

Protections de berges en génie végétal

Conception, application, suivi et recommandations



Mise à jour 2020

Rédaction : Alexandre Peeters ¹
Gisèle Verniers ²

Collaboration : Geoffrey Houbrechts ¹
Eric Hallot ¹
François Petit ¹

Pour la DCENN : Pierre Otte
Daniel Genin
Bernard De le Court
Louis-Michel Petiau
Philippe Guillaume
Elmar Palm
Stéphanie Vandresse
Jean Lecomte
Jean-Luc Biermez
Charles Daxhelet
Marc Gilliquet
Francis Lambot
Catherine Poncelet
Patrice Orban

¹ Laboratoire d' Hydrographie et de Géomorphologie fluviale
Département de Géographie – ULiège
Clos Mercator, 2 – Bât. B 11- Sart Tilman
4000 LIEGE
e-mail : A.Peeters@ULiege.be

² Groupe Interuniversitaire de Recherches en Ecologie Appliquée
Unité de recherche en biologie environnementale et évolutive
Département de Biologie – UNamur
Rue de Bruxelles, 61 – 5000 NAMUR

Table des matières



- **Avant-propos** (p. 1)
- **Logique d'intervention face à une érosion de berge** (p. 2)
- **Limites d'utilisation des techniques** (p. 3)
- **Aide au choix de la technique appropriée au contexte environnemental** (p. 5)
- **Recommandations générales** (p. 6)
- **Lectures complémentaires** (p. 8)
- **Fiches relatives aux ouvrages de couverture** (p. 9)
 - Plantation (p. 10)
 - Plantation d'hélophytes (p. 14)
 - Ensemencement (p. 16)
 - Bouturage (p. p. 20)
 - Tapis de branches (p. 22)
 - Plançons (p. 24)
- **Fiches relatives aux ouvrages de pied de berge** (p. 27)
 - Fascinage (p. 28)
 - Fascine d'hélophytes (p. 31)
 - Peigne (p.33)
 - Tressage - Clayonnage (p. 36)
- **Fiche relative aux ouvrages construits** (p. 39)
 - Caisson (p. 40)
- **Fiche relative aux techniques indirectes** (p. 45)
 - Epis végétaux (p. 46)
- **Fiches relatives aux techniques combinées** (p. 49)
 - Caisson sur lit d'enrochements (p. 50)
 - Plantation dans les enrochements (p. 51)
 - Green Terramesh® (p. 53)
- **Les géotextiles** (p. 55)
- **Annexes** (p. 59)

Chaque fiche comprend les informations suivantes :

- description, conception + schémas
- application
- entretien
- avantages et désavantages
- coût
- exemples de réalisation + photos
- recommandations

Avant propos

L'**objectif** de ce document n'est pas de prôner la stabilisation des berges mais bien de proposer une alternative plus naturelle aux aménagements de protection de berges en génie civil pour les situations où une intervention s'avère indispensable. En effet, L'érosion des berges est un des processus du fonctionnement hydromorphologique d'un cours d'eau qu'il convient de préserver. Néanmoins, lorsque des zones à forts enjeux (habitations, voies de communication, etc.) sont menacées, il est parfois nécessaire de lutter contre l'érosion des berges. Dans le cas où il n'est pas possible d'intervenir directement sur la cause de l'érosion, des techniques de protection de berges peuvent alors être mises en œuvre. La stabilisation des berges peut se faire à l'aide des techniques classiques du génie civil (enrochements, gabions, etc.) ou bien grâce aux techniques du génie végétal. Ces dernières visent à préserver au maximum le caractère naturel des berges en utilisant des éléments naturels (végétaux) pour les protéger.

Les **techniques du génie végétal** reposent sur le **principe** que la végétation mise en place (arbustes, boutures, semences) augmente la stabilité de la berge grâce à son système racinaire qui joue un rôle consolidant et stabilisant de la berge, avec en plus le développement d'un effet drainant. De plus, l'appareil caulinaire de la végétation favorise un faible taux d'humidité grâce à l'interception par le couvert végétal et à l'évapotranspiration. Qui plus est, lorsque la végétation de berge est développée, elle entraîne, suite à l'augmentation de rugosité, une réduction des vitesses et des tensions de cisaillement s'exerçant sur la berge. Enfin, comparées aux techniques du génie civil, les techniques végétales favorisent la recolonisation des espèces indigènes, le rétablissement d'un écosystème fonctionnel, la biodiversité du cordon rivulaire et une qualité paysagère des berges (Peeters et al., 2018).

La résistance de ces ouvrages aux contraintes hydrauliques peut dans certains cas être comparable à celles des aménagements en génie civil. Toutefois, il est important de signaler que, durant les 3-4 premières années qui suivent sa mise en place, l'ouvrage connaît d'abord une période de fragilité relative qui correspond à la phase initiale de croissance de la végétation. Par la suite, le développement du système racinaire des arbustes, des boutures et des semences stabilise davantage la berge, qui offre dès lors une meilleure résistance aux forces d'érosion durant les périodes de submersion.

C'est pour pallier cette phase initiale de fragilité que les ouvrages comprennent des éléments tels que des pieux, des rondins et des géotextiles biodégradables. Lorsque ces éléments se dégradent avec le temps, ils perdent leur fonction de protection contre les contraintes physiques. Ce rôle de protection est alors assuré par la végétation qui a recolonisé la berge. Ainsi, lorsqu'un ouvrage est endommagé ou détruit, la berge peut néanmoins être stabilisée, pour autant que la végétation ait eu le temps de se développer (Peeters et al., 2018).

Le présent **guide technique** est le fruit de plusieurs études réalisées en collaboration avec les gestionnaires de cours d'eau de la DCENN du SPW :

- Hallot E., Petit E., Verniers G. et Verstraeten M., 2003. Suivi écologique et géomorphologique des chantiers de techniques végétales. Convention SPW-DCENN, rapport final, 129p.
- Verniers G., Petit F., Hallot E., Houbrechts G. et Lenoir C., 2006. Bilan de l'application des techniques végétales pour la stabilisation des berges en Région wallonne. Convention SPW-DCENN, rapport final. 44p.
- Hallot E., Houbrechts G., Peeters A., Van Campenhout J. et Petit F., 2007. Convention relative au suivi géomorphologique de chantiers de techniques végétales d'aménagement de berges, Convention SPW-DCENN, rapport final, 91p.
- Peeters A., Van Campenhout J., Petit F., Houbrechts G., 2016. Évaluation de l'efficacité d'aménagements de protection de berges en technique végétale en lien avec la puissance spécifique des cours d'eau et recommandations de gestion. Convention SPW-DCENN, rapport final, 83p.
- Peeters A., Van Campenhout J., Petit F., Houbrechts G., 2018. Mise à jour du guide de protection de berges en génie végétal au travers de nouvelles études géomorphologiques de suivi de techniques végétales utilisées historiquement sur les cours d'eau et recommandations sur les choix à opérer en cette matière. Convention SPW-DCENN, rapport final, 67 p.
- Peeters A., Houbrechts G., Hallot E., Van Campenhout J., Verniers G., Petit F., 2018. Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 24 (2), 121-138

Logique d'intervention face à une érosion de berge

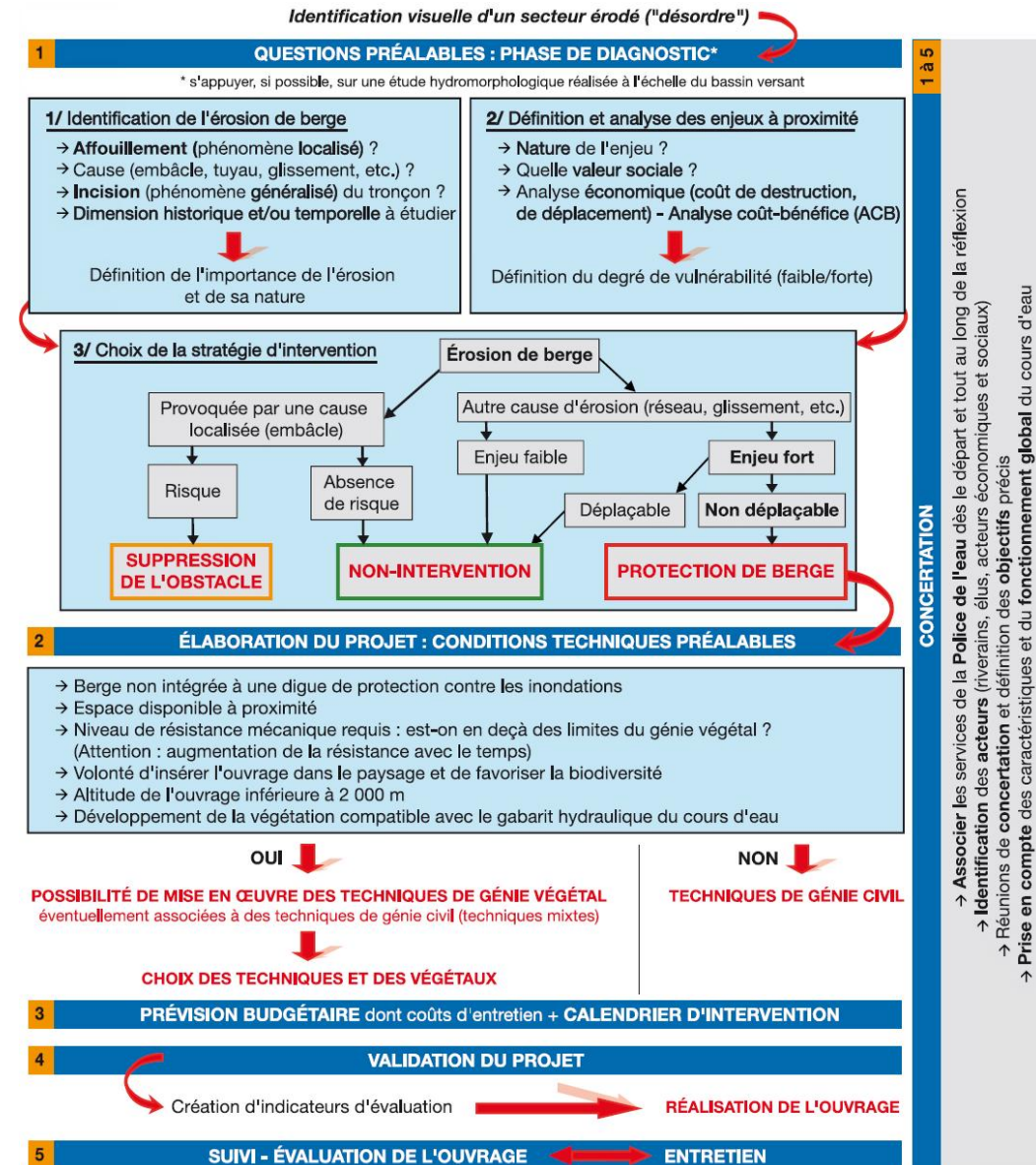
Avant la réalisation d'un ouvrage de protection de berge, il importe en premier lieu de **diagnostiquer l'érosion de la berge** et d'**évaluer la nécessité d'intervention**. Le schéma synthétique d'aide à la décision proposé par Valé *et al.* (2013) fournit une stratégie à adopter face à une érosion de berge (schéma ci-contre).

La première étape, dite de diagnostic, doit permettre de déterminer l'ampleur de l'érosion (phénomène généralisé ou localisé) et ses causes (déficit sédimentaire, présence d'embâcles, etc.). Elle repose également sur une analyse des enjeux menacés par l'érosion, et ce, afin de définir le degré de vulnérabilité de la zone. Ces différents éléments sont indispensables pour adopter une stratégie d'intervention appropriée (non-intervention, retrait d'un embâcle, mise en place d'un ouvrage de protection, etc.).

Dans le cas où la stratégie d'intervention s'oriente vers l'installation d'une protection de berge, il faut alors évaluer les possibilités de travailler à l'aide du génie végétal sur base des critères techniques (résistance mécanique des aménagements, espace disponible, capacité hydraulique favorable) et budgétaires.

Le **choix de la technique végétal la plus appropriée** va ensuite dépendre de nombreux facteurs relatifs au contexte environnemental (climat, exposition, nature et structure de la berge, etc.) et aux caractéristiques du cours d'eau (variables hydrologiques, forme du tracé de la rivière, résistance de l'ouvrage face aux crues, concentration des sédiments en suspension, etc.). La connaissance des ces données environnementales est donc primordiale pour sélectionner une technique à mettre en œuvre. Toutefois, le recours au génie végétal est relativement complexe de par la multitude de facteurs à prendre en compte. C'est pourquoi il n'existe pas de solution universelle et chaque situation est un cas particulier à analyser par le gestionnaire sur base de son niveau d'expertise et de ses connaissances dans les différentes disciplines liées au génie végétal.

Pour appuyer son expertise, différents outils sont mis à la disposition du gestionnaire, tels que des **guides techniques** et des **études** sur la réussite de projet de stabilisation de berge en génie végétal (*cf.* § sur les lectures complémentaires, p.8). Ces études permettent entre autre de cerner les limites d'utilisation des différentes techniques végétales pour un contexte donné. De plus, les facteurs d'échec et de réussite de chaque technique sont mieux connus et devraient être pris en compte dans le cadre de futurs projets de stabilisation.



Limites d'utilisation des techniques

Pour évaluer l'efficacité d'un ouvrage de stabilisation de berge, il convient de tenir compte de deux principes essentiels :

- l'évaluation doit porter non seulement sur la structure de l'ouvrage, mais aussi et surtout sur la stabilité de la berge (la structure de l'ouvrage ayant vocation à s'effacer progressivement) ;
- le suivi doit se faire sur le long terme, afin de déterminer la pérennité des aménagements et d'évaluer leur impact sur l'hydrosystème. Il faut donc tenir compte de l'âge de l'aménagement.

L'évaluation de la résistance des ouvrages repose généralement sur des indicateurs déterminés par une approche empirique mettant en relation leur résistance avec les contraintes qu'ils ont subies lors des événements hydrologiques. Cette approche permet de déterminer un seuil d'admissibilité, qui représente la valeur maximale de l'indicateur de contrainte à laquelle un ouvrage peut résister. De cette façon, lorsque la contrainte qui s'exerce sur l'aménagement se trouve au-delà du seuil d'admissibilité, l'aménagement n'est théoriquement pas suffisamment résistant. Les indicateurs les plus souvent utilisés sont la tension de cisaillement et la puissance, d'après l'analyse des études réalisées dans le domaine (cf. § sur les lectures complémentaires, p.8). La synthèse de ce guide utilise les puissances spécifiques car elles constituent un moyen efficace pour quantifier la capacité de travail des cours d'eau et elles représentent un indicateur pratique pour caractériser la résistance des aménagements lors des crues. De plus, elles renseignent sur la capacité de réaction et d'adaptation des rivières en réponse aux travaux d'aménagement.

La puissance spécifique (ω exprimée en W/m^2) est déterminée par :

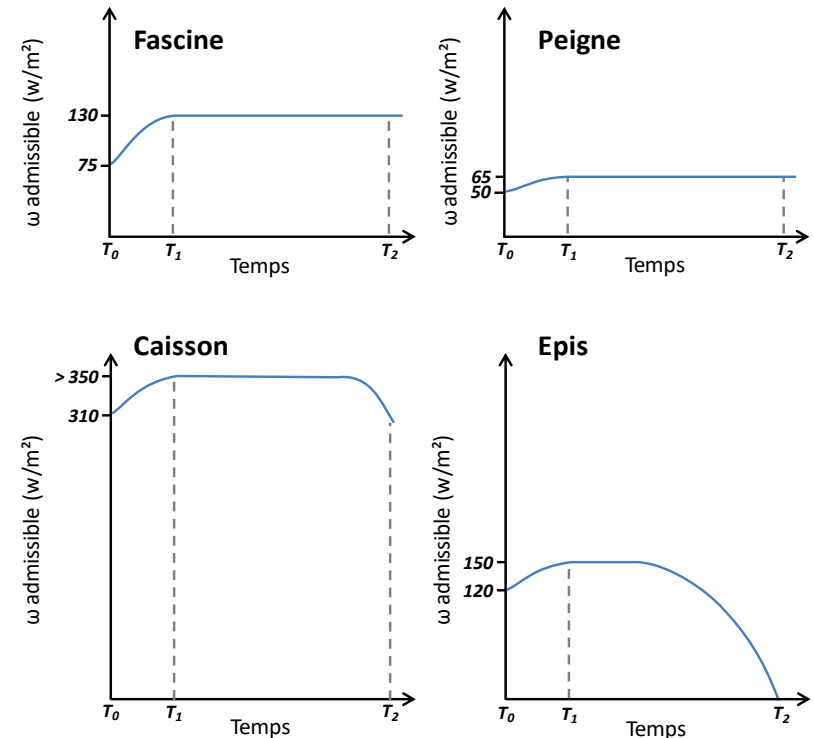
$$\omega = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot S) / w$$

avec ρ la masse volumique du fluide (en kg/m^3), g l'accélération de la pesanteur (en m/s^2), Q le débit (en m^3/s), S la pente longitudinale (en m/m) et w la largeur du lit (en m).

Les données issues des études évoquées dans l'avant-propos (p.1) et l'analyse des cas documentés dans la littérature ont permis de fournir des estimations de la puissance spécifique admissible pour quatre techniques, et ce à différents stades de leur existence (T_0 , T_1 et T_2 sur la figure ci-contre).

La valeur de puissance spécifique admissible est légèrement plus faible durant les 2-3 premières années qui suivent la mise en place de l'aménagement car la végétation n'y est pas encore assez développée (absence de système racinaire stabilisant la berge). Dans le cas du peigne, l'ouvrage est renforcé avec le temps par les sédiments fins qui se sont accumulés dans les interstices des branchages formant le peigne.

Ces valeurs limites de puissances spécifiques sont valables pour des aménagements ne souffrant pas de défauts de conception ou d'entretien.



Modèle conceptuel de l'évolution de la résistance des aménagements de protection de berge en technique végétale (modifié depuis Peeters et al., 2018)

T_0 = Mise en place de l'aménagement ; T_1 = Aménagement végétalisé ($T_0 + 2-3$ ans) ; T_2 = État de l'aménagement sur le long terme ($T_0 + 12-15$ ans)

Limites d'utilisation des techniques

Les valeurs limites de puissances spécifiques mises en évidence pour les quatre techniques étudiées doivent dans certains cas être revues à la baisse, entre autres lorsque l'aménagement est dégradé. L'ouvrage sera alors plus vulnérable pour des crues de puissances moins importantes.

Les facteurs de dégradation des ouvrages sont multiples et sont généralement difficiles à dissocier les uns des autres. Ils peuvent être regroupés en trois catégories, qui sont détaillées dans le tableau (ci-contre).

L'identification des facteurs d'échec pour une technique donnée permet de garantir une meilleure efficacité pour les futurs projets de stabilisation de berge.

Par exemple, l'analyse des facteurs d'échec des peignes montre qu'ils sont vulnérables pour des puissances spécifiques de l'ordre de 65 W/m² et que leur remplissage par des sédiments fins n'est pas optimal pour des rivières dont la concentration en Matières en Suspension (MES) est inférieure à 200 mg/l (pour le débit à plein bord). Ils sont encore plus vulnérables aux crues lorsqu'ils présentent un angle d'attaque (avec le courant principal) supérieur à 45 °.

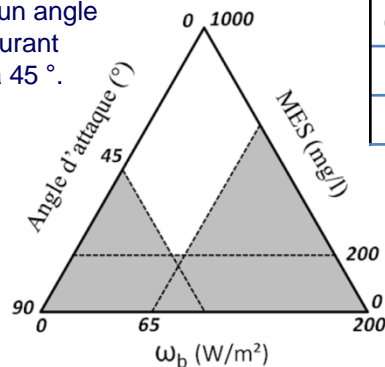


Diagramme définissant l'efficacité potentielle d'un projet de protection de berge par peigne (Peeters et al., 2018)

- 1. Bonne efficacité potentielle
- 2. Mauvaise efficacité potentielle

Défaut de conception	Fascine	Peigne	Caisson	Epis
Absence de retalutage de la berge	✓	✓	✓	
Aménagement mal dimensionné			✓	✓
Angle d'attaque entre l'aménagement et le courant trop important	✓	✓		
Mauvaise assise			✓	
Remplissage inadapté de l'aménagement (en matériau caillouteux)	✓		✓	
Tassement insuffisant du matériel végétal de remplissage		✓		
Utilisation de branches (épicéas) anti-affouillement au pied de l'ouvrage			✓	
Verticalité trop prononcée de l'aménagement			✓	
Mauvaise prise en compte des caractéristiques de la rivière				
Faible concentration de matières en suspension de la rivière		✓		✓
Résistance mécanique insuffisante face aux crues	✓	✓	✓	✓
Éléments extérieurs				
Absence d'entretien de la végétation de l'aménagement			✓	
Coupes non contrôlées ou pulvérisation	✓		✓	
Dégâts provoqués par les rongeurs (rat musqué, castor) ou le bétail	✓		✓	✓
Mauvais éclaircissement de la berge (limitant le développement végétal)	✓		✓	

Facteurs de dégradation des ouvrages en génie végétal
(✓ : facteur s'appliquant à la technique désignée)

Aide au choix de la technique appropriée au contexte environnemental

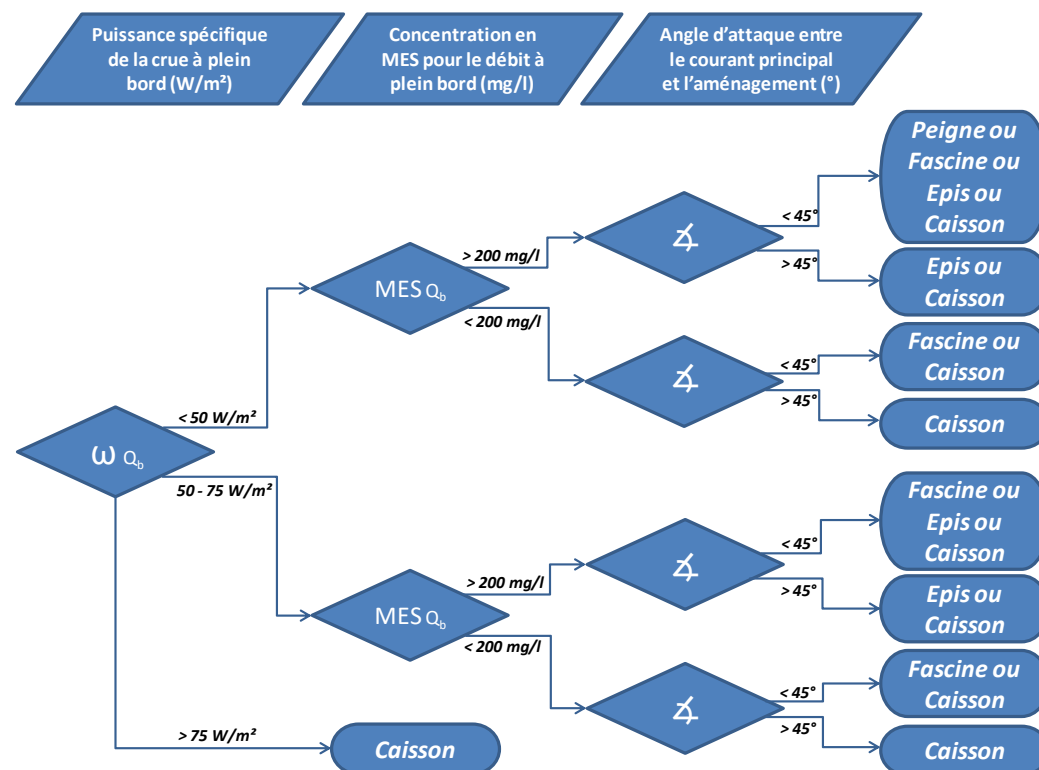
Grâce à l'analyse des limites d'utilisation des quatre techniques étudiées, un **outil d'aide à la décision** peut être construit sur base des données relatives aux caractéristiques du cours d'eau. L'objectif de cet outil est d'orienter le gestionnaire de cours d'eau dans son choix de la technique végétale la plus appropriée au contexte géomorphologique du cours d'eau.

Cet outil repose sur **trois données** :

- La **puissance spécifique** (W/m^2) du cours d'eau (définition et formule en p.3), calculée pour la crue à plein bord (débit de référence). Elle nécessite de connaître la valeur du débit à plein bord, soit sur base des observations de terrain en période de hautes eaux, soit grâce aux relations établies sur la base des données disponibles pour les rivières wallonnes (Petit *et al.*, 2005 ; Petit *et al.*, 2008, annexe 2). La puissance spécifique au plein bord sera généralement inférieure aux valeurs limites de puissance spécifique auxquelles peuvent résister les aménagements (identifiées sur base de crues débordantes) ;
- La **concentration en MES** (mg/l) pour la crue à plein bord (débit de référence). Elle permet de caractériser la capacité de la rivière à fournir les aménagements en sédiments fins. La concentration en MES est variable en fonction de plusieurs paramètres, principalement en fonction du débit. Ainsi, sur base de la relation entre le débit et la concentration en MES pour une rivière donnée, il est possible de déterminer la concentration en MES pour le débit à plein bord. Plusieurs valeurs de références sont disponibles pour les rivières wallonnes (Van Campenhout *et al.*, 2013) ;
- L'**angle d'attaque entre le courant principal et l'aménagement** ($^{\circ}$). Lorsque cet angle est trop prononcé, certains aménagements (peignes, fascines) se sont avérés être plus vulnérables aux forces d'érosion des crues. Une valeur supérieure à environ 45° diminue le seuil de résistance des peignes aux crues. Davantage d'études de cas devrait permettre de préciser ces valeurs seuils à l'avenir.

Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Levecq Y., Mols J., Peeters A., Van Campenhout J. (2008) - La typologie et les caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau wallons. Actes du colloque La gestion physique des cours d'eau : Bilan d'une décennie d'ingénierie écologique, Namur, 10-12 octobre 2007, 7-16.

Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Mols J. (2005) - Evaluation des puissances spécifiques de rivières de moyenne et de haute Belgique. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 46, 37-50.
Van Campenhout J., Denis A.-C., Hallot E., Houbrechts G., Levecq Y., Peeters A., Petit F. (2013) - Flux des sédiments en suspension dans les rivières du bassin de la Meuse : proposition d'une typologie régionale basée sur la dénudation spécifique des bassins versants. Bulletin de la Société Géographique de Liège, 61, 15-36.



Remarques sur l'usage des données :

Dans l'état des connaissances actuelles, le diagramme ci-dessus fournit une aide au choix de la technique la plus appropriée en fonction du contexte géomorphologique du cours d'eau. Il ne tient donc pas compte des autres paramètres, liés aux contraintes budgétaires, aux pressions extérieures, aux enjeux à proximité, etc. De plus, les valeurs limites utilisées reposent sur des évaluations ponctuelles, dont le faible nombre de cas étudiés ne permet pas d'envisager une approche statistique, ce qui peut entraîner une approximation dans la définition des valeurs limites. Enfin, comme il est difficile de dissocier la part des différents facteurs de destruction des aménagements, cela peut entraîner un biais dans la définition des limites d'emploi des techniques préconisées.

Recommandations générales

Le cahier spécial des charges

Le cahier des charges ne se limite pas à un simple feuillet décrivant brièvement les différents travaux à exécuter, il est également un outil de formation et de conscientisation. Il représente le lien réel entre le gestionnaire de cours d'eau et l'entrepreneur.

Il doit comprendre les points suivants :

- les objectifs et la consistance des travaux ;
- le mode d'exécution qui expose les relations avec l'entrepreneur, le planning des travaux et le matériel à choisir ;
- une description précise des travaux accompagnés, si nécessaire, de schémas explicatifs ou de notice justificative ;
- un plan des secteurs d'intervention, avec la localisation des différentes actions ;
- quelques données sur la provenance, la qualité et la préparation des matériaux à utiliser ;
- les responsabilités de l'entrepreneur et les précautions à prendre.

L'exécution des travaux doit être subdivisée en **deux phases** successives, la première consistant en débroussaillages et recépages de la végétation, et la seconde comprenant les interventions dans le lit et l'enlèvement si nécessaire des atterrissements, déchets divers et embâcles. L'intérêt de cette subdivision réside dans le fait qu'après la première phase, une série de déchets sont nettoyés. Le débroussaillage étant effectué, l'entretien est donc plus facilement réalisé.

Les travaux de la **première phase** sont basés sur l'utilisation de techniques douces notamment pour le choix du matériel : débroussailleuse mécanique, scie à chaîne, girobroyeur, cognée, tronçonneuse, l'utilisation de pelle hydraulique ou de bulldozer étant à limiter. De plus, un marquage à l'avance des arbres à tronçonner permet une meilleure sélectivité au départ.

Pour la **deuxième phase**, l'accent est mis sur un souci permanent de protection de l'environnement, notamment sur les plans paysagers et piscicoles (frayères, caches, refuges à poissons, herbier à protéger) avec localisation sur les plans des secteurs intéressants pour la pêche.

Différentes précautions sont ainsi prises lors des travaux, en particulier pour éviter la remobilisation des sédiments fins susceptibles de colmater les frayères et les zones d'habitat des moules d'eaux douces. Les travaux sont exécutés à partir des rives par des accès sélectionnés au départ (et non par circulation de la machine dans le cours d'eau). Si nécessaire, on procède à une mise à sec d'une portion du cours d'eau limitée à la zone adjacente à la berge à stabiliser.

Ces différentes recommandations peuvent être précisées dans le cahier des charges. Enfin, les plans joints aux explications permettent de localiser les secteurs d'intervention au sein desquels les différents travaux peuvent être notés avec précision. La rédaction d'un tel dossier s'avère essentielle lorsque l'on envisage une concertation préalable à un aménagement. Ce document sert alors en plus d'information au public.

Il est évident, qu'en aucun cas, ce cahier des charges, aussi précis soit-il ne peut remplacer la surveillance et la guidance de travaux sur le terrain.

L'élaboration d'un tel cahier nécessitera évidemment un travail supplémentaire mais il permettra de mieux poser le problème au départ. De plus, il sera à la fois un outil de sélection des entreprises et un argument juridique si le travail est mal réalisé. Il permettra aussi, à terme, de réaliser des économies puisque des travaux bien réalisés ne devront pas être recommencés.

L'entretien de rivière est un travail qui comporte plusieurs risques liés à :

- utilisation d'outils tranchants et coupants (tronçonneuse, sécateur, serpe, etc.)
- conditions de milieu délicates : profondeur de l'eau, pente de la berge, arbres penchés, etc.

C'est donc un travail qui demande beaucoup de technicité et de rigueur et par conséquent un solide encadrement par du personnel qualifié qui veillera plus particulièrement :

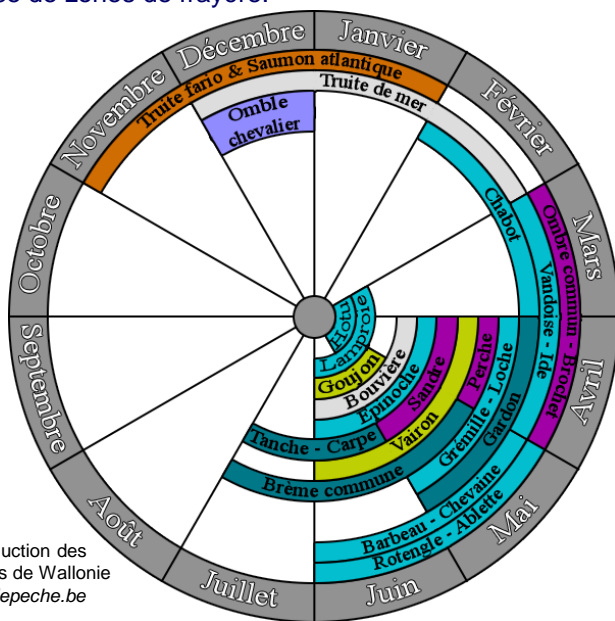
- au respect du port de tenues de sécurité : casques, gants, etc.
- au respect des distances de sécurité et à la coordination des opérations, etc.

Le respect de ces quelques règles garantira de bonnes conditions de travail.

Calendrier

Les travaux de mise en place des ouvrages de protection de berge doivent tenir compte, non seulement des contraintes hydrologiques (périodes de basses eaux plus propices aux travaux) mais également des contraintes écologiques, et ce afin d'éviter des catastrophes environnementales.

Le calendrier des opérations devra donc tenir compte entre autres des périodes de reproduction des espèces piscicoles présentes, ainsi que de la présence de zones de frayère.



Période de reproduction des espèces piscicoles de Wallonie
<http://www.ecoledepeche.be>

Entretien des ouvrages

L'entretien dépendra du contexte local, des aspects techniques de l'ouvrage, des enjeux locaux et du développement végétal souhaité. Un entretien régulier (recepape et coupe sélective tous les 3 ans) est bénéfique pour la végétation s'il est réalisé entre octobre et mars (revitalisation).

Gestion de la ripisylve

Une intervention sur la ripisylve doit viser à préserver, voire à améliorer, l'ensemble des fonctions de la ripisylve (stabilisation de la berge, maillage écologique, ralentissement des crues, etc.). Cette gestion doit s'adapter aux conditions locales (occupation du sol, caractéristiques de la ripisylve, etc.) et aux enjeux locaux (loisirs, écoulement de l'eau, conservation de la nature, etc.).

Il faut toujours avoir le souci permanent de n'intervenir que lorsque cela est réellement nécessaire :

- ne jamais couper sans justification un arbre bien enraciné qui penche sur la rivière, il contribue à la protection de la berge et présente un intérêt esthétique ;
- ne pas abattre un arbre dépérissant ou mort lorsqu'il ne représente pas encore un réel danger car il constitue un refuge pour la faune sauvage (insectes, oiseaux, chauves-souris, etc.).

Néanmoins, l'intervention peut se justifier dans certains cas, comme lorsqu'il faut prévenir le risque de formation d'embâcles, ce qui évitera le recours à des interventions plus lourdes à moyen terme.

Pour améliorer l'état de la ripisylve il faut :

- favoriser l'éclaircissement de la berge (reprise des jeunes plants) ;
- favoriser les espèces efficaces dans la consolidation des berges (aulnes, saules, frênes, etc.) ;
- favoriser les espèces qui améliorent la qualité paysagère et procurent de la nourriture pour la faune (arbustes à baies, etc.) ;
- supprimer progressivement les arbres inadaptés en bord de berge (peupliers, épicéas, etc.) ;
- lutter contre les espèces exotiques envahissantes ;
- planter et bouturer des aulnes et des saules au niveau des zones d'érosion.

Pour prévenir le risque de formation d'embâcles :

- supprimer les troncs et les branches menaçant de tomber ;
- élaguer si nécessaire les branches qui penchent ;
- tailler les buissons qui envahissent le lit.

Plus d'information sur la gestion de la ripisylve dans le guide wallon sur l'entretien des ripisylves : <http://environnement.wallonie.be/publi/entretien-ripisylves.pdf>

Lectures complémentaires

Articles scientifiques et de vulgarisation :

- Anstead L., Boar R.R. (2010) - Willow spiling: review of streambank stabilisation projects in the UK, *Freshwater Reviews*, 3, 33-47.
- Anstead L., Boar R.R. and Tovey N. K. (2012) - The effectiveness of a soil bioengineering solution for river bank stabilisation during flood and drought conditions: two case studies from East Anglia. *Area*, 44, 479-488.
- Dave N., Mittelstet A.R. (2017) - Quantifying Effectiveness of Streambank Stabilisation Practices on Cedar River, Nebraska. *Water*, 9 (12), 930
- Evette A., Frossard P.A. (2009) - Les végétaux ont du génie. *Espaces Naturels*, 26, 35-37.
- Evette A., Labonne S., Rey F., Liebault F., Jancke O., Girel J. (2009) - History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe, *Environmental Management*, 43, 972-984.
- Fischenich, C. (2001) - Stability thresholds for stream restoration materials, Technical report EMRRP SR-29, Vicksburg, MS: USACE ERDC, Environmental Laboratory, 10 p.
- Krymer V., Robert A. (2014) - Stream restoration and cribwall performance: a case study of cribwall monitoring in Southern Ontario, *River Research and Applications*, 30, 865–873.
- Lebois S., Evette A., Recking A. et Favier G. (2016) - Amélioration des méthodes de dimensionnement des ouvrages de génie végétal en berges de cours d'eau par une approche empirique. *Sciences Eaux et Territoires*, Article hors-série n° 27.
- Peeters A., Houbrechts G., Hallot E., Van Campenhout J., Verniers G., Petit F., 2018. Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 24 (2), 121-138
- Rey F., Crosaz Y., Cassotti F., De Matos M. (2015) - Génie végétal, génie biologique et génie écologique : concepts d'hier et d'aujourd'hui, *Revue Sciences Eau & Territoire*, 16, 4-9.
- Veller J.-C., Doyle P.F. (2001) - Field performance of conventional tree revetment bank protection, *Canadian Water Resources Journal*, 26(1), 91-105.

Guides techniques et recueils d'expériences :

- Agence de l'Eau Rhin-Meuse (1997) - Guide de restauration des rivières, 62 p.
- Allen H.H., Leech J.R. (1997) - Bioengineering for Streambank Erosion Control, Report 1: Guidelines, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station Technical Report, EL-97-8. 90 p.
- Batier P. (2004) - Bilan de dix années de protections des berges en génie végétal, bassin de la Touques, 1994-2004, CATER Basse-Normandie - Association P.A.R.A.G.E.S., 33 p.
- Bonin L., Evette A., Frossard P.-A., Prunier P., Roman D., Valé N. (2013) - Génie végétal en rivière de montagne – Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales : végétalisation de berges et ouvrages bois. Grenoble, 318 p.
- COmité du BAssin Hydrographique de la Mauldre et de ses Affluents (COBAHMA) (2007) - Cahier des prescriptions techniques générales d'entretien et de requalification sur le bassin versant de la Mauldre et de ses affluents, Versailles, 87 p.
- Evette A., De Danieli S., Labonne S., Sardat N., Crosaz Y. (2007) - Synthèse et bilan critique des réalisations de génie écologique pour la maîtrise de l'érosion en rivière, Irstea: Grenoble, 99 p.
- Jund S., Paillard C., Kleiber E. (2003) - Retour d'expérience des travaux réalisés en techniques végétales sur les cours d'eau français – Guide technique – Rapport général et fiches techniques, Sinbio, Les études des Agences de l'Eau, 59 p. + fiches
- Lachat B. (1994) - Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales, Ministère de l'Environnement, France, 143 p.
- Söhngen B., Fleischer P. et Liebenstein H. (2018) - German guidelines for designing alternative bank protection measures, *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 6:4, 298-305
- Zeh H. (2007) - Génie biologique, manuel de construction. Société suisse du génie biologique et Fédération Européenne pour le génie biologique, Zurich, 441 p.

Les ouvrages de couverture

Les ouvrages de couverture sont aménagés parallèlement à la surface du talus, comme interface entre le milieu aquatique et le milieu terrestre.

Parmi ces ouvrages on peut citer :

- la plantation
- la plantation d'hélophytes
- l'ensemencement
- le bouturage
- le tapis de branches
- le plançon

Plantation

Description - conception

La plantation est une technique simple de protection de la berge par la mise en terre de végétaux enracinés.

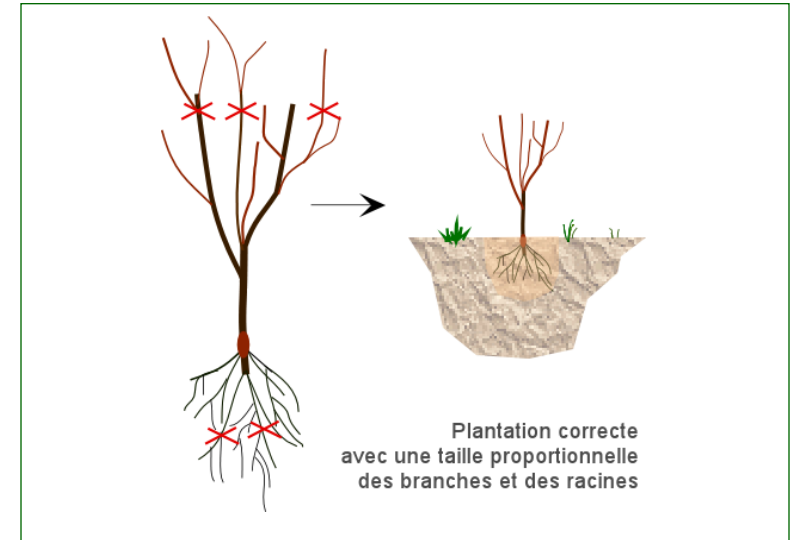
En général, cette technique est appliquée pour des espèces ligneuses, en accompagnement d'autres techniques.

Il est nécessaire de respecter l'ordre naturel des successions végétales sur la berge, la distribution géographique et spatiale de chaque espèce, les besoins physiologiques de chaque espèce, etc. Le choix des espèces doit se faire parmi les essences autochtones (régions, type de substrat, altitude, etc). Les espèces exotiques et ornementales sont à exclure, de même que les résineux et les peupliers.

Il est recommandé d'utiliser des végétaux à racines nues plutôt qu'en pots, godets ou conteneurs, pour éviter les situations de stress au niveau des racines lorsque les plants sont installés dans un nouveau substrat. Les plantations de ligneux sont souvent réalisées en complément d'autres techniques, notamment de stabilisation du pied de berge.

Avantages

- rôle anti-érosif
- rôle de brise-vent (cultures, bétail)
- rôle d'abri (bétail)
- rôle écologique (abri, lieu de reproduction, de déplacement et de nutrition pour de nombreuses espèces animales terrestres et aquatiques)
- rôle paysager (esthétique et récréatif)
- rendement économique éventuel
- entrave à l'installation du rat musqué
- écran aux rayons solaires, diminution du réchauffement des eaux
- mise en œuvre très simple (peu de préparation)
- permet de créer une diversité botanique



Désavantages

- faible efficacité dans un premier temps, mis à part pour l'aulne
- champ d'application restreint, du moins pour des cours d'eau à forte énergie
- entretien nécessaire

Coût

- plantation : 1€ pour la plantation + coût sp. ± 2 € / plant
- entretien végétations : 10 € / m l
- recépage : selon diamètre (voir tableau)

Ø (m)	€ / arbre
< 0,20	4
]0,20-0,50]	25
]0,50-0,80]	50
]0,80-1,10]	100
]1,10-1,50]	170
]1,50-2,50]	340
]2,50-3,00]	380
≥ 3,00	460

Application

- creuser un trou plus ou moins important selon le volume racinaire du sujet à planter, les racines de la plante ne doivent pas être comprimées dans le trou de plantation. Tailler éventuellement le bout des racines tout en conservant le chevelu racinaire.
- placer la plante dans le trou de manière à ce que le collet (limite entre la partie aérienne et le réseau racinaire) soit juste au niveau de la surface.
- remblayer le trou de plantation et bien tasser afin d'éviter tout vide pour garantir une bonne reprise.
- arroser après la plantation.

Les végétaux plantés dans des zones à forte pression animale (cervidés, bovins, rongeurs,...) doivent être protégés (protection individuelle, clôture,...).

La plantation aura lieu pendant le repos végétatif et lorsque les risques de gel et de neige sont réduits au minimum, c'est-à-dire au printemps ou en automne, selon les conditions climatiques locales et les espèces à planter.

En sol lourd, il vaut mieux planter au printemps car l'eau a tendance à stagner dans le sol. De toute manière, il faut planter au plus tard à la fin du mois d'avril.

Le type de plant préconisé est un plant de 2-3 ans qui est livré en trois dimensions : 60-80 cm, 80-100 cm, 100-125 cm, la dimension de 60-80 constituant un strict minimum. Ce type de plant est suffisamment robuste pour tenir tête à la concurrence végétale sous-jacente, ce qui rend superflus les travaux de dégagement. Ils sont également suffisamment petits pour ne pas avoir besoin de tuteur. Ces plants ne doivent pas nécessiter de taille des racines ou des tiges avant plantation.

Il est important de clôturer.

La présence de maladie de l'aulne à proximité est à prendre en compte.

Les plantations doivent surtout être envisagées lors de travaux de terrassement importants, sinon on peut laisser agir la recolonisation naturelle.

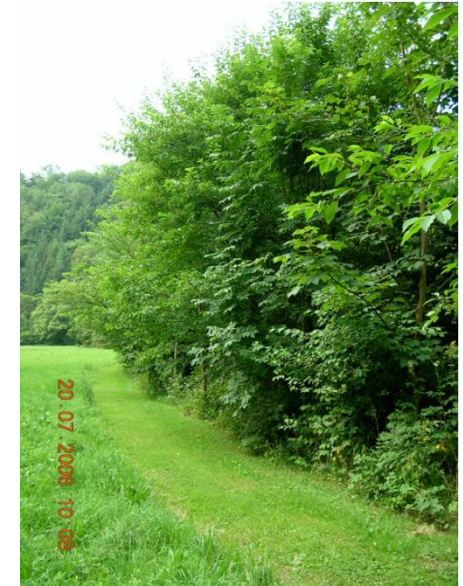


La Lesse à Furfooz, 2005

Entretien

- éclaircir éventuellement un alignement ou bosquet planté trop serré (voir si les arbres se gênent entre eux)
- recéper les plants à 20 cm du sol environ, lorsqu'ils se dégarnissent du bas
- ménager un espace suffisant pour le développement des sujets éduqués en arbre
- préconiser, lors du recépage des plants, de réserver quelques sujets afin de ne pas dégarnir complètement la berge (sujets taillés ultérieurement ou éduqués en arbre)
- effectuer l'entretien par petits tronçons, ne pas dégager toute une berge, ni les deux berges à la fois. Echelonner les travaux au cours de plusieurs années
- Prévoir un entretien de la ripisylve
- choisir l'époque des travaux d'entretien : d'octobre à avril lors du repos végétatif en fonction des conditions météorologiques

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Lesse
Lieu	Furfooz
Date	1995
Description du chantier	Retalutage 6/4 Placement d'un géotextile Ensemencement mélange n°1 et 2 Dethioux Plantation de ligneux
Linéaire	75 m
Suivi	GIREA, 1997, 2000, 2006
Responsable	L.-M. Petiau

Recommandations

Avant plantation

Il faut éventuellement travailler le sol si celui-ci est trop compact pour la plantation.

A la livraison des plants

Attention au dessèchement des racines. Si la plantation ne se fait pas immédiatement, il faut mettre les plants en jauge.

Il est recommandé de transporter avec soi uniquement le nombre de plants nécessaire pour la plantation immédiate, pour éviter le dessèchement des racelles. Il faut éviter d'exposer les plants au soleil et aux vents desséchants du printemps.

A la plantation proprement dite

Le pralinage des racines peut être une opération utile avant la plantation. Elle consiste à plonger les racines dans un mélange de terre et d'eau. Le trou de plantation doit être suffisamment vaste pour que les racines ne soient pas « croquées » ; elles peuvent néanmoins être pliées car elles retrouvent naturellement leur chemin.

La terre doit être tassée au pied du plant après recouvrement des racines, afin d'assurer un bon contact racine-terre et un bon ancrage. L'arrosage des nouvelles plantations est à préconiser, surtout si le sol est ressuyé et si le temps est sec.

Après plantation

Certaines mesures de protection sont parfois nécessaires contre le bétail, le gibier et les rongeurs. Il faut installer une clôture et prévoir un espacement assez large entre la clôture et la rangée ou le groupe d'arbres (au moins 1,50 m) afin de ne pas entraver leur développement durant les premières années.

ESSENCES LIGNEUSES LES PLUS INDIQUEES POUR LES BERGES ET LES RIVES DES COURS D'EAU

D'après DETHIOUX, 1981 (in Fondation Roi Baudouin, 1985) et LACHAT, 1991

ESPECES PRECONISEES	ECOLOGIE	INDICATIONS CULTURALES	DISTRIBUTION EN BELGIQUE						
			Rég. limon.	Condroz	Famenne	Lorraine	Basse	Moyenne	Haute
Auine glutineux <i>Alnus glutinosa</i>	Supporte inondation prolongée (sauf en été) - convient pour zone fort. soumise à l'érosion - bon stabil. berge - enracin. et croissance rapides - héliophile - (A,a-II+3-4-3-X)	Pied berge à 20-40 cm au-dessus du niveau eau dist. plants : 2 x 2m	+	+	+	+	+	±	-
Bouleau verruqueux <i>Betula pendula</i>	Sol pauvre, acide - pionnier de sol fertile ou calcaireux - héliophile - fe. se décomposent rapidement - enracinement traçant croissance rapide - (A,a)	Sp. très décorative à planter bord berge ou sur rive en isolé dist. plant : 3 x 3m	+	+	-	-	+	+	+
Cerisier à grappes <i>Prunus padus</i>	Sol limoneux, caillouteux, humide, enracinement traçant - héliocline - possibilité de bouturage - (a-III±2-4-2-X)	Sp. liée aux forêts alluviales naturelles - très décoratif	+	+	+	*	*	+	-
Cornouiller sanguin <i>Cornus sanguinea</i>	Sol limoneux fertile et profond - peu humide - fe. se décomposent bien - enracinement traçant - (a-III±2-3-3-X)	Haut berge ou rive dist. plant : 1,5x1,5m	+	+	+	+	+	-	-
Coudrier ou noisetier <i>Corylus avellana</i>	Sol relat. fertile et pas trop sec - héliophile - fe. se décomposent rapidement - enracinement oblique dans sol - (a-II±2-2-3-X)	Sommet berge (± 1 m du plan eau) - dist. plant : 1,5 x 1,5m	+	+	+	+	+	-	-
Erable sycomore <i>Acer pseudoplatanus</i>	Sol meuble, profond à bon régime hydrique - fe. se décomposent bien - enrac. en pivot - croiss. rapide (jeunesse) - couv. important - bonne esp. limiter croiss. ortie sur berge et renoncule dans c.e. (A, a-III±2-3-2-x)	Rive - convient en site forestier dist. plant : 1,5 x 1,5m	+	+	+	+	+	-	-
Frêne <i>Fraxinus excelsior</i>	Sol limoneux, profond et fertile - enrac. pivotant - exc. engrage croiss. rapide - héliophile - (A, a, t-III+2-3-3-X)	Remarquable pour bord c.e. dist. plant : 1,5 x 1,5m	+	+	+	+	+	-	-
Prunellier <i>Prunus spinosa</i>	Sol rel. fertile, peu humide, héliophile - fuit milieu trop humide (a-III±2-2-4-x)	Fixe sol par drageons - abris pour petit gibier - planter comme haie : 0,3 à 0,5m	+	+	+	+	+	-	-
Saule blanc <i>Salix alba</i>	Sol humide, fertile, pas trop compact, héliophile - fe. se décomposent rapidement - enracinement traçant - profond bouturage - (A, a, t-III+2-2-3+)	Valeur esthétique supporte inondation dist. plant : 2 x 2m	*	+	+	+	-	-	-
Saule fragile <i>Salix fragilis</i>	Sol limoneux fert. - humide - héliophile - fe. se décomposent bien bouturage - (A, a, t-II+2-3-4+)	Haut. berge par aligne. ou pied isolé - dist. plant : 1 x 1-2 x 2m	+	+	+	+	±	-	-
Saule à 3 étamines <i>Salix triandra</i>	Sol fertile - humide - héliophile - fe. se décomp. bien bouturage - (a-III+2-3-3+)	Berge - dist. plant : 1 x 1m	+	+	+	+	-	-	-
Saule des vanniers <i>Salix viminalis</i>	Sol profond - fertile - humide - héliophile - croissance rapide bouturage - (a-III+2-3-4+)	Intérêt pour couv. et fix. de berge - dist. plant : 1 x 1m	+	+	+	+	-	-	-
Saule à oreillettes <i>Salix aurita</i>	Sp. frugale - forêt humide - non alluviale - dépression humide même marécageuse - héophile - bouturage - (a-III±2-4-3+)	Berge c.e. dist. plant : 1 x 1-1,5 x 1,5m	+	+	+	+	+	+	+
Saule pourpre <i>Salix purpurea</i>	Sp. pionnière sol alluvionnaire - fertile - humide - héliophile enracinement traçant - bouturage - (a-II±1-2-4+)	Berge c.e. à prox. de l'eau dist. plant : 1 x 1m	+	+	+	+	+	-	-
Sorbier des oiseleurs <i>Sorbus aucuparia</i>	Sol léger - meuble - pas trop humide - acidophile - héliophile résiste bien au froid - enracinement type rateau bouturage - (A, a-I(-)-2-3-3)	Rive - plant en align. sur digue décoratif dist. plant : 2 x 2m	-	+	-	-	+	+	+
Sureau noir <i>Sambucus nigra</i>	Sol limoneux - fertile - modérément humide - héliophile - fe. se décomposent rapidement - enracinement traçant (a-II+2-3-3-x)	Essence buissonnante - rive - intér. esth. et nutritionnel dist. plant : 1,5 x 1,5m	+	+	+	+	+	-	-
Viorne obier <i>Viburnum opulus</i>	Sol limoneux - fertile - profond - fe. se décomposent bien enracinement traçant (a-II±3-3-3+)	Sp. buissonnante - berg. - intérêt esth. - dist. plant : 1 x 1m	+	+	+	+	+	-	-

A = arbres
a = arbuste
t = têtard

Acidité
I = 3,5 - 5,5
II = 4,5 - 6,5
III = 5,5 - 8
i = indifférent

Azote
(-) = pauvre
(±) = moyen
(+) = riche

Humus
1 = sans/peu
2 = moyen
3 = beaucoup

Granulométrie
1 = grossier
2 = moyen
3 = fin
4 = très fin

Lumière
1 = ombre
2 = pénombre
3 = mi-lumière
4 = lumière

Multiplication
X = mauvaise
± = moyenne
+ = bonne

Plantation d'hélophytes

Description - conception

L'implantation d'une roselière se fait sur des pentes très douces, inférieures à 1/2, comme dans leur milieu naturel. Néanmoins, il est aussi possible d'installer une roselière sur des berges en pente plus forte (1/1) soumises à de fortes fluctuations du niveau d'eau (jusqu'à 1m50 dans l'essai effectué sur le Rhin, Coradi 1980). Il est donc possible d'implanter des roselières sur des surfaces restreintes et de contrôler ainsi leur aire de colonisation (zone à roselière située entre le niveau moyen d'étiage et le niveau moyen des eaux).



Application

L'implantation d'une roselière peut se faire par :

• Plantation de ballots

Les ballots, d'un diamètre maximum de 30 cm, sont prélevés manuellement ou à la machine. Durant le transport, il faut éviter d'endommager les jeunes tiges. En fonction de la quantité de ballots disponibles, leur implantation se fait côte à côte, ou jusqu'à 50 cm d'écartement (1 m au grand maximum), dans des fossés ou des trous de plantation isolés ; la protection de la berge est assurée après 2-3 périodes de végétation.

• Plantation de rhizomes

Cette méthode est surtout utilisée pour le roseau et le jonc des chaisiers, pour lesquels des rhizomes sont prélevés à l'aide d'un grappin. Ils sont constitués au moins d'un entre-nœud intact, pour ne pas qu'apparaisse une pourriture.

Les rhizomes sont enterrés en vrac dans des fossés d'environ 20-30 cm de profondeur ; ceux-ci sont ensuite recouverts de terre, de sable ou de gravier.

• Plantation de rejets

Cette méthode est surtout utilisée pour le roseau et le jonc des chaisiers, pour lesquels les rejets sont prélevés à la main et plantés verticalement ou obliquement à des intervalles de 20 à 50 cm. Les parties supérieures des rejets doivent dépasser le niveau moyen d'été et la pousse supérieure doit émerger légèrement de la surface du sol. Si le sol est sableux ou boueux, la plantation se fait à la main ; si le substrat est plus dur, les trous sont faits préalablement au moyen d'une bêche ou d'un plantoir (mars-avril est la période de plantation idéale).

Avantages

- bonne protection des berges dans la zone alternativement inondée et exondée
- sédimentation favorisée
- propagation aisée
- biotope pour de nombreux insectes, poissons, oiseaux (abri, reproduction, nutrition)
- diversification paysagère
- pas d'entretien
- rôle épurateur des eaux par assimilation minérale

Désavantage

- n'est pas souhaitable sur de petits cours d'eau à cause de sa tendance à l'envahissement (cours d'eau de moins de 3 m de large et de 50 cm de profondeur)

Choix des espèces

Les espèces les plus aptes à ce type de plantations sont :

- le phragmite (*Phragmites australis*) : il est à planter dans les eaux calmes uniquement, c'est l'espèce dominante dans les roselières naturelles ;
- la baldingère (*Phalaris arundinacea*) : contrairement au roseau, cette espèce se couche lors des crues et ne provoque pas d'obstacle à l'écoulement des eaux ; elle est bien adaptée aux eaux courantes ;
- la massette à larges feuilles (*Typha latifolia*) : affectionne les courants faibles et les eaux eutrophes ;
- le rubanier rameux (*Sparganium erectum*) : s'accommode aux eaux courantes et stagnantes, même un peu saumâtres ;
- l'iris jaune (*Iris pseudacorus*) : convient pour les rivières peu rapides en milieu bien éclairé ;
- le jonc des chaisiers (*Scirpus lacustris*) : pousse dans des eaux relativement profondes et riches en matières minérales dissoutes ;
- la laiche des marais (*Carex acutiformis*) : pousse surtout dans des marécages tourbeux et acides ;
- la glycérie aquatique (*Glyceria maxima*) : préfère les bas de berge en zones calmes.

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Meuse	Dyle
Lieu	Dave	Ottignies
Date	1996	Septembre 2005
Description du chantier	Création d'un haut-fond avec des produits de dragage Plantation en pots et rhizomes	Plantation d'iris, salicaires, eupatoires, lycopes, joncs fleuris...
Linéaire	100 m	+/- 50m
Suivi	GIREA, 1998 - 2004	
Responsable	DNF – cantonnement de Namur	ECOSEM

Recommandations

Si le sol est dur et pierreux, un travail préalable peut être nécessaire : mélanger sur 35 cm de profondeur de la terre fine (argile, sable, craie) et de la tourbe. La plantation se fait normalement au moyen d'un plantoir.

La plantation a lieu dans la zone immergée sur 40 cm maximum en période de crue, sinon tout se fait emporter. De toute façon, la roselière redescend un peu le long de la berge ; éventuellement, il faut abaisser le niveau du sol par rapport au niveau actuel, afin de planter les tiges dans l'eau.

Les poules d'eau et autres canards étant très friands de jeunes pousses de roseaux, il est indiqué de protéger la plantation au moyen d'un treillis recouvrant complètement la zone fraîchement plantée si nécessaire.

En cours d'eau navigable, il est conseillé d'assurer un minimum de protection contre le batillage, en aménageant une banquette protectrice en pierres.

Ensemencement

Description - conception

L'ensemencement est une technique de stabilisation en surface de l'ensemble de la berge, par dispersion de graines d'espèces herbacées, réalisée manuellement ou hydrauliquement. Cette technique est surtout utilisée pour limiter l'érosion superficielle, notamment par ravinement.

Le choix se porte sur des espèces à bon enracinement mais à croissance faible, afin de réduire les travaux d'entretien.

Le mélange grainier, souvent essentiellement composé de graminées, doit néanmoins comporter une proportion de 3 à 10% de légumineuses surtout lorsqu'un effet stabilisateur important est attendu. Les graminées et les légumineuses présentent une excellente complémentarité au niveau de l'utilisation de l'espace aérien et souterrain. Les mélanges comportant une part de légumineuses présentent une meilleure tolérance face à la sécheresse.

Le mélange grainier doit comporter une grande diversité d'espèces (variation des besoins physiologiques entre les espèces), compte tenu que les conditions de croissance sont souvent hétérogènes sur une berge (variation de l'approvisionnement hydrique entre le sommet et le pied de berge par exemple). Une couverture herbeuse diversifiée présente également une valeur écologique supérieure.

L'ensemencement est souvent associé à la pose d'un géotextile biodégradable sur des berges terrassées, de manière à limiter l'érosion superficielle avant le développement complet des herbacées.

Les tapis de graines ont pour avantages une mise en place relativement facile et une protection immédiate car les graines sont protégées du lessivage. Par contre, ils ne sont pas toujours adaptés aux conditions locales au niveau de la qualité des graines. Il existe, sur le marché, divers types de tapis de graines qui diffèrent entre eux par la nature des substrats, l'incorporation d'engrais et les dimensions.

Il est important de ressemer directement après les travaux pour éviter le développement de plantes invasives.

Avantages

- végétation possible là où le boisement est difficile ou peu indiqué (berges à fonction d'écoulement)
- constitue une ouverture dans la galerie forestière continue
- mise en place relativement aisée
- rôle écologique différent de celui des zones boisées (insectes, oiseaux...)
- technique simple (semis à la volée)
- couvert végétal rapide et régulier
- système racinaire de surface évitant l'érosion pluviale et le ruissellement
- permet la pénétration lumineuse sur le cours d'eau et la ripisylve



La Lesse à Furfooz, été 96

Désavantages

- Nécessité d'un talutage plus doux (max. 6/4)
- entretien assidu nécessaire, donc plus onéreux
- atteinte paysagère lorsque les berges enherbées sont trop répandues (monotonie), risque d'envahissement des berges, à la longue, par des plantes nitrophiles (orties) ou autres indésirables (chardons)
- contribution à la multiplication du rat musqué
- conditions écologiques moins favorables à la flore et à la faune sauvage que dans les zones boisées, l'alternance des deux, si possible est plus riche

Coût

Ensemencement : 2,5 € au m²

Fauchage (débroussaillage) : 2 € au m²

Application

L'ensemencement de la berge est réalisé soit manuellement, soit par projection hydraulique, soit encore par l'utilisation de bio-colle, selon des densités variant généralement de 10 à 30 g/m². Si nécessaire, reprofiler la berge et décompacter le sol avant l'ensemencement.

L'ensemencement à sec est généralement plus lent à lever et son adhérence au sol est moins bonne. De ce fait, il doit être uniquement réalisé dans des périodes très favorables pour lesquelles la germination des graines sera rapide (on limitera de ce fait les pertes par ravinement des eaux).

La mise en place se fait au-dessus du niveau moyen des eaux entre le mois d'avril et la mi-juin, de même qu'à partir de début août jusqu'à la fin septembre. On peut procéder par semis ou par implantation de tapis de graines ou de tapis herbacé.

Le sol est travaillé sur une profondeur de 10 cm environ et est ensuite tassé.

Les semences sont répandues sur le sol, de manière assez dense : 20 g/m² sur berges plates et 40 g/m² sur berges abruptes.

Le lit de semences est recouvert d'une fine couche de terre (5 à 10 mm) qui est légèrement tassée.

Entretien

- si nécessaire, faucher les berges à partir de la fin juin, pour respecter la nidification des oiseaux
- faucher avant la floraison des orties pour en limiter la dissémination
- ne pas tondre en une fois les deux berges, ni tout un tronçon enherbé (échelonner les travaux dans le temps et l'espace)
- évacuer les herbes coupées pour limiter l'eutrophisation de l'eau et des berges

Mélange pour verduration des berges (extrait de Dethioux, 1991)

- **N°1** Mélange spécial pour bas de berge sur 0,5 m de haut (valable pour toutes les régions naturelles) :

<i>Phalaris arundinacea</i>	90 %
<i>Agrostis stolonifera</i>	10 %

- **N°2** Mélange spécial pour le reste de la berge naturelle ou même pour toute la berge (valable partout) :

<i>Lolium perenne</i>	16 %	<i>Agrostis stolonifera</i>	5 %
<i>Phalaris arundinacea</i>	15 %	<i>Poa trivialis</i>	5 %
<i>Holcus lanatus</i>	14 %	<i>Plantago lanceolata</i>	5 %
<i>Arrhenatherum elatius</i>	12 %	<i>Phleum pratense</i>	2 %
<i>Dactylis glomerata</i>	10 %	<i>Trifolium repens</i>	2 %
<i>Festuca rubra subsp. Rubra</i>	6 %	<i>Lotus pedunculatus</i>	1 %
<i>Agrostis capillaris</i>	6 %	<i>Achillea millefolium</i>	1 %

- **N°3** Mélange spécial pour le reste de la berge naturelle ou même pour toute la berge, en dehors de l'Ardenne :

<i>Phalaris arundinacea</i>	15 %	<i>Poa trivialis</i>	5 %
<i>Lolium perenne</i>	15 %	<i>Agrostis stolonifera</i>	5 %
<i>Holcus lanatus</i>	14 %	<i>Festuca arundinacea</i>	2 %
<i>Arrhenatherum elatius</i>	11 %	<i>Phleum pratense</i>	2 %
<i>Dactylis glomerata</i>	10 %	<i>Trifolium repens</i>	2 %
<i>Festuca rubra subsp. Rubra</i>	6 %	<i>Achillea millefolium</i>	1 %
<i>Agrostis capillaris</i>	6 %	<i>Lotus pedunculatus</i>	1 %
<i>Plantago lanceolata</i>	5 %		

- **N° 4** Mélange spécial pour les berges artificielles (gabions) à sol superficiel et peu soumis aux crues, c'est-à-dire situées à plus de 0,5 m au-dessus du niveau d'eau moyen (toutes régions) :

<i>Festuca rubra subsp. Rubra</i>	20 %	<i>Agrostis capillaris</i>	5 %
<i>Lolium perenne</i>	19 %	<i>Holcus lanatus</i>	5 %
<i>Festuca rubra subsp. commutata</i>	10 %	<i>Plantago lanceolata</i>	5 %
<i>Festuca rubra subsp. trichophylla</i>	10 %	<i>Phleum pratense</i>	2 %
<i>Arrhenatherum elatius</i>	10 %	<i>Trifolium repens</i>	2 %
<i>Dactylis glomerata</i>	6 %	<i>Achillea millefolium</i>	1 %
<i>Poa pratensis</i>	5 %		

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Lesse	Eau d'Heure
Lieu	Furfooz	Mont-sur-Marchienne
Date	1995	Juin 2006
Description du chantier	Retalutage 6/4, placement d'un géotextile, ensemencement mélange n°1 en bas de berge, n°2 sur le talus	Ensemencement mélange n°2 + bio-colle Enrochements en pied avec plantation d'iris
Linéaire	41 m	~400 m
Responsable	L.-M. Petiau	B. De le Court

Recommandations

Certaines espèces des mélanges « Dethioux » devraient être remplacées par des espèces plus compétitives, notamment : *Festuca rubra*, *Agrostis capillaris*, *Lotus pedunculatus* et *Achillea millefolium*.

CONDITIONS D'UTILISATION DES ESPECES HERBACEES ET SEMI-AQUATIQUES
(d'après DETHIOUX, 1989)

a	espèce annuelle	H	espèce héliophile	g	graines	→	de la plaine à ...
b	espèce bisannuelle	h	espèce hémi-héliophile	p	plants	N	dans la nature
v	espèce vivace	s	espèce sciaphile	r	rhizomes	c	disponible dans le commerce
				S	espèces formant des stolons		- sous forme de graines (g) - sous forme de plants (p)

		Longévité	Exigences lumineuses	Zone préférentielle	Mode d'implantation	Région	Source d'approvisionnement
Achillée sternutatoire	<i>Achillea ptarmica</i> L.	v	H	bas de berge	p - g	partout	N
Acore	<i>Acorus calamus</i> L.	v	H	eau-bas de berge	r	→ moy. Ard.	N - c(p)
Agropyre de chiens	<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	v	h	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N
Agrostide blanche	<i>Agrostis stolonifera</i> L.	v	H	toute la berge	g	partout	N - c(g)
Alliaire	<i>Alliaria petiolata</i> (Bieb.) Cav. & Gr.	b	h	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N
Angélique sauvage	<i>Angelica sylvestris</i> L.	b	H	moitié inf. berge	g	partout	N
Armoise commune	<i>Artemisia vulgaris</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Baldingère	<i>Phalaris arundinacea</i> L.	v	H	moitié inf. berge	g - r	→ haute Ard.	N - c(g-p)
Balsamine des bois	<i>Impatiens noli-tangere</i> L.	a	H	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N
Balsamine géante	<i>Impatiens glandulifera</i> L.	a	H	moitié sup. berge	g	→ Famenne	N
Berce	<i>Heracleum sphondylium</i> L.	b	h	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Bident tripartit	<i>Bidens tripartita</i> L.	a	H	bas de berge	g	→ moy. Ard.	N
Bistorte	<i>Polygonum bistorta</i> L.	v	H	bas de berge	r	→ haute Ard.	N - c(p)
Caille-lait blanc	<i>Galium mollugo</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Canche cespituse	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv.	v	h	moitié inf. berge	g	partout	N - c(g)
Cerastée aquatique	<i>Myosoton aquaticum</i> (L.) Moench	a	H	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N
Chiendent	<i>Elymus repens</i> (L.) Gould	v	H	toute la berge	g - r	→ moy. Ard.	N - c(g)
Cirse des champs	<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	v	H	moitié sup. berge	g	partout	N
Cirse des marais	<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	b	H	toute la berge	g	partout	N - c(p)
Compagnon rouge	<i>Melandrium dioicum</i> (L.) Coss. & Germ.	v	h	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N
Consoude officinale	<i>Symphytum officinale</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ basse Ard.	N
Dactyle vulgaire	<i>Dactylis glomerata</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ haute Ard.	N - c(g)
Epiaire des bois	<i>Stachys sylvatica</i> L.	v	s	mi-berge	r	→ moy. Ard.	N
Epiaire des marais	<i>Stachys palustris</i> L.	v	H	moitié inf. berge	r	→ moy. Ard.	N
Epilobe hérissé	<i>Epilobium hirsutum</i> L.	v	H	moitié inf. berge	g - r	→ moy. Ard.	N
Fétuque géante	<i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill.	v	s	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N
Fromental	<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) Beauv. ex J. & C. Presl	v	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Gaillet croisettes	<i>Cruciata laevipes</i> Opiz	v	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N
Glycérie aquatique	<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmberg	v	H	eau-bas de berge	g - r	→ basse Ard.	N - c(p)
Glycérie flottante	<i>Glyceria fluitans</i> (L.) R. Brown	v	H	eau-bas de berge	g	partout	N
Gratteron	<i>Galium aparine</i> L.	a	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Houblon	<i>Humulus lupulus</i> L.	v	h	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Iris jaune	<i>Iris pseudacorus</i> L.	v	h/H	eau-bas de berge	r	→ moy. Ard.	N - c(p)
Jonc épars	<i>Juncus effusus</i> L.	v	H	moitié inf. berge	g - p	→ haute Ard.	N - c(p)
Laïche aiguë	<i>Carex acuta</i> L.	v	H	eau-bas de berge	r - p	→ moy. Ard.	N - c(p)
Lamier maculé	<i>Lamium maculatum</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ Famenne-Lor. belg.	N
Lierre terrestre	<i>Glechoma hederacea</i> L.	v	h	mi-berge	g	→ moy. Ard.	N
Liseron des haies	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Brown	v	H	toute la berge	r - g	→ moy. Ard.	N
Lycopce	<i>Lycopus europaeus</i> L.	v	h	bas de berge	g	→ moy. Ard.	N
Lysimaque commune	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	v	H	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(p)
Massette à larges feuilles	<i>Typha latifolia</i> L.	v	H	eau-bas de berge	r - g	→ moy. Ard.	N - c(p)
Morelle douce-amère	<i>Solanum dulcamara</i> L.	v	h	bas de berge	g	→ basse Ard.	N
Ortie (grande)	<i>Urtica dioica</i> L.	v	h	toute la berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Patience à feuilles obtuses	<i>Rumex obtusifolius</i> L.	v	H	toute la berge	g	→ moy. Ard.	N
Patience crépue	<i>Rumex crispus</i> L.	v	H	toute la berge	g	→ moy. Ard.	N
Patience des eaux	<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.	v	H	eau-bas de berge	g - r	→ Famenne	N
Pâturin commun	<i>Poa trivialis</i> L.	v	h	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Pétasite officinal	<i>Petasites hybridus</i> (L.) Gaerth, B. Mey. & Scherb.	v	H	moitié inf. berge	r	→ moy. Ard.	N - c(p)
Podagraire	<i>Aegopodium podagraria</i> L.	v	h	moitié sup. berge	r	→ moy. Ard.	N
Poire d'eau	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	a	H	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N
Reine des prés	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	v	H	moitié inf. berge	r - g	partout	N
Renoncule rampante	<i>Ranunculus repens</i> L.	v	h	toute la berge	S - g	partout	N - c(g)
Roseau	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	v	H	eau-bas de berge	r - g	→ basse Ard.	N - c(p)
Rubanier rameux	<i>Sparganium erectum</i> L.	v	H	eau-bas de berge	r	→ moy. Ard.	N - c(p)
Salicaire commune	<i>Lythrum salicaria</i> L.	v	H	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(p)
Scrofolaire aliée	<i>Scrophularia umbrosa</i> Dum.	v	H	moitié inf. berge	g	→ basse Ard.	N
Stellaire des bois	<i>Stellaria nemorum</i> L.	v	s	moitié inf. berge	g	→ moy. Ard.	N
Tanaïse	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	v	H	moitié sup. berge	g	→ moy. Ard.	N - c(g)
Topinambour	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	v	H	moitié sup. berge	r	→ basse Ard.	N
Valériane officinale à rejets	<i>Valeriana repens</i> Host	v	h	moitié inf. berge	r	→ moy. Ard.	N
Véronique des ruisseaux	<i>Veronica beccabunga</i> L.	v	H	eau-bas de berge	r	→ haute Ard.	N - c(p)

Bouturage

Description - conception

Une bouture est un segment de branche (diamètre 2-4 cm, longueur 40-100 cm) ayant une forte capacité de rejets, que l'on plante isolément ou en groupe et qui, en poussant, forme un nouveau buisson, un nouvel arbre.

Cette technique utilise la capacité qu'ont certains végétaux, principalement les saules, de développer des racines adventives à partir d'un morceau de branche séparé de la plante mère.

Cette technique est adaptée à des berges peu soumises à l'érosion, elle permet une revégétalisation rapide des berges, mais nécessite de bonnes conditions hydriques du sol (implantation des boutures souvent limitée au bas de la berge).

La mise en place de boutures à travers un géotextile biodégradable est possible sans découpe préalable.

Les principales espèces de saules préconisées pour le bouturage sont :

Espèces à développement buissonnant et arbustif (ped de berge)	Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>
	Saule à trois étamines	<i>Salix triandra</i>
	Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>
Espèces à développement arborescent (haut de berge)	Saule blanc	<i>Salix alba</i>
	Saule fragile	<i>Salix fragilis</i>
	Saule hybride (blanc fragile)	<i>Salix rubens</i>

Cette liste est non exhaustive et doit être adaptée et complétée pour chaque cours d'eau et pour chaque situation.

Toutes les espèces ne se prêtent pas au bouturage. Les boutures en général, sont prélevées sur des arbres locaux et sur les exemplaires croissant le mieux et exempts de maladies, ce qui leur assure un maximum de chances d'adaptation. Elles ont une longueur de 50 à 100 cm environ et sont prélevées sur des pousses de 1 à 2 ans maximum.

Le bouturage a lieu au printemps afin d'éviter la destruction des boutures par les crues hivernales.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de stabiliser le pied de berge. Le bouturage peut être appliqué en compléments d'autres techniques tels les peignes, les caissons, etc.

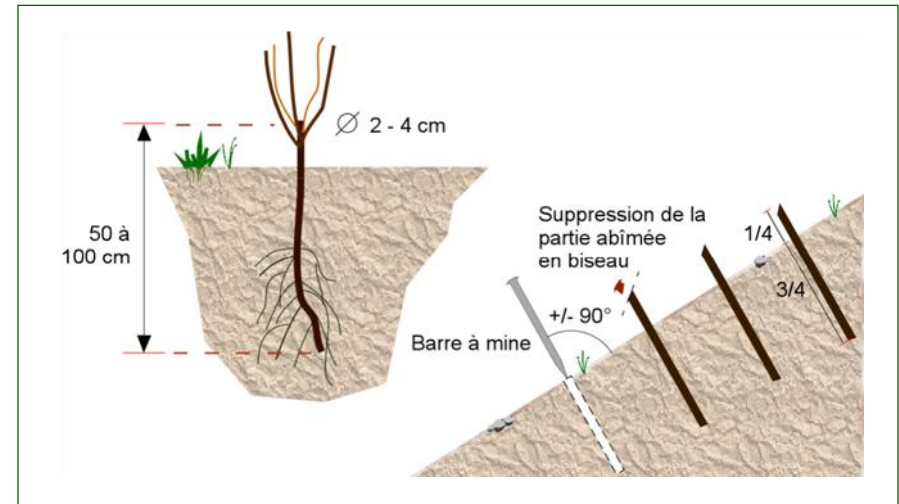
Il faut distinguer les grandes boutures (1,5 m - 0,5 m enfoncement) placées en haut de berge, des petites boutures placées en bas de berge (2/3 d'enfoncement).

Avantages

- méthode économique et simple pour la stabilisation des talus et berges peu menacées
- enracinement et reverdissement rapide
- adaptation des boutures aux conditions locales
- coût réduit des plans qui se limite aux frais de main-d'œuvre pour leur récolte et leur plantation
- rapidité relative de la plantation (au moyen d'un plantoir)

Désavantages

- effet ponctuel et peu stabilisant au niveau mécanique avant que les boutures aient repris (1 à 2 périodes de végétations)
- implication de la présence de saules adéquats en suffisance et à proximité du lieu de plantation
- dimension réduite des plants qui les rend vulnérables aux agressions climatiques, aux eaux, à la végétation envahissante, au rongeurs et au bétail. Une protection et des travaux de dégagement sont donc à envisager.



Application

- débroussailler
- terrasser la berge pour obtenir la pente désirée
- placer un géotextile si nécessaire, le fixer avec des agrafes
- creuser des trous à l'aide d'une barre à mine aux lieux d'implantation des boutures
- mettre en place les boutures (L. 50 à 100 cm, diamètre 2 à 4 cm) enfoncées au 3/4 de leur longueur (respecter la polarité de la tige)
- couper l'extrémité des boutures en biseau pour éviter la stagnation de l'eau
- bien tasser la terre après le placement des boutures
- ensemercer au dessus du géotextile si nécessaire
- densité de plantation : 1 à 5 pièces / m² ou en ligne
- chantier : de mars à avril

Les boutures sont en général plantées à des écartements de 30 à 50 cm. Le but est d'obtenir rapidement une couverture végétale entravant le développement d'une végétation herbacée envahissante.

Coût

- 10 € / bouture (comportant prélèvement, transport et main d'œuvre)

Entretien

- arrosage si nécessaire
- débroussaillage la 1^{ère} année

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Lesse	Geer	Mehaigne	Ligne
Lieu	Furfooz- rive droite	Eben-Emael	Ambresin (Wasseiges)	Saint-Martin
Date	1995	1983	2006	2002
Description du chantier	retalutage + géotextile + boutures de saules en pied, plantation d'iris et ensemencement mélange n°1	essai de bouturage de <i>Salix alba</i>	bouturage / peigne	bouturage / peigne
Linéaire	75 m	~ 100 m	~ 10 m	~ 20 m
Suivi	GIREA, 1997, 2000, 2006		LHGF, 2007	LHGF, 2016 Bonne reprise des bouture et bonne stabilité de la berge
Responsable	L.-M. Petiau	M. Gilliquet (réalis. Dethioux)	P. Otte	B. De le Court

Recommandations

- S'attendre à un taux de reprise plus faible sur des terrains compacts où l'enracinement serait difficile (ex. Viroin à Vierves)
- Les boutures doivent être serrées dans le trou, mais il n'est pas évident d'adapter le diamètre de la barre à mine à celui (variable) des boutures
- Sauf sur sol très compact et caillouteux, on peut enfoncer les boutures à la main en s'aidant d'une masse-maillet (penser à recouper la tête abîmée par la suite)
- Il est important de bien enfoncer les boutures et d'assurer le suivi de leur reprise
- Les boutures peuvent être mises au frigo en sac plastique avant utilisation

Tapis de branches

Description - conception

Le tapis vivant est une protection de berge par couverture d'éléments ligneux susceptibles d'une végétation immédiate et destiné à protéger et à consolider la partie supérieure des berges.

La technique consiste à plaquer des couches de branches vivantes (dont la base est recouverte de terre) contre la berge maintenues par des pieux reliés entre eux. Le but principal consiste à dissiper le courant et permettre un dépôt d'alluvions.

C'est une technique adaptée aux berges soumises à de fortes contraintes érosives qui nécessite de bons sols (matériaux terreux) pour une reprise et un développement optimum.

La couche de branches permet la formation rapide de saulaies denses et résistantes sur la berge.

Le matériau est constitué essentiellement de baguettes ébranchées de saule des vanniers ou de saule pourpre de Ø 1,5 cm – 6 cm et de longueur comprise entre 2 et 5 m. Les opérations de prélèvement sont identiques aux opérations décrites pour les fascines. Il en est de même pour le transport.

Avantages

- efficace à court terme
- végétalisation rapide
- système racinaire dense
- dissipation du courant
- dépôt d'alluvions
- abri pour faune terrestre et semi-aquatique

Entretien

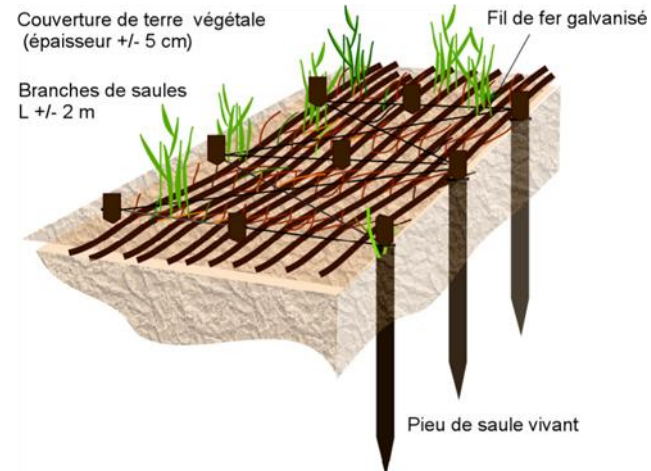
- taille des rejets
- éclaircie des pousses
- recépage tous les 3 ans

Désavantages

- consommation importante de saules
- fort impénétrable après réalisation

Coût

- 25 à 40 € / m² (données 2009)



Application

Epoque : de septembre à avril

- terrasser la berge afin d'obtenir une surface la plus régulière possible
- disposer 20 à 30 branches de saule vivant (longueur \geq 2 m, Ø 2 à 4 cm) par mètre linéaire de berge et dans le sens de la pente, côte à côte de manière à bien recouvrir le sol. La base des branches doit être au contact de l'eau.
- fixer et plaquer les couches de branches au sol en reliant les pieux entre eux avec du fil de fer galvanisé ; après fixation, enfoncer une seconde fois les pieux afin de bien comprimer les branches sur la berge
- recouvrir le lit de branches de \pm 5 cm d'épaisseur de terre végétale, au maximum, de manière à laisser encore apparaître les branches
- enfoncer les pieux par battage mécanique permettant de fixer le tapis vivant. Les pieux seront identiques à ceux utilisés pour fixer les fascines. La fiche des pieux sera toutefois limitée à 1 m. Ils seront écartés à 1 m de distance dans le sens de la verticale du talus et à 0,50 m dans le sens parallèle à l'écoulement de l'eau de la rivière
- prévoir une épaisseur de 3 couches de branches minimum
- fixer les couches de baguettes aux pieux par du câble de Ø 4 mm minimum
- presser les baguettes inférieures contre le sol par le câble solidement fixé de pieu à pieu (un tour mort du câble coincé dans une gorge et deux clames à chaque pieu)

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Lesse	Lesse	
Lieu	Furfooz	Pont à Lesse	
Date	1995	2002	
Description du chantier	essai de tapis de branches de saules	Tapis vivant de saule <i>Salix viminalis</i> et <i>triandra</i> en crête de berge au-dessus du mur en enrochement	Bonne reprise malgré saison tardive (arrosage les 10 premiers jours) et remarquable tenue après la crue (1 m d'eau et courant très violent (1 bloc de 40 cm dans la prairie !) Bon rôle de filtre à galets
Linéaire	petite superficie	20 m	
Responsable	L.-M. Petiau	B. De le Court	

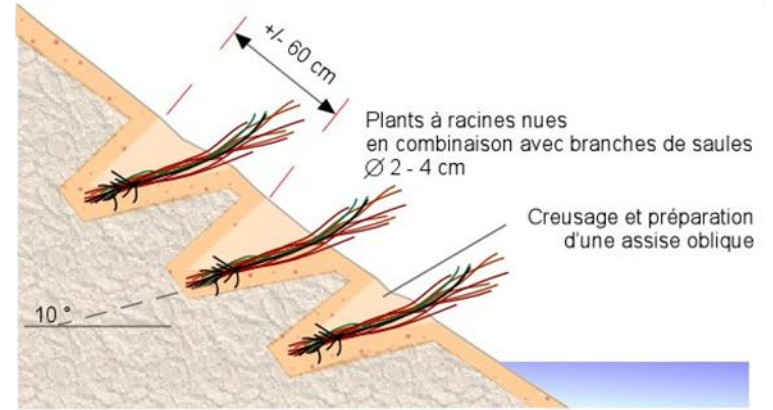
Plançon

Description - conception

Le plançon est composé de branches de saules capables de rejeter ainsi que de plants à racines nues qui sont disposés côte à côte en rang serré, dans de petites tranchées sur plusieurs niveaux.

Les branches ont un effet drainant et stabilisent bien des fonds mouvants. La structure créée par les rangées de branches diminue l'érosion superficielle par ruissellement et prévient les glissements de terrain superficiels.

Cette technique offre une très bonne garantie de reprise des végétaux (enracinement profond et rapide dans la berge). Elle est adaptée à des pentes raides et sujettes au glissement.



Avantages

- consolidation rapide
- effet de protection immédiat
- technique très simple
- bon marché
- enracinement profond et dense
- dissipation du courant
- caches sous berge

Désavantages

- nécessite beaucoup de matériel végétal

Coût

- 15 à 25 € / mL / étage (données 2009)

Entretien

- taille et sélection des rejets
- regarnissage éventuel

Application

Epoque : de septembre à avril

- coucher les unes à côté des autres, des branches de saules vivants à raison d'au moins 20 branches par mètre linéaire. La base des branches est dirigée côté rive et elles ne doivent pas dépasser le front de la berge de plus du tiers de leur longueur
- des plants à racines nues peuvent également être couchés et intercalés entre les branches de saules à raison de 1 à 5 plants par mètre linéaire
- une fois couverte de branches, la plate-forme est remblayée avec le matériel excavé ou avec des matériaux terreux rapportés, puis compactée pour éviter les vides et pour que les branches soient en contact avec la terre sur toute la longueur enfouie
- plusieurs lits peuvent être superposés au-dessus des autres et les matériaux entre les lits peuvent être renforcés par un géotextile
- utilisation en pied ou sur le talus

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Everatte
Lieu	Jura Suisse
Date	2001
Description du chantier	Lit de plançons + géotextile Tressage en pied
Linéaire	Courbe de méandre
Responsable	Bureau Biotec - Bernard Lachat

Recommandations

Les lits de plançons sont peu réalisés en Région wallonne mis à part pour éviter l'affouillement

Les ouvrages de pied de berge

Les ouvrages de pied sont aménagés aux endroits menacés par l'érosion dans le profil transversal du cours d'eau au niveau de la ligne de contact entre le plan d'eau et la berge.

Ces aménagements doivent empêcher l'affouillement.

On distingue différentes techniques :

- le fascinage
- la fascine d'hélophytes
- le peigne
- le tressage et le clayonnage

Fascinage

Description - conception

La fascine de saules est une protection du pied de berge réalisée avec des branches de saules vivants, assemblées en fagots et fixées par une rangée de pieux (fascine simple) ou disposées par couches successives entre deux rangées de pieux (fascine double). C'est une technique efficace qui apporte une protection mécanique immédiate, capable de résister à de fortes contraintes hydrauliques (puissances spécifiques supérieures à 130 W/m²).

Les fagots peuvent contenir en leur centre un noyau fait de matériaux terreux. Ces fascines de lestage complètent la protection du pied de berge.

Cette technique constitue, par son effet mécanique, une protection stable dès la mise en place, même avant que les végétaux aient repris. Elle permet la réalisation d'épis vivants sur les bords des cours d'eau.

Des branches anti-affouillement en dessous et en arrière des fagots de saules peuvent être placées pour limiter l'effet d'affouillement. Les branches des fagots reprendront et créeront un linéaire de saules le long de la berge. Le système racinaire puissant des saules empêchera l'érosion.

La confection de la fascine doit être précédée d'une préparation du terrain qui consiste à réaliser une petite plateforme (léger terrassement du pied de berge) en guise d'assise à l'ouvrage.

Avantages

- protection solide à effet immédiat
- dissipation du courant
- supporte bien les étiages
- s'adapte bien aux irrégularités de la berge
- propose des habitats divers (faune, flore)

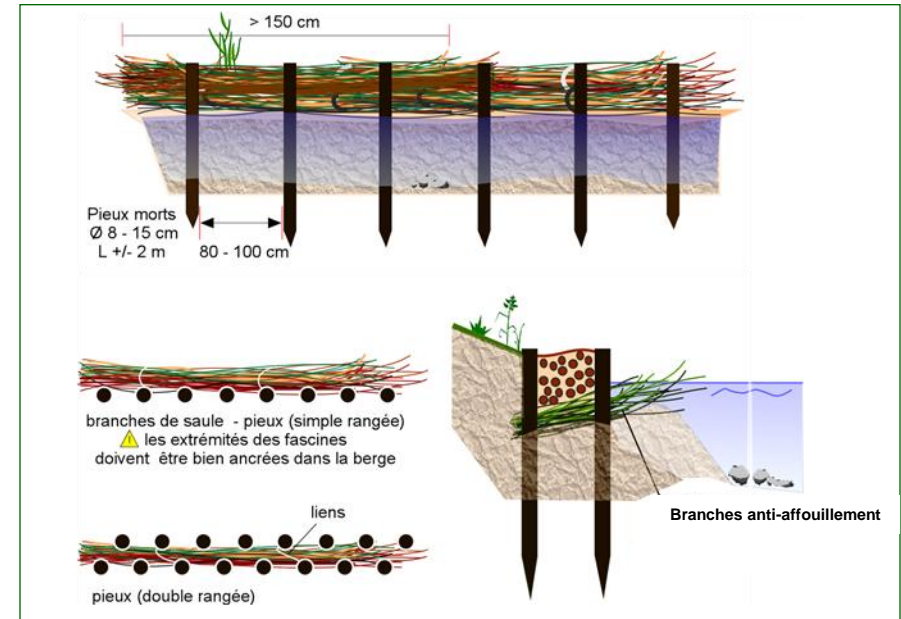
Désavantages

- technique qui nécessite de grandes quantités de matière végétale (pieux et branches de saules)
- ouvrage plus vulnérables aux crues lorsqu'il présente un angle supérieur à 45° avec le courant
- sur les cours d'eau de faible largeur, le développement des saules peut entraver le gabarit du cours d'eau (surtout si aucun entretien n'est réalisé)

Application

Epoque : de septembre à mai.

- l'entreprise prélèvera aux endroits désignés des branches vivantes de saule de longueur minimum de 200 cm et de Ø 2-6 cm. Les branches seront sectionnées sur les arbres à l'aide d'un sécateur à enclume. Le bris et le sciage sont interdits. Les branches seront transportées en camion bâché.
- les fascines seront assemblées aussitôt après prélèvement sur le lieu de mise en œuvre en formant des fagots bien compressés de 5 m de longueur max. et d'un diamètre fini compris entre 30 et 40 cm. Les ligatures d'assemblage se font tous les 80 cm à l'aide de fil galvanisé de Ø 2 mm. La fascine peut également être mise en forme par enrobage dans du géotextile de coco de 730 gr / m².
- dans un délai de maximum 24 h après prélèvement (sauf si elles sont mises en jauge les pieds dans l'eau), les fascines seront posées dans un berceau creusé en pied de berge de façon à ce que la base du fagot soit bien en contact avec le sol. Si le sol est trop caillouteux, l'entrepreneur mettra en œuvre une couche de terre d'au moins 30 cm permettant l'enracinement.



- les fascines seront posées en se succédant d'aval vers l'amont et en superposant, l'extrémité aval sur l'amont de la précédente. La base des branches est toujours dirigée vers l'amont. Le recouvrement par la fascine suivante est de l'ordre d'1 m.
- la fixation en berge est assurée par des pieux en bois. Les pieux auront une longueur d'au moins 2 m et le Ø atteindra 7 à 15 cm. Les pieux seront écartés de 50 cm à 1 m de part et d'autre de la fascine et battus mécaniquement. Les essences utilisées sont le mélèze, l'épicéas et le robinier pour les pieux inertes, et le saule pour les pieux vivants. Les pieux métalliques sont à proscrire. Les ligatures seront réalisées en câble d'acier de Ø 3 mm minimum ou en fil de fer de 4 mm minimum. Les pieux seront rebattus afin d'assurer le compactage et le maintien. La fiche des pieux dans le substrat ou la berge atteindra 1,5 m minimum.
- la protection réalisée en fascines sera prolongée de 2 m vers l'amont en ancrant le dispositif dans la berge. Pour ce faire, on enterrera le pied de la première fascine dans une fosse creusée dans la berge. La fosse sera adaptée au gabarit de la fascine et atteindra 1 m en terre. La fixation par pieux et câble se poursuivra dans cette fosse qui sera comblée de remblais terreux et recouverte par du géotextile de coco sur toute sa surface.
- l'extrémité des pieux sera recoupée après un dernier battage.
- si nécessaire, des branches de saule seront disposées au pied de l'ouvrage, perpendiculairement au courant à raison de 30 à 50 pièces par mètre linéaire, et ce afin de limiter un éventuel affouillement.

Entretien

- recépage, si développement trop important
- contrôle de la tenue des pieux

Coût

- 47 € / mètre linéaire

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Gueule	Néblon	Berwinne
Lieu	Plombières	Néblon-le-Moulin	Berneau
Date	Avril 1996	Mars 1996	Printemps 2000
Description du chantier	Fascine à double rangée de pieux métalliques, talus ensemencé et planté	Fascines à rangée de pieux métalliques (avec retalutage préalable de la berge), talus ensemencé et planté	Retalutage 6/4, fascine à simple rangée de pieux en bois, remplissage en saule et en galets. Talus de la berge : géotextile, avec ensemencement (mélange n°2 Dethioux) et plantation arbustes
Linéaire	200 m	15 m	+/- 200 m
Suivi	GIREA, 2006 ; LHGF, 2017 Fascines toujours en place et berge stabilisée	LHGF, 2018 Fascines détruites mais berge stabilisée (talus bien végétalisé)	GIREA / LHGF, 2003 ; LHGF, 2016 Fascines détruites mais berge stabilisée (talus bien végétalisé) Causes de destruction : remplissage inadapté (galets), éventuellement espacement trop important entre les pieux
Responsable	M. Gilliquet	M. Gilliquet	M. Gilliquet



Février 2018



Janvier 2018



2003

Mars 2003



Mars 2006

2006

Cours d'eau	Lhaye	Orne	Eau d'Heure
Lieu	Celles	Court-Saint-Etienne	Pry-Lez-Walcourt
Date	Printemps 1997	2003	Printemps 2003
Description du chantier	Fascines à double rangée de pieux, remblais terreux à l'arrière de la fascine	Fascines à double rangée de pieux (avec retalutage préalable de la berge), fagots composés exclusivement de saule blanc	Fascines à double rangée de pieux (avec retalutage préalable de la berge) + épis vivants
Linéaire	+/- 200 m	160 m	50 m
Suivi	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Fascines détruites, légère reprise d'érosion Causes de destruction : rats musqués, coupes non contrôlées	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Fascines localement détruites, pas de reprise d'érosion ; fascines localement bien développées, fascines localement recepées par les castors Causes de destruction : castors, coupes non contrôlées et pulvérisation par les riverains	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Fascines toujours en place et berge stabilisée Faible développement de la végétation sur le talus de la berge, lié entre autres au bétail (mauvais clôturage)
Responsable	J. Lecomte	J.-L. Biermez	B. De le Court

Recommandations

- Les branches de saules doivent être constituées d'espèces différentes afin de diversifier l'aménagement
- Les fagots de branches doivent être bien tassés et compactés pour obtenir un développement important de la fascine
- Les pieux sont placés en quinconce pour obtenir une retenue optimale des fagots
- Les branches anti-affouillement (ramilles de saules) placées sous les fagots aident à éviter l'affouillement du pied de berge. Celles placées en arrière des fagots permettent de protéger la zone de transition entre la fascine et le talus de berge sus-jacent, qui constitue un point de faiblesse. Il est recommandé d'utiliser des branches de saule en densité élevée (25 pièces par mètre), de les dresser et de les appuyer contre la fascine
- Il peut être utile d'entourer la fascine d'un géotextile, il sera alors mis en place avec les branches de saules (fagots)
- Les fascines de saules se sont révélées parfois d'une application assez délicates pour deux raisons principales : primo la difficulté de trouver des arbres localement pour fournir la matière première, secundo les ravages occasionnés par le rat musqué sur les jeunes pousses. Il faut donc prévoir un piégeage préliminaire.
- Les fascines doivent être protégées de l'accès du bétail par une clôture efficace, placée à distance suffisante.

Fascine d'hélophytes

Description - conception

Les hélophytes sont des végétaux semi-aquatiques développant un enracinement puissant apte à fixer le bas de la berge des cours d'eau et les atterrissements que l'on souhaite voir stabilisés.

La fascine d'hélophytes est une protection du pied de berge réalisée avec des végétaux hélophytes (semi-aquatiques) plantés dans un boudin de géotextile rempli de matériaux terreux et fixé par une ou deux rangées de pieux.

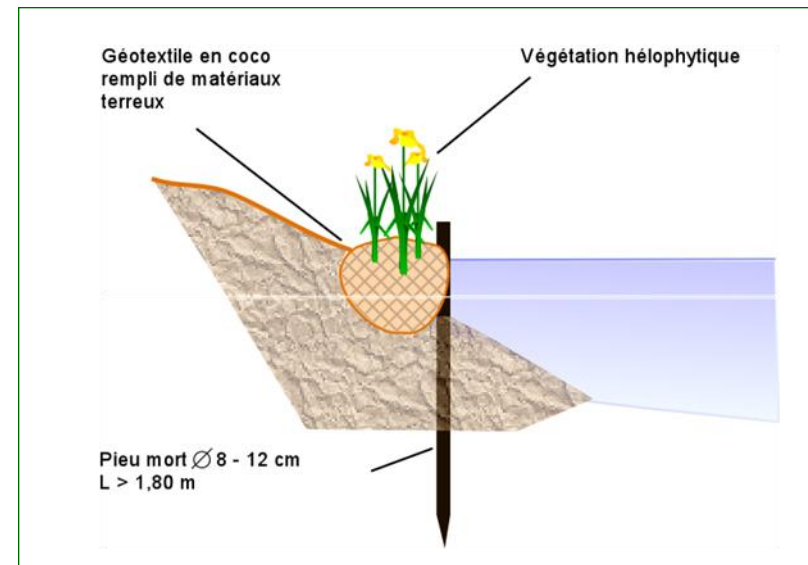
C'est une technique appropriée aux cours d'eau à faible pente et à faible transport solide.

La fascine d'hélophytes constitue une alternative intéressante aux techniques de protection du pied de berge utilisant la végétation ligneuse (tressage et fascines de saules). Elle permet de préserver un milieu ouvert (sans écran végétal) souvent recherché en milieu urbain ou canalisé ou pour la pêche.

Cette technique, du fait d'un développement végétal limité (comparée à la végétation ligneuse), est très intéressante pour les cours d'eau à faible gabarit hydraulique (entretien limité).

Elle est particulièrement adaptée aux cours d'eau navigables soumis au batillage.

C'est l'une des techniques les plus utilisées en génie végétal car elle permet une protection rapide et efficace. Elle ne nécessite que très peu d'entretien.



Application

- réaliser une risberme avant la confection de la fascine (léger terrassement du pied de berge) en guise d'assise à l'ouvrage
- disposer parallèlement au cours d'eau un treillis de coco, type H2M5, 740 g/m²
- tapisser l'intérieur du treillis avec un feutre de coco non tissé, 1050 g/m², épaisseur 2 cm
- replier le treillis de manière à former un boudin, après l'avoir rempli de matériaux terreux. Refermer le boudin et ficeler les deux couches de géotextile
- enfoncer mécaniquement à travers le boudin fini une rangée de pieux non vivants (diamètre 7 à 10 cm, longueur ≥ 150 cm) espacés tous les 60 à 100 cm, après avoir pris soin de découper le treillis de coco pour éviter tout risque de déchirure lors du battage des pieux
- attacher le boudin aux pieux avec du fil de fer galvanisé et des crampons, puis battre une seconde fois les pieux pour plaquer l'ouvrage au sol
- mettre en place environ 4-5 mottes par mètre linéaire de plantes hélophytes, en faisant une légère découpe dans le treillis et le feutre de coco. Après plantation, refermer le boudin au moyen d'agrafes ou en attachant le treillis avec de la ficelle agricole
- remblayer éventuellement l'arrière de l'ouvrage avec des matériaux terreux

Avantages

- alternative aux fascines de saules
- ne nécessite pas d'entretien
- diversification végétale

Désavantages

- Peu de retour d'expérience sur leur résistance face aux crues

Coût

- 3,5 € / plant (hors transport)

Entretien

- nul

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Rivière Magog	Dyle
Lieu	Sherbrooke (Québec)	Ottignies
Date	1998	Septembre 2005
Description du chantier	Boudin de coco planté d' <i>Iris pseudacorus</i>	Boudins ± 1,2 m remplis de terreau et plantés d'iris avant pied en gabions
Linéaire		+/- 50 m
Responsable		ECOSEM www.ecosem.be



Recommandations

- La pépinière du DNF Namur à Marche-les-Dames peut fournir différentes espèces d'hélophytes

Peigne

Description - conception

Destiné à protéger le pied de berge, le peigne est constitué par un entassement de grosses branches et d'arbres solidement attachés de manière à former un ensemble végétal capable de piéger les éléments en suspension dans l'eau. La densité des branches réduit la vitesse d'écoulement dans le peigne, ce qui favorise la sédimentation des sédiments fins dans le peigne et reconstitue ainsi le pied de berge. Son efficacité dépend donc de l'apport en sédiments fins, donc de l'occurrence de crues qui le submergent et de la quantité de Matières En Suspension (MES) transportée par la rivière.

L'utilisation du peigne n'apparaît pas judicieuse sur les cours d'eau à forte énergie car sa destruction est favorisée et la sédimentation au sein de l'ouvrage n'est pas facilitée. Ainsi, pour des conditions optimales (tronçon rectiligne, berge retalutée), ils peuvent résister à des puissances atteignant au moins 65 W/m² pour des peignes remplis en sédiments fins et 50 W/m² pour des peignes non encore remplis. Ces valeurs limites sont inférieures pour des secteurs à concavité prononcée (angle d'attaque du courant par rapport à l'aménagement supérieur à 45°), soit inférieures à 30 W/m². Les peignes conviennent donc pour stabiliser des petites anses ou niches d'érosion, mais pas pour stabiliser une berge à concavité prononcée de méandre. Enfin, du fait qu'il nécessite un remplissage en sédiments fins, le peigne est uniquement adaptée aux cours d'eau qui transportent beaucoup d'alluvions fines lors des crues, comme les rivières de Hesbaye, qui sont caractérisées par des concentrations en MES relativement importantes.

On distingue les peignes :

- de comblement : peigne remplissant entièrement le volume que l'on souhaite voir progressivement comblé par le sédiment ;
- en cordon : peigne réalisé en ligne, de plus ou moins grande largeur, disposé de façon telle à protéger ou à reconstruire la berge, à protéger un remblai, réaliser un merlon etc. ;
- en nappe : peigne de faible épaisseur mis en œuvre en protection de fond ou de surface.

Avantages

- mise en place assez facile et peu onéreuse
- se renforce au fur et à mesure de son remplissage en sédiments fins
- propose des caches sous berges (faune piscicole)
- dissipation du courant
- colonisable par d'autres essences

Désavantages

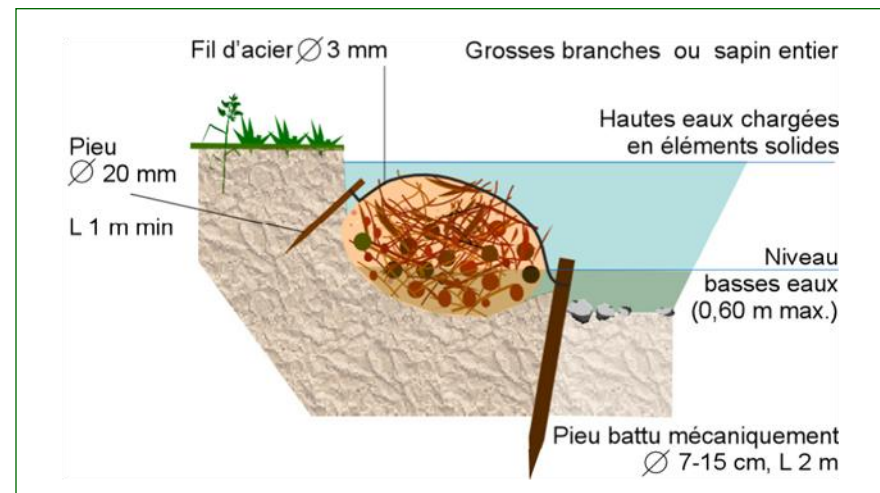
- retient les déchets transportés par le cours d'eau
- vulnérable sur les rivières à forte énergie et à faible concentration en MES

Coût

- 45 € / m³ (cas d'un peigne de 150 m³)

Entretien

- peu d'entretien, parfois nécessité de recharger le peigne



Application

- des pieux (longueur ≥ 200 cm, $\varnothing 10$ à 15 cm) distants les uns des autres d'environ 100 cm à l'endroit où la reconstitution du pied de berge est souhaitée, seront enfoncés par battage mécanique
- une fois battus, ils dépasseront le plan d'eau de 30 cm min. et 50 cm max.
- les pieux seront espacés de :
 - 1,5 m en tous sens pour un peigne de comblement
 - 1 m en quinconce pour un peigne en cordon
 - 80 cm en tous sens pour un peigne en nappe
- les éléments végétaux seront disposés en couches de façon à réaliser un ensemble homogène et très dense. On compactera en prenant garde de ne pas briser les branches
- la masse végétale sera attachée avec du fil $\varnothing 3$ mm min. tendu entre les pieux qui seront rebattus mécaniquement pour assurer le compactage et la tension. Le fil sera bloqué dans une gorge de plus ou moins 2 cm de profondeur, entaillée dans le pieu et accomplira un tour mort complet avant de passer au pieu suivant. Deux clames de min. 40 mm assureront le blocage du fil à chaque pieu
- les peignes, une fois compactés, dépasseront le niveau d'eau de la rivière de 30 cm min. et 50 cm max. Le compactage est estimé suffisant si le peigne terminé supporte le poids de 80 kg / 2500 cm² sans fléchissement
- afin d'accélérer la revégétalisation du peigne, il peut être utile d'ajouter des matériaux terreux entre les branches
- le peigne est parfois accompagné de boutures de saule dont la reprise dépend du remplissage du peigne

Recommandations

- La mise en place d'un peigne n'est pas judicieuse sur les rivières à faible charge en suspension, ni dans un milieu à forte contrainte hydraulique (puissance importante et/ou angle d'attaque prononcé)
- Retaluter la berge au préalable
- Il est important bien tasser le remplissage du peigne
- Le bouturage du peigne semble accroître sa résistance au crue et sa pérennité



Exemples de réalisation



Cours d'eau	Néblon	Anneau	Berwinne	Aisne
Lieu	Néblon-le-Moulin	Quiévrain	Berneau	Juzaine
Date	Mars 1996	2000	Février 2001	Mars 2001
Description du chantier	Peigne vivant (saule), sans retalutage, ni apports terreux	9 peignes dans encoches d'érosion	Peigne inerte, composé d'épicéas ligaturés par du fil métallique entre des pieux d'épicéas	Peignes constitués de grandes branches et d'arbres entiers couchés la tête vers l'amont, fixé par des pieux métallique set du fil de fer. L : 3-60 m ; l : 1,5-2 m ; h : 0,6-1 m
Linéaire	20 m	+/- 500 m	30 m	+/- 500 m
Suivi	LHGF, 2018 Peigne détruit mais berge stabilisée (talus bien végétalisé)	GIREA / LHGF, 2003 Peignes détruits Causes de la destruction : mauvais dimensionnement, cahier des charges imprécis	GIREA / LHGF, 2003 ; LHGF, 2016 Peigne détruit et faible reprise d'érosion de la berge Causes de destruction : angle d'attaque trop prononcé, puissances des crues	GIREA / LHGF, 2003 ; LHGF, 2016 Peigne détruit et présence localement d'encoches d'érosion Causes de destruction : puissances des crues, faibles concentrations en MES de la rivière, tassement insuffisant
Responsable	M. Gilliquet	J. Lecomte	M. Gilliquet	C. Daxhelet

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Ligne	Eau d'Heure	Mehaigne	Rulles
Lieu	Saint-Matin	Pry-Lez-Walcourt	Ambresin (Wasseiges)	Ansart (Tintigny)
Date	2002	Printemps 2003	2006	Octobre-novembre 2010
Description du chantier	Peigne en épicéas, avec des boutures de saules	Peigne : L : 15 m ; l : 2 m ; h : 2 m. Partie inférieure composée d'épicéas ; partie supérieure de saules. Pieux de 4 m en mélèze et en épicéas, non-jointifs (40 cm d'écart)	2 peignes formés de 2 rangées de pieux entre lesquels se trouvent des épicéas, avec des boutures de saules	Peigne de 50 m x 2 m, rempli d'épicéas (800 unités de 2 m), fixés par des pieux en mélèze, avec boutures de saules
Linéaire	~ 20 m	15 m	80 m	50 m
Suivi	LHGF, 2016 Bonne reprise des boutures et bonne stabilité de la berge	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 En 2015, peigne partiellement évidé, nécessitant une recharge en fagots et boutures de saules Bonne reprise en 2017	GIREA / LHGF, 2003 ; LHGF, 2016 Bonne sédimentation au sein des peignes et bonne reprise de la végétation du talus de berge. Les zones soumises à forte contrainte hydraulique montrent une légère érosion	LHGF, 2016 Sur 12 m de longueur (dans la zone à plus forte contrainte), le peigne est détruit et la berge est en cours d'érosion Causes de la destruction : angle d'attaque trop prononcé, coupes de la végétation non contrôlées
Responsable	B. De le Court	B. De le Court	P. Otte	P. Otte

Tressage - Clayonnage

Description - conception

Le tressage est une protection de pied de berge de faible hauteur (maximum 40 cm) réalisée avec des branches de saule vivantes, entrelacées autour de pieux battus mécaniquement.

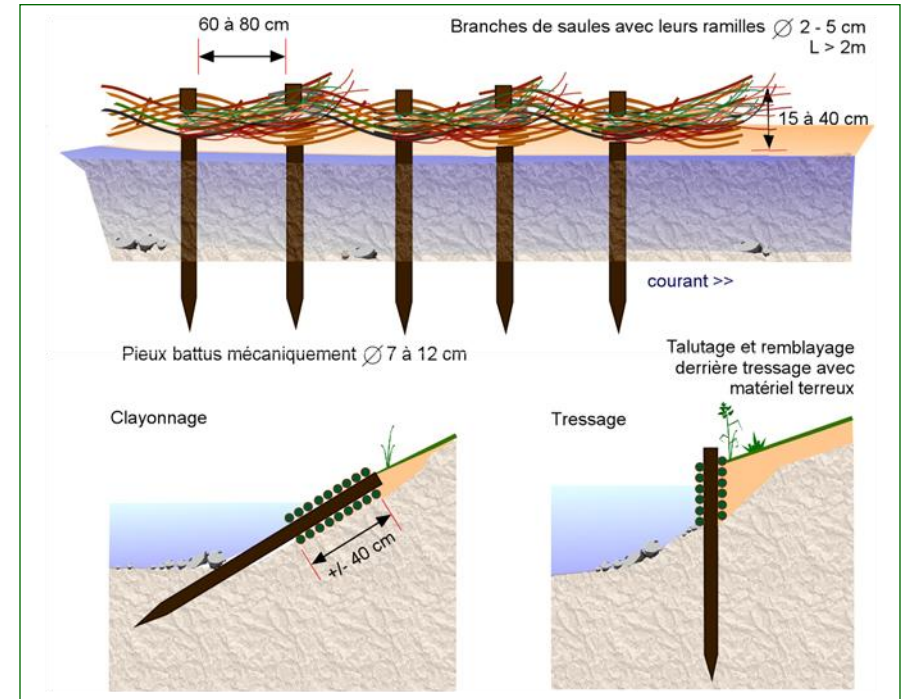
Le clayonnage est un tressage plus haut que 40 cm, il est plaqué, à plat, sur la berge talutée et nettoyée pour favoriser le contact avec le sol.

C'est une méthode rapide et efficace pour stabiliser les bords de cours d'eau en pied de berge, sur des cours d'eau de faible énergie.

Elle permet de modeler le pied de berge de manière très souple pour diversifier l'écoulement et les habitats.

C'est une technique particulièrement adaptée aux petits cours d'eau du fait de sa grande souplesse dans la mise en œuvre qui permet une très bonne adaptation aux variations du terrain.

Pour un fonctionnement optimal de l'aménagement, le tressage doit se situer 2/3 au-dessus du niveau moyen des eaux et 1/3 sous ce niveau ; si le tressage a une grande hauteur sous l'eau, son développement sera moins bon. Si le tressage sort excessivement de l'eau, les branches se dessècheront et se développeront moins vite, voire pas du tout (hauteur totale comprise entre 40 et 60 cm).



Avantages

- protection immédiate, efficace et bon marché
- constitue, par son effet mécanique, une protection stable dès la mise en place, même avant que les végétaux aient repris et produit des racines
- s'adapte de façon souple aux irrégularités de la berge

Désavantages

- hauteur de protection relativement limitée et ouvrage nécessitant souvent d'autres techniques végétales accompagnatrices

Application

- enfoncer, par battage mécanique, des pieux d'une longueur de ± 150 cm et d'un diamètre de 7 à 12 cm, espacés tous les 60 à 80 cm
- tresser des branches de saules vivants (longueur ≥ 200 cm, \varnothing 2 à 5 cm) sur une hauteur maximale de 70 cm. L'extrémité inférieure des branches doit être enfoncée dans le substrat de pied de berge. Au fur et à mesure du tressage, les branches doivent être pressées vers le bas pour obtenir un ouvrage compact
- remblayer l'espace situé entre le tressage et le pied de berge avec des matériaux terreux de manière à éviter le dessèchement des branches et à favoriser leur enracinement
- battre une seconde fois les pieux lorsque le tressage est réalisé puis couper leur extrémité dépassant au-dessus de l'ouvrage. Compléter la fixation éventuelle des branches aux pieux avec du fil de fer galvanisé ou de la ficelle agricole

Coût

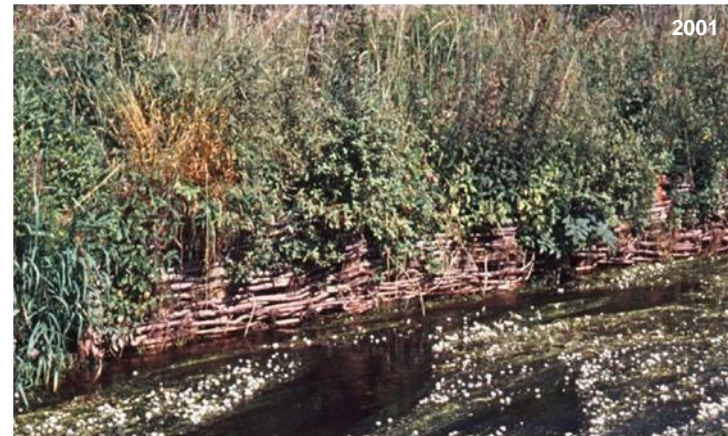
- Non connu

Entretien

- taille et sélection des rejets
- nécessité de regarnir en branches

Exemples de réalisation

Cours d'eau	Ourthe occidentale
Lieu	Moircy
Date	1998
Description du chantier	Protections de berge en tressage, dans le cadre d'un plus vaste chantier de restauration de l'habitat pour la faune piscicole
Linéaire	40 m
Suivi	GIREA / LHGF, 2003 ; LHGF, 2016 Bonne stabilité de la berge et bonne reprise de la végétation de berge
Responsable	E. Dupont / C. Daxhelet

**Recommandations**

- Cette technique est peu développée en Wallonie

Les ouvrages construits

Il s'agit d'ouvrages dont la structure est tellement lourde qu'ils se rapprochent plus des techniques traditionnelles en génie civil.

- le caisson

Caisson

Description - conception

Destiné à stabiliser l'ensemble de la berge, le caisson est une structure en rondins de bois, composée de deux rangées longitudinales et parallèles de rondins (longrines) sur lesquels sont cloués, perpendiculairement aux premiers, d'autres rondins (moises). On reproduit ce montage jusqu'à la hauteur voulue. Les essences utilisées sont généralement le mélèze, l'épicéa ou le douglas. Le caisson permet la réalisation d'une protection sur des berges en pente raide.

De par sa structure en bois, il offre une armature de soutien au talus et, de ce fait, une stabilisation immédiate. C'est une technique particulièrement adaptée pour la construction d'ouvrages en remblai et de soutènement.

Le caisson est rempli de matériaux terreux, au moins dans la partie frontale. Une chemise drainante (matériaux caillouteux) peut également être installée à l'arrière du caisson.

Des boutures de saules et des plantations (aulne principalement) sont réalisées sur les différents étages définis par les moises. Les plantes reprennent ensuite la fonction de stabilisation au fur et à mesure du développement du réseau racinaire et de la décomposition des rondins.

Afin d'assurer une protection du remplissage du caisson pendant les premières années durant lesquelles la végétation est peu développée, un géotextile est disposé entre les longrines de manière à envelopper ce remplissage. Le géotextile se décomposant après 3 à 5 ans, le remplissage est alors stabilisé par le système racinaire de la végétation qui s'y est développée.

Bien qu'il constitue la technique la plus onéreuse, il représente néanmoins une alternative intéressante à des ouvrages traditionnels issus du génie civil (mur de soutènement, gabions et enrochements). Il offre par ailleurs une résistance importante aux crues (puissance spécifique limite supérieure à 350 W/m²).

Avantages

- structure très résistante dès sa mise en œuvre
- s'applique à des pentes très raides, avec peu d'emprise
- Technique adaptée pour la construction d'ouvrages en remblai et de soutènement (peut soutenir une route)

Coût

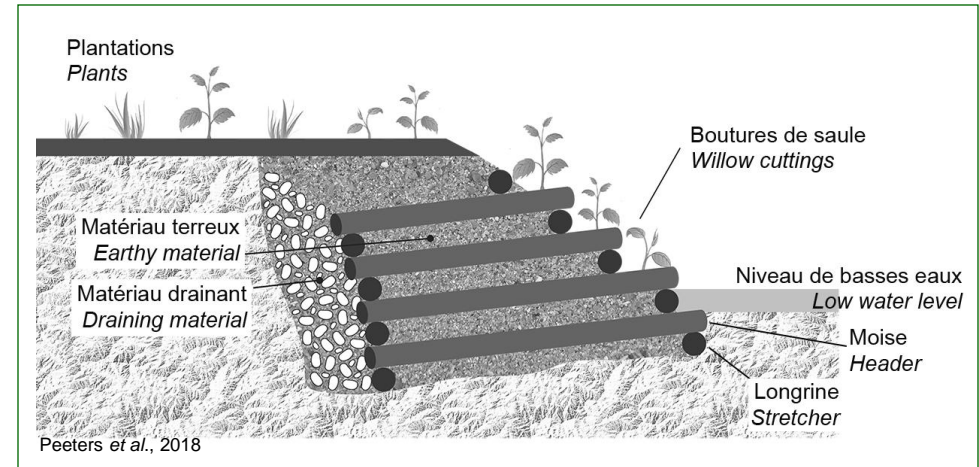
- 65 €/m³ (cas d'un caisson de 150 m³)

Désavantages

- technique très onéreuse

Entretien

- Eventuellement, recépages des boutures de saules et des aulnes



Application

- Le caisson doit reposer sur une assise stable, régulière et ne pouvant pas se déformer. Ainsi, la préparation de cet assise se fait soit par terrassement (lorsque les sédiments sont grossiers), soit par le placement d'un enrochement
- sur l'assise on dispose deux rangées parallèles de longrines (Ø 25-30 cm, longueur ≥ 4 m) espacées de 2 m en pied sur lesquelles sont fixées des moises (Ø 15-25 cm) perpendiculairement aux longrines à l'aide de tiges d'acier d'armature (Ø 14 mm). Ces éléments constituent la base et le premier étage de l'ouvrage, qui se poursuit de la même manière jusqu'à la hauteur souhaitée. Sur les cours d'eau à forte énergie, les longrines de la base peuvent être clouées à l'aide de tiges métalliques dans les blocs de l'assise afin d'assurer une meilleure résistance de l'ouvrage
- au fur et à mesure de la construction, le caisson est rempli de matériaux terreux dans sa partie frontale, compactés et renforcés par un géotextile de coco (740 g/m²) enveloppant ce remplissage
- Une chemise drainante (matériaux caillouteux) peut également être installée à l'arrière du caisson (bien que ce rôle de drainage peut être pris en charge par le système racinaire des plantes)
- le dessus de l'ouvrage doit être reprofilé en pente douce et éventuellement renforcé par un géotextile de coco (940 g/m²) et ensemencé
- des boutures de saules et des plantations (aulne principalement) sont réalisées sur les différents étages définis par les moises

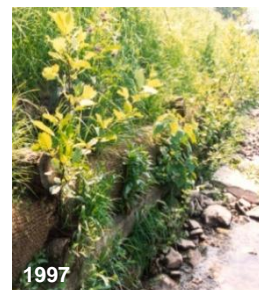
Exemples de réalisation



Juillet 1996



Février 2017



1997



Février 2018



1997



Septembre 2016

Cours d'eau	Eau Noire	Ambève	Sûre
Lieu	Petigny	Stavelot	Radelange
Date	Juillet 1996	1997	Juillet 1997
Description du chantier	<p>Caisson végétalisé de 2,4 m de haut, surmonté d'un talus 6/4 végétalisé de 2 m de haut. Structure en mélèze à 6-7 étages, reposant sur la roche en place.</p> <p>Remplissage du caisson avec matériaux terreux et caillouteux, protégés par géotextile en coco.</p> <p>Boutures de saules sur étages 1 et 2 ; aulnes et frênes sur les étages supérieurs ; mélange d'essences sur le talus supérieur.</p>	<p>Caisson végétalisé d'environ 2 m de haut, surmonté d'un talus végétalisé de 2 m de haut. Structure à 5 étages, composée de longrines (Ø 20 cm) et de moises (Ø 10 cm).</p> <p>Remplissage du caisson avec matériaux terreux et caillouteux, protégés par géotextile en coco.</p> <p>Arbres et branches (épicéas) anti-affouillement disposés au pied du caisson.</p> <p>Boutures de saules et plants d'aulnes sur étages 1, 2 et 3 ; mélange d'essences sur les étages supérieurs et le talus supérieur</p>	<p>Caisson végétalisé à double paroi, de 1,5 m de haut, surmonté d'un talus 6/4 végétalisé d'environ 1 m de haut. Structure en douglas à 3 étages, dont la base est enterrée dans le fond caillouteux du lit.</p> <p>Remplissage du caisson avec matériaux terreux, protégés par géotextile en coco.</p> <p>Plants de saules sur étage 1 ; aulnes sur étage 2 ; mélange d'essences sur étage 3 et talus supérieur.</p>
Linéaire	80 m	80 m	130 m
Suivi	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2018</p> <p>Caisson détruit dans la partie amont (fortes contraintes érosives), avec reprise d'érosion. Caisson évidé partout ailleurs.</p> <p>Cause de dégradation : remplissage inadapté (matériaux caillouteux), crues supérieures à 300 W/m², verticalité prononcée, vétusté, absence d'entretien.</p>	<p>LHGF, 2018</p> <p>Caisson partiellement évidé et en début de pourrissement. Berge stabilisée.</p> <p>Cause de dégradation : remplissage inadapté (matériaux caillouteux), vétusté.</p>	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2016</p> <p>Caisson en bon état et bien végétalisé. Berge stabilisée.</p> <p>Végétation moins développée dans la partie amont à cause d'un déficit de lumière (grands épicéas sur berge opposée).</p>
Responsable	L.-M. Petiau	M. Gilliquet	D. Genin

Exemples de réalisation



Juillet 1998



Novembre 2016



Septembre 2002



Avril 2002



Juin 2018

Cours d'eau	Lesse	Our	Our	Our
Lieu	Furfooz	Ouren	Schönberg (amont)	Schönberg (aval)
Date	1997 - 1998	Octobre 2002	Avril 2002	Avril 2003
Description du chantier	<p>Caisson végétalisé de 1,5 - 1,7 m de haut, composé de 4 étages. Remplissage du caisson avec matériaux caillouteux, protégés par géotextile.</p>	<p>Caisson végétalisé de 3,6 m de haut, à 8 étages. La structure en rondins (Ø 30 cm) épouse le profil du mur en amont (vertical) et de la digue anti-crue en aval (pente douce). Remplissage du caisson avec noyaux argileux et remblais terreux protégés par géotextile en coco. Boutures de saules sur étages inférieurs ; aulnes sur les étages intermédiaires et mélange d'essences sur les étages supérieurs. Arbre et branches (épicéas) anti-affouillement disposés au pied du caisson.</p>	<p>Caisson végétalisé de faible hauteur, à 4 étages en rondins de mélèze. Remplissage du caisson avec matériaux caillouteux et terreux protégés par géotextile en coco. Boutures et plants variés (saules, aulnes, érables et frênes). Arbre et branches (épicéas) anti-affouillement disposés entre les 2 longrines inférieures.</p>	<p>Caisson végétalisé de faible hauteur, à 4 étages, en rondins de mélèze. Remplissage du caisson avec matériaux caillouteux et terreux protégés par géotextile en coco. Boutures et plants variés (saules, aulnes, érables et cassis). Arbre et branches (épicéas) anti-affouillement disposés entre les 2 longrines inférieures.</p>
Linéaire	30 m	105 m	28 m	72 m
Suivi	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2016 Caisson évidé et en cours de pourrissement. Berge stabilisée. Cause de dégradation : remplissage inadapté du caisson (matériaux caillouteux), verticalité prononcée.</p>	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Caisson en bon état et bien végétalisé. Berge stabilisée.</p>	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Caisson évidé et végétation très peu développée. Berge stabilisée. Causes de dégradation : coupes non contrôlées de la végétation, remplissage inadapté du caisson (matériaux caillouteux).</p>	<p>GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Caisson en bon état et bien végétalisé. Berge stabilisée.</p>
Responsable	L.-M. Petiau	P. Otte	P. Otte	P. Otte

Exemples de réalisation



Novembre 2016



2005

Cours d'eau	Geer	Lienne
Lieu	Bergilers	Chession (Stoumont)
Date	2003	Mars 2005
Description du chantier	Caisson végétalisé de faible hauteur, composé de 3 étages.	Caisson végétalisé de 1,5 m de haut, à 3 étages et relativement vertical. Structure en rondins d'épicéas ($\varnothing \geq 30$ cm). Remplissage du caisson avec matériaux caillouteux et terreux protégés par géotextile en coco. Boutures de saules sur l'étage 1 ; aulnes sur l'étage 2 ; mélange d'essences sur les étages 3 et 4. Arbres et branches (épicéas) anti-affouillement disposés au pied du caisson.
Linéaire	+/- 30 m	60 m
Suivi	Caisson en bon état et bien végétalisé. Berge stabilisée.	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Caisson évidé et végétation très peu développée. Berge stabilisée. Causes de dégradation : faible développement de la végétation à cause des castors et du faible ensoleillement, remplissage inadapté du caisson (matériaux caillouteux), diamètre des moises trop important, verticalité prononcée.
Responsable	P. Otte	P. Otte

Recommandations

- Le caisson constitue un ouvrage rigide qui nécessite une assise solide ne devant pas subir de déformations
- L'utilisation de matériaux argilo-limoneux est plus efficace que l'emploi de galets. Ces derniers sont peu appropriés car ils sont peu cohésifs et donc sujets à l'affouillement. De plus, de par leur granulométrie et leurs conditions hygrométriques, ils ne constituent pas un substrat dans lequel la végétation peut facilement s'enraciner. Les matériaux caillouteux peuvent néanmoins être disposés au contact entre la berge et le caisson, sous la forme d'une chemise drainante
- les moises ne doivent pas avoir un diamètre supérieur à 25 cm afin de ne pas favoriser l'entrée de l'eau dans le caisson en période de crue, ce qui provoquerait la vidange de son contenu. Les valeurs généralement préconisées sont comprises entre 15 à 25 cm, voire inférieures à 15 cm
- La verticalité trop prononcée du caisson représente également un défaut de conception car la végétation dispose de trop peu de place sur étages pour se développer. Il faut donc préférer lui donner un profil en marches d'escalier, offrant davantage d'espace disponible pour l'enracinement
- le développement de la végétation peut être compromis par un mauvais ensoleillement ou par des dégâts provoqués par les rongeurs. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'installer des dispositifs de protection contre les rongeurs (clôtures, manchons grillagés, gaines en plastique, répulsifs,...). A ce titre, il existe un guide intitulé « Cohabiter avec le castor en Wallonie », qui est téléchargeable sur le site <http://biodiversite.wallonie.be/>
- Il est nécessaire de recéper la végétation du caisson tous les 2-3 ans. En l'absence d'entretien, la végétation de la partie inférieure du caisson est dominée par celle des parties supérieures et peut dépérir avec le temps, ce qui risque de favoriser la vidange du caisson. De plus, les troncs des arbustes deviendront trop importants, ce qui peut amener à un basculement des arbres et une reprise d'érosion de la berge à protéger
- L'efficacité de l'utilisation de branches anti-affouillement au pied du caisson n'est pas démontrée. Dans certains cas, un affouillement a justement été observé au pied du caisson, probablement à la suite de la disparition de ces branches

Les techniques indirectes

Elles servent à dévier (ou diminuer) le courant dans une autre direction que vers la berge à protéger

- les épis végétaux

Épis végétaux

Description - conception

Les épis végétaux sont des ouvrages transversaux au courant, implantés depuis la berge et s'étendant sur une partie du lit de la rivière. C'est une technique dite indirecte car elles permettent de protéger une berge en déviant le courant.

Il existe différents types d'épis végétaux en fonction du rôle qu'il doit assumer :

- épis directionnel (ou déflecteur) pour réorienter le courant
- épis filtrant pour provoquer une sédimentation

Les épis modifient les vitesses et la direction du courant sur les bords du cours d'eau. Selon leur emprise, leur orientation et leur longueur (par rapport à la largeur du cours d'eau), ils permettent soit d'approfondir, soit de remblayer une partie du lit. Lorsqu'ils sont légèrement orientés vers l'amont, ils favorisent la sédimentation de fines entre les épis, l'objectif étant que les zones de sédimentation soient ensuite recolonisées par la végétation.

Cette technique n'est envisageable que sur des cours d'eau suffisamment large (± 10 m) et de faible profondeur. Elle sera également plus efficace pour des cours d'eau à fortes charges en suspension.

Le caractère hémiperméable des épis en technique végétale permet un aménagement subissant des contraintes hydrauliques moins importantes, tout en augmentant la capacité de sédimentation par rapport à un épi en dur.

Les épis sont combinés avec d'autres techniques, notamment les fascines et les peignes en pied de berge.

Leur durée de vie est généralement limitée mais reste suffisamment longue pour que la végétation ait le temps de recoloniser la berge à stabiliser.

Avantages

- les épis vivants font partie intégrante de la végétation des rives, ils rendent partiellement inutiles les ouvrages longitudinaux
- ils sont rapidement efficaces

Désavantages

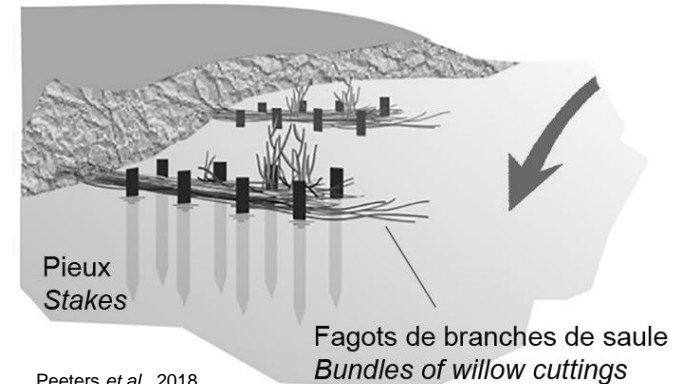
- les épis orientés à contre courant peuvent causer des affouillements à la tête des épis
- les épis orientés dans le sens du courant peuvent occasionner des affouillements à la base de l'épi

Coût

- 156 à 545 € prix unitaire pour épis vivants hémiperméables (données 2009)

Entretien

- recépage éventuel



Application

- la réalisation de cette technique demande l'utilisation de pieux de 100 à 300 cm de long et d'un diamètre de 5 à 15 cm. Les essences utilisées sont peu putrescibles et ne rejettent pas (châtaignier, mélèze, épicéas, etc.)
- les pieux maintiennent des arbres entiers et des branchages de matériaux vivants (saules) et/ou inerte (épicéas), ainsi que des matériaux de remplissage (caillouteux)
- une fois battus mécaniquement d'au moins 1,50 m dans le substrat, les pieux doivent dépasser le plan d'eau de 30 cm minimum et 50 cm maximum
- les pieux seront espacés de 1 m de chaque côté de l'épi. On disposera les arbres et branches transversalement au courant, selon une oblique amont précisée sur place, en imbriquant le pied de l'épi dans la protection directe de berge que constitue la fascine ou le peigne sur un minimum de 0,50 m
- l'espacement entre épis est compris entre 1 fois et 2,5 fois leur longueur
- les éléments végétaux seront attachés avec du câble $\varnothing 5$ mm minimum tendu entre les pieux qui seront rebattus pour assurer le compactage et la tension
- la base de l'épi atteint au moins la moitié de sa longueur. Cette largeur se réduit de façon continue pour atteindre une largeur de 1 m à son sommet côté cours d'eau
- l'épi hémiperméable constitue un ensemble filtrant assurant la sédimentation en pied de berge, modifiant la direction du courant et réduisant la section mouillée à l'étiage
- comme le premier épi (amont) d'une série d'épis est le plus sollicité par le courant et les corps flottants, il est généralement orienté vers l'aval (épi déflecteur)

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Lesse	Sûre	Lesse	Berwinne	Eau d'Heure
Lieu	Villers-sur-Lesse	Radelage	Furfooz	La Folie	Pry-Lez-Walcourt
Date	1996	1997	Printemps 2000	2000	Printemps 2003
Description du chantier	Epis en saule, de 3 m de longueur (1/10 par rapport à la largeur du lit mineur), orienté vers l'amont. Pieux métalliques. Combinés avec fascines et plantations.	6 épis en épicéas + 1 peigne inerte.	6 épis en saule, de 2 à 4 m de longueur (1/10 par rapport à la largeur du lit mineur), orienté perpendiculairement au courant. Pieux métalliques. Combinés avec fascines et plantations.	3 épis en saule et épicéas, espacés de 7 m, de longueur croissante : depuis l'amont, 2,6 m, 3,3 m et 10,6 m (soit 2/3 par rapport à la largeur du lit mineur), orienté perpendiculairement au courant. Pieux en bois. Combinés avec peignes et plantations.	3 épis en saule, espacés de 2 m, de 1 à 2 m de longueur (1/10 par rapport à la largeur du lit mineur), orienté perpendiculairement au courant. Combinés avec fascines
Linéaire	160 m	44 m	25 m	± 20 m	5 m
Suivi	GIREA, 2006 ; LHGF, 2016 Epis détruits. Berge stabilisée. Causes de destruction : rats musqués et crues.	GIREA, 2006 Bonne sédimentation et recolonisation de la végétation. Les 2 épis aval ont été détruits par les crues.	GIREA, 2006 ; LHGF, 2016 Epis détruits. Berge stabilisée. Causes de destruction : rats musqués et crues.	LHGF, 2003, 2016 Epis recouverts par grand dépôt de galets, profonde modification du milieu, et reprise d'érosion de la berge. Causes : épis surdimensionnés, dynamique de la rivière, castors.	GIREA, 2006 ; LHGF, 2018 Epis détruits. Berge stabilisée.
Responsable	L.-M. Petiau	D. Genin	L.-M. Petiau	M. Gilliquet	B. De le Court

Recommandations

- Les épis peuvent résister à des crues dont la puissance est de l'ordre de 150 W/m². L'important est qu'ils restent en place suffisamment longtemps pour que la sédimentation se fasse entre les épis et que la végétation s'installe sur les sédiments accumulés. Peu importe s'ils sont détruits par la suite car la berge sera stabilisée
- Un des facteurs clés de l'efficacité des épis est la capacité du cours d'eau à fournir des sédi-

- ments fins, qui se traduit par sa concentration en MES. Une concentration de l'ordre de 200 mg/l (pour le débit de plein bords) augmente les chances de réussite du chantier
- Dans certains cas où le dimensionnement des aménagements ne tient pas suffisamment compte des caractéristiques du cours d'eau, l'impact des épis peut s'avérer nul ou disproportionné. Des épis surdimensionnés peuvent entraîner des répercussions morphologiques du cours d'eau à large échelle et sur le long terme (dizaines d'années)

Les techniques combinées

Par technique combinée, on entend l'association d'ouvrages artificiels en pied de berge (enrochements, gabions, etc.) auxquels on associe des matériaux vivants (ensemencements, plantations, caissons) sur le talus.

- le caisson sur lit d'enrochement
- la plantation dans les enrochements
- le green terramesh®

Caisson sur lit d'enrochement

Description - conception

Le lit d'enrochement offre une assise stable et régulière au caisson.

La jonction entre les enrochements et les longrines du premier étage doit se faire à l'aide de tiges d'acier d'armature (\varnothing 14 mm) clouées dans les blocs de l'assise afin d'assurer une meilleure résistance de l'ouvrage.

Avantages

- structure très résistante dès sa mise en œuvre
- s'applique à des pentes très raides, avec peu d'emprise
- technique adaptée pour la construction d'ouvrages en remblai et de soutènement

Désavantages

- technique très onéreuse

Entretien

- éventuellement, recépages des boutures de saules et des aulnes

Coût

- caisson (voir p.40)
- pose d'enrochement tout venant (300-800 kg) : 47 € la tonne placée

Exemples de réalisation



Octobre 2009



Juillet 2011



Juin 2018

Cours d'eau	Rulles	Our
Lieu	Ansart (Tintigny)	Schönberg (aval)
Date	Octobre 2009	2013
Description du chantier	<p>Aménagement de 3 m de haut :</p> <ul style="list-style-type: none"> - enrochement en pied de berge sur 1,3 m de hauteur (+ remblai à l'arrière des enrochements) - caisson végétalisé de 1,7 m de hauteur <p>Caisson en rondins de mélèze, relativement vertical et à 3 niveaux. Remplissage du caisson avec matériaux terreux protégé par géotextile en coco. Boutures de saules sur étage 1. Plants variés sur les étages supérieurs</p>	<p>Caisson végétalisé de 3,1 m de hauteur, à 5 étages, en rondins de mélèze (\varnothing 20 cm). Le caisson repose sur un lit d'enrochements. Boutures de saules provenant de l'amont.</p>
Linéaire	30 m	85 m
Suivi	LHGF, 2016 Ouvrage en bon état et bien végétalisé. Bonne stabilité de la berge.	LHGF, 2018 Caisson en bon état et bien végétalisé. Berge stabilisée.
Responsable	P. Otte	E. Palm

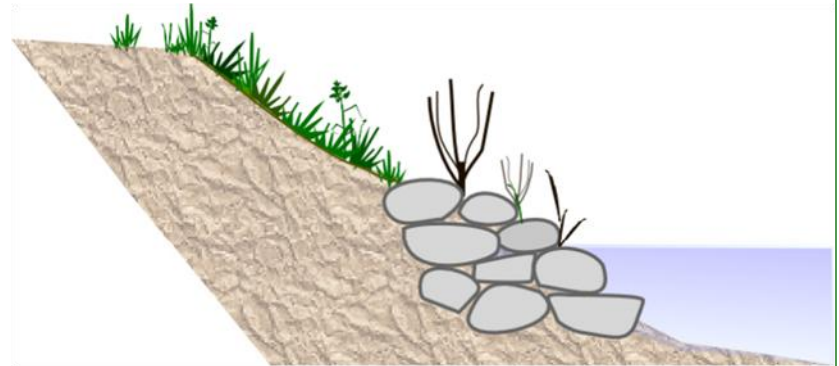
Plantation dans les enrochements

Description - conception

Les plantations dans les enrochements sont une technique recommandée sur les cours d'eau à forte énergie, et où la profondeur d'affouillement est supérieure à 1 m au pied de la berge.

Elles peuvent être appliquées aussi sur les cours d'eau à forte mobilité, à fort transport solide, ainsi que lorsque le fond est rocheux.

Les enrochements peuvent être recouverts de terre (du moins les interstices hors eau)ensemencée.



Avantages

- intéressant pour les zones fort artificialisées, à forte pression anthropique
- réalisation en toute saison
- peu d'entretien
- possibilité de caches pour les poissons

Désavantages

- impact écologique en bas de berge
- rupture de la zonation naturelle

Application

- à prévoir uniquement sur des tronçons limités

Coût

- enrochement (voir p.50)
- plantation (p.10)
- gabions : 160 € / m² (données 2009)

Entretien

- recépage éventuel des boutures

Exemples de réalisation



Cours d'eau	Dyle	Lesse	Amblève
Lieu	Limal	Furfooz	Stavelot
Date	2001 - 2003	1995	
Description du chantier	Enrochement en pied, retalutage + ensemencements	Enrochement + boutures de saules Plantation d'aulnes et d'iris et pied de berge , et de différentes espèces arbustives sur le talus + semis + géotextile	Boutures dans enrochements
Linéaire	950 m	150 m	
Suivi		GIREA, 1997, 2000, 2006	
Responsable	J.-L. Biermez	L.-M. Petiau	P. Otte

Green Terramesh®

Description - conception

Il s'agit d'un système modulaire utilisé pour le renforcement de berges à pente forte.

C'est une structure grillagée alvéolée en fil de fer galvanisé pouvant être remplie de terre.

Un équerre modulable règle la pente.

Ces « paniers » sont recouverts d'un géotextile biodégradable côté berge qui permet une couverture végétale.

Application

- terrasser la berge
- installer l'équerre
- nécessité de zone plane
- remplir de terre
- fixer le grillage
- planter ou semer

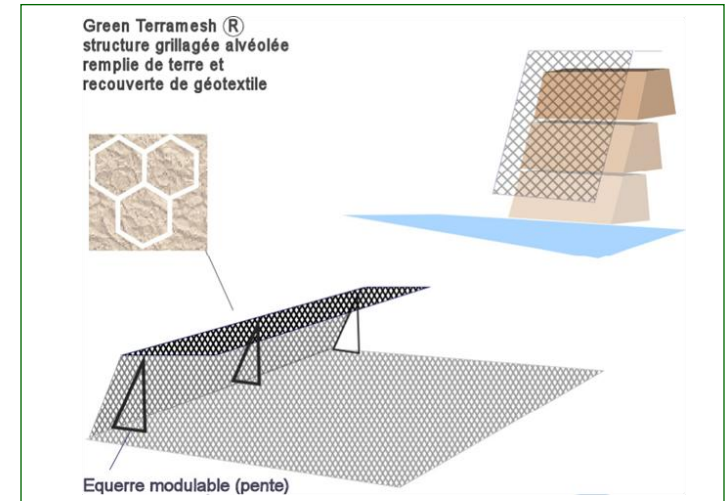
Exemples de réalisation

Avantages

- recolonisation végétale et bonne intégration paysagère
- ajustement de la pente

Désavantages

- coût élevé
- travaux de terrassement importants
- système non-biodégradable



Cours d'eau	Grande Gette	Hain
Lieu	Jodoigne	Braine - l'Alleud
Date	2005	2005
Description du chantier	Terramesh / talus (45°) ensemencement type prairie enrochement en pied	Terramesh / 4 hauteurs + ensemencement gabions en pied
Linéaire	40 m	60 m
Suivi		
Responsable	J.-L. Biermez	J.-L. Biermez

Les géotextiles

Compléments souvent indispensables aux techniques végétales

Géotextiles

Description – conception - application

Les géotextiles sont des nattes filtrantes faites de matériaux synthétiques ou naturels (jute, coton). Ils peuvent être tissés ou non-tissés et offrir des degrés de perméabilité, de résistance et d'allongements variés. Le développement de ces divers géotextiles a permis d'accroître la solidité à court terme des ouvrages d'écotechnologie, particulièrement là où les contraintes physiques sont importantes (Lachat, 1991).

Le **géotextile en fibre de coco** est un filet constitué de fibres de coco tressées offrant une très bonne résistance mécanique temporaire, une très bonne perméabilité. Il assure, du fait de son épaisseur importante, une bonne protection contre l'érosion des sols. De plus, il favorise, du fait de son caractère hydrophile, la germination des semis et permet, dès le développement des végétaux, une bonne répartition des contraintes dans l'enracinement.

Il reste efficace assez longtemps (entre 3 et 5 ans), jusqu'à ce que l'enracinement des plantes ait stabilisé le terrain.

Composé de fibres naturelles, le géotextile en fibre de coco se décompose ensuite dans la terre sans laisser de résidus nocifs et nuisibles pour l'environnement.

Le géotextile en fibre de coco imposé pour ce travail atteint minimum 740 gr/m² et est constitué d'une contecture de $\pm 9 \times 8$ fils torsadés par dm². Il est disponible en rouleaux de 50 m de longueur et 2 à 3 m de largeur. Pour les cours d'eau à forte énergie et pour les parties des ouvrages plus vulnérables (zones non recouverte de végétation et/ou zones de transition), l'utilisation d'une fibre plus dense (740 gr/m²) peut s'avérer nécessaire.

Le géotextile en fibre de coco est mis en œuvre en surface des remblais de terre arable et avant semis ou plantation.

Pour la plupart des ouvrages, les géotextiles tissés sont sélectionnés, car ils sont souples, très maniables et offrent une grande perméabilité tout en retenant un maximum de matériaux propices au développement végétal. Ils laissent passer les racines et les boutures, sans subir de dommages. A la fin des travaux ils assurent un effet immédiat de stabilité, en compensant le tissu racinaire non encore développé.

En fait, les géotextiles peuvent agir de deux manières :

Action primaires :

- protéger la couche superficielle contre l'érosion par l'eau ou le vent,
- protéger superficiellement contre les hautes eaux dans le cas d'ouvrages hydrauliques,
- protéger et stabiliser la berge contre un glissement,
- offrir un support rugueux aux plantes pionnières,
- consolider la couche contenant les racines.

Actions secondaires :

- conserver l'humidité,
- assurer un effet de serre.



La Lesse à Furfooz 1998

Dans le cas d'érosion importante lorsque la berge est à reconstituer, on peut envisager la technique suivante inspirée de travaux réalisés dans le Jura suisse par le bureau BIOTEC-LACHAT, 1994 :

- préparation de la berge – talutage,
- placement d'un géotextile sur le fond,
- reconstitution de la berge par remblayage de galets, terre ou autres matériaux,
- recouvrement par le géotextile,
- maintien du pied par des piquets de tunage ou par un petit enrochement,
- dépôt de terre tassée sur la berge – ensemencements – ou branches de saule cousues au géotextile qui fournissent des rejets et des racines fixant le géotextile au sol.

Les espèces utilisées pour l'engazonnement doivent offrir les caractéristiques suivantes : croissance rapide, résistance aux crues, grande densité de racines, croissance sur sol difficile.

Les géotextiles sélectionnés sont du type tissé, les mailles s'écartant et épousant parfaitement les contours du végétal.

Leur rôle est de maintenir en place le remblai ou le sol de la berge tout en permettant la circulation de l'eau. Ils remplacent ainsi les racines encore inexistantes ou insuffisamment développées au début de la croissance.

Il convient de distinguer les géotextiles perméables tissés et les non-tissés, les géotextiles aiguilletés et thermosoudés.

- les tissés : ce type de géotextile entrelace des fils perpendiculairement entre eux pour obtenir un tissu. Par leur mode de fabrication, les surfaces tissées présentent une forte anisotropie, car elles possèdent deux directions préférentielles. Ce type de géotextile est surtout employé comme filtre.
- les non-tissés : ils sont obtenus par liage mécanique et/ou chimique et/ou thermique des fibres textiles ou de fibrilles disposées en nappe. Ces produits sont isotropes. Il existe du géotextile non-tissé alvéolaire et de perméabilité adaptée. Les alvéoles remplies de terre et ensemencées préservent le site contre l'érosion.
- les aiguilletés : l'aiguillage consiste à faire pénétrer à travers le textile un grand nombre d'aiguilles hérissées d'ergots, qui entraînent des fibres dans l'épaisseur de la nappe et assurent ainsi un meilleur enchevêtrement. Ce géotextile a une bonne résistance à la déchirure et une forte porosité.
- les thermosoudés : la cohésion est assurée par des points de soudure résultant du ramollissement ou de la fusion partielle ou totale d'un certain nombre de fibres. La résistance à la déchirure est faible et leur porosité est nettement inférieure au géotextile aiguilleté.

Il existe quatre matières premières essentielles utilisées pour fabriquer du géotextile : le polyamide (dérivé linéaire) qui perd de sa résistance à la rupture lorsqu'il a séjourné dans l'eau, le polypropylène (issu de la distillation du pétrole), le polyester et les fibres naturelles (céréales hachées, fibre de coco, coton et tissu de jute) qui sont parfois liées par un filet synthétique.

Le géotextile doit permettre le passage de l'eau tout en stoppant le transport solide. L'eau doit pouvoir circuler dans les deux sens afin d'éviter les problèmes de sous pression. Il joue le rôle d'interface entre le sol et le matériau d'apport et il constitue un écran évitant l'arrachement des particules et permettant le développement de la végétation.

Application

- avant de dérouler le géotextile, on nettoiera le terrain de tout caillou ou déchet quelconque pouvant gêner la pose du géotextile et le développement ultérieur des végétaux semés ou plantés.
- pendant la pose du géotextile, il faut bien assurer, d'une part, les ancrages des extrémités du support et, d'autre part, le placage le plus parfait possible sur le sol préalablement préparé.
- un recouvrement des géotextiles de 15 cm minimum doit être prévu latéralement, et de 30 cm minimum à chaque extrémité du rouleau. Le long de ces zones de recouvrement, l'ancrage sera renforcé. Les recouvrements s'effectuent par tuilage en respectant le sens d'écoulement des eaux de ruissèlement (pluie) et d'écoulement (cours d'eau).
- l'ancrage au-dessus du talus sera réalisé en le fixant dans une rainure d'ancrage de 20 cm de profondeur, effectuée en tête de talus, parallèlement à la berge et au moins 50 cm en retrait au delà de la rupture de pente. La fixation sera effectuée au moyen de fiches de 0,50 m de long et de Ø 5 mm minimum, formées en crosse, qui seront installées tous les mètres. La rainure d'ancrage sera ensuite comblée et compactée avec soin.
- l'ancrage en pied de talus sera réalisé au moyen d'une barre ou tube de fer rond parallèle à la berge sur lequel sera arrimé le géotextile. La barre ou le tube aura un Ø de 20 mm minimum sans dépasser un Ø de 50 mm pour autant. Cette barre ou ce tube sera ancré en pied de talus au-dessous de la protection de pied constituée de fascines de saules ou de plants d'hélophytes, au moyen de fiches formées en crosse qui seront posées à raison de 3 par m.
- une fixation sur toute la surface apparente sera réalisée au moyen de fiches de 0,50 m de long, formées en crosse, qui seront posées à raison de 3 par m².
- le géotextile en fibre de coco mis en place sera surfacé d'une mince couche de terre arable sèche qui remplira tout juste les alvéoles. Cette terre sera débarrassée de tout débris pouvant gêner la germination.



La Berwinne à Berneau 2000

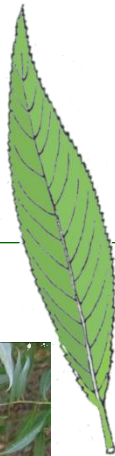
Annexes

- Principales espèces de saules en Wallonie
- Cartographie des puissances spécifiques en Wallonie

Annexe 1 : Principales espèces de saules en Wallonie

Salix alba Saule blanc

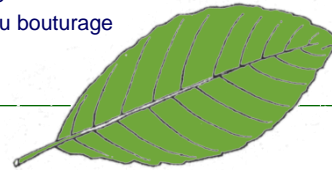
- feuilles alternes, longues et étroites
- limbe foliaire elliptique, long de plus de 5 cm et de 3 à 10 fois aussi long que large, régulièrement et finement denté, grisâtre sur les 2 faces
- arbre de 15 à 20 m
- bas ou mi-hauteur de berge, peut vivre les pieds dans l'eau
- tolérant pour les eaux eutrophes
- espèce héliophile
- multiplication par semence et par bouturage
- enracinement fourni
- croissance rapide



Salix caprea Saule marsault

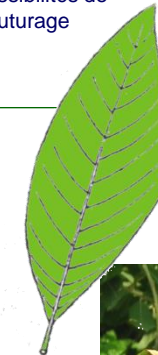
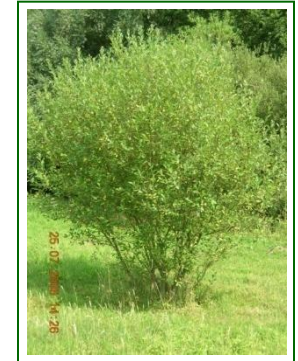


- limbe foliaire ovale, long de 4 à 10 cm, large de 3 à 6 cm, pourvu d'un tomentum blanchâtre ou grisâtre
- bois des rameaux de 2 à 4 ans lisse sous écorce
- arbuste ou arbre de 5 à 20 m de hauteur
- espèce colonisatrice
- aptitude moyenne au bouturage
- mi et haut de berge



Salix cinerea Saule cendré

- limbe foliaire obovale à largement ovale, non rugueux, pubescent à la face inférieure à marge et sommet plans, comportant 8 à 10 nervures latérales
- bois des rameaux de 2 à 4 ans munis de stries longitudinales saillantes sous l'écorce
- arbuste inférieur à 6 m, espèce buissonnante
- peu exigeant en éléments nutritifs, espèce des eaux eutrophes
- possibilités de bouturage



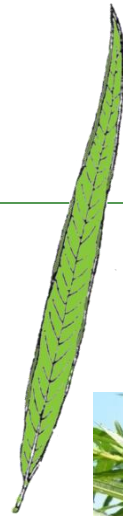
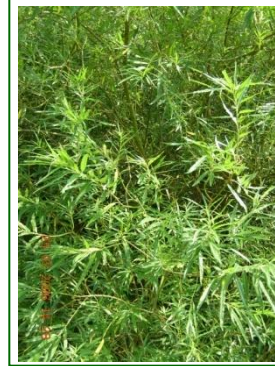
Salix atrocinerea Saule roux

- limbe foliaire largement ovale à face inférieure pourvue d'un tomentum blanchâtre ou grisâtre, accompagné, surtout à l'état jeune de poils ferrugineux le long des nervures à la face inférieure
- face supérieure luisante
- 8 à 18 nervures de chaque côté de la nervure médiane
- arbuste atteignant 6 m de hauteur
- bois des rameaux de 2 à 4 ans muni de stries longitudinales sous l'écorce



Salix viminalis Saule des vanniers

- limbe foliaire linéaire à sublinéaire atteignant 15 cm de longueur et ~ 1 cm de largeur, à bords enroulés en dessous
- face inférieure pubescente
- arbuste de 5 à 10 m de hauteur
- situation à mi-berge



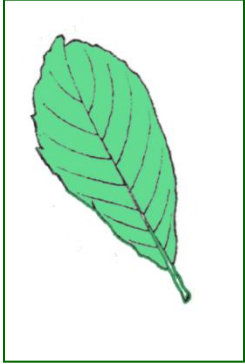
Salix triandra Saule à trois étamines



- feuilles alternes, longues et étroites
- limbe foliaire glabre ou faiblement pubescent à l'état jeune
- stipules grandes, arrondies, cordiformes, persistant longtemps
- arbustes de 5 à 10 m
- bas ou mi-berge



Salix aurita Saule à oreillettes



- limbe foliaire rugueux, sommet déjeté latéralement, marge ondulée, 6 à 10 nervures latérales
- présence de petites « feuilles » ou oreillettes à la base des feuilles sur la tige
- arbrisseau de 5 à 6 m de hauteur
- milieux acides
- multiplication par semence et bouturage



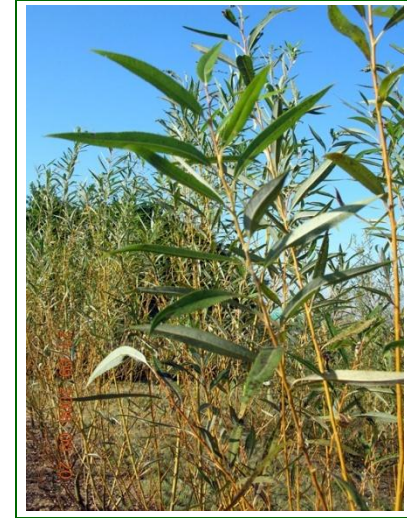
Salix purpurea Saule pourpre



- feuilles courtement pétiolées, opposées ou subopposées
- arbuste de 2 à 6 m de hauteur
- bas ou mi-berge
- difficile à planter mais intéressant car reste buissonnant



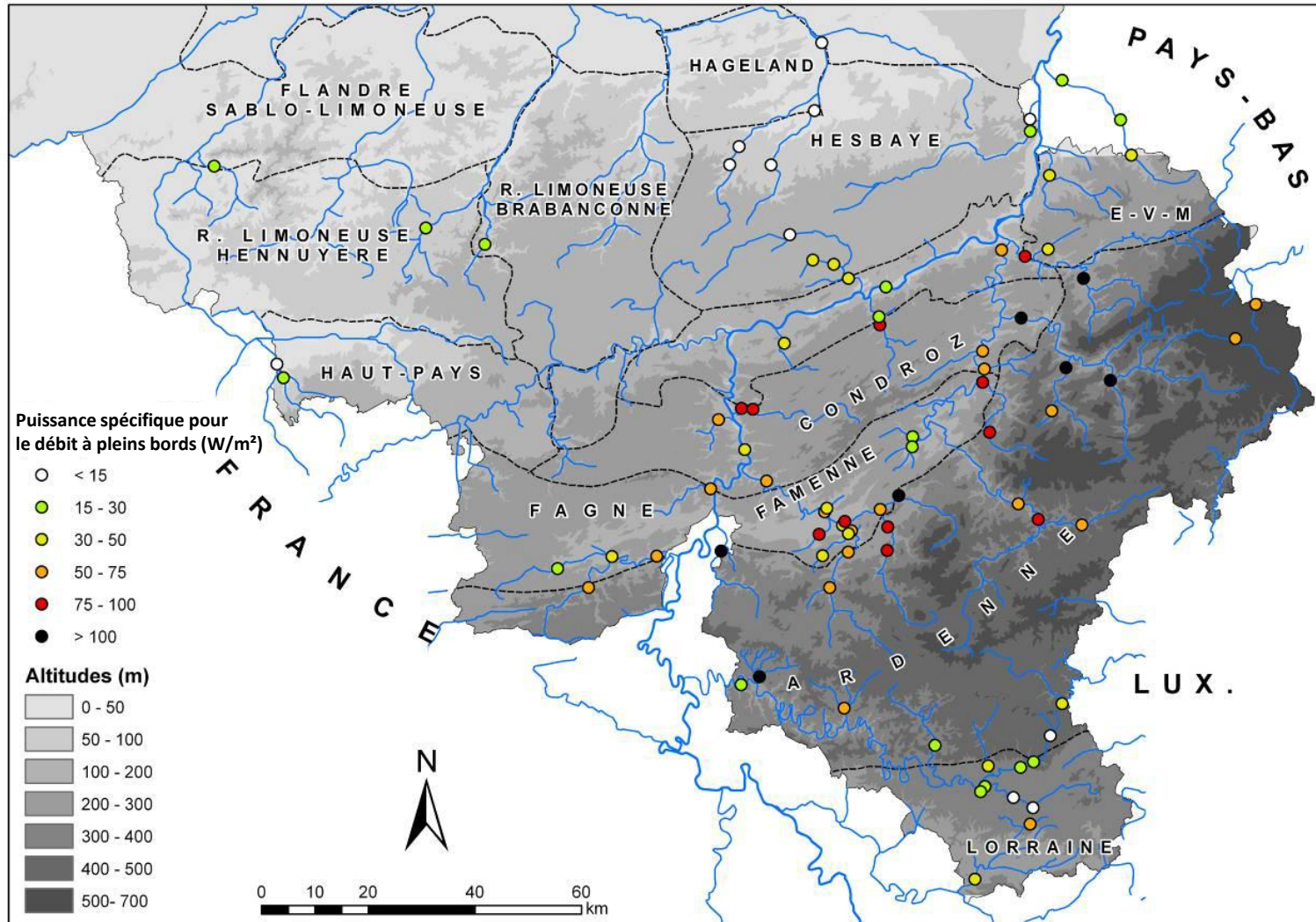
Salix fragilis Saule fragile



- feuilles longues et étroites, jeunes pousses glabres
- bois cassant donc nécessité de recépages
- arbres de 15 à 20 m
- mi-berge
- hybride avec *Salix alba* = *Salix X rubens*



Annexe 2 : Cartographie des puissances spécifiques en Wallonie



Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Levecq Y., Mols J., Peeters A., Van Campenhout J. (2008) - La typologie et les caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau wallons. Actes du colloque La gestion physique des cours d'eau : Bilan d'une décennie d'ingénierie écologique, Namur, 10-12 octobre 2007, 7-16.

