



HAL
open science

Les fascines de ligneux

Marie Didier, André Evette, Emma Schmitt, Solange Leblois, Delphine Jaymond, Jean-Baptiste Evette, Eléonore Mira, Pierre Raymond, Pierre-André Frossard, Anne Vivier

► **To cite this version:**

Marie Didier, André Evette, Emma Schmitt, Solange Leblois, Delphine Jaymond, et al.. Les fascines de ligneux. Sciences Eaux & Territoires, 2023, 43, pp.57-65. 10.20870/Revue-SET.2023.43.7707 . hal-04276745

HAL Id: hal-04276745

<https://hal.inrae.fr/hal-04276745>

Submitted on 15 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Les fascines de ligneux

Marie DIDIER¹, André EVETTE¹, Emma SCHMITT¹, Solange LEBLOIS¹, Delphine JAYMOND¹, Jean-Baptiste EVETTE², Éléonore MIRA³, Pierre RAYMOND⁴, Pierre-André FROSSARD⁵, Anne VIVIER⁶

¹ Univ. Grenoble Alpes, INRAE, LESSEM, 38402 St-Martin-d'Hères, France.

² Lepic & Evette, traduction, écriture, recherche, 5 place de l'Église, 61130 Saint-Germain de la Coudre, France.

Site web : <https://www.jean-baptiste-evette.fr/>

³ UMR EcoFoG, Université des Antilles, CNRS, CIRAD, INRAE, AgroParisTech, Université de Guyane, UFR SEN, BP 592, 97159 Pointe-à-Pitre, France.

⁴ Terra Erosion Control Ltd, 308 Hart Street, Nelson, British Columbia, V1L5N5, Canada.

⁵ Hepia Genève, Filière Gestion de la nature, Jussy, Suisse.

⁶ Office français de la biodiversité (OFB), 94300 Vincennes, France.

Correspondance : Marie DIDIER, marie.didier@inrae.fr

Les techniques de génie végétal pour le contrôle de l'érosion en rivière font fréquemment appel au fascinage, savoir-faire ancestral qui a fait ses preuves au fil des siècles pour lutter contre l'érosion et stabiliser les berges. Après un rappel historique de la pratique du fascinage au cours du temps, les auteurs de l'article proposent une revue des différentes modalités d'application et démontrent l'intérêt de son utilisation pour la stabilisation des berges par le génie végétal, mais également comment les fascines de ligneux peuvent être utilisées de manière efficace dans d'autres contextes.

Introduction

Du latin classique *fascina*, le terme « fascine » désigne un ensemble de branchages liés en faisceau. Historiquement, il a d'abord désigné un fagot pour le feu puis pour l'ingénierie. Le terme a évolué au cours des siècles pour devenir un terme technique utilisé dans de nombreuses langues européennes. Aujourd'hui, la fascine désigne une technique de génie végétal utilisée pour contrôler l'érosion, notamment en rivière, et pouvant se présenter sous plusieurs formes et modalités. Souvent combinées avec d'autres techniques de génie végétal ou génie civil pour répondre aux besoins spécifiques de chaque cours d'eau, les fascines sont les techniques de génie végétal les plus utilisées en pied de berge et sont présentes en France sur plus d'un quart des ouvrages de protection de berge incluant du génie végétal (Jaymond *et al.*, 2021). Bien que les fascines soient simples et résistantes, elles nécessitent un savoir-faire précis et rigoureux pour être mises en place de manière durable et pour obtenir une bonne reprise végétale.

Dans cet article, nous proposons d'explorer dans un premier temps l'histoire des fascines de ligneux au cours du temps, puis nous proposons une revue des différentes modalités d'application de cette technique pour le génie végétal. Nous verrons comment les fascines sont utilisées pour contrôler l'érosion, protéger les berges et les

habitats aquatiques et comment elles peuvent être utilisées de manière efficace dans différents contextes.

Les fascines au cours du temps

L'archéologie témoigne que la pratique du fascinage précède de loin la publication des premiers traités techniques sur le sujet. On pense que des fascines ont été utilisées dès le mésolithique dans les aménagements de pièges à poisson. Les archéologues en ont retrouvé dans les barrages et digues du réseau d'irrigation et de canalisation des civilisations mésopotamiennes où apparaissent les premiers ingénieurs spécialisés. Outre son usage de comblement attesté, les fascines, maintenues par des piquets ou caissons de bois, ont été employées très largement dans les chantiers de la période romaine, pour construire des soubassements de chaussées en milieu humide, des fondations, des berges, des digues temporaires ou durables. Elles servaient souvent à créer une interface entre un milieu meuble et une construction en dur.

En Chine, on a découvert dans la province de Shaanxi des aménagements à base de fascines, pour protéger le pont de Shahe, vieux de plus de deux mille ans. La littérature chinoise mentionne très tôt l'emploi de fascines en ingénierie, en l'occurrence pour réparer une digue. Le sinologue Joseph Needham cite un débat sur

la meilleure manière de procéder, relaté par l'astronome et hydraulicien Shen Kuo, au XI^e siècle. Ces travaux de canalisation ou d'endiguement ont parfois consommé des quantités astronomiques de fascines. L'historien de l'environnement Ling Zhang, a décrit la catastrophe écologique provoquée pendant la dynastie Song, aux XI^e et XII^e siècles, par le fascinage des crues du fleuve Jaune qui a abouti à l'abattage de tous les arbres, y compris ceux qu'un édit impérial interdisait de prélever sur les bords même du fleuve. Un rouleau de soie peint autour de 1698, conservé au musée Guimet à Paris, représente avec précision des opérations de fascinage inspectées par l'empereur Kangxi sur la berge du fleuve Jaune (figure 1).

En Occident, lorsque les ouvrages abordent le fascinage, ils évoquent des techniques déjà maîtrisées et complexes, qui recourent parfois aux propriétés du vivant. Ainsi en 1587, l'ingénieur florentin Lupicini conseille pour protéger les berges et le lit de l'érosion, d'immerger partiellement une « machine » de bois. Il s'agit d'une sorte de plate-forme à échouer composée de fascines, lestée et puissamment charpentée, renforcée de liens de saule et constituée « de bois tendre capables de germer,

tels que des saules, etc., mis en place à l'état frais ». En Espagne, une copie manuscrite du XVII^e siècle d'un original perdu du XVI^e siècle consacre plusieurs pages illustrées aux épis de fascinages et renforts de digues. Dès ces exemples anciens, le fascinage est combiné avec d'autres techniques : plantation, gabion, clayonnage, enrochement.

À la fin du XVII^e siècle, un ingénieur hollandais installé à Rome, Cornelis Meijer (ou Meyer), publie un traité illustré dans lequel il propose, pour protéger les berges, de les doubler d'une digue de pilotis garnie de fascines de saule « qui repoussent et germent aisément ». De même, l'ingénieur français au service du roi de Prusse, Bourdet, soucieux que les aménagements résistent aussi à la glace, écrit en 1771 : « Lorsqu'on est obligé d'employer des fascinages pour garantir les digues du côté du fleuve, il est essentiel que ces fascinages soient faits de bois de bouture comme le saule, parce que les branches de ces sortes d'arbres prennent racines dans les fascinages, les fortifient et se consolident avec eux, de sorte que l'un et l'autre, poussant ensemble leurs branches, s'opposent d'autant plus au choc des glaçons. ». Le XVIII^e siècle est aussi marqué par deux grands traités en

Figure 1 – Confection historique de fagots pour les fascines en Chine, rouleau de soie issu du Voyage d'inspection dans le Sud de l'empereur Kangxi XVII^e siècle © RMN-Grand Palais (MNAAG, Paris) / Michel Urtado.



plusieurs volumes. Celui du français Forest de Belidor, qui consacre de nombreuses planches aux fascines de protection ou d'épis (figure 2), sans toutefois s'intéresser à leur capacité à repousser, ou celui de l'Allemand Reinhard Woltman, publié à Göttingen, témoignant aussi de la vigueur et de la rapidité des échanges internationaux autour de ces techniques.

Entre-temps, sans se cantonner à la fascine, le génie végétal avant la lettre a connu un véritable essor en France au XIX^e siècle. Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, la prise de conscience que la surexploitation des ressources végétales en montagne conduisait à des phénomènes d'érosion, glissements de terrains, avalanches, inondations, aboutit aux lois de 1860 et 1882 sur la restauration et la conservation des terrains en montagne (RTM). Elles font naître une abondante littérature technique, en particulier sur le contrôle des torrents.

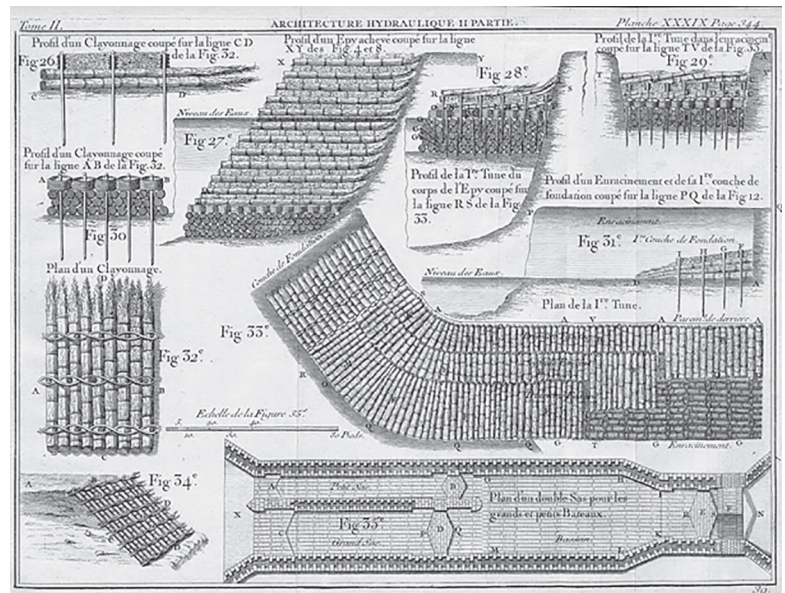
Ces techniques de fascinage ont su traverser les âges pour offrir une solution durable pour la stabilisation des berges et des talus. Ce savoir-faire ancestral a fait ses preuves au fil des siècles et continue d'être largement employé aujourd'hui pour protéger les sols contre l'érosion. Les avancées technologiques récentes, telles que l'apparition des engins mécaniques et de nouveaux matériaux, ont facilité leur utilisation en surmontant le principal obstacle que représentait le coût de la main-d'œuvre. Respectueuses de l'environnement et plus facilement applicables, elles trouvent aujourd'hui toute leur place dans le monde contemporain.

Techniques de fascinage

Cet article examine les techniques de fascinage pour protéger les berges et les talus de l'érosion. Les techniques sont classées en fonction de leur emplacement, des berges de rivière aux lits de rivière, puis aux talus. L'article offre un aperçu des options disponibles pour la protection des berges et des talus à l'aide des fascines. Une synthèse plus complète est disponible dans le guide technique rédigé par Didier *et al.* (2023).

L'utilisation des fascines est considérée comme une méthode naturelle et écologique pour la stabilisation des berges. Cependant, il est essentiel de limiter cette intervention aux cas où elle est strictement nécessaire pour protéger les biens et les personnes. Lorsque pos-

Figure 2 – Exemple de planche consacrée aux fascines issue de l'ouvrage « Architecture Hydraulique, partie II », par Forest de Belidor (Belidor 1782).



sible, il est préférable de laisser le cours d'eau divaguer, favorisant ainsi la création d'habitats pionniers et la recharge solide. Il est recommandé de privilégier le déplacement des enjeux plutôt que l'intervention pour stabiliser les berges. Les fascines ne constituent pas une solution universelle, et la stratégie appropriée dépendra des enjeux et des objectifs spécifiques, tels que le paysage, la restauration ou la lutte contre l'érosion. Il est important de prendre en compte chaque situation individuellement en tenant compte des contextes locaux pour déterminer la meilleure approche à adopter.

En berge de rivière

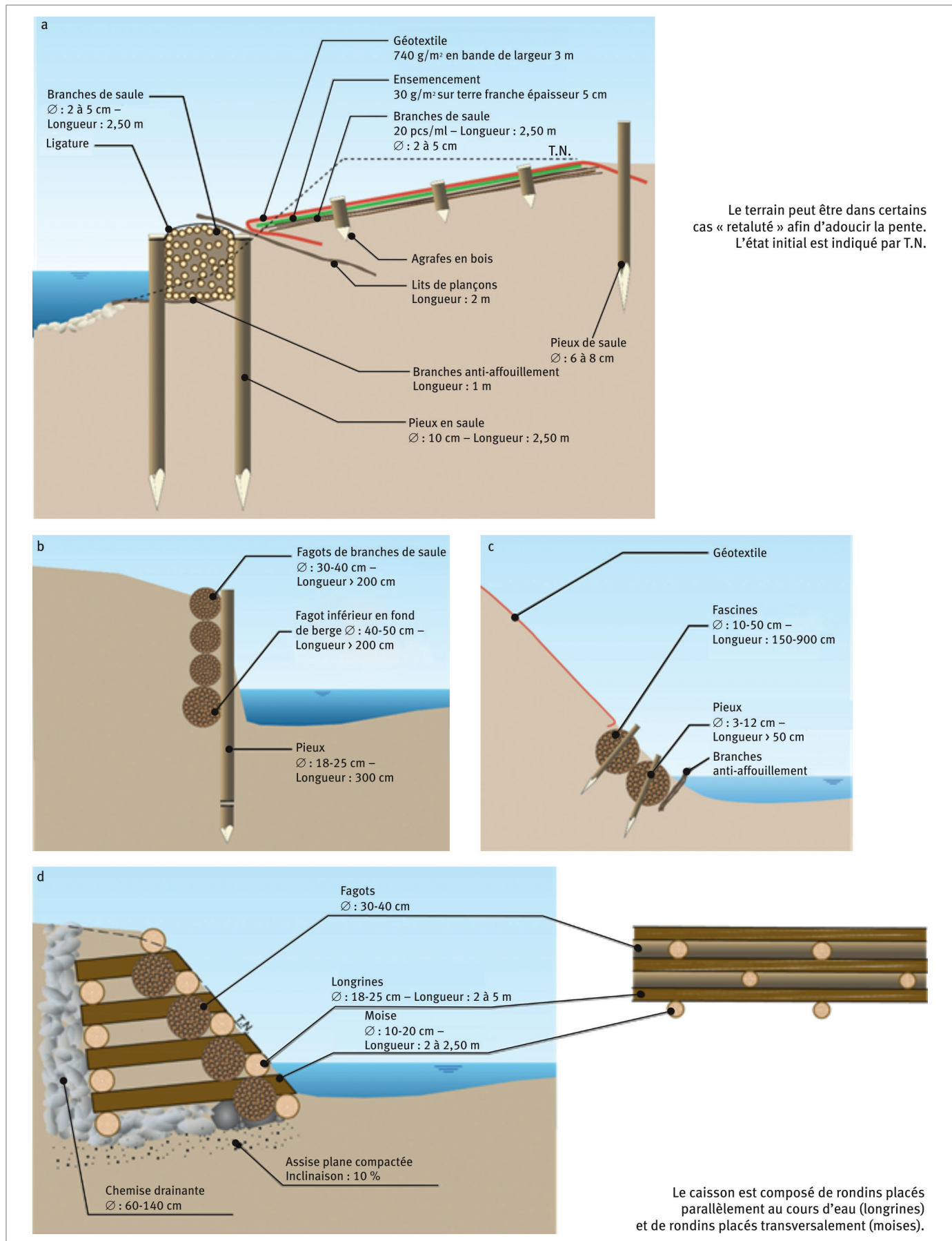
Fascines de pied de berge

La fascine de pied de berge est la méthode la plus couramment utilisée de nos jours en France pour protéger les berges des rivières contre l'érosion (figure 3). Elle consiste à disposer des fagots de branches, généralement vivantes, fixés par des pieux, le long du pied de la berge et dans le sens du courant (figure 4 a). Son objectif principal est de stabiliser la berge en réduisant

Figure 3 – Fascine de pied de berge sur le Vorz (a) à l'installation en 2007 et (b) après quatre saisons de végétation en 2011. Photo a : © Belleudy – Photo b : © André Evette.



Figure 4 – Profils d'ouvrages en fascines : (a) Fascine en pied de berge, (b) Mur en fascines, (c) Fascines de pente multiples et (d) Caisson avec fascines.



les forces hydromécaniques exercées sur celle-ci (Adam *et al.*, 2008). Cette technique est dans la plupart des cas combinée à d'autres techniques pour protéger également la partie supérieure de la berge.

La diversité des modalités d'implantation des fascines en pied de berge est grande et dépend du contexte et des objectifs recherchés. La confection de fascines de pied de berge requiert un savoir-faire afin d'assurer leur résistance à long terme et une bonne reprise de la végétation. Par exemple, le positionnement des fascines par rapport à la hauteur de l'eau est un facteur crucial à considérer pour éviter l'asphyxie ou le dessèchement des végétaux. Il est recommandé de faire correspondre le milieu du fagot avec la hauteur d'eau moyenne, tout en adaptant cette approche aux différents régimes hydrologiques et aux modèles naturels. Dans certains cas, il est préférable de positionner les fascines au niveau moyen des saules les plus bas présents naturellement sur les berges, car ils intègrent les contraintes hydrologiques du site (Didier *et al.*, 2023). En régime pluvial, cela correspond généralement au niveau moyen des eaux, avec environ la moitié de la fascine placée en dessous de ce niveau.

La fascine de pied de berge offre deux avantages significatifs : d'une part, sa résistance mécanique assure une protection immédiate et efficace du pied de la berge contre l'érosion, et d'autre part, sa flexibilité d'utilisation dans différentes situations. Cependant, elle nécessite une grande quantité de végétaux, comme toutes les techniques utilisant les fagots en tant qu'éléments constitutifs, et un réel savoir-faire pour l'utiliser efficacement et éviter les échecs. Pour prévenir les défaillances, il est par exemple possible d'ajouter des branches anti-affouillement¹ pour le contrôle de l'érosion sous l'ouvrage, le temps que les racines se développent.

Mur de fascines

Le mur en fascines est une structure verticale construite le long des berges d'un cours d'eau en utilisant des fagots vivants. Les fagots sont empilés et attachés à des poteaux de bois fixés devant la berge, offrant une protection jusqu'à une hauteur maximale d'un mètre (figure 4b). Cette structure offre une protection mécanique de la berge des forces hydrauliques érosives, tandis que les branches vivantes des fagots permettent une stabilisation à long terme avec leur développement. Cependant, cette technique présente des limites notamment dues à l'ombrage des fagots supérieurs nuisant à la viabilité des fagots inférieurs. Une alternative consiste à disposer et empiler des fagots en rangées successives dans la pente, avec les fagots inférieurs composés de bois mort et de matériaux retenus par un pieu à la base, tandis que les fagots supérieurs restent vivants (figure 4c). Cette seconde approche est privilégiée pour obtenir de meilleurs résultats et réduire la verticalité des ouvrages.

Fascines à noyau

Les saucissons, ou fascines à noyau, sont une technique de stabilisation des berges des cours d'eau consistant en des fagots de branches de plus gros diamètre (80-120 cm) entourant un noyau de sable, gravier, terre ou pierres, pour former des cylindres. Ces structures massives et rugueuses sont placées en pied de berge pour réduire la vitesse du courant et protéger la berge de l'érosion. Les saucissons sont flexibles et peuvent être utilisés indivi-

duellement ou en combinaison pour s'adapter au terrain. Leur positionnement limite les risques d'affouillement et offre une bonne résistance. Cependant, leur utilisation en France est limitée et les dimensions des ouvrages existants sont souvent inférieures aux recommandations.

Fascines dans les caissons

La technique de caisson végétalisé est couramment utilisée en génie végétal pour protéger les berges contre l'érosion. Une variante consiste à construire une structure en bois en forme d'escalier ou de mur vertical, avec des rondins de bois fixés en rangées parallèles et remplis de pierres ou de matériaux morts. Les parties supérieures du caisson sont fermées par des fascines vivantes qui s'enracinent dans le remblai gravelo-terreux (figure 4d). La structure offre une protection mécanique initiale grâce aux rondins et aux fascines, puis une stabilisation à long terme grâce au développement des racines et des branches. Les avantages de cette technique sont une berge subverticale et une capacité immédiate à supporter des charges hydrauliques importantes. Cependant, la durée de vie des rondins dépend des conditions (espèce et hygrométrie du site). L'ombrage des plantes des niveaux supérieurs sur les niveaux inférieurs doit être géré pour éviter le dépérissement de ces derniers.

Dans le lit de la rivière

Épi en fascines

Les épis de fascine sont des ouvrages composés de fagots disposés entre des pieux et s'étendant perpendiculairement ou légèrement vers l'amont ou l'aval du cours d'eau. Décrit à de nombreuses reprises par le passé (figure 5a), ils réduisent les contraintes hydrauliques sur la berge, redirigent les écoulements, réduisent la vitesse près de la berge et préviennent l'érosion. En série, ils réduisent la largeur du cours d'eau et favorisent le dépôt de sédiments entre eux. Les épis peuvent être réalisés avec des végétaux vivants ou morts. Pour les branches mortes, on privilégiera les bois durs et imputrescibles pour une meilleure durabilité des ouvrages. Les épis s'adaptent à différentes largeurs de cours d'eau, ont une longue durée de vie et nécessitent peu d'entretien. Toutefois, une installation et une conception soigneuses sont nécessaires à leur réussite (Didier *et al.*, 2023).

Fascines de diversification

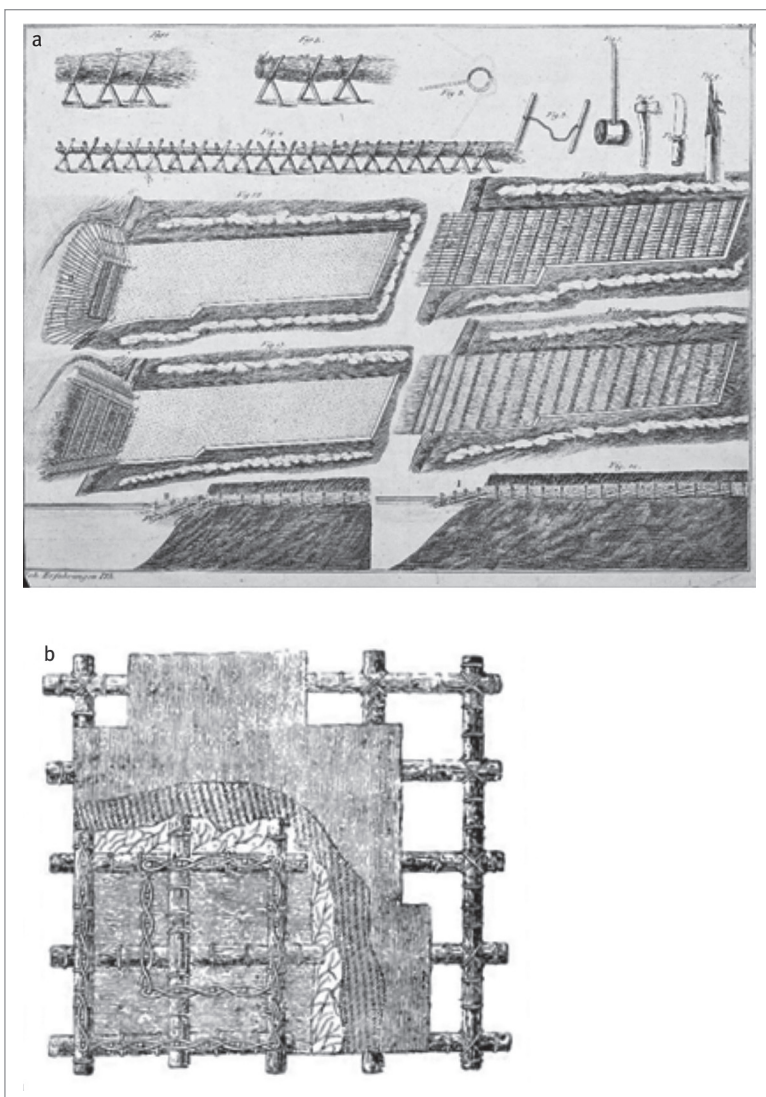
Les fascines sont des aménagements polyvalents pouvant également être utilisées pour diversifier les habitats dans les travaux de restauration des cours d'eau. Ils sont installés dans le lit mineur, influençant la morphologie et l'hydraulique pour favoriser l'oxygénation et la diversification des habitats aquatiques. Leurs structures peuvent être variées dans leurs formes, conceptions et mises en œuvre, sans qu'il n'y ait de forme ou de dimension universelle pour ces ouvrages peu coûteux, offrant une diversité des écoulements et du substrat. Ils apportent du bois dans la rivière, bénéfique pour la faune piscicole et sa résilience en période de sécheresse. Ces techniques visent à améliorer la biodiversité et les milieux aquatiques, et sont de plus en plus utilisées, notamment avec du bois mort.

Fascines transversales

Les fascines, sous forme de barrages perpendiculaires solides, peuvent retenir les sédiments dans les ravines

1. Affouillement : type d'érosion par la base provoquée par le courant d'un cours d'eau.

Figure 5 – Iconographies historiques de techniques de fascinage (a) épi en fascines et leur mise en œuvre illustrée par Joseph von Schemerl (1809) et (b) plateforme en fascines présentant les différentes couches de la structure par Ronna (1890).



et torrents, contribuant ainsi à la stabilisation des sols en milieu à forte pente et à la lutte contre l'érosion. Cependant, ces techniques peuvent avoir une durabilité limitée dans les cours d'eau à écoulement permanent et présenter des risques de contournement. Les réglementations telles que la directive cadre sur l'eau (DCE), les SDAGE² et les SRCE³ encouragent plutôt l'effacement des ouvrages transversaux pour rétablir la continuité écologique. Actuellement, l'accent est mis sur la restauration de l'écosystème naturel, déconseillant l'utilisation de telles techniques sur les cours d'eau (Didier *et al.*, 2023).

Plateforme/grillage en fascines

Les plateformes à échouer en fascines, également connues sous le nom de « zinkstuk » ou fascinage « en barbe », sont des techniques anciennes consistant en de grandes nattes tissées à la main, de branches de saule et de saucissons qui servent à protéger et à stabiliser les fonds des rivières, canaux et estuaires. Coulée au fond avec des lests, la structure finie par former une plateforme robuste s'appliquant à même le lit (figure 5 b).

Cette technique a une longue histoire d'utilisation aux Pays-Bas, où le manque de pierres pour les revêtements de berges a motivé son développement. Aujourd'hui encore, cette technique continue d'être employée, notamment en Belgique.

Sur les talus

Fascines drainantes

Utilisées sur les pentes humides présentant des infiltrations ou résurgences modérées à élevées, les fascines organisées en chevron peuvent servir de système drainant. Elles consistent en des fagots cylindriques de branches vivantes placés dans des tranchées et disposés avec un angle sur la pente, dans un réseau de drainage pour guider l'excès d'humidité vers des chenaux principaux également formés par des fascines (figure 6 a). L'établissement de la végétation à partir de la reprise des branches contenues dans les fagots va réduire le risque d'érosion et de glissement, grâce à un meilleur drainage et au développement racinaire structurant, augmentant la stabilisation de la pente. Les fascines drainantes sont toujours employées dans de nombreuses régions du monde.

Fascines de pente

Agissant comme de vraies barrières végétales, les fascines de pente consistent en des fagots placés sur les talus pour lutter contre l'érosion des sols (figure 6 b). La végétation ralentit les écoulements, et permet également de limiter le transfert de terre vers l'aval en retenant les sédiments. Les fascines de pente peuvent également prendre la forme de fascines multiples (les unes à côté des autres). Facile à mettre en place et pouvant s'adapter aux irrégularités du terrain, cette technique est toujours pratiquée de nos jours.

Matelas en fascines

Peu répandus en France, les matelas en fascines consistent en des fagots de branches contigus posés verticalement le long de la berge sur une rive ou un petit talus, formant un matelas assez épais pour recouvrir le sol (figure 6 c). Les branches sont plantées dans le sol pour permettre la reprise des végétaux et la technique assure une première protection mécanique contre les effets du courant. Par la suite, les branches et rameaux prennent racine profondément dans le sol, améliorant ainsi la stabilisation à long terme de la rive en profondeur.

Fascines mortes

Une modalité alternative consiste à utiliser du bois vivant n'ayant pas de capacité de bouturage. Cette technique, appelée « fascine morte », peut être utilisée en berge de rivière ou sur les talus pour assurer la stabilité et limiter le ruissellement. Toujours utilisées aujourd'hui, ces fascines peuvent être associées à la plantation de ligneux et vont protéger le sol le temps que les racines des plants se développent et assurent à leur tour sa stabilisation.

Les fascines de ligneux, quelles perspectives pour l'avenir ?

Savoir-faire ancestral, les fascines ont fait leur preuve au fil des siècles et restent aujourd'hui un outil essentiel de protection. Elles démontrent toute leur pertinence dans le monde contemporain. Bien qu'elles soient utilisées avec succès dans certaines régions, leur champ d'application

2. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux.

3. Schéma régional de cohérence écologique.

Figure 6 – Ouvrages avec fascines en talus (a) Fascine drainante, (b) Fascine de pente et (c) Matelas en fascines. Photo a : © Terra Erosion Control ; photo b : © Pierre-André Frossard ; photo c : © André Evette.



reste encore limité. L'étage subalpin ou encore les milieux tropicaux sont par exemple des conditions et contextes géographiques sous lesquels cette technique est encore très peu utilisée. Il existe d'ailleurs une demande croissante dans ces contextes géographiques variés, mais il est crucial de mener des études supplémentaires pour évaluer leur résistance et leur conception dans de telles conditions. En explorant leur utilisation dans des contextes variés, il sera possible de découvrir de nouvelles applications en augmentant ainsi leur potentiel dans la gestion de l'environnement et la prévention des risques.

L'utilisation du génie végétal est encore empirique, contrairement au génie civil, et il y a un manque de connaissances précises sur la résistance des fascines à l'arrachement et à l'affouillement (Leblois *et al.*, 2022). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre la conception des fascines et leur résistance face aux processus de défaillance. Cela permettrait de définir les meilleures pratiques pour une utilisation optimale de cette technique dans différents contextes et d'améliorer leur performance.

Les fascines font partie d'un éventail de techniques disponibles pour la stabilisation des berges par le génie végétal. Chaque technique apportant ses propres avantages et inconvénients, effectuer la même démarche de recherche pour chacune d'elle permettrait de déterminer plus finement les solutions les plus appropriées, en fonction des contextes et des objectifs à atteindre. Au-delà des fascines, il est important de prendre du recul sur l'ensemble des techniques de génie végétal pour comprendre leur adaptation aux différents contextes et leur capacité à atteindre les meilleurs résultats en matière de protection contre l'érosion, tout en maximisant la biodiversité et les services écologiques associés.

RÉFÉRENCES

- Adam P., Debiais N., Gerber F., Lachat B., 2008. Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques. La Documentation française, MEDDE.
- 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, Irstea Grenoble, 321 p. <https://hal.science/hal-02598614/>
- Didier M., Evette A., Schmitt E., Leblois S., Jaymond D., Evette J.-B., Mira E., Raymond P., Frossard P.-A., 2023. Les fascines de Ligneux en génie végétal, guide technique, OFB-INRAE, 74 p. https://genibiodiv.inrae.fr/wp-content/uploads/Les_fascines_de_ligneux_INRAE_OFB.pdf
- Gray D. H., Sotir R. B., 1996. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. New York: John Wiley and Sons, Inc., 400 p.
- Jaymond D., Evette A., Bray F., Leblois S., Jung D., Vivier A., Dorget C., 2021. BD GeniVeg : une base de données française sur les ouvrages de protection de berges en génie végétal. Sciences Eaux & Territoires, (42), 35-39. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2023.42.7298>
- Lachat B., 1994. Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales (en collaboration avec P. Adam, P.-A. Frossard, R. Marcaud). Paris: Ministère de l'Environnement, 143 p. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/ACCIDR/digital-viewer/c-219342>
- Mira E., Rousteau A., Tournebize R., Robert M., Evette A., 2022. Evaluating the suitability of neotropical trees and shrubs for soil and water bioengineering: Survival and growth of cuttings from ten Caribbean species. Ecological Engineering, 185, 106808. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106808>

Encadré 1 – Essences utilisées pour les éléments constitutifs des fascines en Europe occidentale et aux petites Antilles (pieux et fagots).

Les essences choisies pour un ouvrage dépendent des conditions stationnelles considérées mais également du contexte, de la nature et des objectifs de l'ouvrage. Les informations fournies dans cet article concernent la France hexagonale et les Caraïbes. Toute implantation de végétaux doit être précédée d'une analyse des conditions de croissance qu'ouvrira la station. On privilégiera l'utilisation d'essences locales, via la marque Végétal Local © par exemple, notamment pour une bonne adaptation au milieu, une empreinte carbone plus faible et l'assurance de la non introduction d'espèces exotiques envahissantes. Pour la fabrication des pieux, tressages, lits de plançons, matelas de branche ou fagots, le genre *Salix* est couramment utilisé sur le continent européen puisque les saules offrent une bonne garantie de rejeter, à partir de segments d'organes aériens. Ils présentent un excellent taux de reprise pour la majorité, une croissance rapide et une bonne tolérance aux perturbations tout en appréciant particulièrement les sols humides. Différentes espèces de saules arbustifs apparaissent comme faciles dans l'application du génie végétal et particulièrement des fascines. On peut notamment citer *S. purpurea* et *S. viminalis* du fait d'un taux de reprise très élevé (> 90 %) autorisant leur utilisation dans de nombreux types d'ouvrages. Le port arborescent du saule blanc (*Salix alba* L.) et du saule fragile (*Salix x fragilis* L.) par exemple n'est pas souhaitable en pied de berge puisque les arbres de gros diamètres peuvent augmenter les phénomènes de turbulences et d'érosion associés. En formant des points durs, ces espèces peuvent ainsi tendre à favoriser l'érosion au lieu de l'éviter. De plus, les arbres de haut jet vont avoir plus tendance à basculer dans le cours d'eau lors de forts vents (effet de bras de levier). Il est recommandé de varier les essences dans les aménagements afin d'éviter la création de station monospécifique. En plus de satisfaire des critères de diversité biologique, cela offre une diversité paysagère et une mixité dans le réseau racinaire susceptible d'augmenter la résistance de l'ouvrage face à l'érosion. La diversité des espèces et des types fonctionnels associés va augmenter la résilience des communautés végétales implantées, en cas de perturbation (sécheresse, inondation, herbivorie...). Disposer d'espèces avec des réponses différentes aux perturbations offre une garantie supérieure du maintien de la couverture végétale. Dans un souci de diversification, l'emploi de trois à quatre espèces différentes de saules buissonnants et arbustifs est conseillé, associées bien sûr à des ligneux d'autres genres dès que possible.

	Nom latin	Nom français	Utilisation	Taux de reprise au bouturage (%)	Rapport volume racines / volume tiges	Hauteur (m)	Sources
France métropolitaine	<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn	Aulne glutineux	Pieu	< 5		20	(g)
	<i>Castanea sativa</i> Mill.	Chataigner	Pieu				(c)
	<i>Fagus sylvatica</i> L.	Hêtre	Pieu				(f)
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Frêne commun	Pieu	Très faible	1,5	30	(d, h)
	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.*	Robinier faux-acacia*	Pieu	À utiliser mort			(c)
	<i>Salix alba</i> L.	Saule blanc	Pieu/fagot	74	0,5	5 à 30	(a, c)
	<i>Salix appendiculata</i> Vill.	Saule appendiculé	Pieu/fagot	Généralement faible, jusqu'à 70 % pour (b)	1,7	1 à 6	(b, c, e, h)
	<i>Salix atrocinerea</i> Brot.	Saule roux	Fagot	Cf. <i>Salix cinerea</i>		3 à 6	(c)
	<i>Salix aurita</i> L.	Saule à oreillettes	Fagot	40-70		1 à 3	(c, h)
	<i>Salix caprea</i> L.	Saule marsault	Pieu	Généralement faible, jusqu'à <40 % pour (h)		3 à 15	(a, c, e, h)
	<i>Salix cinerea</i> L.	Saule cendré	Fagot	75		3 à 6	(a, c)
	<i>Salix daphnoides</i> Vill.	Saule faux daphné	Pieu/fagot	> 90		3 à 15	(a, c, e, h)
	<i>Salix eleagnos</i> Scop.	Saule drapé	Pieu/fagot	70-100	1,8	1 à 15	(a, c, e, h)
	<i>Salix x fragilis</i> L.	Saule fragile	Fagot	95		5 à 25	(b, c)
	<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	Saule noircissant	Pieu/fagot	70-90	1,8	1,5 à 5	(a, c, e, h)
	<i>Salix pentandra</i> L.	Saule laurier	Pieu/fagot	70-90		3 à 13	(a, c, e, h)
	<i>Salix purpurea</i> L.	Saule pourpre	Pieu/fagot	> 90	1,5	1 à 6	(a, c, e, h)
	<i>Salix triandra</i> L.	Saule à trois étamines	Pieu	70-90	0,4	2 à 7	(c, h)
<i>Salix viminalis</i> L.	Saule des vanniers	Pieu/fagot	90		2 à 10	(a, c)	
Petites Antilles	<i>Cedrela odorata</i> L.	Acajou amer	Pieu	30	0,23	20	(g)
	<i>Chimarrhis cymosa</i> Jacq.	Résolu	Pieu/fagot	85	0,23	15	(g)
	<i>Citharexylum spinosum</i> L.	Bois carré	Pieu	70	0,31	8	(g)
	<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	Figuier maudit	Pieu	50	0,08	15	(g)
	<i>Homalium racemosum</i> Jacq.	Acomat-hêtre	Pieu/fagot	35	0,25	15	(g)
	<i>Piper dilatatum</i> Rich.	Queue de rat	Fagot	77	0,19	2	(g)
	<i>Piper dussii</i> C. DC.	Queue de rat	Fagot	52	0,27	2	(g)

* Des précautions particulières sont requises pour l'utilisation du robinier faux-acacia (*Robinia pseudoacacia* L.), en raison de son statut d'espèce exotique envahissante en France Métropolitaine. Il est recommandé de privilégier son utilisation sous forme de matériau mort.

(a) Zuffi, D. (1989). Génie biologique – Cours sur la stabilisation végétale des talus. Inspection cantonale des forêts.

(b) Schiechl, H. M. (1992). Weiden in der Praxis. Patzer.

(c) Lachat, B. (1994). Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'Environnement. DEREN Rhône Alpes, 143 p. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/ACCIDR/digital-viewer/c-219342>

(d) Donat, M. (1995). Bioengineering techniques for streambank restoration. A review of Central European practices (Watershed Restoration Project Report No. 2 ; p. 92). Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests of Vancouver, BC, Canada.

(e) Adam, P., Debais, N., Gerber, F., Lachat, B. (2008). Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques, La Documentation française, MEDDE.

(f) Coufourier, N., Lecomte, V., Le Goff, A., Pivain, Y., Lheriteau, M., Ouvry, J.-F. (2008). Fascine. Freiner les ruissellements. Provoquer la sédimentation. Fiche n° 12 (p. 4) [Fiche technique]. Chambres d'agriculture de la Seine Maritime, de l'Eure et Association régionale pour l'étude et l'amélioration des sols.

(g) Zouaoui, H. I. (2011). La quantification de l'évaporation dans le genre *Salix* : Une contribution à la renaturation et à la revitalisation des cours d'eau. Maîtrise Universitaire en Sciences de l'Environnement. Université de Genève. Université de Genève.

(h) 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, Irstea Grenoble, 321 p. <https://hal.science/hal-02598614/>

Encadré 2 – Spécifications techniques et dimensionnement des branches composant les fascines selon la littérature.

Les branches d'arbres/arbustes servent à constituer le fagot amené, fait ou mis en place directement sur la berge, pour constituer la fascine. Les branches peuvent être mortes ou vivantes suivant le type de fascine installé. Si le caractère vivant de la fascine veut être maintenu, elles sont (éventuellement accompagnées des pieux) le support de la reprise de la végétation permettant la stabilisation des berges ou du talus. Concernant le dimensionnement des branches, les diamètres des branches doivent être variés. Si le fagot est composé de branches de diamètres hétérogènes, il exerce un meilleur piégeage des sédiments. Les branches vivantes doivent avoir un diamètre minimum de 2 cm à l'extrémité basale (inférieure) pour assurer un bon approvisionnement en énergie stockée dans la tige, nécessaire à la bonne reprise de la végétation. La longueur minimale doit être de 50 cm, mais on préférera des longueurs supérieures (200 cm et plus) pour une bonne structure des fascines et afin de maximiser la quantité d'énergie stockée nécessaire à la reprise.

Technique	Spécifications techniques	Longueur (cm)		Diamètre (cm)		Sources
		min	max	min	max	
Fascines de pied de berge	Compaction des branches avec un serre fagots.	≥ 200		2	5	(a)
	Branches recouvertes de matériaux gravo-terreux.			1		(b)
	Boutures réparties dans le fagot afin que les extrémités soient réparties uniformément sur la longueur de la fascine.	152*	> 304*	1*	3*	(e)
	Disposition en couches successives (25 branches/ mètre linéaire) en intégrant des matériaux gravo-terreux, puis compactage à l'aide d'une pelle hydraulique.	≥ 200		2	4	(f)
	Intégrer dans la fascine des matériaux terreux gravo-terreux puis compactation à la pelle hydraulique. Base des branches ancrée dans le pied de la berge.	≥ 200		2	4	(g)
	Extrémités des branches plus minces pour faciliter le chevauchement entre les fagots. Fabrication sur un chevalet dédié à cet usage.	80		> 2		(h)
	Mise en place de l'aval vers l'amont du cours d'eau. L'extrémité de plus gros diamètre placée à l'aval vers le talus, et recouvre l'extrémité fine des branches du fagot suivant.	≥ 200		> 2	4	(i)
	Branches disposées en couches, lestées avec des matériaux terreux compactés.	50	200	2	5	(j)
Fascines de pente	Fagot composé au minimum de 5 branches et branches recouvertes de matériaux gravo-terreux.			1		(b)
	Fagots pouvant contenir jusqu'à 20 % de branches mortes.	121*	243*	1*	12*	(d)
	Boutures réparties dans le fagot afin que les extrémités soient réparties uniformément sur la longueur de la fascine.	152*	> 304*	1	3*	(e)
Fascines drainantes	Branches devant être recouvertes de matériaux gravo-terreux.			1		(b)
	Matériaux gravo-terreux à ajouter et compactation avec les fagots.	150	910			(c)
	Fagots pouvant contenir jusqu'à 20 % de branches mortes.	121*	243*	1*	12*	(d)
	Extrémités des branches plus minces pour faciliter le chevauchement entre les fagots. Fabrication sur un chevalet dédié à cet usage.	80		> 2		(h)

* Valeurs en unités impériales britanniques provenant d'ouvrages anglo-saxons converties et arrondies à l'unité inférieure.

(a) Lachat, B. (1994). Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'Environnement. DEREN Rhône Alpes, 143 p. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/ACCIDR/digital-viewer/c-219342>

(b) Donat, M. (1995). Bioengineering techniques for streambank restoration. A review of Central European practices (Watershed Restoration Project Report No. 2 ; p. 92). Ministry of Environment, Lands and Parks and Ministry of Forests of Vancouver, BC, Canada.

(c) Gray, D. H., Sotir, R. B. (1996). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization : A practical guide for erosion control. J. New York: John Wiley and Sons, Inc., 400 p.

(d) Lewis, L. (2000). Soil bioengineering : An alternative for roadside management. A practical guide. United States Department of Agriculture, Forest Service, Technology & Development Program.

(e) Eubanks, C., Meadows, D. (2002). A Soil Bioengineering Guide for Streambank and Lakeshore Stabilization (606). U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program.

(f) Adam, P., Debiais, N., Gerber, F., Lachat, B. (2008). Le génie végétal. Un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques, La Documentation française, MEDDE.

(g) Biotec. (2011). Aménagement d'un glissement de terrain et protection de berge contre l'érosion sur le Pamphiot, commune d'Anthy-sur-Léman. Dossier de consultation des entreprises et cahier des clauses techniques particulières (10.127-DCE-104 ; p. 32).

(h) AMEC. (2012). Design guidelines for erosion and flood control projects for streambank and riparian stability restoration (AMEC Environment & Infrastructure No CW2098). The City of Calgary, Water Resources.

(i) 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, Irstea Grenoble, 321 p. <https://hal.science/hal-02598614/>

(j) Lequertier, E., Berlioz, J.-P., Gonthier, C., & Muller, T. (2015). Travaux de génie végétal. E. de Bionnay, Vol. 1-N.C.1-R0.