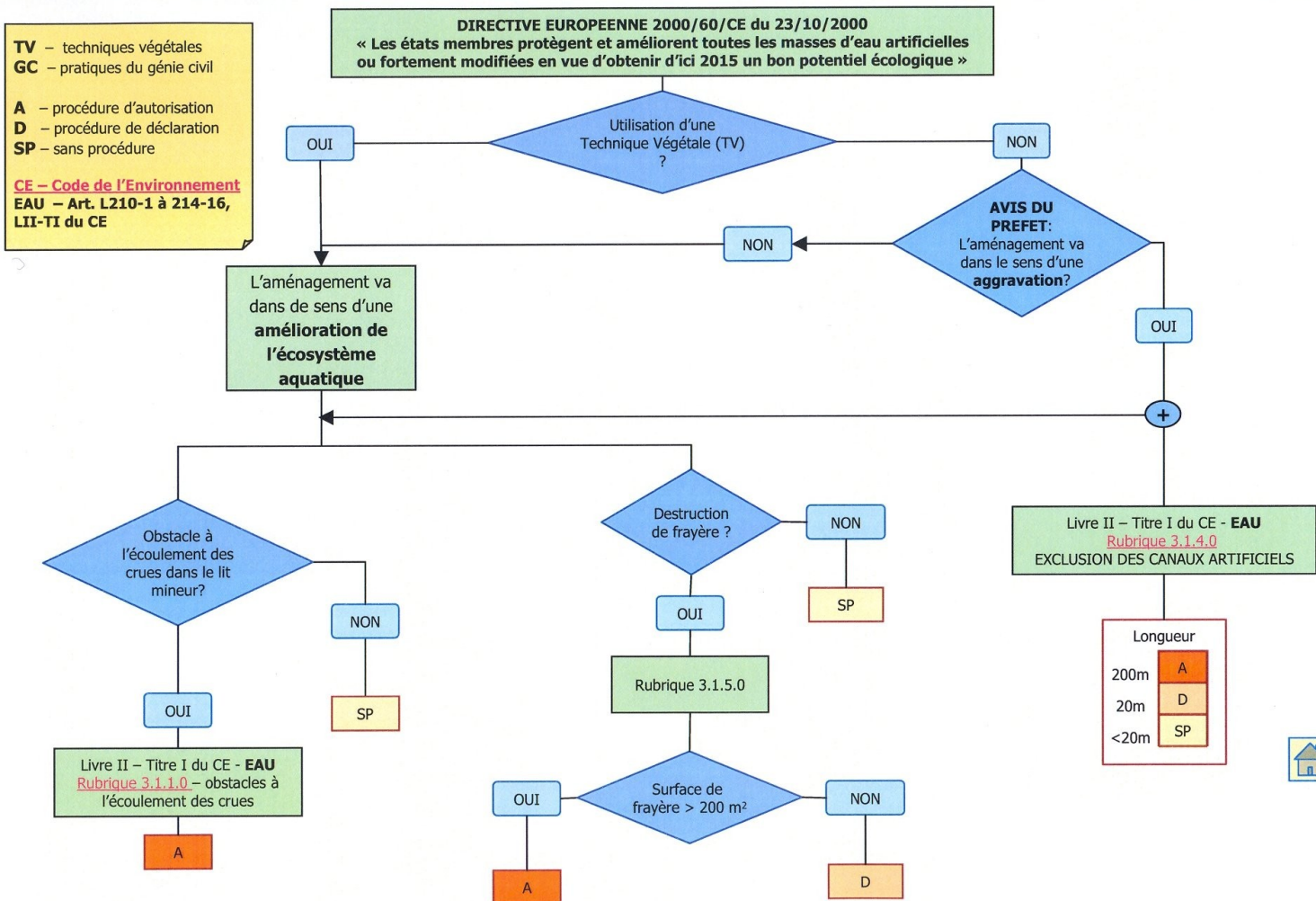


TV – techniques végétales
GC – pratiques du génie civil
A – procédure d'autorisation
D – procédure de déclaration
SP – sans procédure

CE – Code de l'Environnement
EAU – Art. L210-1 à 214-16, LII-TI du CE



Procédures administratives préalables aux réaménagements



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures et transports

**Présent
pour
l'avenir**

Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales

2, Boulevard Gambetta - BP 60039
60321 - COMPIEGNE Cedex

☎ : 03 44 92 60 00

📠 : 03 44 20 06 75

✉ cetmef@developpement-durable.gouv.fr

Impression : CETMEF - DRHG

ISBN 978-2-11-098647-4

Identifiant CETMEF : F 09.01

www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr