



HAL
open science

Le génie végétal au Québec pour la stabilisation des berges État de la situation

Clémence Moreau, André Evette, Marylise Cottet, Monique Poulin

► **To cite this version:**

Clémence Moreau, André Evette, Marylise Cottet, Monique Poulin. Le génie végétal au Québec pour la stabilisation des berges État de la situation. Université Laval (Québec, Canada); Société Québécoise de Phytotechnologie; INRAE Centre Lyon Grenoble Auvergne Rhône-Alpes; UMR 5600 EVS; Pêches et Océans Canada. 2024. hal-04861369

HAL Id: hal-04861369

<https://hal.science/hal-04861369v1>

Submitted on 6 Jan 2025

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.

Le génie végétal au Québec pour la stabilisation des berges

État de la situation



Fisheries and Oceans
Canada
Pêches et Océans
Canada

Pour citer ce document : Moreau C, Evette A., Cottet M., Poulin M., Le génie végétal au Québec aujourd'hui, état de la situation. *Université Laval*, 2024

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du projet FLAG et du post-doctorat de Clémence Moreau, grâce à la participation financière de Pêches et Océans Canada (MPO) et de Mitacs dans le cadre du programme Mitacs Élévation

Photo page précédente : Installation de treillis de bois sur la plage Jacques Cartier à Québec. ©C. Moreau, 15/02/24

Résumé

La présence d'infrastructures ou d'enjeux humains impose parfois de restreindre la libre mobilité des cours d'eau et de stabiliser les berges. Dans ces cas-là, peut-on limiter efficacement l'érosion des berges tout en préservant la qualité écologique, la valeur esthétique et le potentiel récréatif des cours d'eau ? C'est dans cette perspective que les techniques de génie végétal peuvent constituer une alternative aux techniques de génie civil. Alors que les techniques de génie civil utilisent des matériaux inertes comme le béton, le métal ou la roche, les techniques de génie végétal utilisent les propriétés mécaniques, physiologiques et biologiques des plantes vivantes pour stabiliser les berges et les protéger contre l'érosion, mais aussi restaurer la biodiversité et les fonctions écologiques associées ([chap. 2](#)). Outre la protection des berges contre l'érosion, les techniques de génie végétal présentent de nombreux bénéfices : les berges ainsi végétalisées offrent une grande diversité d'habitats aux plantes, aux macro-invertébrés benthiques, aux poissons ou aux oiseaux ; elles assurent la connectivité entre des milieux fragmentés et peuvent même permettre aux espèces de migrer en adaptation aux changements climatiques. Elles fournissent également de nombreux services écologiques, comme l'amélioration de la qualité physico-chimique des cours d'eau, la lutte contre les espèces envahissantes, l'atténuation des îlots de chaleur, le stockage du carbone, le support à des activités récréatives ou à la valeur esthétique des paysages ([chap. 4](#) et [chap. 9](#)).

Malgré tous ces bénéfices, l'usage des techniques de génie végétal reste limité au Québec ([chap. 3](#)), en raison de certaines spécificités du contexte québécois : la glace, la neige et les vagues constituent des forces érosives majeures, le climat rigoureux contraint le calendrier de chantier, tandis que la présence d'argiles rend plus complexe le recours au génie végétal, car cela nécessite des quantités massives d'enrochement qui servent de contrepoids ([chap. 5](#)). Il y a également des défis techniques : la méconnaissance qui entoure encore ces pratiques mène souvent au surdimensionnement des ouvrages ainsi qu'à une mauvaise prise en compte des bénéfices écologiques et sociaux ; et travailler avec le vivant induit une fragilité dans les premières années suivant la mise en place de l'ouvrage ([chap. 6](#)).

Outre ces limites techniques, certains facteurs culturels et sociaux peuvent conditionner le recours au génie végétal. Ainsi, si les techniques de génie végétal sont généralement présentées comme peu coûteuses, leur coût reste mal évalué, et les opportunités de financement ne semblent pas incitatives ([chap. 7](#)). En ce qui concerne les connaissances, on peut qualifier le domaine de « niche scientifique », et un grand nombre de questions propres au Québec restent peu ou pas documentées. Il y a aussi d'importants besoins en termes de formation initiale et continue ([chap. 8](#)). L'acceptabilité sociale des projets est également un facteur important, puisque les habitants peuvent être de véritables alliés pour ces projets, comme des opposants, en fonction de leur évaluation de la performance de ces techniques, de leur perception de la biodiversité, de la valeur esthétique qu'ils attribuent aux berges végétalisées, ou encore des enjeux liés à la justice sociale ([chap. 9](#)). La mise en place d'ouvrages de génie végétal implique une diversité d'acteurs et d'actrices, et des difficultés administratives peuvent apparaître, en particulier au moment de la procédure d'appel d'offre, de la signature des plans et au cours du chantier ([chap. 10](#)). Enfin, si la législation présente quelques dispositifs favorisant l'usage de génie végétal, des freins réglementaires existent, en particulier en ce qui concerne l'encadrement des techniques mixtes et des mesures compensatoires ([chap. 11](#)). **Finalement, ce rapport permet d'identifier les manques de connaissance, les freins et les leviers pour un usage plus large de ces techniques au Québec.**

Table des matières

Résumé.....	3
Liste des sigles utilisés	5
Table des figures et tableaux.....	5
PARTIE I : INTRODUCTION ET ÉTAT DES LIEUX	6
1. Introduction	6
2. Définitions et cadres conceptuels.....	7
3. État des lieux de l'usage du génie végétal au Québec	13
PARTIE II : FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET TECHNIQUES	15
4. Les facteurs environnementaux : la plus-value indéniable des ouvrages de génie végétal.....	15
5. Les facteurs géographiques et climatiques : de fortes contraintes, des innovations possibles.....	20
6. Les facteurs techniques : la performance intégrée des ouvrages de génie végétal.....	24
PARTIE III : FACTEURS SOCIO-CULTURELS	31
7. Les facteurs financiers : des informations lacunaires sur les coûts des ouvrages	31
8. Les facteurs liés à la connaissance et à la formation : un besoin marqué de connaissances propres au contexte québécois et de formation	33
9. Les facteurs liés à l'acceptabilité sociale : des ouvrages fiables, des berges belles et vivantes, un territoire juste 37	
10. Les facteurs liés à l'organisation de la filière : encourager les compétences croisées des professionnel.les ...	42
11. Les facteurs réglementaires : vers une réglementation plus incitative ?.....	46
BIBLIOGRAPHIE.....	53

Liste des sigles utilisés

ACRSD	Association Canadienne de Réhabilitation des sites Dégradés
AGRQCQ	Association Des Gestionnaires Régionaux Des Cours D'eau Du Québec
EEE	Espèce exotique envahissante
IN	Infrastructure Naturelle
IV	Infrastructure Végétalisée
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MRC	Municipalité régionale de comté
MPO	Pêches et Océans Canada
MTQ	Ministère des Transports du Québec
LHE	Ligne des Hautes Eaux
PPRLPI	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
RAMHHS	Règlementation sur les Activités dans les Milieux Humides, Hydriques et Sensibles
REAFIE	Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement
SE	Service Écologique
SFN	Solution Fondée sur la Nature
SQP	Société Québécoise de Phytotechnologie
ZIP	Zone d'Interventions Prioritaires

Table des figures et tableaux

Fig. 1 : Schéma synthétique d'aide à la décision en présence d'érosion de berge.	8
Fig. 2 : Plant de saule inséré dans les enrochements à l'aide d'une petite pochette de géotextile.....	9
Fig. 3 : Exemple d'aménagement à partir de technique de génie végétal	10
Fig. 4 : Berge érodée par les crues et les glaces, rivière Sainte-Anne.	20
Fig. 5 : Le génie végétal à la croisée de compétences variées	34
Fig. 6 : La rivière Saint Charles avant renaturation (haut, 1980) et après renaturation (bas, 2009).	40
Fig. 7 : Délimitation du littoral, des rives et des zones inondables d'un cours d'eau.....	46
Fig. 8 : Schéma décisionnel concernant les autorisations ministérielles	50
Tableau 1 : Comparaison des différents recensements des ouvrages de génie végétal	14
Tableau 2 : SE rendus par les ouvrages de génie végétal	17

PARTIE I : INTRODUCTION ET ÉTAT DES LIEUX

1. Introduction

La présence d'infrastructures ou d'enjeux humains imposent parfois de restreindre la libre mobilité des cours d'eau et de stabiliser les berges. Dans ces cas-là, peut-on limiter efficacement l'érosion des berges tout en préservant la qualité écologique, la valeur esthétique et le potentiel récréatif des cours d'eau ?

C'est dans cette perspective que les techniques de génie végétal sont envisagées comme une alternative aux techniques de génie civil. Alors que les techniques de génie civil utilisent des matériaux inertes comme le béton, le métal ou la roche, les techniques de génie végétal utilisent les propriétés mécaniques, physiologiques et biologiques des plantes vivantes pour stabiliser les berges et les protéger contre l'érosion, mais aussi restaurer la biodiversité et les fonctions écologiques associées. Outre la protection des berges contre l'érosion, les techniques de génie végétal présentent de nombreux bénéfices, pour la biodiversité et les sociétés humaines : habitats diversifiés, meilleure connectivité des milieux, amélioration de la qualité physico-chimique des cours d'eau, stockage du carbone, lutte contre les îlots de chaleur et les espèces exotiques envahissantes (EEE), valeur esthétique des paysages, support aux activités récréatives.

Malgré tous ces bénéfices, l'usage des techniques de génie végétal reste limité au Québec. Cela peut s'expliquer par des facteurs techniques, climatiques, mais aussi culturels et sociaux. En effet, nous considérons que les ouvrages de génie végétal ne s'inscrivent pas seulement dans un contexte climatique, topographique, hydraulique et géologique dans lequel ils peuvent être fragilisés par la débâcle printanière ou le batillage, ni uniquement dans un contexte écologique qui va conditionner le succès de reprise des végétaux. Nous considérons ici que les berges de cours d'eau constituent également un espace social, dans lequel l'organisation de la filière, les conflits entre les parties prenantes, les réglementations en cours, les usages, mais aussi les représentations des actrices et des acteurs, leurs valeurs, voire leurs croyances, peuvent constituer des conditions de succès ou d'échecs d'installation et d'entretien de ces ouvrages.

L'objectif du **projet FLAG (Freins et Leviers Au Génie végétal au Québec)** est d'identifier les freins et leviers au développement plus large de ces techniques, et de proposer des leviers d'action. Ce projet implique **l'Université Laval** (Clémence Moreau, Monique Poulin, Guillaume Grégoire), **Pêche et Océan Canada** (MPO) (Claude Normand, Rebecca Meloche, Georgina Braoudakis), **la Société Québécoise de Phytotechnologie** (SQP) (Chloé Frédette) ainsi que deux centres de recherche français (André Evette, **INRAE**, Marylise Cottet, **CNRS**).

Le projet comporte quatre volets : 1) **Un état de la situation** ; 2) **Une analyse qualitative**, comportant des entretiens avec des professionnelles et professionnels de la filière et le suivi de plusieurs projets ; 3) **Un atelier participatif** ; 4) **L'animation du réseau**. Ce rapport s'inscrit dans le premier volet du projet. Il a été réalisé à partir de la lecture de documents scientifiques, techniques et réglementaires sur le génie végétal au Québec et dans le monde, publiés en français et en anglais.

Ce rapport est composé de trois grandes parties. [La Partie I](#) opère le **cadre** de notre objet d'étude : définitions et cadres conceptuels, exposé des différentes techniques, histoire du génie végétal au Québec recensement du génie végétal au Québec aujourd'hui. Les deux autres parties explorent les facteurs qui peuvent expliquer le recours (ou non) à ces techniques : **facteurs environnementaux techniques** ([Partie II](#)) et **facteurs socio-culturels** ([Partie III](#)).

2. Définitions et cadres conceptuels

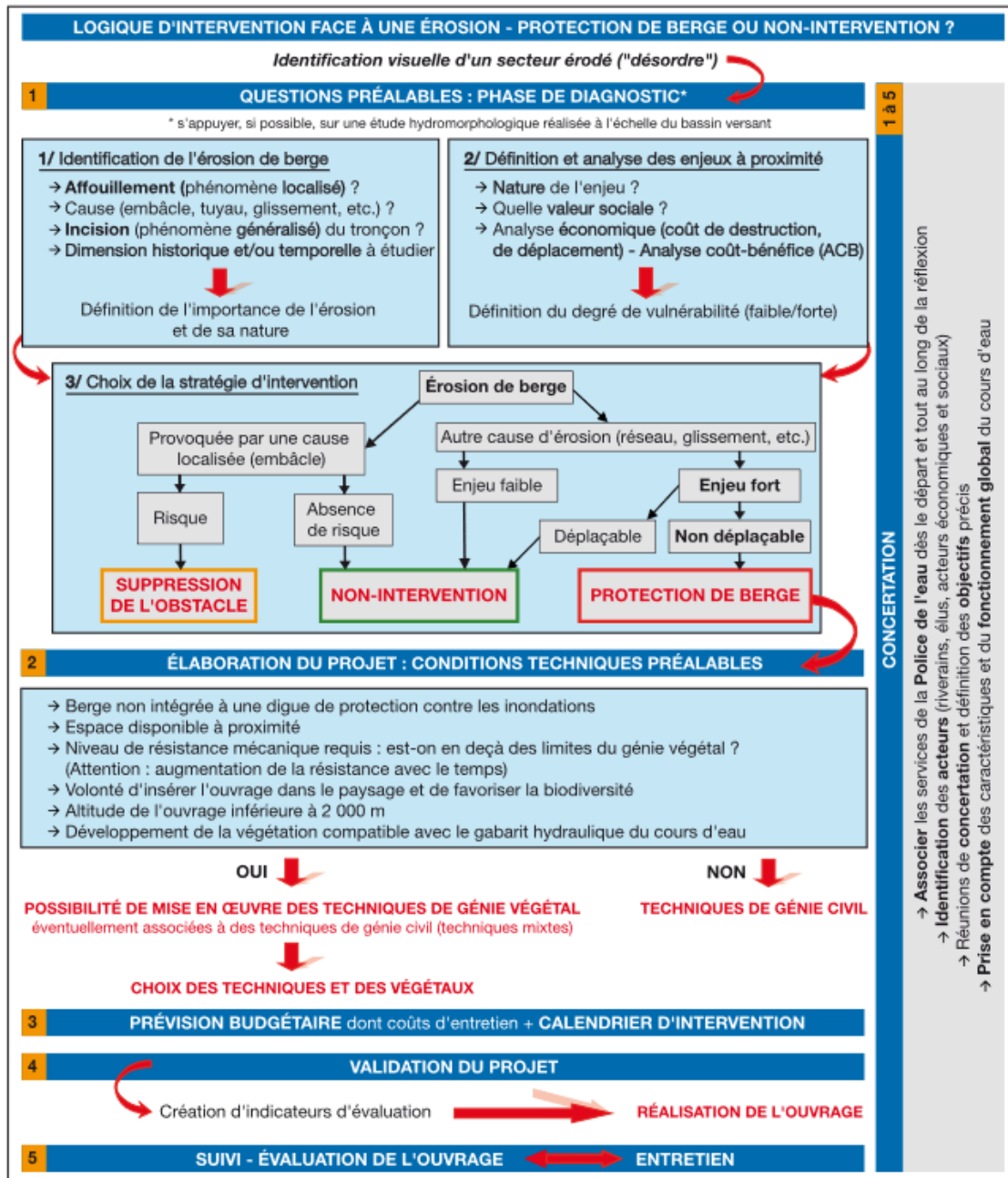
2.1. Le génie végétal, une logique de compromis

Le génie végétal désigne l'ensemble des techniques s'appuyant sur les propriétés mécaniques, physiologiques et biologiques des plantes (semences, boutures ou plants) pour résoudre des problématiques d'aménagement du territoire (Bonin et al. 2013; Rey 2020). Il poursuit différents objectifs, comme la restauration d'un milieu dégradé, l'épuration ou la dépollution des sols et des eaux, la lutte contre les espèces invasives, ou encore comme la stabilisation des sols érodés, notamment pour les berges de cours d'eau à laquelle nous nous intéressons dans cette synthèse (Frossard et Evette 2009; L. Bonin et al. 2013; Rey et al. 2015a). S'il peut répondre aux mêmes objectifs que les « techniques dures » du génie civil (protéger les biens et les personnes), le génie végétal s'appuie sur des « techniques douces », fondées sur l'observation et l'imitation des modèles naturels (Rey 2018) et peut également répondre à des objectifs de restauration de la biodiversité et des fonctions écologiques associées.

L'érosion désigne la transformation du relief par des agents hydrologiques et atmosphériques (Brassard D'Astous 2013). Sur une berge, deux phénomènes érosifs se combinent : les processus fluviaux (dans le lit du cours d'eau, les vagues, le courant et les glaces érodent le bas de la rive et transportent les sédiments de la berge vers le cours d'eau) et les processus terrestres (sur la rive, le ruissellement de l'eau de pluie entraîne les particules de surface vers la rivière) (Brassard D'Astous 2013; Chassiot, Lajeunesse, et Bernier 2020). Outre les processus naturels, les processus anthropiques génèrent de l'érosion, comme le batillage généré par la circulation des bateaux ; la circulation des véhicules sur les berges ; la chenalisation des cours d'eau, les activités agricoles (redressement des cours d'eau et drainage qui concentrent l'écoulement des eaux) ; la construction de barrage (qui ralentissent la recharge sédimentaire) ou l'artificialisation des bassins versants (qui limite l'infiltration des eaux et augmentent le débit des cours d'eau) (Paquette 2010).

Au Québec, jusqu'aux années 1950, les différents intervenants (Ministère de la Colonisation et de l'Agriculture, municipalités, municipalités régionales de comté (MRC), etc.) considéraient les cours d'eau comme des contraintes pour la circulation ou pour l'hygiène, ce qui a conduit à leur linéarisation, à leur détournement et à leur canalisation (Morin 2024). Aujourd'hui, le paradigme de gestion connaît un changement majeur : on cherche maintenant à restaurer un « espace de liberté » aux cours d'eau, c'est-à-dire à laisser vacants des espaces de mobilité des cours d'eau (dans lequel les cours d'eau pourront migrer latéralement) et un espace d'inondabilité (pour que les cours d'eau puissent déborder de leur lit régulièrement) (Biron et al. 2013). Les avantages de cette approche sont de maintenir ou restaurer les fonctions physiques naturelles du cours d'eau (transport de l'eau et des sédiments), de restaurer la connectivité entre la rivière et la nappe phréatique (via les milieux humides qui atténuent les crues et les étiages) et d'améliorer la qualité de l'eau (Biron et al. 2013).

La libre mobilité des berges est donc préférable d'un point de vue écologique, mais elle n'est pas toujours possible, en particulier en présence d'enjeux majeurs (infrastructures, habitations, bâtiments commerciaux etc.) (Fig. 1). Dans ce cas, les « techniques douces » du génie végétal sont jugées préférables aux « techniques dures » du génie civil, car elles sont fondées sur l'observation et l'imitation des modèles naturels (Rey 2018). Elles ont moins d'impact sur le milieu et permettent de conserver de nombreux services écologiques (SE) ([voir section 4.3](#)). Le génie végétal est donc un compromis entre la protection des berges contre l'érosion et le retour d'une biodiversité riveraine (Evette et al. 2022).



1 à 5

CONCERTATION

→ Associer les services de la **Police de l'eau** dès le départ et tout au long de la réflexion

→ **Identification des acteurs** (riverains, élus, acteurs économiques et sociaux)

→ Réunions de **concertation** et définition des **objectifs** précis

→ **Prise en compte** des caractéristiques et du **fonctionnement global** du cours d'eau

Fig. 1 : Schéma synthétique d'aide à la décision en présence d'érosion de berge.
Source (Bonin et al. 2013)

2.2. Le rôle des végétaux dans la stabilisation des berges

Dans les techniques de génie civil, la stabilisation des berges est assurée par des éléments minéraux (enrochements, digues). Les végétaux sont souvent considérés comme un élément de fragilisation des ouvrages de génie civil, car ils implantent leur système racinaire, ce qui peut parfois favoriser l'érosion (turbulence, basculement) et atténuer la performance (Vennetier et al. 2004), même si dans certains cas, cela peut aussi les renforcer (Schiechtl, Stern, et Jaklitsch 1997).

Dans le cas des berges végétalisées, ce sont les propriétés mécaniques, physiologiques et biologiques des plantes qui assurent la stabilisation des berges (Gray et Sotir 1996). Les végétaux jouent un rôle de protection active (la végétation

limite l'érosion, en atténuant l'effet des agents érosifs et en fixant les matériaux) et un rôle de protection passive (la végétation retient les matériaux érodés en jouant le rôle de barrière mécanique) (Lavandier et al. 2010). Toutes les parties des végétaux sont mobilisées. Les racines accentuent la résistance au cisaillement des sols, elles agglomèrent les particules du sol et diminuent son érodabilité, elles jouent également un rôle de drainage par absorption (Stokes et al. 2009; Frossard et Evette 2009; Desjardins 2019; Charbonneau 2024b). Les tiges et les feuilles au contact de l'eau ploient sous l'action du courant, formant ainsi une couche de protection qui protège mécaniquement les berges en isolant le sol du contact de l'eau, et protège ainsi l'arrachement des particules de sol (effet tapis) (Leblois et al. 2022). Les branches des arbustes qui sont placés sur le talus d'un cours d'eau augmentent aussi la rugosité de la berge, ce qui ralentit la vitesse d'écoulement, diminuant ainsi la force tractrice (effet peigne) (AGRCQ 2017; Tisserant 2024). De plus, en cas de pluie, les gouttes d'eau suivent les branches et le tronc, et atteignent le sol indirectement, le potentiel d'érosion par la pluie est donc limité (Charbonneau 2024b). Enfin, la biomasse aérienne atténue localement la force du vent et diminue le risque d'érosion éolienne, et permet l'évapotranspiration par les feuilles, ce qui contribue au maintien en place de l'horizon superficiel du sol (Evette et Frossard 2009; Desjardins 2019; Frédette et Trickey-Massé 2023).

En « travaillant avec le vivant », le génie végétal s'inspire et imite les modèles naturels. Ainsi, pour qu'un ouvrage soit qualifié de génie végétal, il faut que la végétation ne se cantonne pas à un rôle de verdissement d'une structure (ou « cosmétique végétal »), mais qu'elle assure aussi des fonctions mécaniques (soutènement et stabilisation de la berge) (Charbonneau 2024b). Dans les ouvrages mixtes, associant génie civil et génie végétal, le rôle mécanique des végétaux est parfois très limité. Ainsi, plusieurs techniques de végétalisation d'enrochement existent, l'une d'entre-elles consiste à introduire des végétaux dans les interstices des enrochements : les végétaux peuvent être placés dans des petites pochettes de géotextile, qui limite leur développement racinaire et donc leur rôle de stabilisation (Fig. 2) (Marin 2024). Par ailleurs, dans de nombreux ouvrages de techniques mixtes, les végétaux sont implantés au-dessus de la hauteur des lignes de crue (parfois jusqu'à la crue centennale), alors que les plantes pourraient être implantées plus bas, jusqu'à la limite inférieure des ligneux ([partie 6.4.](#)) (Charbonneau 2024a).



*Fig. 2 : Plant de saule inséré dans les enrochements à l'aide d'une petite pochette de géotextile.
Plage Jacques Cartier. Crédit : C. Moreau*

2.3. Les différentes techniques de génie végétal

Différentes techniques de génie végétal existent : les ouvrages de couverture, qui sont aménagés sur la surface du talus, généralement en milieu et haut de berge (plantations, ensemencement hydraulique, enherbement ou lit de plants et de plançons) et les ouvrages de pied de berge, qui sont aménagés en pied de berge au niveau de la ligne de contact entre l'eau et la terre (fascinage ou clayonnage) (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, Tisserant, et al. 2024). Ces techniques peuvent être combinées (Fig. 3). Mentionnons aussi les techniques mixtes, qui associent des végétaux vivants et des matériaux auxiliaires inertes principalement de enrochements (troncs, pieux en bois, géotextile, enrochements, pieux métalliques...) (Bonin et al. 2013). Les techniques mixtes sont moins intéressantes que les techniques de génie végétal d'un point de vue écologique mais elles sont préférables à l'enrochement pur, lorsque les contraintes sont trop fortes pour envisager du génie végétal (présence d'enjeux, contraintes foncières, contraintes hydrauliques comme la présence de seuils etc.) (Evette et al. 2015).

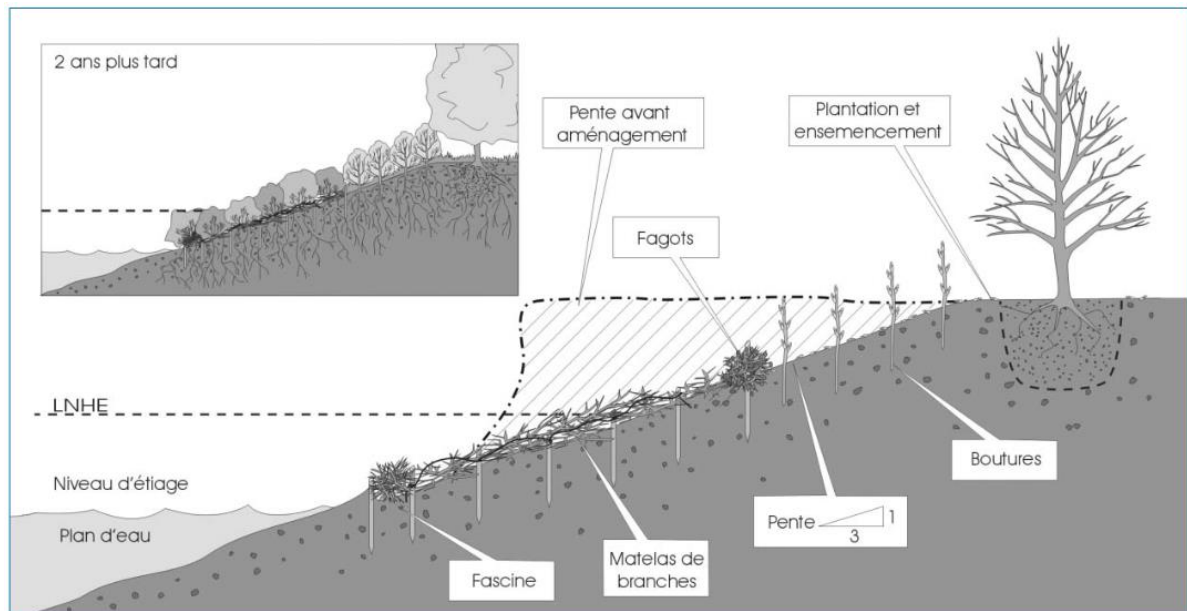


Fig. 3 : Exemple d'aménagement à partir de technique de génie végétal
Source : Société de la faune et des parcs - Québec 2003

Un recensement a été mené sur les basses terres du Saint Laurent et a identifié 130 ouvrages mixtes ou de génie végétal (Poulin et al. 2019). Il montre que les ouvrages reposent sur une clé d'enrochement ou un enrochement en pied de berge dans 90% des cas ; concernant les techniques de génie végétal, on trouve la fascine de saules (38%), le matelas de branches (20%), les pieux vivants insérés dans le sol (10 %), le tressage (4 %), ou une combinaison de fascine de saules en pied de berge et de matelas de branches en milieu de berge (28 %) (Poulin et al. 2019). Finalement, les fascines (de saule et/ou de cornouiller) sont présentes (seules ou combinées avec d'autres techniques) dans 66 % des ouvrages de stabilisation référencés (Poulin et al. 2019; Tisserant, Poulin, et al. 2021).

2.4. Plusieurs cadres théoriques pour penser le génie végétal

Le génie végétal peut être rattaché à quatre grands cadres conceptuels : le génie écologique, les infrastructures végétalisées (IV), les infrastructures naturelles (IN) et les solutions fondées sur la nature (SFN). Ces trois cadres sont imbriqués, puisque les SFN sont « un concept parapluie », qui englobe d'autres concepts, dont celui de génie écologique ou les IV (Guerrin et al. 2023).

Le génie végétal est un sous-ensemble du **génie écologique**, défini comme la somme des connaissances et des pratiques qui répondent à des problématiques d'aménagement ou d'exploitation des ressources en ayant recours à des

processus naturels (Rey et al. 2015). Le terme de « génie écologique » fait référence à deux traditions contrastées : l'ingénierie (l'étude, la conception et le contrôle d'équipements et d'installations techniques et industrielles), et l'écologie (l'étude des fonctionnements de la nature selon ses lois propres) (Barnaud et Chapuis 2004; ASTEE 2013; Doré, Gosselin, et Rey 2014). Ainsi, certaines tensions peuvent apparaître : l'ingénierie vise des résultats anticipés et prévisibles alors que l'écologie accepte une part d'imprévisibilité des fonctionnements naturels en réponse à l'action humaine, et on voit s'opposer un paradigme utilitariste orienté vers le contrôle, la simplification et la performance des systèmes vivants, c'est-à-dire qui agit « par » le vivant, et un paradigme conservationniste, qui est orienté vers la surveillance, la complexité et l'auto-organisation des systèmes vivants, donc qui agit « pour le vivant » (ASTEE 2013; Doré, Gosselin, et Rey 2014).

Les ouvrages de génie végétal peuvent être définies comme des **IV**, c'est-à-dire « des aménagements conçus dans le but de recréer et d'optimiser des processus naturels permettant d'obtenir des SE et de répondre à des problématiques précises » (Frédette 2023). Ce concept, apparu dans le champ de l'urbanisme, prend pour postulat une interaction positive entre le développement économique et la conservation de la biodiversité (Fustec et Levain 2023). En considérant les berges végétalisées comme des infrastructures, ce concept alerte aussi sur la nécessité de prévoir leur entretien et suivi à long terme, comme ce serait le cas pour des ouvrages de génie civil (Frédette 2023).

Les berges végétalisées avec les structures de génie végétal font aussi parties des **IN**, c'est-à-dire « un ensemble d'espaces verts et bleus interreliés permettant de préserver la valeur et les fonctions des écosystèmes, et qui fournissent des bénéfices aux sociétés humaines » (Benedict, McMahon, et Fund 2012, cité par Simard et al. 2019). Le concept d'IN est intéressant, en particulier en milieu urbain, car il insiste sur l'importance d'assurer une continuité écologique entre les berges végétalisées et les autres IN d'un territoire (jardins publics, privés et pluviaux, marais filtrants, plaines inondables, haies etc.) afin de former des trames vertes, bleues et turquoise (Simard et al. 2019).

Enfin, le génie végétal s'inscrit dans le cadre des **SFN** (Preti, Capobianco, et Sangalli 2022; Sangalli, Fernandes, et Tardío 2021), définies comme « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité » (Cohen-Shacham et al. 2016). Le concept met en avant le volet politique du génie végétal, puisque le concept de SFN a été promu lors de sommets internationaux, notamment par l'Union internationale pour la conservation de la nature, qui l'a présenté comme un concept innovant, permettant des mesures « sans regret » (c'est-à-dire qui ont des effets négatifs limités, voire nuls), et des décisions plus participatives, plus justes et plus efficaces (Guerrin et al. 2023; Preti, Capobianco, et Sangalli 2022).

Finalement, cette présentation des cadres conceptuels permet de dessiner les contours du génie végétal : ce sont des techniques qui concilient **aménagement du territoire et conservation des écosystèmes**, elles répondent donc aux **problématiques de l'ingénieur**, mais bénéficient aussi des **connaissances des écologues**. Elles font partie d'un vaste réseau d'espaces verts et bleus qui peuvent aussi offrir une continuité écologique, en particulier en milieu urbain. Elles sont souvent mises en avant dans les **arènes politiques**, mais pour être menées à bien, elles nécessitent une certaine technicité, des **investissements et des suivis sur le long terme**.

2.5. Génie végétal ou phytotechnologie ? Questions de vocabulaire

Dans le monde anglophone, on emploie majoritairement le terme de « *bioengineering*, » souvent complété de « *soil and water bioengineering* » pour éviter les amalgames avec l'utilisation du terme largement utilisé dans le domaine médical. Dans le monde francophone, on observe deux courants parallèles. En France, le terme « *génie végétal* » est le plus répandu, tandis qu'au Québec, on utilise plutôt le terme de « *phytotechnologie* », défini comme « *l'ensemble des technologies bâties par l'intervention humaine qui utilisent les plantes vivantes pour optimiser la livraison de divers services écologiques* » (SQP 2023). Cette définition est plus large que celle du génie végétal : un toit végétalisé, une aire de biorétention ou encore une haie brise-vent sont considérés comme des phytotechnologies mais ne font pas partie du génie végétal.

Cependant, le mot génie végétal est parfois employé au Québec. Ainsi :

- Dans le domaine scientifique, une requête sur Google Scholar avec "québec" + "génie végétal" + "berges" donne 111 résultats, alors qu'une requête avec "québec" + "phytotechnologies" + "berges" donne 21 résultats¹.
- Dans les textes de lois, le terme de génie végétal semble peu à peu remplacé par celui de phytotechnologie. Dans le Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFI) par exemple, il est indiqué que « *ces techniques étaient auparavant appelées génie végétal ; on préfère maintenant l'utilisation du terme « phytotechnologies », étant donné qu'elles sont employées par d'autres professionnels que les ingénieurs* » (Gouvernement du Québec 2023). En effet, la pratique du génie végétal est encadrée par l'ordre professionnel des ingénieurs, et le terme de phytotechnologie permet d'éviter la confusion quand d'autres professionnels sont mobilisés (écologues, entrepreneurs etc.) (Gravel et Marcoux 2024).
- Dans les réseaux professionnels, les deux termes sont utilisés. Par exemple, dans les travaux de SQP consacrés aux IV, le génie végétal est présenté comme un sous-ensemble des phytotechnologies (Frédette 2023). Sur leur site Internet, certains entrepreneurs utilisent les deux termes².

Dans cette synthèse, principalement à visée scientifique, nous avons choisi d'utiliser le terme de génie végétal, car c'est le plus utilisé dans la littérature scientifique.

¹ Requêtes conduites le 04/12/23

² Voir par exemple <https://ecogenie.ca/fr/ingenierie/genie-vegetal-et-phytotechnologies/> ; consulté le 04/12/23

3. État des lieux de l'usage du génie végétal au Québec

3.1. Perspective historique sur l'usage du génie végétal au Québec

Plusieurs études ont retracé l'histoire du génie végétal, qui est né au premier siècle avant JC, qui a été délaissé au cours du 19^{ème} et 20^{ème} siècle, avant de connaître une période de renouveau dans les années 1970 (Evette et al. 2009; Bischetti et al. 2021).

Au Québec, dès les années 1970, les connaissances sur le génie végétal se développent, à travers par exemple des cours donnés à l'Université de Montréal, à l'École d'architecture de paysage (Oehmichen 1986). Dans les années 1980, le Ministère québécois de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation recommande ces techniques (Desjardins 2019). Les ouvrages de Gray et Leiser (1982) et Gray et Sottir (1996) sont des jalons importants dans le développement de ces techniques au pays.

Il faut attendre les années 2000 pour que se développent des guides techniques, produits par les Ministères (Ministère de l'Environnement - Québec 1999; Société de la faune et des parcs - Québec 2003; Développement durable, Environnement et Parcs au Québec 2005; MDDEP 2009) ou les municipalités (Ville de Matane 2008). Ces fiches techniques présentent les principes généraux, mais peu de retour d'expériences. Finalement, très peu de capitalisation des connaissances ont été faites sur les expériences menées dans les années 1990, si bien que l'expertise acquise à cette période semble quasiment perdue aujourd'hui (Evette et al. 2023).

Les ouvrages les plus anciens datent des années 1990, avec par exemple des ouvrages de génie végétal installés sur le bord de la rivière Cap Rouge dès 1993 par Écogénie (Houde et White 2024).

3.2. Comparaison des différents recensements

Nous avons identifié trois publications qui ont recensé les ouvrages de génie végétal (Tableau 1 : Comparaison des différents recensements des ouvrages de génie végétal). À la lecture de ce tableau, on peut être surpris par le faible nombre d'ouvrages de génie végétal « pur » recensés (soit 17 ouvrages), au regard du nombre d'ouvrages mixtes.

Source	Type d'inventaire	Type d'ouvrages recensés	Méthodes	Zone	Nombre d'ouvrages
(Poulin et al. 2019; Tisserant et al. 2021)	Non exhaustif	Ouvrages mixtes et ouvrages de génie végétal « pur »	<ul style="list-style-type: none"> • Requête auprès des firmes, des organismes de bassins versants, des municipalités et des Ministères 	Basses Terres du Saint Laurent	130 ouvrages au total, dont : <ul style="list-style-type: none"> • 17 génie végétal « pur » • 17 avec clé d'enrochement • 96 techniques mixtes
(Lapierre et Pellerin 2018)	Exhaustif	Ouvrages mixtes, ouvrages de génie végétal « pur », ouvrages de végétalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche documentaire sur Internet • Requêtes auprès des instances fédérales, provinciales, municipales et institutionnelles 	Agglomération de Montréal	20 projets
(Frédette, Daigneault, et Riendeau 2022)	Non précisé	Ouvrages de génie végétal « pur »	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche documentaire sur Internet • Requêtes auprès des firmes, municipalités 	Province du Québec	17 ouvrages

Tableau 1 : Comparaison des différents recensements des ouvrages de génie végétal

PARTIE II : FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET TECHNIQUES

4. Les facteurs environnementaux : la plus-value indéniable des ouvrages de génie végétal

D'un point de vue environnemental, l'avantage du génie végétal sur le génie civil est indéniable. En imitant les modèles naturels, les techniques de génie végétal maintiennent et restaurent la biodiversité et les SE associés. De plus, les travaux de génie végétal ont moins d'impact sur le milieu.

4.1. Pendant la phase des travaux, un impact souvent réduit sur l'environnement

Les chantiers de génie végétal ont un impact bien moindre sur l'environnement que ceux de génie civil, car ils ont davantage recours au travail manuel, avec une machinerie moins lourde (Lachat 1998). Les plantes sont souvent prélevées localement, ce qui constitue un gain énergétique et un impact potentiellement réduit sur le paysage car il y a moins besoin de créer des pistes de chantier (Lachat 1998). En comparant trois techniques (enrochements, caissons végétalisés, lits de plants et de plançons) sur la rivière Liesing (Autriche), von der Thannen et al. (2020) ont montré que pendant la phase de production et de construction, la technique de l'enrochement présente une consommation d'énergie totale supérieure de 60% à celle des caissons végétalisés et de 80% supérieure à celle des lits de plants et de plançons. Aucune étude comparable n'a été menée au Québec.

S'il est réduit, cet impact n'est toutefois pas inexistant. Les travaux peuvent provoquer plusieurs perturbations, comme la perte de la végétation riveraine (coupe d'arbre, débroussaillage), l'empiètement et la perturbation de la berge (retalutage), la modification des conditions d'écoulement et l'apparition de sédiments et de contaminants dans le plan d'eau (Société de la faune et des parcs - Québec 2003). Ces perturbations peuvent détruire ou détériorer les habitats fauniques (abris, nourriture, frayères, corridors de migration, etc.) et réduire la qualité de l'eau (diminution de la transparence de l'eau, etc.) (Société de la faune et des parcs - Québec 2003).

Au Québec, la réglementation en place impose d'adapter le calendrier de travaux au frai des poissons ([partie 5.5.](#)). Pendant la période des travaux, certains choix techniques permettent de minimiser l'impact sur le milieu, comme le fait de façonner le sol de manière à obtenir une pente stable, et si possible d'adoucir les pentes pour limiter l'impact sur l'habitat du poisson ; de désigner un responsable de chantier qui veillera à la protection de l'habitat du poisson ; de restreindre le corridor d'intervention au minimum ; de limiter le déboisement ou d'aménager les aires de stationnement, d'entretien et d'entreposage sur des sites stables et éloignés du plan d'eau (Société de la faune et des parcs - Québec 2003). Pour réduire l'impact des ouvrages de génie végétal sur le milieu, il faut réduire aussi l'utilisation de matériaux de synthèse (plastique, métal) qui se dégradent mal et qui avec le temps peuvent causer des dommages à la faune et la flore. Mais ces matériaux sont encore couramment utilisés : une étude réalisée sur 69 sites d'ouvrages de stabilisation des berges avec génie végétal dans la ville de Calgary a montré que 30% d'entre eux utilisaient des matériaux rémanents synthétiques, comme des tapis avec des boudins ou des géogrilles (Gallant 2024). Pourtant, des alternatives biodégradables existent, comme des filtres granulaires, des treillis biodégradables en fibres de coco, des agrafes en bois et de la corde de bois ou de coco (Poulin et al. 2023).

4.2. Des berges végétalisées par le génie végétal, des berges « naturelles » ?

On l'a vu, le simple fait de chercher à stabiliser les berges des cours d'eau est contraire au fonctionnement naturel des cours d'eau, qui s'appuie en partie sur la libre mobilité des berges ([partie 2.1.](#)) (Biron et al. 2013). Ces réserves étant faites, le génie végétal est basé autant que possible sur l'observation et l'imitation des modèles naturels. Certains gestionnaires parlent ainsi de « transparence écologique », c'est-à-dire qu'au bout de quelques années, l'ouvrage de génie végétal

semble parfaitement intégré visuellement et écologiquement, les cortèges d'espèces associés étant similaires à ceux des milieux en amont et en aval (Moreau et al. 2022). Alors, dans quelle mesure peut-on considérer que les berges aménagées avec du génie végétal sont « naturelles », ou en tout cas présentent une biodiversité comparable aux berges qui n'ont fait l'objet d'aucun aménagement ?

Plusieurs études ont comparé la diversité végétale des berges stabilisées avec le génie végétal avec celle des berges naturelles ou enrochées. Ainsi, une étude menée dans les piémonts alpins et jurassiens (France et Suisse) a comparé des ouvrages de génie végétal, de génie civil, et des ouvrages mixtes, dans 42 sites situés sur 23 cours d'eau et avec des données s'étalant sur 14 ans. Les richesses spécifiques en espèces tolérantes à l'ombre et compétitrices étaient deux fois plus grandes dans les sites de génie végétal et dans les ouvrages mixtes que dans les sites de génie civil. On peut donc conclure que les techniques de génie végétal initient la succession végétale, qui est similaire à celle théoriquement trouvée en conditions naturelles (Tisserant et al. 2020). Une autre étude menée sur 39 sites alpins (Suisse et France) a montré que les ouvrages avec enrochement de pied de berge et un haut de berge végétalisé présente un nombre moyen de 36 espèces, contre 27 espèces pour les berges naturelles et 26 espèces pour les fascines de saule. Les ouvrages en techniques mixtes présentent la plus grande diversité car il y a deux habitats différents sur le même type d'ouvrage (Cavaillé, Evette, et Huyghe 2014). De même, une étude menée sur le Maine et le Danube a comparé la composition d'espèces, les traits fonctionnels et écologiques et la diversité floristique de trois types de berges : avec enrochement, avec le dispositif dit de « front-fixed banks » et des berges non stabilisées. Les résultats montrent que les « front fixed banks » et les berges non-stabilisées sont plus à même de favoriser les espèces riveraines que les enrochements. Ces différences sont notamment dues à la différence d'inclinaison des berges et à la variation de submersion (Wollny, Otte, et Harvolk-Schöning 2019).

Au Québec, une étude a été menée sur 124 berges situées sur les Basses-Terres du Saint-Laurent, dont 40 berges naturelles et 84 berges stabilisées, 51 avec des techniques de génie végétal et 33 avec enrochement. Bien que les ouvrages de génie végétal abritent une richesse en espèces indigènes plus faible que celle des berges naturelles, elle reste supérieure à celle des enrochements, mais cette différence varie selon le niveau dans la berge. Ainsi, au global, les ouvrages de génie végétal induisent le retour d'une flore diversifiée et relativement riche en espèces indigènes et hydrochores par rapport aux enrochements. Les berges stabilisées avec génie végétal affichent une flore diversifiée, généralement comparable à celle des berges naturelles (Tisserant, Poulin, et al. 2021; Tisserant, Bourgeois, et al. 2021). En revanche, la composition des communautés sur les berges de génie végétal semble plus homogène que celle des enrochements ou des berges naturelles, et dépendait de la position du site dans le bassin hydrographique (Tisserant 2020).

Finalement, la dynamique temporelle est très importante. Au départ, les végétaux plantés sont assez homogènes, avec une surreprésentation de saules et de cornouillers. Ces espèces ingénieuses limitent d'abord le nombre d'espèces capables de s'établir dans les ouvrages en occupant l'espace aérien et souterrain. Au bout de plusieurs années, une diversification de la végétation se met en place, avec un retour d'espèces post-pionnières ligneuses, compétitrices et tolérantes au stress et à l'ombre. À l'inverse, la composition des communautés végétales est plus stable dans les ouvrages de génie civil, sauf en pied de berge. On peut donc conclure qu'une succession végétale se met en place spontanément dans les ouvrages de génie végétal, et que cette dynamique est proche de celle trouvée en conditions naturelles (Tisserant et al. 2020; Tisserant, Poulin, et al. 2021).

Pour augmenter la diversité végétale des berges, plusieurs recommandations sont formulées : diversifier les essences arbustives utilisées en génie végétal, notamment pour les saules (dont *Salix pellita*, *S. lucida*, *S. petiolaris*), les aulnes (*Alnus incana* subsp. *rugosa*) en milieu et haut de berge lorsque les conditions du milieu s'y prêtent, diversifier les mélanges grainiers en y ajoutant des espèces mellifères et fixatrices d'azote, ou encore recéper régulièrement les saules pour limiter la compétition dans les ouvrages (Tisserant, Poulin, et al. 2021). Ces pratiques pourraient augmenter des niches potentielles pour la recolonisation des ouvrages, et accélérer la succession végétale vers des stades plus avancés (Tisserant, Poulin, et al. 2021). Par ailleurs, là où cela diffère des modèles naturels, il faut éviter autant que possible les

enrochements en pied de berge, qui sont une entrave à la connectivité transversale dans les ouvrages, et qui limitent la dispersion des propagules (Tisserant, Poulin, et al. 2021).

Par ailleurs, les berges stabilisées avec les techniques de génie végétal servent de micro-habitats pour les macro-invertébrés benthiques, fournissent ombre, nourriture et abri pour les poissons, et constituent aussi un habitat favorable pour les oiseaux et les amphibiens (Cavaillé, Evette, et Huyghe 2014; Schmitt et al. 2018; Janssen et al. 2019). Grâce à la mise en place d'ouvrages de génie végétal sur les rivières Bow et Elbow (Calgary), on a observé une augmentation de la fréquentation des poissons (48 poissons de 10 espèces différentes en 2019, 120 poissons de 9 espèces différentes en 2020) ; d'oiseaux nicheurs (31 espèces en 2019 et 50 individus de 16 espèces en 2020) et des mammifères (212 individus en 2019 et 317 individus en 2020, principalement le cerf de Virginie, le coyote et le lièvre de Townsend (Gallant et al. 2022; The City of Calgary 2023).

Finalement, le génie végétal limite l'érosion sans porter atteinte au fonctionnement écologique des berges. Or, les berges ont un rôle essentiel : ce sont des écotones, c'est-à-dire des zones de transition entre l'écosystème aquatique et terrestre, qui assure des fonctions écologiques majeures dont la connectivité des paysages, en mettant en relation d'habitats divers (Adam et al. 2008; ASTEE 2013). Concrètement, les berges végétalisées permettent ainsi aux animaux terrestres et semi-aquatiques de circuler d'une tâche d'habitat favorable à une autre, aux diaspores hydrochores de circuler en pied de berge, le vent et les oiseaux peuvent également transporter des propagules dans les airs le long de ces corridors (Evette et al. 2022).

4.3. Les services écologiques rendus par les ouvrages de génie végétal

Outre la stabilisation des berges, les ouvrages de génie végétal rendent de nombreux SE (Tableau 2), qui sont très souvent mentionnés dans les travaux sur le génie végétal, mais rarement quantifiés (Rauch et al. 2022).

SE fournis	
SE de régulation	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle de l'érosion des sols et des berges • Interception des eaux de pluie/ruissellement et donc limitation des pollutions diffuses • Infiltration des eaux de pluie/ruissellement • Augmentation de l'ombrage • Thermorégulation de l'eau et limitation de l'eutrophisation • Réduction des dégâts aux infrastructures • Séquestration de carbone • Rétention de phosphore et autre polluants et dénitrification
SE d'approvisionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Sécurisation des sources d'eau potable et maintien de sa qualité • Production de biomasse • Production de matériel végétal pouvant être utilisés pour les chantiers
SE de support	<ul style="list-style-type: none"> • Fourniture d'habitat, de refuge et de nourriture pour la biodiversité, notamment l'avifaune et les poissons • Amélioration de la connectivité écologique • Contrôle des EEE • Support aux populations de pollinisateurs et de prédateurs naturels
SE culturels	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur d'existence de la biodiversité floristique et faunistique • Effet positif sur la santé humaine • Amélioration du cadre de vie, y compris dans sa dimension économique et foncière • Valeur récréative • Valeur esthétique

Tableau 2 : SE rendus par les ouvrages de génie végétal.

Source : (Adam and Lachat 2008 ; Evette et al. 2022 ; Rauch et al. 2022; Frédette et Trickey-Massé 2023 ; Cottet et al. 2023)

Plusieurs études ont été menées pour évaluer les SE rendus par les ouvrages de génie végétal. Concernant le contrôle des EEE, une étude avec des relevés de terrains menée dans les Alpes (France et Suisse) a montré que la fréquence relative des EEE est plus élevée dans les ouvrages de génie civil (11%) que dans les ouvrages mixtes ou de génie végétal (3 à 4%), car les EEE ont un couvert plus dense sur les enrochements, du fait d'une moindre compétition avec d'autres espèces végétales, une température plus élevée et un substrat colonisable favorables au développement des EEE (Cavaillé et al. 2013; Cavaillé, Evette, et Huyghe 2014). Une autre étude menée dans la région Rhône-Alpes (France) confirme ces tendances (Martin et al. 2021). Une étude basée sur la modélisation à partir de cas d'étude basés en Allemagne a mis en évidence l'effet positif des techniques de génie végétal sur les SE de régulation (dénitrification, rétention de phosphore, séquestration de carbone). Ainsi, le démantèlement des enrochements au profit d'ouvrages de génie végétal peut éliminer jusqu'à 30 fois plus d'azote et 20 fois plus de phosphore dans la charge fluviale que des enrochements, et ces valeurs peuvent être multipliées par 50 si on abaisse la pente. La capacité de stockage du carbone est 30 fois plus élevée dans les matelas de saules que dans les enrochements (Symmank et al. 2020). Enfin, une étude en France menée sur 12 sites présentant des ouvrages de génie civil, de génie végétal ou mixtes, a permis d'enregistrer 191 espèces parmi les 7989 comptages effectués dans les strates arborées, arbustives et herbacées de 12 berges stabilisés avec des techniques de génie végétal, génie civil et mixtes. Les relevés ont montré que l'usage des techniques de génie végétal s'accompagne d'un accroissement de la biodiversité, de la connectivité, et de l'ombrage (Cottet et al. 2024).

À notre connaissance, au Québec, seul le SE de contrôle des EEE a été mesuré. Une étude montre en effet que les ouvrages de génie végétal favorisent une végétation typique de milieu riverain et non la colonisation par les espèces indésirables (Tisserant, Poulin, et al. 2021).

En bref : facteurs environnementaux

État des connaissances

- Les questions botaniques sont bien documentées au Québec : espèces présentes dans les berges végétalisées, dynamiques de succession végétale...
- L'impact (positif et négatif) de la mise en place des ouvrages de génie végétal sur la faune n'est pas documenté au Québec
- Pas d'étude au Québec sur les impacts sur la biodiversité pendant la phase de chantier
- Aucune étude n'a été menée au Québec (et très peu ailleurs) pour évaluer les SE rendus par les ouvrages de génie végétal

Quelques idées de questions de recherches

- Quels sont les impacts respectifs des techniques de génie végétal et génie civil pendant le chantier ? Comment mieux diversifier la végétation sur les ouvrages ?
- Quels sont les SE rendus par les ouvrages de génie végétal, notamment au Québec ?

Atouts

- Les travaux de génie végétal ont un impact réduit sur le milieu
- Les berges stabilisées avec génie végétal affichent une flore diversifiée, généralement comparable à celle des berges naturelles
- Une succession végétale se met en place spontanément, de façon proche de celle théoriquement trouvée en conditions naturelles
- Les berges stabilisées avec les techniques de génie végétal constituent un habitat favorable pour la faune (macro-invertébrés benthiques, poissons, oiseaux, amphibiens)
- La réglementation en place limite l'impact des travaux sur le frai des poissons
- Les ouvrages de génie végétal rendent de nombreux SE

Freins

- La stabilisation des berges n'est pas conforme à l'objectif de libre mobilité des berges
- S'il est réduit, l'impact des chantiers sur le milieu n'est pas inexistant

Leviers

- Adapter les techniques lors des chantiers pour limiter l'impact sur le milieu (adoucir la pente, restreindre le corridor d'intervention etc.)
- Adapter les techniques pour maximiser leurs capacités d'accueil de la biodiversité et des services écologiques associés

5. Les facteurs géographiques et climatiques : de fortes contraintes, des innovations possibles

Au Québec, certains facteurs géographiques et climatiques intensifient le processus d'érosion des berges, comme la glace, les marées, les argiles sensibles ou les vagues. En outre, la rigueur du climat hivernal complexifie le calendrier de travail. Des innovations sont toutefois possibles pour lever ces contraintes et adapter les techniques de génie végétal au contexte québécois.

5.1. La glace, une force érosive majeure

Tous les cours d'eau du Québec, quelle que soit leur taille, sont affectés par les glaces d'épaisseur allant de moins de 40cm dans le Sud du Québec et plus d'un mètre dans le Nord (Turcotte 2017). On qualifie ces glaces de morphogènes : du fait de leur grande force d'arrachement et de la pression qu'elles exercent, elles façonnent la structure des paysages et des cours d'eau (Fig. 4) (Prugne 2024).

En hiver, lors de la formation des glaces, la glace de fond (frasil) s'accumule dans le cours d'eau, ce qui augmente le niveau de l'eau en amont, et provoque l'inondation des berges, qui, en gelant, affecte les plantes (brulures de glace, abrasion glacielle) (Prugne 2024).

Au printemps, les débits des cours d'eau augmentent sous l'effet de la fonte des neiges, causant la fracturation du couvert et des mouvements de plaque de glace, qui forment ensuite des trains de glace et parfois des embâcles (Turcotte 2017; Chassiot, Lajeunesse, et Bernier 2020). Lorsqu'un embâcle lâche soudainement, on observe un phénomène de *jave* (contraction de *ice jam* et de *wave*), c'est-à-dire une vague contenant de la glace (Prugne 2024). La force érosive des glaces dépend du niveau d'eau atteint par les crues, de la dimension des radeaux de glace, de la vitesse des vents et de celle du courant (Lehoux 1996). Les glaces de rive sont arrachées, puis les rives ainsi mises à nues sont percutées par des blocs de glace pouvant avoir de large dimension (Brassard D'Astous 2013; Lehoux 1996). La rive à nue est aussi plus vulnérable aux autres processus d'érosion (courant, vagues et mouvement gravitationnel) (Lehoux 1996).

Au printemps et en automne, la cryogénie (c'est-à-dire l'alternance de gel et de dégel) crée de nombreuses perturbations en sols argileux, car l'eau libre s'infiltré le jour dans les fissures du sol, puis gèle pendant la nuit, causant l'érosion des parois. Ce phénomène va s'intensifier avec le changement climatique (Ville de Matane 2008; Chassiot, Lajeunesse, et Bernier 2020).



Fig. 4 : Berge érodée par les crues et les glaces, rivière Sainte-Anne.
Source (Poulin et al. 2019). Photo M. Tisserant

La végétation rivulaire s'est adaptée à la présence des glaces, avec une composition d'espèces opportunistes, qui colonisent le milieu perturbé et qui limitent l'établissement d'espèces ligneuses, ou d'espèces ingénieuses qui stabilisent les berges (Prugne 2024).

Les ouvrages de génie végétal sont fragilisés, voire arrachés par les glaces (Evette et al. 2023). Toutefois, la glace et la neige peuvent aussi constituer un atout pour le génie végétal : les ouvrages de génie végétal peuvent être protégés du froid, du vent et de la glace dérivante par la neige ou la glace de rive (Brassard D'Astous 2013; Chassiot, Lajeunesse, et Bernier 2020). Pendant les chantiers, les sols gelés ne compactent pas, ce qui facilite l'accès au site avec une machinerie lourde ; et le matériel végétal peut être stocké sous la neige en attendant leur mise en place sur les ouvrages (Poulin et al. 2019).

Il serait nécessaire d'améliorer les connaissances sur les interactions entre la glace et la végétation des berges : stratégies de résilience des espèces riveraines face à la glace, traits fonctionnels associés à la résistance face aux glaces (flexibilité des tiges, capacité à se régénérer à partir du système racinaire, profondeur des racines, reproduction végétative etc.) (Poulin et al. 2019; Prugne 2024).

5.2. La force des marées et la salinité

Sur le fleuve Saint-Laurent, l'influence des marées se fait sentir de l'embouchure jusqu'au niveau de la ville de Trois-Rivières (Lehoux 1996), avec une amplitude allant de 20 à 30 cm à Trois-Rivières, jusqu'à 7m pendant les grandes marées à Saint Joseph-de-la-Rive (Brassard D'Astous 2013). De la même façon, la salinité de l'eau s'accroît graduellement d'ouest en est (Brassard D'Astous 2013). Dans la zone de battement, qui est couverte et découverte deux fois par jour, l'installation des plantes est rendue difficile par la force des marées et par la salinité de l'eau. Ce sont là deux contraintes majeures pour le génie végétal : les espèces choisies doivent résister à la force des marées et être halophytes (Desjardins 2019; Evette et al. 2023).

5.3. La présence des argiles sensibles

Les argiles sensibles résultent d'importants dépôts d'argile marine qui ont été mis en place lors de la dernière déglaciation ; elles peuvent devenir sensibles et se liquéfier suite au lessivage des ions contenus dans leur eau interstitielle, et l'érosion des pieds de talus peut encore venir amplifier ce phénomène (Bélanger 2017). Les argiles sont donc une contrainte majeure pour la mise en place d'ouvrages de génie végétal, mais des adaptations peuvent être mises en place : installation d'un contrepoids, adoucissement de la pente, mise en place de mesure de protection sur le talus ou le pied de berge par enrochement ou génie végétal (Evette et al. 2023; Tisserant, Poulin, et al. 2021).

5.4. Le batillage et les vagues de vent

Les berges sont fragilisées par le batillage (vagues causées par le passage de navires de marchandises ou de plaisance) et les vagues causées par le vent. L'érosion due au batillage, qui dépend de la vitesse des bateaux, de leur tonnage et de la distance au rivage, est surtout observable sur le fleuve Saint Laurent entre Montréal et le lac Saint Pierre, mais aussi sur les rivières Richelieu ou Saint François (Lehoux 1996; Brassard D'Astous 2013). Les dimensions de vagues de vent dépendent de l'intensité du vent, de la longueur de sa course et de son emprise sur le plan d'eau, et du profil bathymétrique de l'avant-plage (Lehoux 1996). Sur le St Laurent, elles peuvent atteindre 20 à 30 cm, voire un mètre en cas de tempête (Bernier 2024). En contexte urbain, il n'y a pas de concomitance entre les vagues de vent et le batillage car les bateaux sont tenus de ralentir ou d'annuler leur déplacement en cas de tempêtes (Englobe 2019). Le batillage et les vagues de vent des contraintes majeures pour la mise en place d'ouvrage de génie végétal (Evette et al. 2023) ; voire rendent impossible la mise en place d'ouvrage de génie végétal « pur » comme les fascines (Ville de Matane 2008).

5.5. L'impact du climat sur le calendrier de travaux

L'impact du climat sur le calendrier de travail pourrait se résumer ainsi : à chaque saison ses contraintes, qu'elles soient techniques, écologiques ou administratives ! Cela peut même être dissuasif pour certains donneurs d'ouvrage

comme les MRC, qui ne parviennent pas à coordonner les différentes contraintes administratives et écologiques (Morin 2024).

Le **printemps** (mi-avril à fin juin, c'est-à-dire après la période de crue) est une période propice pour la reprise des végétaux. Les boutures profitent d'une longue période de croissance avant leur premier hiver, ils peuvent donc s'enraciner avant la crue printanière (MDDEP 2009; Environnement Canada 2013). Dans ce cas, les boutures doivent être récoltées à la fin de l'automne, en hiver ou au tout début du printemps (pendant la dormance des plantes, c'est-à-dire après l'aoutement et avant le débourrement des bourgeons), et conservées en intérieur entre -4 °C et -2 °C , entreposées dans des sacs en plastique ou en toile pour éviter le dessèchement, ou bien sous la neige. Pour les professionnels, une des principales contraintes est de maintenir les branches en vie en pendant cette période de stockage, ce qui les pousse souvent à minimiser autant que possible le délai entre la récolte et l'installation des branches (Marin 2024). Ils doivent également installer très rapidement les végétaux avant qu'ils ne débourrent (Marin 2024). La réglementation interdit de mener les travaux au milieu et à la fin du printemps, qui correspond à la période de reproduction de nombreuses espèces de poissons, ainsi qu'en été, où les espèces sont fragilisées par la chaleur de l'eau et sa faible teneur en oxygène (AGRCQ 2017; Poulin et al. 2019). Ces contraintes écologiques doivent être traitées au cas par cas, en prenant en compte les spécificités de chaque région et de chaque espèce (AGRCQ 2017; Poulin et al. 2019). Enfin, le printemps est aussi compliqué d'un point de vue administratif, car c'est généralement à ce moment-là que sont annoncés les contributions des programmes de financement, ce qui complique la végétalisation pour la première période printanière, et oblige à adopter plusieurs stratégies, comme de décaler toute ou une partie de la végétalisation au printemps suivant (Environnement Canada 2013; Marquis et Hénault-Ethier 2018).

L'automne est également une saison appropriée, car la récolte de boutures et de plants est facilitée par l'absence de neige et les professionnels peuvent identifier les populations d'arbustes dans l'été précédent le chantier (Poulin et al. 2019). Les chantiers sont généralement facilités car le niveau d'eau est bas, mais les crues soudaines ou les chutes de neige peuvent être des perturbations majeures (Poulin et al. 2019). Enfin, si les espèces résistent à la neige et peuvent s'installer pendant l'hiver, l'automne permet une meilleure croissance des boutures, car elles peuvent s'installer pendant l'hiver (Tilley et Hoag 2009; Poulin et al. 2019; Didier et al. 2024).

L'hiver est peu propice car la neige, la glace et les sols gelés compliquent les travaux (Poulin et al. 2019). Toutefois, certains entrepreneurs ont l'audace de se lancer dans des chantiers l'hiver, et y trouvent finalement certains avantages : les végétaux sont en période de dormance, la période pour installer les végétaux est plus longue ; le sol gelé et l'eau glacé limitent les risques de glissement de terrain et l'impact sur le milieu rivulaire (Marin 2024).

L'été est peu propice car les plantes sont en phase de croissance, elles ont donc peu de réserves énergétiques, ce qui complique leur reprise, et la sécheresse est un risque majeur (Poulin et al. 2019). Cependant, des innovations sont possibles, comme le recours à des plantes en pots ou à des boutures pré-racinées (MDDEP 2009; Environnement Canada 2013; Evette et al. 2023; Poulin et al. 2024). Les tiges enracinées (*rooted long cutting*) sont des tiges, branches, ou plançons de saules, cornouillers ou peupliers, d'une longueur de 1,5 à 2 m, récoltés puis cultivés de façon à ce qu'ils produisent un fort système racinaire à la base, et enterrées environ aux $\frac{2}{3}$ ou $\frac{3}{4}$ de leur longueur (Poulin et al. 2023). Il y a une demande pour ce type de matériel végétal, un des leviers serait donc d'augmenter leur disponibilité en pépinière, il faudrait également améliorer les connaissances sur la reprise de ces végétaux en contact de génie végétal (Poulin et al. 2023; Lafrance 2024).

En bref : facteurs géographiques et climatiques

État des connaissances

- Les processus érosifs propres au Québec (glace, neige, marées, argiles sensibles, vagues) sont bien décrits, mais peu d'études sur l'impact sur la végétation

Questions de recherches

- Quels sont les modèles naturels fonctionnels qui résistent au moins partiellement aux contraintes mentionnées (glaces, batillage...) ?
- Quelles sont les innovations techniques réalisées ou potentielles pour adapter les techniques de génie végétal aux contraintes climatiques et géographiques du Québec ?
- Peut-on établir des seuils (de marées, de salinité, de débit etc.) à partir duquel les techniques de génie végétal pures sont considérées comme impossibles ?

Freins

- Les processus érosifs (glace, neige, marées, argiles sensibles, vagues) sont très contraignants pour les ouvrages de génie végétal
- Le calendrier de travail est contraint par le climat, les besoins des espèces (oiseaux, poissons...) et par les procédures administratives

Atouts

- Dans certaines conditions, la glace et la neige peuvent protéger les ouvrages de génie végétal
- Des innovations ont été réalisées pour s'adapter à ces contraintes (conduire les travaux en hiver par exemple)

Leviers

- Mieux documenter les innovations déjà réalisées pour s'adapter à ces contraintes
- Introduire plus de souplesse dans les calendriers de demande de subvention pour mieux coller à la réalité des chantiers
- Réaliser des chantiers expérimentaux dans ces conditions contraintes

6. Les facteurs techniques : la performance intégrée des ouvrages de génie végétal

Plusieurs défis techniques se posent lors de la mise en place des ouvrages de génie végétal : il faut que ces ouvrages soient performants, non seulement pour résister à la contrainte d'arrachement mais aussi selon des critères écologiques et sociaux ; les végétaux doivent être adaptés, et le dimensionnement doit être juste.

6.1. La performance des ouvrages de génie végétal, une performance intégrée

Qu'il soit réalisé avec des techniques de génie civil ou de génie végétal, un ouvrage est généralement considéré comme performant s'il limite effectivement l'érosion des berges et donc s'il est capable de résister à la contrainte tractrice (ou contrainte d'arrachement).

Les ouvrages de génie végétal présentent plusieurs avantages pour résister à l'arrachement : le système racinaire des plantes leur offre un ancrage dans le sol, à la différence des ouvrages de génie civil qui sont appuyés contre la berge ; les végétaux sont souples et peuvent se déformer sous la force du courant (Lachat 1998; Evette et al. 2022). Par ailleurs, le génie végétal rassemble un large éventail de techniques, ce qui permet une grande adaptabilité aux contraintes de terrain (AGRCQ 2017). Cependant, il est vrai que le risque d'arrachement en cas de crue est réel en particulier dans les deux premières années qui suivent la mise en place des ouvrages (AGRCQ 2017).

Plus généralement, il est difficile de comparer le génie végétal et le génie civil selon des critères strictement équivalents. D'un point de vue temporel, l'efficacité de la stabilisation par les ouvrages de génie végétal augmente avec le temps, au fur et à mesure du développement des végétaux (Desjardins 2019). En effet, le développement des végétaux est surtout important lors de la seconde saison de végétation (les biomasses aériennes et racinaires des saules peuvent augmenter respectivement jusqu'à 10 et 20 fois) (Lavaine 2013; Evette et al. 2022). En revanche, l'efficacité des ouvrages de génie civil est optimale dès leur mise en place, mais elle diminue avec le temps (Pinto, Fernandes, et Maia 2016). D'un point de vue spatial, à la différence du génie civil qui ne prend pas en compte la connectivité écologique, les ouvrages de génie végétal prennent en compte les trois dimensions de la connectivité des cours d'eau (longitudinale, transversale et verticale) (ASTEE 2013; Martin et al. 2021). En conclusion, en ce qui concerne la stabilisation des berges, le génie végétal peut sembler moins performant localement et sur des échelles de temps courtes, mais présente de nombreux avantages si l'on élargit les échelles considérées (Cottet et al. 2023).

De plus, les ouvrages de génie végétal ont un impact positif sur les écosystèmes, et offrent de nombreux services aux sociétés humaines, ils jouent donc un rôle dans la restauration des écosystèmes et le bien-être humain ([partie 4.3.](#)). Or, les dimensions écologiques et sociales de la performance restent mal mesurées, car il n'existe pas de protocole standardisé pour mesurer ces SE, ou par manque de budget dédié (Cottet et al. 2023; Evette et al. 2023). Il est donc nécessaire de développer une approche intégrée de la performance, mesurée à des échelles spatiales et temporelles plus larges, et selon trois dimensions : mécanique, écologique et sociale (Moreau et al. 2023).

Il est également nécessaire d'encourager le changement de paradigme de gestion. En effet, le génie civil s'inscrit dans le paradigme de gestion « prédire et contrôler » : la performance des ouvrages peut être prédite grâce à l'existence de normes et de calculs, tandis que le génie végétal s'inscrit dans le paradigme adaptatif : il est beaucoup plus difficile de prédire de façon théorique la performance des ouvrages, l'approche est empirique, basée sur des itérations entre essais et erreurs (Moreau et al. 2022). Au Québec, les ingénieurs appliquent des calculs de charge/force sur des matériaux inertes, et ne connaissent pas bien les éléments de dimensionnement à utiliser pour les végétaux (Marquis et Hénault-Ethier 2018). Il est donc nécessaire de développer « l'approche de la contrainte tractrice », qui est la force tangentielle due à l'eau qui s'exerce par unité de surface du lit (ou des berges), en N/m^2 . (Leblois et al. 2016).

Un autre levier est de développer et diffuser des indicateurs de performance intégrée pour les ouvrages de génie végétal. Ainsi, Paquette (2010) a proposé une grille à base d'indicateurs chiffrés pour classer les techniques de restauration

des berges (dont les techniques de génie végétal) selon leur performance technique (sévérité de l'érosion, pente maximale), leur performance environnementale (provenance du matériel, utilisation de combustible fossile, génération de déchets, conservation des écosystèmes, préservation de la qualité de l'eau), la performance sociale (sécurité lors des travaux, nuisance lors des travaux) et leur performance économique (coût, entretien anticipé, expertise requise). Les résultats montrent que les méthodes de végétalisation et de techniques de génie végétal ont les meilleures performances environnementales, sociales et économiques, mais une performance technique inférieure (à l'exception de certaines techniques comme les matelas de branche et les fascines).

La ville de Calgary a mis un protocole de suivi des ouvrages de génie végétal, sur 69 sites et 99 études, construits entre 2007 et 2018. Les ouvrages sont d'abord classés dans une typologie à 5 classes (enrochement végétalisé, mur de soutènement végétalisé, caisson végétalisé, végétation majoritaire, plantation) et en trois classes d'âge. Les sites sont ensuite évalués avec un score global qui combine 5 scores individuels pondérés, portant sur la conception, la mise en œuvre, l'entretien, le succès, l'index de qualité des berges et des zones riveraines. Les résultats montrent que toute technique confondue, l'efficacité des ouvrages est de 67%, ce qui est jugé satisfaisant, la conception obtenant un score de 14/18, la mise en œuvre 12/18, l'entretien 11/18, le succès 17/24, et l'index de qualité 12/22. Par ailleurs, en ce qui concerne la stabilité des ouvrages, les résultats montrent que globalement la stabilité des sites est bonne, seuls 10% présentent des problèmes d'érosion mineure, souvent à cause d'un défaut de conception ou de la dégradation des matériaux sélectionnés. Enfin, les taux de survie à la première année sont de 76% pour les végétaux ligneux (soit 94% pour les plantes en pot et 69% pour les boutures), 96% pour les matelas de branches, 94% pour les plantations, et 57% pour les caissons végétalisés. Le couvert végétal ligneux a augmenté au cours des classes d'âge de l'année 1, de l'année 3 et de l'année 5+ ; toutefois, le couvert végétal moyen global n'a pas été aussi élevé que prévu par rapport aux valeurs de la littérature (The City of Calgary 2023; Gallant 2024).

Ces deux approches montrent qu'il est important (et possible !) de développer des protocoles standardisés et des objectifs de performance, qui ne se limitent pas au taux de survie des végétaux, et qui peuvent être utilisés dans le cadre des appels d'offre et des protocoles de suivi des ouvrages.

6.2. Causes de défaillance fréquentes des ouvrages de génie végétal

Plusieurs facteurs, qui se combinent souvent, peuvent expliquer l'échec des ouvrages de génie végétal. Une première cause d'échec concerne la mauvaise reprise de végétaux, qui peut être liée à un problème de stockage, à un excès d'ombrage, à une sécheresse les premières années après l'installation, à des coupes non gérées, aux dégâts provoqués par le bétail ou les rongeurs, à l'invasion d'insectes, ou à des maladies des plantes (Li et Eddleman 2002; Peeters et al. 2018; Desjardins 2019). Une seconde cause d'échec est les défauts de conception, par exemple un mauvais dimensionnement ou mauvaise préparation du sol (mauvais choix de technique, nivellement, drainage, talutage ou débroussaillage) (Li et Eddleman 2002; Peeters et al. 2018; Desjardins 2019). Enfin, une troisième cause d'échec concerne une mauvaise prise en compte des caractéristiques de la rivière (énergie, matériaux en suspensions, courbure du méandre), ce qui engendre une mauvaise estimation de la résistance aux crues (Li et Eddleman 2002; Peeters et al. 2018). Une étude intéressante a été menée pour documenter ces défaillances en France, à partir de l'analyse de 233 ouvrages défaillants, comprenant 269 techniques mises en œuvre et 454 observations de défaillances (Leblois et al. 2022). Les auteurs ont identifié plusieurs « symptômes », comme une mauvaise reprise de la végétation, une déstructuration totale ou partielle de l'ouvrage et des érosions en pied, à l'arrière ou aux extrémités de l'ouvrage et autour de points durs. Les principales causes de mauvaise reprise de la végétation sont l'ennoisement, l'assèchement de la végétation, l'ombrage, l'absence de contact avec le substrat et la compétition entre espèces. Les érosions les plus fréquentes concernent le pied de berge, suivi par l'érosion à l'arrière de l'ouvrage. Comme souvent, c'est l'accumulation de ces différentes défaillances qui explique la destruction des ouvrages (Leblois et al. 2022). Dans un contexte plus proche de celui du Québec, Karle et al. (2005) ont mené une étude sur 11 ouvrages de génie végétal en Alaska, et ont conclu que les dégâts observés sur les structures peuvent être attribués aux glaces dérivantes, au sapement de la base de la structure, aux effets de flottabilité

et aux défaillances des géotextiles. Dans cette étude, les ouvrages en bon état sont situés dans des zones soumises à un fort batillage, mais à de faibles forces de traction. Dans le protocole évoqué plus haut de la ville de Calgary, les causes de défaillance ont été le manque d'amendement pour les boutures, les dégradations par les rongeurs, chiens ou humains, les sols compactés ou anoxiques, la compétition entre les végétaux plantés et la végétation spontanée, la mauvaise utilisation et installation de matériaux (tapis), et la dégradation des géotextiles biodégradables (City of Calgary 2018; Gallant 2024).

Pour limiter les risques de défaillance, on préconise l'amendement du sol pour encourager la reprise des boutures, et la pose de clôtures pour prévenir les dégradations par les rongeurs, chiens ou humains (City of Calgary 2018). De plus, il est nécessaire d'assurer un suivi et une détection précoce des éventuels problèmes sur les ouvrages juste après leur mise en place, pour agir rapidement en cas de sécheresse (par irrigation, replantation de bouture et de plants, recépage régulier), de prolifération d'EEE (par désherbage, éradication des EEE) ou de mauvaise reprise des végétaux (par remplacement des végétaux morts, ré-ensemencement) (Brassard D'Astous 2013; Environnement Canada 2013; City of Calgary 2018; Evette et al. 2022). Il est également nécessaire de mener des opérations de sensibilisation, pour que les élus et les populations riveraines comprennent qu'il est normal que des ré-interventions ne sont pas forcément un signe d'échec ou de malfaçon (Evette et al. 2023). Ces opérations de suivi et d'entretien, qui durent de deux à trois ans, doivent être prévues dans le budget du projet (Environnement Canada 2013). Toutefois, notons que cette question de l'entretien des ouvrages est épineuse, et que certaines MRC préfèrent renoncer aux techniques de génie végétal plutôt que de devoir prendre en charge ces frais d'entretien (Morin 2024).

6.3. Le choix des végétaux et leur approvisionnement

Le succès d'un ouvrage de génie végétal dépend du choix des végétaux et de la prise en compte de la tolérance de chaque espèce aux conditions du milieu (notamment à la pente) et aux différentes contraintes (anoxie, sécheresse).

Au Québec, une étude menée sur 51 ouvrages de génie végétal montre que les espèces ligneuses les plus présentes sont le cornouiller stolonifère (*Cornus sericea* Linnaeus) à 64%, le saule à tête laineuse (*Salix eriocephala* Michaux) à 55%, le saule de l'intérieur (*Salix interior*) à 38% et l'aulne rugueux (*Alnus incana* (Linnaeus) Moench) à 30% et le saule discoloré (*Salix discolor* Muhlenberg) à 27% ; qui sont des espèces fréquentes sur les berges naturelles (Poulin et al. 2019). D'autres espèces de saule sont également utilisées, comme *S. pellita* (Anderson) Bebb, *S. lucida* Muhlenberg ou *S. bebbiana* Sargent, ou *Alnus incana* subsp. *rugosa* (Du Roi) R.T. Clausen (Tisserant 2020). On voit que le genre des saules (*Salix* spp.) est très bien représenté, car il montre de nombreux avantages : capacité de bouturage et de régénération par fragments et drageons, croissance rapide, système racinaire développé qui permet un ancrage important, capacité à supporter des périodes d'immersion fréquentes et prolongées ; en outre il s'agit d'espèces pionnières, capables de se développer même dans un contexte de sol pauvre (substrat grossier, peu d'éléments nutritifs) (Evette et Frossard 2009). Une étude a été menée pour comparer la tolérance au stress hydrique d'inondation et de sécheresse entre trois espèces de saule (*Salix eriocephala*, *Salix interior*, et *Salix discolor*), en évaluant leur capacité de reprise et de développement végétatif. En mesurant la longueur racinaire, la biomasse aérienne et la biomasse racinaire, Keita et al. (2021) ont montré que les trois espèces présentent une forte capacité de reprise (supérieure à 89 % de survie), et qu'elles présentaient une certaine tolérance aux deux types de stress. L'espèce *S. eriocephala* a montré une plus grande tolérance au stress hydrique que les deux autres espèces. Cette étude offre une meilleure possibilité d'adapter le choix des espèces pour les ouvrages de génie végétal : ainsi, *S. eriocephala* serait à privilégier pour les ouvrages en élévation moyenne, tandis que *S. interior* serait à privilégier pour les ouvrages en basse élévation.

Finalement, le nombre d'espèces utilisées sur les chantiers est relativement limité, et parfois peu adapté : selon certains entrepreneurs, de nombreux projets ont recours aux saules de l'intérieur dans la région de la Capitale Nationale, alors qu'il est rare et à la limite de sa répartition dans cette zone (Marin 2024). Des diversifications pourraient être profitables, en favorisant *S. petiolaris* ou *S. sericea*, mais aussi le cerisier de Virginie, le viorne, le noisetier, l'érable arbustif

; et pour la strate herbacée, les graminées avec un port cespiteux comme le carex, la scirpe, *poa agrostis*, *Andropogon gerardii*, *Physocarpus oppulifolius* (Marin 2024; Tisserant 2024).

Améliorer la diversité des espèces utilisées pour les ouvrages de génie végétal permet d'augmenter les niches écologiques, et donc les fonctions de stabilisations (à la fois la stabilisation des couches profondes, la cohésion des particules de sol, l'effet peigne et l'effet tapis) (Tisserant 2024). Pour augmenter le nombre d'espèces candidates, on peut avoir recours à la méthode de l'imitation des modèles naturels. Concrètement, il s'agit d'établir des typologies de modèles naturels (thuyaie occidentale, aulnaie haute, frênaie rouge à érable argenté, par exemple), puis d'identifier dans ces modèles les espèces pouvant être implantées dans les ouvrages de génie végétal (Tisserant 2024). Les traits qui sont recherchés chez les espèces sont une forte capacité de régénération (clonalité, drageonnement, reproduction végétative), une vitesse de croissance élevée (parties aériennes et souterraines), un rapport de biomasse *aérienne / souterraine* en faveur des racines, un port multitiges (qui favorise l'effet peigne), et des parties souterraines denses et profondes (pour favoriser l'ancrage dans le sol ou effet d'ancrage) (Tisserant 2024).

L'approvisionnement en végétaux est un autre défi majeur, car les pépiniéristes peinent à satisfaire la demande (Frédette 2022). Les firmes peuvent également récolter les espèces dans des friches ou sur les bords de cours d'eau à proximité du chantier (le rayon étant défini dans l'appel d'offre, en général une centaine de kilomètres) pour que les végétaux soient adaptés aux mêmes contraintes, mais il faut que le volume disponible soit important pour amortir les coûts de transport et il faut disposer d'une autorisation (Marin 2024). L'identification des plants peut être rendue difficile par l'hybridation des espèces, des critères d'identification obsolètes, et, en automne, la phénologie des caractères (il est difficile d'identifier les espèces car il n'y a ni feuille, ni fruit) (Marin 2024; Tisserant 2024).

Plusieurs leviers pourraient faciliter le choix et l'approvisionnement des végétaux pour le génie végétal : l'amélioration des connaissances sur l'écologie des espèces, le développement de méthodes pour raccourcir les temps de production des végétaux ou anticiper la demande en production (Tisserant 2020; Frédette 2022).

6.4. Le surdimensionnement des ouvrages

Au Québec comme ailleurs, une des limites au génie végétal est le surdimensionnement des ouvrages, ce qui augmente à la fois le coût des ouvrages et leur impact sur les écosystèmes.

Le surdimensionnement des ouvrages concerne surtout la protection en pied de berge, constituée d'enrochements. Les ouvrages de génie végétal sont souvent implantés au-dessus du niveau de la limite du littoral, voire jusqu'à la ligne de crue centennale, et les végétaux sont implantés très hauts sur la rive, voire sur la bande riveraine (Charbonneau 2024a). Or, le littoral est la partie la plus riche et la plus productive d'un cours d'eau, que ce soit au niveau hydrologique, physico-chimique, écologique, faunique ou floristique (Charbonneau 2024a). Finalement, dans ce type d'aménagement, la partie littorale de la berge est inerte, et le rôle structurel des végétaux est réduit. Le surdimensionnement des ouvrages peut résulter d'un manque de confiance dans ces techniques, que ce soit chez les élus, les riverains, mais aussi les ingénieurs, gestionnaires ou acteurs Ministériels (Marquis et Hénault-Ethier 2018; Evette et al. 2023), ou du caractère urgent de certaines interventions. (Evette et al. 2023; Lafrance 2024).

Plusieurs leviers sont évoqués. Il est possible d'établir des valeurs de résistances limites, en étudiant de façon empirique la résistance des ouvrages (ou le cas échéant, leurs défaillances) à la crue maximale à laquelle ils ont été exposés (Evette et al. 2018). De plus, il serait utile de disposer de définitions claires et explicites du législateur quant à la notion d'urgence, ou la publication d'un guide technique standardisé comme référence de base, qui pourrait être une ressource à mobiliser en cas d'urgence (Evette et al. 2023). De plus, plutôt que de se caler sur la limite du littoral, il s'agit d'identifier le niveau le plus bas auquel sont présents les ligneux dans les modèles naturels, en s'appuyant si besoin sur des technologies comme des systèmes GNSS différentiel, calibrés à l'aide de balises géodésiques situées à proximité des sites, pour identifier les limites inférieures des différents groupes de végétaux (Poulin et al. 2023). En diffusant cette

approche dite de « limite inférieure des ligneux », on pourra passer d'une logique d'enrochement à une culture de stabilisation de berge plus dynamique, plus innovante et plus proche des modèles naturels (Charbonneau 2024a).

6.5. Les innovations techniques

Plusieurs innovations techniques ont été mises au point pour élargir le champ des possibles du génie végétal.

Les techniques de génie végétal utilisées sont souvent les mêmes ([partie 2.3.](#)), mais il est tout à fait possible de les diversifier. Ainsi, certains ouvrages ont recours aux fascines drainantes et les lits de plançons: des tiges de saules sont placées perpendiculairement au talus pour intercepter la pluie et la rediriger le long de la pente afin de diminuer l'érosion de la pente (Charbonneau 2024b). Citons aussi les treillages bois, qui permettent de maintenir les arbres matures existants en les enserrant dans les billots de bois, ou les « root wads », qui consistent à installer des troncs d'arbres élagués au 2/3, insérés dans le sol avec les souches faisant saillie pour créer de l'habitat du poisson (Poulin et al. 2024). Enfin, on peut utiliser les grilles de branches, c'est-à-dire un treillage de branches vivantes et mortes, de roches, de pieux et de plants arbustifs, jouant le rôle de peigne (Poulin et al. 2024), ou encore des boutures longues pré-racinées ([partie 5.5.](#)) (Gallant et al. 2022). On peut aussi remplacer les géotextiles synthétiques par des filtres granulaires derrière les enrochements, les agrafes d'acier par des agrafes en bois, et les fils de fer par des cordes biodégradables en fibres de bois ou de coco. (Poulin et al. 2023). Enfin, concernant le matériel de travail, des entrepreneurs ont innové en soudant des pointes métalliques à un godet pour planter plus rapidement des plançons (Gallant 2024).

En bref : facteurs techniques

État des connaissances

- Manque de connaissances sur la résistance des ouvrages de génie végétal dans le contexte québécois (glaces, batillage, argiles sensibles...)
- Connaissances disponibles certaines espèces appropriées et leur résistance à différents facteurs de stress

Questions de recherche

- Comment les différentes techniques de génie végétal peuvent-elles répondre aux contraintes de glaces, de vagues ou en contexte d'argiles sensibles ?
- Comment diversifier les végétaux utilisés dans les ouvrages de génie végétal ?

Freins

- Faiblesses des ouvrages dans les premières années suivant la mise en place
- Difficulté d'approvisionnement en végétaux
- Absence de techniques éprouvées et d'ouvrages de démonstration dans un contexte de glace, d'argile sensible et de batillage
- Risque de surdimensionnement des ouvrages liés à la méconnaissance, à un choix inadéquat d'implantation des ligneux, ou à des situations d'urgence

Atouts

- L'efficacité des ouvrages augmente avec le temps
- La performance ne concerne pas uniquement la stabilisation des berges mais inclut aussi une large gamme de bénéfices écologiques et sociaux

Leviers

- Développer une approche intégrée pour l'évaluation de la performance du génie végétal, incluant les bénéfices écologiques et sociaux
- Développer et diffuser des indicateurs de performance pour les ouvrages de génie végétal
- Documenter les retours d'expérience et en particulier les échecs
- Développer des ouvrages de démonstration
- Développer des recherches appliquées sur la résistance du génie végétal face aux glaces, batillage et argiles sensibles
- Encourager le suivi et la détection précoce des problèmes sur les ouvrages (végétation ou structure) juste après leur mise en place et assurer l'entretien des ouvrages. Sensibiliser les élus à l'importance de ces pratiques
- Améliorer les connaissances sur les espèces herbacées et sur les ligneux (notamment la diversité de saules utilisables)
- Développer des méthodes pour raccourcir les temps de production des végétaux ou anticiper la demande en production
- Planter les végétaux en niveau de la limite inférieure des ligneux
- Définir la notion d'urgence et publier un guide technique standardisé comme référence de base qui pourrait être utilisé en cas d'urgence

PARTIE III : FACTEURS SOCIO-CULTURELS

7. Les facteurs financiers : des informations lacunaires sur les coûts des ouvrages

Si le génie végétal est généralement présenté comme une technique moins coûteuse que le génie civil, peu d'estimations chiffrées sont disponibles, en particulier dans le contexte québécois.

7.1. Une technique peu coûteuse...

Le génie végétal est généralement présenté comme une technique peu coûteuse comparativement aux techniques de génie civil : besoins en machinerie réduits, matière première peu coûteuse voire gratuite, disponible localement donc avec de faibles coûts de transport (AGRCQ 2017; Marquis et Hénault-Ethier 2018; Desjardins 2019; Evette et al. 2022). En revanche, le génie végétal engendre des coûts spécifiques, notamment en raison du suivi et de l'entretien pendant plusieurs années avec une main d'œuvre qualifiée (Lehoux 1996; Desjardins 2019; Frédette, Daigneault, et Riendeau 2022; Charbonneau 2024b; White 2024). Parfois, les ouvrages sont surdimensionnés (section 6.4), ce qui augmente leur coût (Marquis et Hénault-Ethier 2018).

7.2. ... mais dont les coûts sont mal évalués

Dans la documentation sur le génie végétal, les informations concernant les coûts sont lacunaires. Des chiffres sont disponibles concernant des projets précis : par exemple, la ville de Calgary a mis en place différents ouvrages de génie végétal sur les berges de la rivière Bow, totalisant 955m ; le gain estimé par rapport au génie civil est d'un million de dollars (Gallant et al. 2022). Mais il est très difficile de trouver des chiffres génériques pour le coût de ces techniques : les chiffres sont soit anciens (Dagnault et D'Aoust 1999; Paquette 2010; Frédette et Trickey-Massé 2023), soit issus d'Europe (Bonin et al. 2013; Tisserant 2020), soit partiels, parce qu'ils concernent uniquement le coût d'acquisition des végétaux (Environnement Canada 2013), ou uniquement les techniques mixtes (AGRCQ 2017). Ce manque d'informations est préjudiciable aux techniques de génie végétal : dans le doute, les ingénieurs, qui ne connaissent pas bien ces techniques, ont tendance à surévaluer leur coût dans les plans et devis, ou à se tourner vers des techniques de génie civil (White 2024).

7.3. Quelle évaluation des bénéfices ?

Les ouvrages de génie végétal fournissent de nombreux SE (voir section 4.3), qu'on peut aussi appréhender sous l'angle des coûts évités : il faudrait donc estimer non seulement le coût d'installation de ces techniques mais aussi la valeur économique des SE rendus par ces ouvrages. Une initiative a été prise pour évaluer les services non marchands rendus par les IV dans l'agglomération de Montréal, mais il n'y a pas de données disponibles pour les berges végétalisées (Lapierre et Pellerin 2018).

7.4. Quelles opportunités de financement incitatif ?

Un levier pour promouvoir les techniques de génie végétal serait de déployer des financements incitatifs, par exemple en conditionnant le financement de projets de stabilisation à l'emploi du génie végétal (Evette et al. 2023). À l'échelle municipale, il faudrait également considérer les berges végétalisées comme des infrastructures (au sens comptable du terme), ce qui permettrait de les inclure dans les plans d'immobilisation pour sécuriser des budgets d'entretien (Frédette 2023).

En bref : facteurs financiers

État des connaissances

- Pas de chiffres disponibles sur le coût des techniques de génie végétal à partir de données récentes et produites au Québec
- Peu de documentation sur les opportunités de financement orientées vers le génie végétal

Questions de recherches

- Quels sont les coûts des techniques de génie végétal au Québec aujourd'hui ?
- Quel est le montant des bénéfices écologiques et sociaux (ou coûts évités) rendus par les ouvrages de génie végétal ?
- Comment changer l'approche comptable dans les villes pour inclure les ouvrages de génie végétal comme immobilisation ?

Freins

- Le manque de données sur le coût du génie végétal peut mener à préférer le génie civil, qui, si elles sont plus chères, ont au moins l'avantage d'être mieux chiffrées
- Coûts spécifiques pour le génie végétal : coût des études et devis, du suivi et de l'entretien

Atouts

- Les techniques de génie végétal sont moins onéreuses que les techniques de génie civil
- Les techniques de génie végétal fournissent de nombreux bénéfices écologiques et sociaux (coûts évités)

Leviers

- Publier les chiffres déjà existants de coût de travaux de ces ouvrages
- Intégrer les bénéfices sociaux et écologiques dans le calcul des coûts
- Conditionner le financement de projets de stabilisation à l'emploi du génie végétal Mieux inclure les ouvrages de génie végétal dans les exercices comptables des villes

8. Les facteurs liés à la connaissance et à la formation : un besoin marqué de connaissances propres au contexte québécois et de formation

L'étude de la documentation disponible sur le génie végétal montre une situation paradoxale : il y a une production importante de documents de base et de fiches techniques, mais de nombreuses questions semblent peu, voire pas, documentées. Le secteur pâtit également d'un manque de formation adaptée.

8.1. Une « niche » scientifique interdisciplinaire

À partir de la consultation de la littérature scientifique (obtenue à partir de requêtes dans les moteurs de recherche, dans les bases de données spécialisées, et de la consultation d'expert.es du domaine), nous avons identifié les publications scientifiques sur le génie végétal au Québec et au Canada pour contrôler l'érosion dans les berges de rivière. Il y a peu de publications sur ce thème, c'est donc une « niche scientifique », produite par un nombre restreint de personnes. Le champ est relativement ancien puisque les premières publications datent des années 1980. Il y a également un large éventail disciplinaire, dont la biologie végétale (Keita 2019; Poulin et al. 2019; Tisserant 2020; Tisserant, Bourgeois, et al. 2021; Tisserant, Poulin, et al. 2021; Keita et al. 2021), l'écologie végétale (Polster 2000; Evette et al. 2015), la géographie physique (Miles 1980; Krymer 2012; Krymer et Robert 2014; Hurson et Biron 2019), la géographie humaine (Boutet 2006; Brun 2011; Brun et al. 2021), les sciences de l'ingénieur (Gallant et al. 2022), la gestion des ressources naturelles (Randall 2015), la gestion de l'environnement (Paquette 2010), l'architecture de paysage (Oehmichen 1986), ainsi que des publications interdisciplinaires (Evette et al. 2023; Poulin et al. 2023).

Différents colloques sur le thème ont été organisés au Québec, par la SQP (en 2011, 2014 et 2024), par l'Université Laval (colloque en 2016 et atelier en 2022, en partenariat avec Pêches et Océans Canada, et deux centres de recherches français) et par l'*International Phytotechnology Conference* (2017).

8.2. Des guides techniques et opérationnels généralistes, mais peu de documentation technique

Nous avons identifié plusieurs guides, rapports et fiches techniques qui traitent du génie végétal. Ils sont à destination des professionnels de la filière (firmes et collectivités), et sont produits par les Ministères, les associations professionnelles ou des Fondations. Parmi eux, un guide sur le fonctionnement des berges (Brassard D'Astous 2013), des fiches présentant les techniques de génie végétal (Ministère de l'Environnement - Québec 1999; Desjardins 2019; Développement durable, Environnement et Parcs au Québec 2005; Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, Tisserant, et al. 2024), des documents sur le choix des végétaux et les défis d'approvisionnement (FIHOQ 2008; Frédette 2022), une fiche abordant le génie végétal sous l'angle de la faune piscicole (Société de la faune et des parcs - Québec 2003), et une fiche consacrée à la législation (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024).

Certains documents présentent des diagnostics stratégiques, comme ceux portant sur les IV (Lapierre et Pellerin 2018; Frédette, Daigneault, et Riendeau 2022; 2022), ou les phytotechnologies (Marquis et Hénault-Ethier 2018). Enfin, certains guides abordent la gestion de projet (Frédette et Trickey-Massé 2023), formulent des recommandations aux décideurs (Frédette 2023), ou s'adressent plus spécifiquement aux porteurs de projets (Environnement Canada 2013). Certains guides (par exemple, Dagnault et D'Aoust 1999) capitalisent les expériences et documentent les échecs (en lien avec un mauvais choix d'implantation, de mauvais choix techniques, ou de difficultés d'approvisionnement), ce qui est très utiles pour les concepteurs.

Mentionnons en outre l'existence de guides localisés, produits par les Municipalités (par exemple, Ville de Matane 2008; Pitre 2018), les Zones d'Interventions Prioritaires (ZIP) (St-Pierre 2003; Juneau, Bachand, et Lelièvre Mathieu 2012), les Comités de Bassin (COBALI 2010), ou les Ministères (Lehoux 1996).

Finalement, il y a de nombreux documents de synthèse sur le génie végétal, mais certaines questions plus précises (allant du calcul de la résistance des ouvrages aux crues ou à la glace, à l'évaluation des bénéfices fournis par ces ouvrages, en passant par l'acceptabilité sociale) ne sont pas approfondies. De plus, ces guides sont parfois redondants et s'appuient souvent sur des sources qui ne sont pas québécoises, ce qui peut parfois limiter leur pertinence. Enfin, il y a peu de retours d'expérience et de capitalisation des connaissances.

Un des leviers serait de documenter systématiquement la création d'ouvrages et leurs évolutions dans le temps, par exemple en mettant à disposition les plans et devis des dossiers de projets autorisés par le MELCCFP (Evette et al. 2023). Ces retours d'expérience pourraient être portés par le secteur public, car les firmes privées n'ont qu'un budget limité pour le suivi de ces ouvrages (en général deux ans, le temps de la garantie) (Lafrance 2024). À ce titre, le travail mené par la ville de Calgary (suivi de l'efficacité des ouvrages de stabilisation des berges dans 69 sites) est exemplaire (Gallant et al. 2022; The City of Calgary 2023; Gallant 2024).

8.3. Les connaissances à destination des populations riveraines et du grand public

Plusieurs documents ont été spécifiquement conçus pour les habitants riverains afin de les inciter à avoir une gestion écologique de leur rive, avec des informations sur l'écologie, la techniques et la réglementation (Pelletier et Rivars-Sirois 2007). Par ailleurs, le génie végétal a fait l'objet de publications dans la presse généraliste, par exemple suite aux colloques scientifiques (Gobeille 2016; Sauro 2021), ou autour de projets localisés, comme la plage Jacques Cartier à Québec (Morrissette-Beaulieu 2022; Néron 2021), les parcs urbains de Montréal (Faucher 2021), ou à Saint-François-de-l'île-d'Orléans (Vezina 2022; Lavallée 2022).

8.4. Un besoin de formation et de communautés de pratique

Au Québec comme ailleurs, le génie végétal demande une expertise dans des domaines variés, comme l'illustre la Fig. 5. Outre ces connaissances, le génie végétal requiert également des savoir-être, c'est-à-dire des qualités et des attitudes utiles en milieu professionnel : l'audace, l'humilité et la capacité à dialoguer avec des acteurs variés (initiateurs de projets, concepteurs d'ouvrages, ministères et municipalités en charge des autorisations, élus ou propriétaires riverains) ou entre différents services d'une même organisation, travaillant parfois en silo (Moreau et al. 2022; Evette et al. 2023).

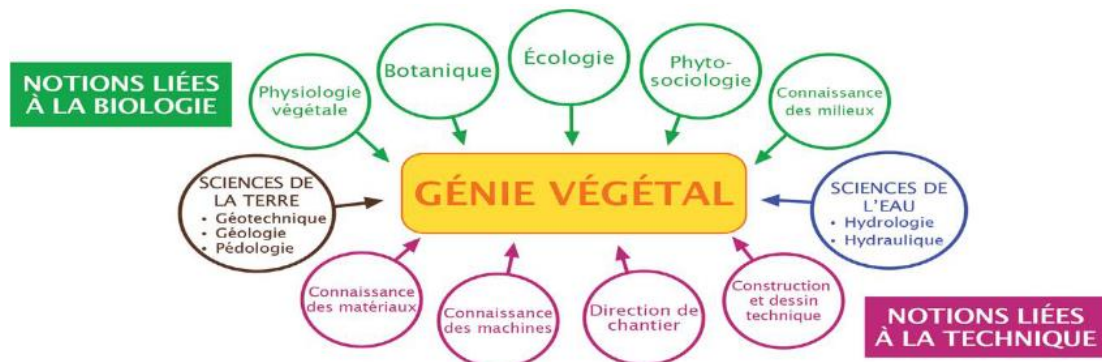


Fig. 5 : Le génie végétal à la croisée de compétences variées
Source (AGRCQ 2017), d'après Frossard, 1992

À la différence de la France ou de l'Autriche par exemple, au Québec, il n'existe pas de formation initiale spécifique au génie végétal, ce qui est préjudiciable au développement de la filière, car si les techniques de génie végétal nécessitent peu de machinerie, elles s'appuient en revanche sur une main d'œuvre qualifiée, au moment de l'installation des ouvrages, mais aussi pendant la phase de suivi et d'entretien (Marquis et Hénault-Ethier 2018). Il n'existe pas non plus de formation continue certifiante, mais des webinaires, des formations, des colloques ou des visites techniques peuvent être proposés par la SQP, l'Association Canadienne de Réhabilitation des sites Dégradés (ACRSD) ou l'Association Des Gestionnaires Régionaux Des Cours D'eau Du Québec (AGRCQ).

Au-delà des apprentissages concrets qui peuvent être faits à l'occasion des formations ou des colloques scientifiques, ces événements sont importants car ils peuvent construire une communauté de pratique, c'est-à-dire un groupe de personnes « qui partagent une préoccupation ou une passion pour quelque chose qu'ils font et qui apprennent à mieux le faire en interagissant régulièrement » (Wenger 1999). Les communautés de pratique sont indispensables car ces échanges entre pairs confortent les praticiens dans leurs pratiques, les aident à identifier les causes de succès et d'échec, en encourageant l'audace et l'humilité (King et al. 2022; Moreau et al. 2022; Doré, Gosselin, et Rey 2014; Frédette 2023).

Trois leviers sont mentionnés concernant la formation :

1) promouvoir la formation spécifique en génie végétal, tant initiale que continue, avec des enseignements transversaux, (Marquis et Hénault-Ethier 2018; Frédette 2023; Evette et al. 2023)

2) développer une culture professionnelle interdisciplinaire autour du génie végétal. En effet, le génie végétal implique des interactions entre les biologistes (qui sont chargés des autorisations dans les Ministères) et les ingénieurs (qui sont les concepteurs d'ouvrages) (Evette et al. 2023). Il pourrait donc être intéressant de former les ingénieurs à l'écologie et à l'hydrogéomorphologie d'une part, et les biologistes au génie et aux disciplines reliées à la dynamique des cours d'eau d'autre part (Evette et al. 2023)

3) encourager la recherche scientifique (autour des spécificités québécoises qui entrent en compte dans le génie végétal) et le transfert de ces connaissances (via la diffusion de guides, de normes et d'autres outils d'accompagnement) (Frédette 2023).

En bref : facteurs liés à la connaissance et à la formation

État des connaissances

- Beaucoup de guides techniques descriptifs sur le génie végétal, avec des informations parfois redondantes
- Le secteur scientifique peut être qualifié de « niche », avec très peu de documentation disponible mais une grande diversité de disciplines
- Finalement, de nombreuses questions ne sont traitées ni dans les documents scientifiques, ni dans les guides techniques : adaptation des techniques de génie végétal au contexte québécois ou enjeux liés à la gouvernance et à la concertation

Questions de recherches

- Quels sont les besoins de connaissances des professionnels de la filière et de l'administration en ce qui concerne le génie végétal ?
- Quelles sont les connaissances qui existent mais qui sont simplement mal documentées ou peu capitalisées ?

Freins

- Manque de connaissances sur l'adaptation possible de ces techniques au contexte québécois (écologique, climatique, réglementaire, social) et sur les aspects culturels et sociaux (en particulier sur les enjeux de gouvernance et de concertation)
- Manque de formation initiale ou continue avec une approche interdisciplinaire sur le génie végétal

Atouts

- Existence de communauté de pratique, via les conférences scientifiques ou les activités organisées par la SQP
- Le champ scientifique est en émergence, avec de plus en plus de publications sur le sujet

Leviers

- Encourager les retours d'expérience via une communauté de pratiques, malgré les enjeux liés à la concurrence entre les firmes
- Encourager le développement d'une certification sur le génie végétal
- Développer une culture professionnelle interdisciplinaire autour du génie végétal

9. Les facteurs liés à l'acceptabilité sociale : des ouvrages fiables, des berges belles et vivantes, un territoire juste

L'acceptabilité sociale est un facteur de réussite important dans la mise en place des ouvrages de génie végétal : selon la perception qu'ils ont de ces ouvrages, les habitants peuvent être des alliés, comme des opposants pour ces projets. Nous présentons ici quatre composantes de l'acceptabilité sociale : la confiance et le sentiment de sécurité, la perception de la biodiversité, la perception de la valeur esthétique, et enfin les enjeux liés à la justice sociale.

9.1. La confiance et le sentiment de sécurité

La confiance et le sentiment de sécurité sont des éléments indispensables de l'acceptabilité des SFN en général et des ouvrages de génie végétal en particulier (Anderson et al. 2022; Cottet et al. 2023). En effet, les solutions « grises » sont perçues comme plus rassurantes et moins risquées, plus contrôlées, et avec une antériorité plus importante (Seddon et al. 2020; Brillinger et al. 2021; Cottet et al. 2023). À l'inverse, les ouvrages de génie végétal peuvent générer certaines inquiétudes. En France, les praticiens sont régulièrement confrontés aux réticences des élus et des habitants, en particulier en ce qui concerne la fiabilité des ouvrages les premières années après leur mise en place. Convaincre les élus fait donc partie du travail des praticiens, par le biais de tests de ces techniques sur des zones à faible enjeu ou de mise en place de projets vitrines (Moreau et al. 2022). D'autre part, nous avons déjà évoqué la « transparence » écologique, c'est-à-dire le fait que les ouvrages vont peu à peu s'intégrer à leur environnement, jusqu'à devenir invisibles. Or, cet avantage peut aussi être un frein, car pour certains élus, les ouvrages doivent ainsi rester visibles pour garder une trace de l'investissement financier réalisé (Rey et al. 2015). Une enquête menée en France auprès de 429 personnes montre que le degré d'expertise environnementale influence la confiance dans ces techniques : 46%, 58% et 77% des personnes, respectivement sans expertise, avec une expertise moyenne et avec une expertise élevée, ont déclaré avoir confiance dans les techniques de stabilisation des berges par génie végétal (Cottet et al. 2023).

Au Québec, si aucune étude approfondie n'a été menée sur ces questions, de nombreux documents relatent les réticences au sujet du génie végétal. Plusieurs documents évoquent des « mythes » ou des « croyances » qui ne sont pas toujours validés par les données scientifiques, comme le fait que les IV consomment beaucoup d'espace et sont difficiles à implanter en milieux denses, que les IV coûtent cher ou ne rapportent rien (Brassard D'Astous 2013; Frédette 2023),. De façon plus générale, les élus, les riverains, mais aussi parfois les acteurs techniques tels que les ingénieurs, les gestionnaires ou les acteurs ministériels, associent souvent au génie végétal un risque plus élevé qu'aux techniques d'enrochement. Un seul échec semble suffire pour détruire la réputation des techniques basées sur le génie végétal (Marquis et Hénault-Ethier 2018; Evette et al. 2023). Ce manque de confiance peut s'expliquer par la résistance qu'entraîne tout changement (Frédette 2023), d'autant plus qu'il s'agit ici d'un véritable changement de paradigme de gestion (Moreau et al. 2023). En contexte de changement climatique et donc de risques accrus, on peut penser que les concepteurs et les donneurs d'ouvrage auront tendance à se tourner vers des solutions normalisées, c'est-à-dire le génie civil (Lafrance 2024).

Parmi les leviers évoqués, on note la mise en place de projets pilotes pouvant servir de vitrines et démontrer aux acteurs l'efficacité des solutions de génie végétal (Cottet et al. 2023; Frédette 2023), la diffusion de connaissances auprès des différentes parties prenantes du projet (élus, riverains, acteurs techniques) (Evette et al. 2023), ou l'amélioration des connaissances sur la performance et les avantages du génie végétal (Frédette 2023).

9.2. La valeur esthétique attribuée aux berges végétalisées

La valeur esthétique des berges est une deuxième composante de l'acceptabilité. Les berges jugées les plus esthétiques sont celles qui ne sont pas canalisées, dont le tracé est sinueux, qui présentent une végétation diversifiée en termes de strates et d'espèces et une faune visible (Cottet et al. 2014; Westling et al. 2014; House et Sangster 1991). Les représentations associées à la nature peuvent influencer la valeur esthétique : si la plupart des individus disent préférer un paysage « naturel », cette « naturalité » peut en réalité être comprise de différentes façons. Ainsi, une étude portant sur l'Yzeron, un affluent du Rhône en France, a ainsi montré que le cours d'eau était apprécié par les riverains car il présente l'image d'une nature arcadienne, d'une esthétique très entretenue (Flaminio, Cottet, et Lay 2015), loin de l'esthétique du sauvage ou de la fonctionnalité écologique appréciée par d'autres acteurs.

Concernant les ouvrages de génie végétal en particulier, une étude a été menée en croisant d'une part les données écologiques portant sur 12 sites de berges stabilisées par génie végétal, en techniques mixtes ou en techniques de génie civil et d'autre part les données relatives à la valeur paysagère (esthétique, récréative et sécuritaire) recueillies à l'aide d'un questionnaire en ligne totalisant 429 réponses. Les résultats montrent que la valeur esthétique des ouvrages augmente avec leur couverture végétale, avec la connectivité au paysage environnant (et donc avec la présence d'arbres aux alentours), avec la biodiversité (le nombre d'espèces végétales présentes) ou avec l'ombrage apporté par le couvert végétal. Cette relation était significativement plus prononcée chez les personnes ayant une expertise élevée, en particulier en ce qui concerne la variable végétation et la richesse spécifique. Ces répondants ont en effet moins bien noté l'esthétique des berges présentant de faibles valeurs pour les variables écologiques que les répondants ayant une expertise moyenne ou nulle (Cottet et al. 2023).

Au Québec, plusieurs documents mentionnent les bénéfices esthétiques des berges végétalisées (COBALI 2010; Desjardins 2019). Mais d'autres documents relèvent des réticences chez les habitants riverains, qui jugent que les bandes riveraines végétalisées donnent un aspect « négligé » (Frédette 2023; Evette et al. 2023; Cottet et al. 2023), alors qu'ils perçoivent les techniques de génie civil comme plus « propres » (Marquis et Hénault-Ethier 2018). Par ailleurs, il est intéressant de noter que dans le cas du projet de la rivière Saint-Charles ([partie 9.4.](#)), qu'à la fois le bétonnage des berges dans les années 1970, puis leur démantèlement à partir des années 1990, ont été motivés entre autres par des enjeux esthétiques, preuve que les normes esthétiques fluctuent selon les époques (Boutet 2006; Brun et al. 2021). Certains compromis pourraient être trouvés, par exemple en créant des fenêtres dans le corridor de la végétation riveraine pour favoriser l'accès physique et visuel à l'eau, (Cottet et al. 2023). Toutefois, des tensions peuvent apparaître entre ces objectifs paysagers et les objectifs écologiques (les trouées pouvant limiter la connectivité des berges) ou les objectifs de stabilisation (certaines espèces, comme le *spirea latifolia*, sont utilisées car elles sont basses et n'entravent pas la vue, mais elles sont peu intéressantes d'un point de vue de la stabilisation) (Cottet et al. 2023; Marin 2024).

9.3. La perception de la biodiversité

Des études ont été menées pour comparer les SE fournis par les écosystèmes fluviaux et les SE perçus. A Chypre par exemple, une étude a montré que 84% des visiteurs s'estimaient satisfaits par l'effet de rafraîchissement du parc urbain linéaire, alors même que les mesures micro-météorologiques relèvent un effet limité sur la température, de l'ordre de 0,5°C (Giannakis et al. 2016). En Roumanie, une étude a révélé que les habitants citent une très faible variété de SE fournis par les cours d'eau, alors que les connaissances scientifiques montrent l'existence de services issus des fonctionnalités éco-hydrologiques et hydro-climatiques (Ioana-Toroimac et al. 2020). Dans une étude sur la perception des techniques de stabilisation des berges, Cottet et al. (2023) montrent que 29,6% des personnes interrogées ont souligné le rôle des berges végétalisées dans la préservation de la biodiversité urbaine. Les personnes qui ont une expertise élevée se concentrent plus sur les bénéfices écologiques, tandis que les personnes avec une expertise plus faible se réfèrent davantage aux bénéfices socioculturels. Les résultats montrent des conflits de valeur potentiels, par exemple entre la valeur récréative des berges et la valeur écologique, ou entre une nature comprise comme synonyme de la biodiversité (et donc mesurée avec des indicateurs synthétiques prenant en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative des espèces

dans un assemblage donné) et une nature comprise comme un ensemble de dimensions esthétiques, récréatives ou spirituelles.

Au Québec, malgré les nombreux documents qui mentionnent les SE rendus par les ouvrages de génie végétal ([partie 4.3.](#)), il n'existe pas, à notre connaissance, de retour d'expérience sur la façon dont ces bénéfices sont perçus. Il pourrait donc être utile d'approfondir cette question, par exemple en comparant les perceptions des populations riveraines par rapport à celles des professionnels, ou en explicitant les facteurs (âge, formation, lieu d'habitation...) qui peuvent expliquer les différences de perceptions au sein de la population.

9.4. Les enjeux liés à la justice sociale

Si l'on se place à l'échelle d'une ville ou d'un territoire, la stabilisation des berges s'inscrit toujours dans un projet plus large, qu'il soit écologique, sécuritaire, hygiéniste ou encore de marketing urbain : stabiliser les berges, c'est aussi redessiner le territoire. Il est alors indispensable de se poser la question de la justice sociale, c'est-à-dire la façon dont les différents groupes sociaux sont affectés par ces travaux.

Les cours d'eau ont un rôle structurant sur le territoire : ils peuvent être des espaces attractifs (lieu de promenade, esthétique, îlot de verdure, et de fraîcheur etc.) ou à l'inverse répulsifs (risques d'inondation, coupures urbaines, insalubrité, lieux de marginalité) (Cottet et al. 2023). Ces attributions ne sont pas figées dans le temps. Ainsi, dans les villes occidentales, on note un mouvement de bascule : autour des années 1970, après leur avoir tourné le dos pendant près d'un siècle, les villes s'intéressent de nouveau à leurs fleuves ; autrefois espaces répulsifs et marginaux, les cours d'eau deviennent des éléments patrimoniaux et convoités (Dournel et Sajaloli 2013). La revalorisation des cours d'eau s'appuie sur trois piliers : la renaturation (restauration des fonctions écologiques du fleuve), la patrimonialisation (valorisation des cours d'eau comme des vecteurs d'histoire et de culture), et la réhabilitation urbaine (mise en valeur de la contribution des cours d'eau au lien social et au cadre de vie) (Cottet et al. 2023). Les techniques de génie végétal s'inscrivent parfaitement dans ces trois piliers, en conciliant bénéfices écologiques et sociaux, tout en mettant en valeur un savoir-faire ancien.

Ainsi, la restauration des berges encourage la réappropriation des cours d'eau par les habitants, les berges devenant des lieux de lien social (cheminement piéton, lieu de rassemblement ou d'évènements festifs, opérations d'éducation à l'environnement) (Cottet et al. 2023). La restauration des berges s'accompagne aussi de la redéfinition des usages. Par exemple, en France, selon les gestionnaires des berges qui ont été végétalisées, avant leur restauration, les berges étaient considérées comme des espaces marginaux avec des usages illégaux (dépôt de déchets, consommation de drogues ou d'alcool) ou considérés comme indésirables (les professionnels décrivent des jeunes qui « traînent »). Les travaux ont donc participé à encourager des usages jugés plus acceptables socialement (promenades en famille, sports en plein air) (Moreau et al. 2022). Par ailleurs, la restauration des berges peut s'inscrire dans une opération de « marketing territorial » : à Perpignan (France), les berges végétalisées du Têt sont promues comme l'emblème de la « ville durable », mais servent aussi de soutien aux promoteurs immobiliers (Rode 2017). On voit ainsi pointer le risque de l'éco-embourgeoisement (Frédette 2023). Ces différents effets (renforcement du lien social, redéfinition des usages, éco-embourgeoisement) peuvent être anticipés grâce à l'implication précoce des habitants, organisés en collectif (Flaminio, Cottet, et Lay 2015; Jacopin L'Azou et Gross 2010).

Au Québec, c'est le cas de la rivière Saint-Charles (ville de Québec) qui a été le plus étudié sous l'angle des sciences sociales. Sous l'Empire Britannique (de 1790 à 1850), le quartier Saint Roch est devenu le cœur industriel de la ville, et tout au long des 18^{ème} et 19^{ème} siècle, la rivière Saint Charles connaît de fortes pressions, principalement liées à la pollution et à l'absence d'épuration (Brun 2011). Une première phase d'aménagement a lieu autour des années 1960 : il s'agit de « rendre plus belle » la rivière en procédant à sa canalisation (Boutet 2006). À cette époque, qui correspond à la Révolution Tranquille, l'activité industrielle est en déclin, les classes moyennes fuient vers la banlieue, et le quartier est

délaissé par les politiques de transformations urbaines de Québec. Entre 1969 et 1974, la rivière est canalisée à la suite d'une entente tripartite entre les gouvernements municipal, provincial et fédéral. Les berges sont bétonnées, une station d'épuration et un barrage anti-marée sont construits. Ces travaux s'inscrivent dans une perspective hygiéniste et d'aménagement, en suivant le modèle de voies sur berges déjà éprouvé en Europe (Brun 2011). Mais à peine les travaux commencés, cette politique est remise en question par un autre projet : il s'agit de rendre la rivière « plus naturelle » et de restaurer sa valeur touristique et patrimoniale (Boutet 2006). En 1974, un plan d'aménagement est élaboré, il est dénommé « Kabir-Kouba » (nom de la rivière en huron-wendat, qui signifie « rivière aux mille méandres ») et qui répond à la montée en puissance des préoccupations environnementales (Boutet 2006; Brun 2011). Il faut toutefois attendre vingt ans pour que ces idées se diffusent et soient mises à exécution. De 1995 à 2006, les berges en béton (construites pour 16 millions de dollars canadiens quelques dizaines d'années plus tôt) sont détruites, les berges sont retalutées en pentes douces et végétalisées, et on réalise aussi des travaux d'assainissement (collecte, stockage et traitement des eaux pluviales) ainsi que des travaux d'aménagement (sentiers pédestres, paysagisme) (Fig. 6) (Brun 2011). Ce projet de renaturation a été qualifié d'« exemplaire », tant d'un point de vue écologique que de la valorisation urbaine et du marketing territorial (Brun et al. 2021). En effet, ce projet répondait à plusieurs demandes : celle des habitants (avoir une rivière propre), celle des exigences réglementaires de l'administration (améliorer la gestion des eaux pluviales), celle des élus (ne plus figurer sur la liste des villes canadiennes où l'eau est très polluée), et aux stratégies des promoteurs immobiliers (en améliorant l'attractivité du quartier) (Brun 2011). En effet, la rivière, autrefois répulsive, devient le centre et l'atout du quartier : on dégage la vue sur la rivière depuis la promenade (en adaptant l'éclairage public et la hauteur de la végétation), on vante les nouveaux logement avec « vue sur la rivière » (Brun 2011). Toutefois, ce projet a rencontré des difficultés : risques de conflits liés aux expropriations ou au déplacement du bâti, absence de stratégie territoriale globale (surtout sur les déplacements interurbains) et rôle très limité de la gouvernance locale de l'eau (Brun 2011; Brun et al. 2021).



*Fig. 6 : La rivière Saint Charles avant renaturation (haut, 1980) et après renaturation (bas, 2009).
Source : Brun et al. 2021. Source originale des photos : Ville de Québec*

En bref : facteurs liés à l'acceptabilité sociale

État des connaissances

- Manque de confiance dans les ouvrages de génie végétal au Québec, mais pas d'étude approfondie sur le sujet
- Pas d'étude approfondie sur la perception de la biodiversité et des SE fournis par les berges végétalisées au Québec
- Plusieurs études sur les enjeux de justice sociale liés à l'aménagement des berges, mais uniquement concernant la rivière Saint Charles

Questions de recherches

- Comment sont perçues les berges stabilisées par les techniques de génie végétal, en termes de sécurité, d'esthétique et de biodiversité ?
- Quelles différences de perception entre les groupes sociaux et les individus ?
- Quel impact des opérations de restauration sur les relations sociales ?

Atouts

- Les berges végétalisées sont généralement perçues comme plus esthétiques, et fournissant de nombreux SE
- Les techniques de génie végétal s'inscrivent parfaitement dans le courant de la revalorisation des cours d'eau en vigueur depuis les années 1970, en combinant renaturation, patrimonialisation et réhabilitation urbaine
- Les projets de restauration avec génie végétal permettent de concilier les attentes des habitants, de l'administration et des élus et des promoteurs immobiliers

Freins

- Les solutions de génie végétal sont perçues comme moins rassurantes et plus risquées, ce qui limite le recours au génie végétal ou mène à surdimensionner les ouvrages
- La « transparence » écologique peut être un frein pour les élus qui veulent garder une trace visible de leur investissement
- Les habitants peuvent préférer une nature « entretenue » ou avec des points de vue sur le cours d'eau, qui peut être difficile à concilier avec les techniques de génie végétal
- La restauration des berges peut redéfinir les usages sociaux autour du cours d'eau, et exclure certains groupes sociaux (éco-embourgeoisement)

Leviers

- Mettre en place des projets pilotes pour convaincre de l'efficacité de ces techniques
- Produire de nouvelles connaissances et les diffuser auprès des parties prenantes (sur la performance perçue du génie végétal par exemple)
- Mieux comprendre les perceptions et les attentes des habitants et des élus
- Créer des fenêtres dans le corridor de la végétation riveraine pour favoriser l'accès physique et visuel à l'eau

10. Les facteurs liés à l'organisation de la filière : encourager les compétences croisées des professionnel.les

La mise en place d'ouvrages de génie végétal implique une diversité d'acteurs et d'actrices. Plusieurs enjeux peuvent apparaître, en particulier au moment de la procédure d'appel d'offre, de la signature des plans et au cours du chantier.

10.1. Une diversité d'acteurs impliqués à différentes échelles

De nombreux acteurs et actrices sont impliqués dans la vie d'un ouvrage de génie végétal. Ils jouent un rôle dans la maîtrise foncière (propriétaires riverain.es des cours d'eau et municipalités), la gestion des cours d'eau (municipalités, MRC, ZIP, organismes de bassins versants, etc.), l'innovation, la conception, la construction et l'entretien des ouvrages (centres de recherche, firmes, entreprises de travaux, fournisseurs de matériaux, pépinières etc.), le financement de projets (municipalités, Ministères), l'animation de filière (associations comme l'AGRCQ ou la SQP) et enfin, l'encadrement réglementaire (municipalités, Ministères fédéraux et provinciaux, en particulier le Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) et Pêches et Océans Canada (MPO)). Pour la mise en place des phytotechnologies, le facteur humain est très important. Elle dépend de la sensibilité, de la capacité à innover et de la motivation de toutes parties prenantes (Lafrance 2024; Charbonneau 2024b).

Les petites et moyennes municipalités ont rarement recours aux techniques de génie végétal, en raison du manque de connaissances en interne (les employé.es ayant de multiples fonctions), comme en externe (difficulté à trouver des firmes formées sur ces techniques) et des coûts perçus comme plus élevés (Morin 2024). Plusieurs leviers peuvent stimuler le recours aux techniques de génie végétal à l'échelle municipale (Marquis et Hénault-Ethier 2018; Morin 2024): mettre à jour les guides des Ministères afin que les municipalités et les MRC disposent de termes de référence clairs et actualisés ; mieux documenter et diffuser les cas de réussite dans certaines municipalités ; produire des cartes et des outils géomatiques pour identifier et prioriser les endroits où implanter les ouvrages de génie végétal, en prenant garde à la compatibilité avec le schéma d'aménagement des MRC ; développer la formation.

Dans les grandes municipalités, on voit une dynamique favorable au développement du génie végétal, avec par exemple la stabilisation de la plage Jacques Cartier dans la municipalité de Québec avec des enrochements végétalisés et des ouvrages de génie végétal sur 1.2 km (Ville de Québec 2024). A Montréal, la Ville a lancé en depuis 2019 différents programmes pour stabiliser et restaurer les berges du Saint-Laurent et ses affluents dans plusieurs grands parcs de la ville (Englobe 2019; Ville de Montréal et JFSA 2021; Poulin et al. 2023).

Au niveau des Ministères, on voit également une dynamique positive, notamment le Ministère des Transports, qui met en place des projets impliquant le génie végétal depuis plus de trente ans. C'est notamment le cas sur des talus naturels perturbés par des travaux réalisés sur des infrastructures routières ou ferroviaires à proximité d'une route ou d'un pont par exemple) (Lafrance 2024). Il serait utile de diffuser plus d'information sur les grands chantiers menés par le MTQ, avec une analyse historique des ouvrages végétalisés bordant les infrastructures de transport pour faire ressortir les conditions favorables à leur succès tant du point de vue botanique que de celui des contraintes physiques (Marquis et Hénault-Ethier 2018).

Outre les donneurs d'ouvrage, les organismes de bassin versant, les associations professionnelles ou d'élus, comme la SQP, l'ACRSD ou l'AGRCQ, jouent déjà un rôle important en réalisant des formations, des colloques ou en concevant et diffusant des guides, et pourraient appuyer encore la diffusion de ces techniques (Marquis et Hénault-Ethier 2018).

10.2. L'appel d'offre : quels leviers d'action pour encourager le génie végétal ?

Quand elle est commanditée par un organisme public, la conception et la réalisation des ouvrages de génie végétal est soumise à une procédure d'appel d'offre, dans laquelle les fournisseurs ou les prestataires de service sont invités à

présenter une soumission en vue de l'attribution d'un marché public. Lors de cette procédure d'appel d'offres, plusieurs freins peuvent exister pour le recours au génie végétal.

Premièrement, la rédaction de l'appel d'offre demande des compétences en génie végétal qui sont très diversifiées ([partie 8.4.](#)). Or, les donneurs d'ouvrage n'ont pas forcément ces compétences, et il n'y a pas de modèle d'appel d'offre intégrant les techniques de génie végétal sur lesquels ils pourraient s'appuyer (Frédette 2023). De plus, les donneurs d'ouvrages se basent sur l'avis des ingénieur.es, qui manquent de connaissance sur les critères de performance propres au génie végétal, et qui priorisent le génie civil qu'ils connaissent mieux (Morin 2024). Un levier serait donc de regrouper et de diffuser un ensemble de bonnes pratiques reliées à la rédaction d'appel d'offres et à l'octroi de contrats (Frédette 2023).

Deuxièmement, les firmes pratiquant les techniques de génie végétal sont peu nombreuses, car il y a eu un nombre important de faillites dans le secteur au cours des dernières années, et qu'il y a une pénurie de main d'œuvre et d'entrepreneurs (White 2024; Lafrance 2024). En outre, les firmes qui répondent aux appels d'offre n'ont pas toujours des compétences spécifiques sur le génie végétal. Un levier serait d'intégrer systématiquement un biologiste et/ou un spécialiste en génie végétal dans les équipes au sein de firmes appliquant aux appels d'offre, afin que les projets soient mieux conçus (notamment en ce qui concerne le choix des végétaux) et que l'application de la séquence « éviter, minimiser et compenser » soit plus efficace (Evette et al. 2023).

Enfin, les organismes publics sont tenus de sélectionner le plus bas soumissionnaire, ce qui peut *in fine* porter atteinte à la qualité des ouvrages mis en place (Frédette 2023). Un des leviers serait donc de revoir le système d'appel d'offres au niveau du gouvernement en intégrant mieux les critères de compétence technique dans le choix du prestataire, ou en créant une certification « génie végétal », afin de donner la priorité à la compétence plutôt qu'au prix (Frédette 2023; Evette et al. 2023).

10.3. Le plan d'implantation et les interactions entre paysagistes, ingénieurs et biologistes

Les plans d'implantation peuvent être conçus soit par les ingénieur.es eux-mêmes, soit par des architectes paysagistes ou des ingénieurs forestier.es, qui doivent ensuite faire valider leur plan par un ingénieur.e structure appartenant à l'ordre professionnel (Gravel et Marcoux 2024). Or, ces ingénieur.es ne sont pas toujours bien formé.es aux techniques de génie végétal et en écologie (Evette et al. 2023). Ensuite, les plans doivent être soumis à l'autorisation des Ministères. Ce sont souvent des biologistes qui délivrent ces autorisations, et ils n'ont pas toujours des compétences en ingénierie (Evette et al. 2023). De plus, l'implication souvent très tardive des biologistes dans les projets pose problème, car il devient alors compliqué de modifier des plans et devis faits par les ingénieur.es à la fin d'un long processus (Evette et al. 2023). Trois leviers sont évoqués : une meilleure formation croisée des ingénieur.es et des biologistes sur une approche globale du génie végétal, une intégration plus précoce des biologistes dans le processus (par exemple via l'intégration d'ingénieur.es formé.es au génie végétal au sein des équipes des ministères) et la mise en place d'un canal de communication entre les concepteurs d'ouvrages et ceux qui délivrent les autorisations au cours de l'élaboration des devis (Evette et al. 2023).

10.4. Les interactions au cours du chantier

Le chantier peut être facilité ou entravé par la qualité des interactions entre l'entrepreneur général (qui a conçu le plan et qui coordonne le chantier) et la firme qui intervient sur le génie végétal (paysagiste ou pépinière) ; ou par les relations entre les différentes entreprises qui interviennent en même temps. Plusieurs freins existent. Généralement, le concepteur du chantier doit être présent pendant la mise en place des ouvrages, car les techniques de génie végétal nécessitent une grande précision (par exemple sur l'emplacement des boutures et des plants, ou le stockage du matériel végétal), ce qui augmente les coûts (Marquis et Hénault-Ethier 2018). Les surveillant.es de chantier (qui travaillent pour l'entrepreneur général) ne connaissent pas toujours bien le matériel végétal ou la botanique, ce qui pose problème pour garantir la qualité du projet (Dagnault et D'Aoust 1999; Marin 2024). Il existe des surveillant.es spécialisé.es, mais qui

travaillent parfois à temps partiel, ce qui peut nuire au bon déroulé des travaux (Lafrance 2024). Or, cette surveillance fine est nécessaire, car des erreurs en apparence minimales (choix des espèces, stockage du matériel végétal, calage des ouvrages avec le profil de la berge, etc.) peuvent être facteur d'échec.

L'organisation du chantier est également complexe, ce qui peut décourager les donneurs d'ouvrage. Les entrepreneurs en génie végétal doivent s'adapter à la fois à l'échéancier de l'entrepreneur général (soumis à ses propres contraintes techniques ou administratives), aux contraintes de reprise des végétaux ([partie 5.5.](#)), aux contraintes météorologiques ; ils n'ont parfois qu'un temps très court pour installer leurs végétaux (Marin 2024).

En bref : facteurs liés à l'organisation de la filière

État des connaissances

- Peu d'étude de cas sur les facteurs liés à l'organisation de la filière au Québec

Questions de recherche

- Quelles sont les interactions entre les différents professionnels qui interviennent dans les chantiers ?
- Quelles sont les compétences en génie végétal des donneurs d'ouvrages, des entrepreneurs généraux et des surveillants de chantier ?
- Quelle marge de manœuvre pour les propositions techniques des entreprises spécialisées dans les réponses à appel d'offre ?

Atouts

- Certaines municipalités et le MTQ mènent de nombreux projets de génie végétal et contribuent au rayonnement de ces techniques
- Les associations professionnelles et les associations d'élus assurent l'animation du réseau

Freins

- Règle du plus bas soumissionnaire pour l'octroi des appels d'offre, qui ne favorise pas toujours les firmes les plus compétentes
- Lors de la rédaction des appels d'offres, manque de compétence sur le génie végétal pour les donneurs d'ouvrages, et absence de guide qui pourraient les aider
- Manque de compétences croisées en écologie et ingénierie chez les concepteurs de projet et les biologistes délivrant les autorisations
- Implication très tardive des biologistes dans le projet
- Des tensions peuvent émerger entre firmes de génie végétal et de génie civil
- Besoin de la présence du concepteur pour la surveillance du chantier

Leviers

- Mieux documenter les succès menés par les municipalités et le MTMD et identifier les leviers qui existent à l'échelle municipale et provinciale (étude des politiques et règlements municipaux, étude historique)
- Créer une certification « génie végétal » pour donner la préférence à la compétence plutôt qu'au prix dans l'octroi des appels d'offre
- Mettre des guides à disposition des municipalités, en particulier pour la rédaction d'appel d'offre
- Mieux former des ingénieur.es et des biologistes à une approche globale du génie végétal
- Intégrer les biologistes plus en amont dans le processus
- Mettre en place un canal de communication entre les concepteurs d'ouvrages et les analystes qui délivrent les autorisations
- Améliorer les compétences en génie végétal des surveillant.es de chantiers

11. Les facteurs réglementaires : vers une réglementation plus incitative ?

Si les techniques de génie végétal sont promues par les autorités compétentes, et en particulier les Ministères, différents freins réglementaires existent encore, en particulier en ce qui concerne la notion d'empiètement ou l'encadrement des techniques mixtes.

11.1. Rive, limite du littoral, phytotechnologie : définitions réglementaires

Les termes de rives, de berges et de bandes riveraines désignent tous des écotones à l'interface entre les milieux terrestres et aquatiques. Toutefois, seul le terme de rive est défini dans la réglementation, en particulier dans la Réglementation sur les Activités dans les Milieux Humides, Hydriques et Sensibles (RAMHHS) (Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques - Québec 2022a) (Fig. 7).

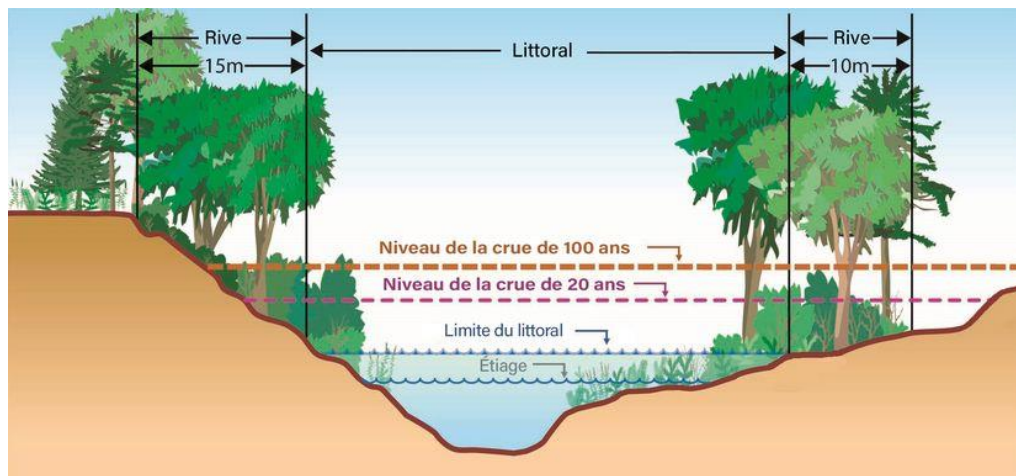


Fig. 7 : Délimitation du littoral, des rives et des zones inondables d'un cours d'eau.

Source : (Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques - Québec 2022a)

Une rive est définie comme « la partie d'un territoire qui borde un lac ou un cours d'eau et dont la largeur se mesure horizontalement, à partir de la limite du littoral vers l'intérieur des terres. » Sa largeur est de :

- 10 m lorsque la pente du talus est inférieure à 30 % ou lorsqu'on est en présence d'un talus de 5 m de hauteur ou moins
- 15 m lorsque la pente du talus est supérieure à 30 % et qu'elle est continue ou lorsque le talus est de plus de 5 m de hauteur
- 3 m dans les zones agricoles

Le littoral est défini comme la « partie d'un lac ou d'un cours d'eau qui s'étend à partir de la ligne qui la sépare de la rive vers le centre du plan d'eau ». Il est indispensable de déterminer la limite du littoral (anciennement Ligne des Hautes Eaux, LHE), car la réglementation n'est pas la même sur la rive et sur le littoral ([partie 11.2.](#)). La RAMHHS prévoit plusieurs méthodes pour déterminer la limite du littoral :

- **la méthode éco-géomorphologique**, basée sur l'observation de critères éco-géomorphologiques pouvant être identifiés sur les littoraux : le sommet d'un escarpement, le pied et la crête de dune, la végétation éparse et dense, les terrasses de plage, la fin de marais maritime, le sommet d'une infrastructure

- **la méthode botanique experte**, basée sur les observations botaniques, qui identifie l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes hygrophiles à une prédominance de plantes terrestres ou, s'il n'y a pas de plantes hygrophiles, l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau
- **la méthode biophysique**, plus simple, qui repose sur l'identification d'indicateurs biologiques (principalement des plantes hygrophiles) et physiques (signe d'érosion due aux inondations sur les écorces des arbres)
- **la méthode hydrologique**, qui correspond à la limite de la crue qui a statistiquement une chance sur deux de survenir chaque année (probabilité de 50 % annuellement) (Bernatchez 2022; Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques - Québec 2022b)

La réglementation au provincial ne fait plus mention de « génie végétal », mais de « phytotechnologie », qui est définie comme « un large spectre de techniques d'utilisation de plantes vivantes pour résoudre des problèmes environnementaux » (Gouvernement du Québec 2023). Dans le cas de l'érosion des rives, les phytotechnologies incluent les « armatures végétales telles que les fagots, les fascines, le tressage, les matelas de branches, les plançons ou tout autre ouvrage de stabilisation fait à partir de végétaux vivants ». Les techniques mixtes, impliquant de l'enrochement, sont exclues de ces définitions (Gouvernement du Québec 2023).

11.2. L'encadrement réglementaire du génie végétal : une réglementation complexe

Depuis plusieurs décennies, le gouvernement du Québec reconnaît l'importance des rives dans le fonctionnement écologique des cours d'eau. Le 22 décembre 1987, le gouvernement du Québec adopte la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) sur proposition du ministre de l'Environnement, conformément à l'article 2.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-20). Plusieurs modifications ont été apportées à cette politique : en 1991, l'aire d'application est étendue à l'ensemble des cours d'eau. En 1996, la politique a été révisée de façon à prendre en compte les situations particulières, en permettant aux MRC ou aux communautés urbaines d'approuver les plans de gestion de leurs rives ou de leur littoral et d'adopter des mesures particulières de protection divergeant, en tout ou en partie, de celles de la politique (Gouvernement du Québec 2022). En 2022, des modifications ont été apportées à cette politique, avec l'instauration du régime transitoire de gestion des zones inondables, des rives et du littoral, qui remplace la PPRLPI et qui met notamment en place un régime d'autorisation municipale (Gouvernement du Québec 2022). Ainsi, les municipalités ont obtenu plus de pouvoir quant à leur réglementation et aux autorisations nécessaires (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024).

Finalement, les pratiques de stabilisation des berges sont encadrées au niveau fédéral, provincial et municipal (Fig. 8).

Au niveau fédéral, trois lois s'appliquent : la loi sur les pêches, la loi sur les espèces en péril, et la loi sur l'évaluation d'impact, qui s'inscrivent toutes dans le Programme de protection du poisson et de son habitat (Normand 2024). Selon ces lois, tous les travaux susceptibles de perturber, de détériorer ou de détruire l'habitat du poisson (ce qui comprend toute la partie du plan d'eau située sous la limite du littoral), ainsi que tous les travaux menaçant les espèces en péril, sont interdits (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024). Plus précisément, le MPO évalue l'empiètement (risque de destruction ou de détérioration de l'habitat du poisson), la perte de qualité de la bande riveraine et ses avantages en termes d'habitat (apport de nourriture, ombrage, abris, etc.), les apports de sédiments (pendant les travaux) ou leur remise en suspension pendant les travaux, la réduction des apports naturels en sédiments pour les habitats en aval (processus hydrogéomorphologiques) et enfin, le passage du poisson restreint selon la conception des enrochements sur le lit (Normand 2024).

Concrètement, le concepteur fait d'abord une auto-évaluation des risques induits par son projet. Il peut être accompagné dans ce processus par le MPO, qui peut l'aider à adapter son projet (travail d'évitement et d'atténuation) pour se conformer à la législation (localisation du projet, identification des périodes de travail les plus propices, choix des

techniques, etc.). Si le projet le justifie, le MPO évalue les risques résiduels. Enfin, si le risque est avéré, le promoteur doit déposer une demande d'autorisation, ce qui inclut un processus de compensation et de consultation auprès des populations autochtones (Normand 2024).

Au niveau provincial, il y a deux lois et cinq règlements : la loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, et un règlement associé : le règlement sur les habitats fauniques (RHF) ; la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), et quatre règlements associés : le Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leurs impacts sur l'environnement (REAFIE), le Règlement sur les activités dans les milieux humides, hydriques et sensibles (RAMHHS), le Règlement relatif à l'évaluation et à l'examen des impacts sur l'environnement de certains projets (REEIECP), le Règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques (RCAMHH) (Bourret 2024).

La Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune précise que « *nul ne peut, dans un habitat faunique, faire une activité susceptible de modifier un élément biologique, physique ou chimique propre à l'habitat de l'animal ou du poisson visé par cet habitat* » (Bourret 2024). Dans le cadre de la stabilisation des berges, plusieurs habitats peuvent être concernés : aires de concentration d'oiseaux aquatiques ; habitat d'une espèce faunique menacée ou vulnérable; habitat du poisson ; habitat du rat musqué ; héronnière ; île ou presque île habitée par une colonie d'oiseaux ; vasière fréquentée par l'original (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024). Les habitats doivent être cartographiés, sauf en ce qui concerne le poisson, dont l'habitat correspond au littoral (Bourret 2024). Aucune exemption n'est prévue concernant les ouvrages de stabilisation, donc tous les travaux situés sous la limite du littoral sont soumis à une autorisation.

La loi sur la Qualité de l'environnement encadre les projets de stabilisation de berge effectués sur une superficie de 5000 m² ou plus, ainsi que des travaux de remblayage ou de creusage effectués sur une distance de 500 m (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024). La LQE encadre aussi certaines pratiques des travaux, comme l'accès au site par la machinerie, l'utilisation des huiles, des graisses et du carburant (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024).

Les procédures d'autorisation sont encadrées dans le REAFIE, qui définit quatre niveaux d'autorisations, selon leur impact :

- **Impact élevé** : autorisation du gouvernement
- **Impact modéré** : autorisation ministérielle. Cela concerne les travaux de stabilisation comprenant du remblayage ou du déblaiement, les travaux modifiant la topographie du sol ou impliquant la destruction de la couverture végétale, les travaux effectués sur des ouvrages de stabilisation déjà présents, les travaux de stabilisation de berge utilisant les phytotechnologies lorsque ceux-ci sont d'une longueur de plus de 100 m et les travaux de stabilisation de berge qui utilisent des matériaux inertes lorsque leur longueur est supérieure à 50 m. En cas de demande d'autorisation ministérielle, des mesures de compensation sont prévues, à l'exception des pertes de moins de 30m² en milieu hydrique
- **Impact faible** : déclaration de conformité. Cela concerne uniquement les travaux de stabilisation de chemin en bordure de milieux hydriques, d'une longueur maximale de 100 m, les travaux de stabilisation de chemin qui utilisent des matériaux inertes (ex. caissons végétalisés ou enrochements) lorsque ceux-ci sont d'une longueur maximale de 50 m ou les travaux effectués sur des ouvrages de stabilisation d'un chemin déjà présents
- **Impact négligeable** : exemption. Cela concerne les travaux de stabilisation de berge utilisant les phytotechnologies dont la longueur est inférieure à 50m, les travaux de stabilisation de berge qui utilisent des matériaux inertes (ex. caissons végétalisés ou enrochement) dont la longueur n'excède pas 30 m ou 5 fois la largeur du cours d'eau (Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024).

Il faut noter que ces seuils sont cumulatifs. Par exemple, si un ouvrage de phytotechnologie de 30 m est installé à côté d'un ouvrage de 90m, le linéaire total sera de 120m, et sera donc soumis à une autorisation ministérielle (Bourret 2024).

Enfin, des réglementations spécifiques peuvent s'appliquer au niveau de chaque municipalité.

La complexité de certains règlements et leurs fréquents changements, le manque d'harmonisation entre les nombreux paliers de gouvernements impliqués dans l'examen et l'autorisation des projets (municipal, provincial, voire fédéral), la lourdeur et la longueur du traitement des demandes, la variabilité des réponses en fonction des analystes qui étudient le dossier, compliquent la tâche des concepteurs et des donneurs d'ouvrage (Frédette et Trickey-Massé 2023; Evette et al. 2023; Lafrance 2024). Finalement, le cadre réglementaire semble rigide et ne semble pas favoriser l'innovation, car les demandeurs proposent des projets qui cadrent facilement avec les processus connus d'autorisation et de compensation (Evette et al. 2023).

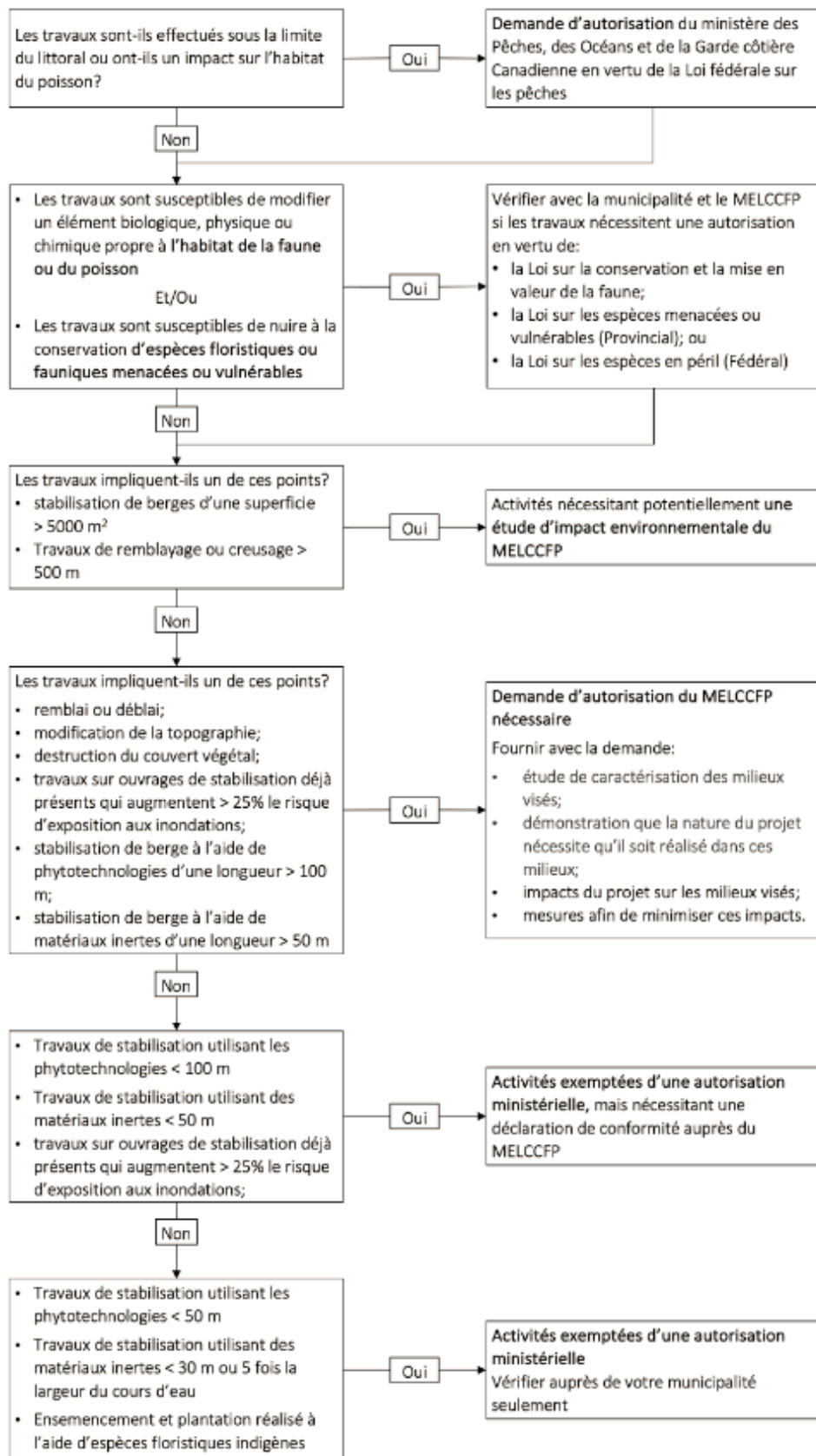


Fig. 8 : Schéma décisionnel concernant les autorisations ministérielles

Source : Parent, Gervais-Bergeron, Bonet, et Tisserant 2024

11.3. Des allègements réglementaires jugés parfois insuffisants

Plusieurs allègements réglementaires sont en vigueur concernant les ouvrages de phytotechnologies, comme l'exemption de demande d'autorisation auprès du MELCCFP en dessous de 50m (contre 30m pour les enrochements) par exemple. Toutefois, les allègements réglementaires ne concernent que les techniques de génie végétal « pur » ; aucune exemption ou allègement n'est prévu pour les techniques mixtes, malgré le fait que l'usage des roches est parfois inévitables, et que les techniques mixtes sont préférables au génie civil d'un point de vue écologique et social (Evette et al. 2023; Lafrance 2024). En outre, les demandes d'autorisation sont cumulatives et cela peut générer un sentiment d'injustice entre des voisins mitoyens : un même projet peut être autorisé ou refusé en fonction des aménagements des berges mitoyennes (White 2024).

Des leviers réglementaires sont mentionnés dans la littérature pour encourager le recours au génie végétal. Il pourrait être obligatoire de démontrer qu'il est impossible d'utiliser le génie végétal pour les projets de stabilisation de berge par le biais d'avis techniques ; il faudrait mettre à jour les guides émis par les Ministères pour que les municipalités et les entreprises disposent de termes de référence clairs et actualisés (Marquis et Hénault-Ethier 2018; Evette et al. 2023) ; les règlements d'urbanisme pourraient favoriser l'utilisation des IV (obligations, conditions ou exemptions à l'octroi de permis, etc.), tant sur les terrains publics que privés, et limiter les clauses ayant le potentiel de restreindre leur utilisation (Frédette 2023).

11.4. La notion d'empiètement en débat

On l'a vu, les travaux de phytotechnologie réalisés en dessous de la limite du littoral sont soumis à autorisation du MPO en vertu de la loi sur la pêche et la loi des espèces en péril, et à autorisation du MELCCFP en vertu de la loi de Qualité de l'environnement (si le linéaire stabilisé est supérieur à 100m avec les phytotechnologies, ou 50m avec des matériaux inertes). Lors d'un atelier sur les freins et leviers organisés en octobre 2022, plusieurs praticiens ont exprimé les limites de cette approche (Evette et al. 2023). Selon eux, certaines modifications peuvent être bénéfiques pour l'habitat du poisson : apport de bois mort, effet d'ombrage, création de vitesses d'écoulement différentielles, etc. De plus, la réglementation s'applique indifféremment sur le lit mineur, qui constitue l'habitat principal du poisson, et le lit majeur, c'est-à-dire les secteurs qui ne sont ennoyés que lors des crues et qui ne sont que temporairement occupés par les poissons (Evette et al. 2023). Enfin, la méthode la plus couramment utilisée pour définir la limite du littoral est la méthode hydrologique (crue 0-2 ans) qui est souvent plus haute que les autres méthodes.

Cette notion d'empiètement a également des effets pervers, car les techniques de génie civil tolèrent des pentes plus abruptes et les ouvrages sont fréquemment encastrés dans la berge, alors que les techniques de génie végétal nécessitent souvent un retalutage. On peut donc considérer que cette notion d'empiètement, et les obligations de compensation associées, peuvent encourager le recours au génie civil car l'empiètement sur l'habitat du poisson est moindre (Evette et al. 2023).

Or, il est intéressant de noter qu'en pratique, de nombreux ouvrages utilisent des matériaux inertes dans la zone littorale, et implantent les végétaux au-dessus de la limite du littoral, alors même qu'il pourrait être intéressant d'implanter les végétaux plus bas, jusqu'à la limite inférieure des ligneux (Charbonneau 2024a). On peut gager que des allègements réglementaires pour l'usage des techniques de phytotechnologie dans la partie littorale, une meilleure prise en compte des effets positifs de ces ouvrages sur l'habitat du poisson, et la différenciation du lit majeur et du lit mineur, pourraient encourager les praticiens à avoir davantage recours aux phytotechnologies plutôt qu'aux matériaux inertes dans la zone littorale.

En bref : facteurs réglementaires

- Il existe des guides synthétiques sur la législation encadrant le génie végétal

Freins

- La réglementation encadrant le génie végétal est complexe et peu lisible, manque d'harmonisation entre les différents paliers de gouvernements impliqués
- La réglementation ne prévoit aucun allègement ou exemption pour les techniques mixtes, alors qu'elles sont bien moins néfastes pour le milieu que les techniques de génie civil
- Longueur des délais de traitement (autour d'un an)
- Le cadre réglementaire limite l'innovation
- La notion d'empiètement ne rend pas compte des effets potentiellement positifs des ouvrages de génie végétal sur l'habitat du poisson
- La réglementation peut avoir des effets pervers car les techniques de génie civil nécessitent moins de retalutage (et donc d'empiètement) que les techniques de génie végétal
- Sans incitation réglementaire, les praticiens ont tendance à utiliser des matériaux inertes dans la zone du littoral

Atouts

- L'encadrement législatif de la stabilisation des berges se fait à plusieurs niveaux (fédéral, provincial et municipal), ce qui permet de prendre en compte les spécificités locales
- Le cadre réglementaire est plus souple lorsque les techniques de génie végétal sont utilisées

Leviers

- Alléger le dispositif de compensation pour les techniques mixtes
- Avoir une approche plus nuancée de la notion d'empiètement (prendre en compte les effets positifs des ouvrages de génie végétal sur l'habitat du poisson, différencier le lit majeur et le lit mineur, utiliser les méthodes éco-géomorphologique et botanique plutôt que la méthode hydrologique pour définir le littoral)
- Obligation de démontrer l'impossibilité d'utiliser le génie végétal pour les projets de stabilisation de berge par le biais d'avis techniques
- Mettre à jour des guides réglementaires ministériels synthétiques à destination des concepteurs et des municipalités
- Promouvoir les IV dans les règlements d'urbanisme

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, Philippe, Nicolas Debiais, François Gerber, et Bernard Lachat. 2008. *Le génie végétal: un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques*. La Documentation Française.
- AGRCQ. 2017. « Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec ». Granby: Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec.
- Anderson, Carl C., Fabrice G. Renaud, Stuart Hanscomb, et Alejandro Gonzalez-Ollauri. 2022. « Green, Hybrid, or Grey Disaster Risk Reduction Measures: What Shapes Public Preferences for Nature-Based Solutions? » *Journal of Environmental Management* 310 (mai):114727. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114727>.
- ASTEE. 2013. « Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi? Comment? » ASTEE. <https://www.astee.org/publications/ingenierie-ecologique-appliquee-aux-milieux-aquatiques-pourquoi-comment/>.
- . 2020. « La réhabilitation des petites rivières urbaines : retours d'expériences sur des projets multi-bénéfices ». ASTEE. <https://www.astee.org/publications/la-rehabilitation-des-petites-rivieres-urbaines-retours-dexperiences-sur-des-projets-multi-benefices/>.
- Barnaud, G., et J. L. Chapuis. 2004. « Ingénierie écologique et écologie de la restauration : spécificités et complémentarités ». *Sciences Eaux & Territoires*, n° Spécial Ingénieries-EAT-19 (avril), 123-38.
- Bélanger, Karine. 2017. « Caractérisation géotechnique et géophysique des argiles sensibles de Brownsburg, Québec ». Mémoire de maîtrise en génie civil, Québec, Québec, Canada.
- Benedict, Mark A., Edward T. McMahon, et Mark A. The Conservation Fund. 2012. *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Island Press.
- Bernatchez, Pascal. 2022. « Guide d'application de la méthode éco-géomorphologique : identification de la limite du littoral pour le domaine maritime ». Rimouski, Québec: Université du Québec à Rimouski.
- Bernier, Jean-François. 2024. « Programme de suivi sur la mobilité des berges du tronçon fluvial du Saint-Laurent : enjeux et processus de mobilité de l'estuaire fluvial ». In *8ème Assemblée des acteurs de l'eau de la table de concertation régionale de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent*. Trois Rivières.
- Biron, Pascale, Thomas Buffin-Bélanger, Marie Larocque, Sylvio Demers, Taylor Olsen, Marie-Audray Ouellet, Guénoé Choné, Claude-André Cloutier, et Michael Needelman. 2013. « Espace de liberté: un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques ». Ouranos, Fonds Vert Québec.
- Bischetti, Gian Battista, Giovanni De Cesare, Slobodan B. Mickovski, Hans Peter Rauch, Massimiliano Schwarz, et Rosemarie Stangl. 2021. « Design and temporal issues in Soil Bioengineering structures for the stabilisation of shallow soil movements ». *Ecological Engineering* 169 (novembre):106309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106309>.
- Bonin, L., A. Evette, P. A. Frossard, P. Prunier, D. Roman, et N. Vale. 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*. <https://hal.inrae.fr/hal-02598614>.
- Bourret, Francis. 2024. « Stabilisation de rive et phytotechnologie : les exigences règlementaires ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Boutet, Guillaume. 2006. « Le changement de forme des berges de la rivière Saint-Charles à Québec : l'explication de l'approche culturelle de la géographie ». Québec, Québec, Canada: Université Laval - Faculté de Foresterie et de Géomatique.
- Brassard D'Astous, Émilie. 2013. *Guide de bonnes pratiques - Aménagement et techniques de restauration des bandes riveraines*. 978^e-2^e-9810450^e-3^e-4^e éd. Saint-Hyacinthe: Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec.

- Brillinger, Mario, Jennifer Henze, Christian Albert, et Reimund Schwarze. 2021. « Integrating Nature-Based Solutions in Flood Risk Management Plans: A Matter of Individual Beliefs? » *The Science of the Total Environment* 795 (novembre):148896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148896>.
- Brun, Alexandre. 2011. « Politique de l'eau et aménagement urbain La « Renaturation » de la rivière Saint-Charles à Québec ». *Norois. Environnement, aménagement, société*, n° 219 (juin), 89-107. <https://doi.org/10.4000/norois.3603>.
- Brun, Alexandre, Frédéric Lasserre, Llewella Maléfant, et Inès Carine. 2021. « Quand l'eau irrigue à nouveau la ville : Analyse des stratégies territoriales et des projets de renaturation des petites rivières urbaines au Québec ». Research Report. Québec, Québec, Canada: Université Laval - Institut Hydro-Québec en Environnement Développement et Société. <https://hal.science/hal-03480787>.
- Cavaillé, Paul, Fanny Dommange, Nathan Daumergue, Gregory Loucougaray, Thomas Spiegelberger, Eric Tabacchi, et André Evette. 2013. « Biodiversity assessment following a naturalness gradient of riverbank protection structures in French prealps rivers ». *Ecological Engineering* 53 (avril):23-30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.105>.
- Cavaillé, Paul, André Evette, et Ghislain Huyghe. 2014. « Quelle biodiversité pour les berges aménagées ? » *Génie Biologique* 14 (janvier):32-38.
- Charbonneau, Gabriel. 2024a. « La pleine considération de la partie littorale de la berge dans les projets de stabilisation ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- . 2024b. « La stabilisation des pentes abruptes par génie végétal – l'approche conceptuelle, la réalisation, le suivi ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Chassiot, Léo, Patrick Lajeunesse, et Jean-François Bernier. 2020. « Riverbank erosion in cold environments: Review and outlook ». *Earth-Science Reviews* 207 (août):103231. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103231>.
- City of Calgary. 2018. « The City of Calgary Riparian Monitoring Program ». Calgary, Canada.
- COBALI. 2010. « La bande riveraine en milieu forestier une richesse à préserver... » <https://www.cobali.org/wp-content/uploads/2016/11/La-bande-riveraine-en-milieu-forestier.pdf>.
- Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen, et S. Maginnis. 2016. « Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges ». IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>.
- Cottet, M., Marie Augendre, Mathilde Bozonnet, Vincent Braut, Dimitri Magnet, Jeannice Marchand, Dad Roux-Michollet, Marie-Laure Trémélo, Hervé Tronchère, et Lise Vaudor. 2014. « Traquer le regard, vers une caractérisation des bénéfices sociaux induits par les travaux de restauration écologique en territoire urbain ». Rapport final. Lyon: Accord cadre AE-ZABR. <https://doi.org/10.13140/2.1.2419.4881>.
- Cottet, M., André Evette, Adeline François, Clémence Moreau, Anne Riviere-Honegger, et Stéphanie Vukelic. 2023. « Le génie végétal en berges pour transformer la ville - Services écosystémiques, représentations des acteurs et biodiversité ». Rapport final. Lyon, France: Action 70 accord cadre ZABR-Agence de l'eau.
- Cottet, M., A. François, C. Moreau, C. Lecaude, S. Vukelic, A. Rivière-Honegger, et A. Evette. 2024. « Knowledge influences perceptions and values of nature-based solutions: the example of soil and water bioengineering techniques applied to urban rivers ». *Anthropocene*, janvier, 100424. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100424>.
- Dagnault, Claudia, et Mylène D'Aoust. 1999. « Recueil de sites de restauration végétale au Québec ». Montréal, Canada: MAPAQ, Société de l'arbre au Québec, AQPP.
- Desjardins, Dominique. 2019. « La stabilisation des pentes ». Montréal: Société québécoise de phytotechnologie. https://www.phytotechno.com/wp-content/uploads/2019/05/SQP_FicheTechnique_StabilisationPentes.pdf.
- Développement durable, Environnement et Parcs au Québec. 2005. « Techniques de stabilisation des rives ». In *Guide des bonnes pratiques, protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, 14. Montréal. https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/stabilisation_rives.pdf.
- Didier, Marie, André Evette, Mathias Pires, Juliette Rousset, Patrice Prunier, P. A. Frossard, Luce Martin, et Anne Vivier. 2024. « Le bouturage pour le génie végétal en berges ». Guide technique. Grenoble: INRAE, OFB.

- Doré, Antoine, Frédéric Gosselin, et Freddy Rey. 2014. « L'écologie au service de l'ingénierie : organisation d'un collectif scientifique et pratique ». In *Ingénierie écologique, Action par et/ou pour le vivant ?*, Quae, 139-49. Synthèses.
- Dournel, Sylvain, et Bertrand Sajaloli. 2013. « Les milieux fluviaux et humides en ville, du déni à la reconnaissance de paysages urbains historiques ». *Urban History Review* 41 (1): 5-21. <https://doi.org/10.7202/1013761ar>.
- Englobe. 2019. « Étude de conception préparatoire - Stabilité d'une berge le long du fleuve Saint-Laurent, Parc de la Promenade-Bellerive Montréal, Québec ». 025-P-0017802-0-03-003-GE-R-0001-01. Montréal, Canada.
- Environnement Canada. 2013. « Guide de planification et de présentation des projets de végétalisation de bandes riveraines ». Gatineau. https://www.planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/665_Guide_de_v%C3%A9g%C3%A9alisation_des_bandes_riveraines_F_05-2_WEB.pdf.
- Evette, André, F. Baz, P. Cavallé, P. A. Frossard, et P. Raymond. 2015. « Quelles techniques pour végétaliser des enrochements de berges de cours d'eau ? » *Sciences Eaux & Territoires*, n° Articles hors-série 2015 (février), 1-7. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2015.HS.02>.
- Evette, André, et P. A. Frossard. 2009. « Les végétaux ont du génie ». *Espaces naturels*, n° 26. <https://www.genieecologique.fr/reference-biblio/les-vegetaux-ont-du-genie-revue-espaces-naturels-ndeg26>.
- Evette, André, Delphine Jaymond, Alain Recking, Guillaume Piton, Hans Peter Rauch, et P. A. Frossard. 2018. « The Limits of Mechanical Resistance in Bioengineering for Riverbank Protection ». In *Life Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision*, par Robby Caspelle, Luc Taerwe, et Dan M. Frangopol, CRC Press. London: CRC Press.
- Evette, André, Sophie Labonne, Freddy Rey, Frederic Liebault, Oliver Jancke, et Jacky Girel. 2009. « History of Bioengineering Techniques for Erosion Control in Rivers in Western Europe ». *Environmental Management* 43 (6): 972-84. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y>.
- Evette, André, Guillaume Piton, Philippe Janssen, Fanny Dommaget, Nadège Popoff, Delphine Jaymond, Yves-François Le Lay, et al. 2022. « Le génie végétal sur les berges de cours d'eau : des techniques aux multiples bénéfiques ». Office Français de la Biodiversité.
- Evette, André, Monique Poulin, M. Cottet, et Clémence Moreau. 2023. « Promouvoir le génie végétal au Québec ». *Sciences Eaux & Territoires*, octobre, 73-80. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2023.43.7813>.
- Faucher, Olivier. 2021. « 85 M\$ pour protéger les berges à Montréal ». *Journal Métro*, 8 février 2021. <https://journalmetro.com/actualites/montreal/2613728/berges-federal-investissement-34-millions-montreal/>.
- FIHOQ. 2008. « Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines ». Saint-Hyacinthe: Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale. <https://quebecvert.com/medias/D1.1.5B-1.pdf>.
- Flaminio, Silvia, M. Cottet, et Yves-François Le Lay. 2015. « A la recherche de l'Yzeron perdu : quelle place pour le paysage dans la restauration des rivières urbaines ? » *Norois. Environnement, aménagement, société*, n° 237 (décembre), 65-79. <https://doi.org/10.4000/norois.5793>.
- Frédette, Chloé. 2022. « Approvisionnement en végétaux pour les infrastructures végétalisées : bonnes pratiques ». Saint-Hyacinthe: Québec Vert.
- . 2023. « Guide d'introduction aux infrastructures végétalisées. Informations générales et bonnes pratiques ». Saint-Hyacinthe: Québec Vert.
- Frédette, Chloé, Luce Daigneault, et Chatelaine Riendeau. 2022. « Inventaire des infrastructures végétalisées au Québec ». Saint-Hyacinthe: Québec Vert.
- Frédette, Chloé, et Madeleine Trickey-Massé. 2023. « Stabilisation végétale de sol et de berges ». Fiches informatives sur les infrastructures végétalisées. Saint-Hyacinthe: Québec Vert et Société Québécoise de Phytotechnologie.
- Frossard, P. A., et André Evette. 2009. « Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière : une tradition millénaire en constante évolution ». *Sciences Eaux & Territoires* Numéro Spécial : Ecologie de la restauration et ingénierie écologique (janvier):99-109.

- Fustec, Klervi, et Alix Levain. 2023. « From Green Infrastructure to Blue and Green Infrastructure Network: Institutionalization of Ecological Connectivity at the Science-Policy Interface. A Literature Review ». *Développement Durable et Territoires. Économie, Géographie, Politique, Droit, Sociologie*, n° Vol. 14, n°2 (octobre). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.23038>.
- Gallant. 2024. « Le programme de suivi des berges de la ville de Calgary ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Gallant, N. Posada, J. Slaney, et P. Raymond. 2022. « Advancing the Practice of Soil Bioengineering in Alberta—The Bow River Bioengineering Demonstration and Education Project ». In *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2021*, édité par Scott Walbridge, Mazdak Nik-Bakht, Kelvin Tsun Wai Ng, Manas Shome, M. Shahria Alam, Ashraf El Damatty, et Gordon Lovegrove, 177-82. Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1065-4_15.
- Giannakis, Elias, Adriana Bruggeman, Dimitra Poulou, Christos Zoumides, et Marinos Eliades. 2016. « Linear Parks along Urban Rivers: Perceptions of Thermal Comfort and Climate Change Adaptation in Cyprus ». *Sustainability* 8 (10): 1023. <https://doi.org/10.3390/su8101023>.
- Gobeille, Lise. 2016. « Les phytotechnologies pour la stabilisation des berges ». *Le Devoir*, 2016. <https://www.ledevoir.com/opinion/chroniques/482047/les-phytotechnologies-pour-la-stabilisation-des-berges>.
- Gouvernement du Québec. 2022. *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Loi sur la qualité de l'environnement*. Vol. Chapitre Q-2, a 2.1.
- . 2023. *Règlement sur l'activités en fonction de leur impact sur l'environnement*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/reafie/fiches/reafie-va.pdf>.
- Gravel, Marie-Julie, et Patrick Marcoux. 2024. « Génie végétal, comment s'applique la loi sur les ingénieurs dans ce domaine ? » *PLAN - Ordre des ingénieurs du Québec*, décembre 2024.
- Gray, Donald H., et Andrew T. Leiser. 1982. *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Gray, Donald H., et Robbin B. Sotir. 1996. *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. John Wiley & Sons.
- Guerrin, Joana, Sara Fernandez, Ludovic Drapier, Anna Serra-Llobet, et Catherine Roche. 2023. « Que font les solutions fondées sur la nature aux politiques de gestion des risques liés à l'eau ? » *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, n° Vol. 14, n°2 (octobre). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.22788>.
- Houde, Benoît, et Charles White. 2024. « Document d'accompagnement de la visite technique : ouvrages de phytotechnologies de la rivière Cap Rouge ».
- House, Margaret A., et E. K. Sangster. 1991. « Public Perception of River-Corridor Management ». *Water and Environment Journal* 5 (3): 312-16. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1991.tb00624.x>.
- Hurson, Max, et Pascale Biron. 2019. « Quantifying hydrodynamic changes associated with bioengineered stabilization measures using numerical modelling ». *Ecological Engineering* 136 (octobre):118-24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.06.003>.
- Ioana-Toroimac, Gabriela, Liliana Zaharia, Gianina Neculau, Dana Maria Constantin, et Florentina Iuliana Stan. 2020. « Translating a river's ecological quality in ecosystem services: An example of public perception in Romania ». *Ecohydrology & Hydrobiology* 20 (1): 31-37. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.10.005>.
- Jacopin L'Azou, Chantal, et Françoise Gross. 2010. « Intégration Originale et Réhabilitation de Bassins à Plan d'eau Permanent Dans Le Cadre d'un Développement Urbain ». In *Novatech*. Lyon.
- Janssen, P., P. Cavaillé, A. Vivier, et A. Evette. 2019. « Le génie végétal favorise une plus grande diversité de micro-habitats aquatiques et de macro-invertébrés benthiques ». *Techniques Sciences Méthodes*, n° 9 (septembre), 55-64. <https://doi.org/10.1051/tsm/201909055>.
- Juneau, Marie-Noëlle, Étienne Bachand, et Ariane Lelièvre Mathieu. 2012. « Restauration et aménagement du littoral - Guide de bonnes pratiques au Bas-Saint-Laurent ». Rimouski: Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire.

- Karle, Kenneth F., William W. Emmett, et Nancy Moore. 2005. « Analysis of 11 Bioengineered Stream Bank Erosion Control Structures in Alaska ». *Transportation Research Record* 1941 (1): 122-28. <https://doi.org/10.1177/0361198105194100115>.
- Keita, Naren. 2019. « Survie et croissance des boutures de Salix sous divers régimes hydriques dans une perspective de stabilisation des berges par génie végétal ». Mémoire de maîtrise. Québec, Québec, Canada: Université Laval - Faculté de Foresterie et de Géomatique.
- Keita, Naren, Bérenger Bourgeois, André Evette, Maxime Tisserant, Eduardo González, Vincent Breton, Charles Goulet, et Monique Poulin. 2021. « Growth Response of Cuttings to Drought and Intermittent Flooding for Three Salix Species and Implications for Riverbank Soil Bioengineering ». *Environmental Management* 67 (6): 1137-44. <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01444-3>.
- King, Phoebe, Julia Martin-Ortega, Jenny Armstrong, Marie Ferré, et Rosalind Bark. 2022. « ---Mainstreaming Nature-Based Solutions: Communities of Practice and Their Role in Delivering a Paradigm Shift ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4220640>.
- Krymer, V. 2012. « Stream Restoration and Cribwall Performance ». Master of Science, Toronto: York University.
- Krymer, V., et A. Robert. 2014. « Stream Restoration and Cribwall Performance: A Case Study of Cribwall Monitoring in Southern Ontario ». *River Research and Applications* 30 (7): 865-73. <https://doi.org/10.1002/rra.2684>.
- Lachat, B. 1998. « Conserver, aménager, revitaliser les cours d'eau avec une logique naturelle ». *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology* 34 (2): 227-41. <https://doi.org/10.1051/limn/1998021>.
- Lafrance, Martin. 2024. « Intégration des phytotechnologies dans la restauration de talus riverains dans les emprises de corridors de transports: perspectives et défis ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Lapierre, Esther, et Stéphanie Pellerin. 2018. « Portrait des infrastructures vertes et des ouvrages phytotechnologiques dans l'agglomération de Montréal ». Fondation Espace pour la vie.
- Lavaine, Catherine. 2013. « Evaluation des capacités biotechniques de boutures de Salicaceae et Tamaricaceae sur un gradient de sécheresse ». Phdthesis, Ecole normale supérieure de Lyon - ENS LYON. <https://theses.hal.science/tel-00969038>.
- Lavallée, Jean-Luc. 2022. « Île d'Orléans: une facture salée pour des riverains laissés à eux-mêmes ». *Le Journal de Québec*, 26 novembre 2022. <https://www.journaldequebec.com/2022/11/26/une-facture-salee-pour-des-riverains-laissees-a-eux-memes>.
- Lavandier, Géraud, Laure Dangla, Max Bruciamacchie, et Freddy Rey. 2010. « Modélisation spatio-temporelle et approche économique du piégeage de sédiments dans des ravines marneuses végétalisées par génie biologique : le modèle Simulfascine ». *Revue forestière française* 62 (5): 525-40. <https://doi.org/10.4267/2042/39864>.
- Leblois, Solange, A. Evette, A. Recking, et G. Favier. 2016. « Amélioration des méthodes de dimensionnement des ouvrages de génie végétal en berges de cours d'eau par une approche empirique ». *Sciences Eaux & Territoires*, n° Articles hors-série 2016 (juin), 1-7. <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2016.HS.05>.
- Leblois, Solange, André Evette, Delphine Jaymond, Guillaume Piton, et Alain Recking. 2022. « Processus et causes de défaillance du génie végétal pour la stabilisation des berges de rivière : retour d'expérience sur un large jeu de données issues de la BD GeniVeg ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 28 (2): 105-20. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.16954>.
- Lehoux, Denis. 1996. « Restauration naturelle des rives du Saint-Laurent, entre Cornwall et l'île d'Orléans ». Environnement Canada.
- Li, Ming-Han, et Karen E. Eddleman. 2002. « Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach ». *Landscape and Urban Planning* 60 (4): 225-42. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(02\)00057-9](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00057-9).
- Marin, Marie-Eve. 2024. « Travaux de stabilisation de berges : Limites et contraintes à la réalisation ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.

- Marquis, Didier, et Louise Hénault-Ethier. 2018. « Quel avenir pour les phytotechnologies au Québec ? » Fondation David Suzuki et Société Québécoise de Phytotechnologie. https://davidsuzuki.wpenginepowered.com/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/Rapport-Phytotechnologies-DSF-SQP_FINAL_2018-11-22.pdf.
- Martin, François-Marie, Philippe Janssen, Laurent Bergès, Blandine Dupont, et André Evette. 2021. « Higher structural connectivity and resistance against invasions of soil bioengineering over hard-engineering for riverbank stabilisation ». *Wetlands Ecology and Management* 29 (février). <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09765-6>.
- MDDEP. 2009. « Végétalisation de la bande riveraine ». Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs - Québec.
- Miles, Michael J. 1980. « Bank and Slope Morphology as an Indicator of Arctic Terrain Stability : (Field Studies along the Rivers and Coasts of Banks Island, N.W.T.) ». University of British Columbia. <https://doi.org/10.14288/1.0095206>.
- Ministère de l'Environnement - Québec. 1999. « Stabilisation naturelle ». Fiche technique 1.
- Ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques - Québec. 2022a. « Méthodes de délimitation des rives ». Aide mémoire. M.
- . 2022b. « Méthodes de délimitation du littoral ». Aide mémoire. M.
- Moreau, Clémence, M. Cottet, Anne Rivière-Honegger, Adeline François, et André Evette. 2022. « Nature-Based Solutions (NbS): A Management Paradigm Shift in Practitioners' Perspectives on Riverbank Soil Bioengineering ». *Journal of Environmental Management* 308 (avril):114638. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114638>.
- Moreau, Clémence, André Evette, M. Cottet, Adeline François, Anne Rivière-Honegger, Stéphanie Vukelic, et Crescience Lecaude. 2023. « Quels enjeux à relever pour accroître l'utilisation du génie végétal en territoire urbain ? » *Sciences Eaux & Territoires*, n° 43 (octobre). <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2023.43.7815>.
- Morin, Stéphanie. 2024. « Les défis de l'utilisation de la phytotechnologie dans les travaux de cours d'eau des MRC ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Morrisette-Beaulieu, Félix. 2022. « Plage Jacques-Cartier : la Ville vise novembre pour ses travaux d'enrochement ». *Radio-Canada*, 31 août 2022. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1909073/plage-jacques-cartier-ville-novembre-travaux-enrochement>.
- Néron, Jean-François. 2021. « Le BAPE rejette le projet de stabilisation des berges de la plage Jacques Cartier ». *Le Soleil*, 28 avril 2021. <https://www.lesoleil.com/2021/04/28/le-bape-rejette-le-projet-de-stabilisation-des-berges-de-la-plage-jacques-cartier-8e5c37936b7c8a8e14f10e4784348f60/>.
- Normand, Claude. 2024. « Contexte légal encadrant les activités en rives sous la responsabilité du ministère des Pêches et des Océans ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec.
- Oehmichen, Fred. 1986. « Génie biologique ». Université de Montréal - École d'architecture du paysage.
- Paquette, Marie-Hélène. 2010. « La restauration des berges - l'utilisation d'indicateurs de performance comme outil d'aide à la décision ». Essai, Université de Sherbrooke. <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/7366>.
- Parent, Rachel, Béatrice Gervais-Bergeron, Amandine Bonet, et Maxime Tisserant. 2024. « Fiche législative : Stabilisation des berges ». Fiche Action. Montréal: Phyto Action.
- Parent, Rachel, Béatrice Gervais-Bergeron, Amandine Bonet, Maxime Tisserant, et Antoine Magnoux. 2024. « Fiche technique : Stabilisation des berges ». Fiche Action. Montréal: Phyto Action.
- Peeters, Alexandre, Geoffrey Houbrechts, Eric Hallot, Jean Van Campenhout, Gisèle Verniers, et François Petit. 2018. « Efficacité et résistance de techniques de protection de berges en génie végétal ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 24 (2). <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.11927>.
- Pelletier, René, et Camille Rivars-Sirois. 2007. « Vivre au bord de l'eau ». Pêche et Océan Canada et RAPPEL. <https://www.cobali.org/wp-content/uploads/2016/11/Vivre-au-bord-de-leau.pdf>.
- Pinto, António, L. F. Sanches Fernandes, et Rodrigo Maia. 2016. « Monitoring Methodology of Interventions for Riverbanks Stabilization: Assessment of Technical Solutions Performance ». *Water Resources Management* 30 (14): 5281-98. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1486-4>.

- Pitre, Louis David. 2018. « Atelier-formation sur les bandes riveraines ». Présenté à OBV Nord-Est Bas-Saint-Laurent, Matane, juin 7. https://www.environnementmatane.ca/images/Upload/Environnement/Eau/Bandes_riveraines/br_matane_2018.pdf.
- Polster, David F. 2000. « Soil Bioengineering for Steep/Unstable Slopes and Riparian Restoration ». *Watershed Restoration Technical Bulletin*, n° 4, 29.
- Poulin, Monique, André Evette, Pierre Raymond, Gabriel Charbonneau, et Mathieu Vaillancourt. 2024. « Le génie végétal sur les berges des grands parcs de Montréal, un défi face aux glaces et aux vagues ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec, Canada.
- Poulin, Monique, André Evette, Pierre Raymond, Gabriel Charbonneau, Mathieu Vaillancourt, et Maxime Tisserant. 2023. « Mandat de services professionnels en conception d'aménagements de génie végétal dans le cadre du programme de réhabilitation des berges des grands parcs riverains de la Ville de Montréal ». Québec, Québec: Université Laval - Faculté de Foresterie et de Géomatique.
- Poulin, Monique, André Evette, Maxime Tisserant, et Naren Keita. 2019. « Le génie végétal pour la protection des berges de cours d'eau au Québec : état des lieux et perspectives pour les Basses-terres du Saint-Laurent ». *Sciences Eaux & Territoires*, n° 57 (juillet), 2-7. <https://doi.org/10.14758/set-revue.2019.hs.06>.
- Preti, Federico, Vittoria Capobianco, et Paola Sangalli. 2022. « Soil and Water Bioengineering (SWB) is and has always been a nature-based solution (NBS): a reasoned comparison of terms and definitions ». *Ecological Engineering* 181 (août):106687. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106687>.
- Prugne, Matthieu. 2024. « Génie végétal en milieux froids : une approche biogéomorphologique ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec, Canada.
- Randall, Christopher. 2015. « Survival & Growth of Sandbar Willow, Salix Interior, in Bioengineering Projects, and the Implications for Use in Erosion Control in Manitoba », janvier. <http://hdl.handle.net/1993/30242>.
- Rauch, H. P., M. von der Thannen, P. Raymond, E. Mira, et A. Evette. 2022. « Ecological challenges* for the use of soil and water bioengineering techniques in river and coastal engineering projects ». *Ecological Engineering* 176 (mars):106539. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106539>.
- Rey, Freddy. 2018. *Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal*. Versailles: QUAE.
- . 2020. « Le génie végétal ». In *Ingénierie écologique*. MOOC UVED.
- Rey, Freddy, Yves Crosaz, François Cassotti, et Manuel de Matos. 2015. « Génie végétal, génie biologique et génie écologique : concepts d'hier et d'aujourd'hui ». *Sciences Eaux & Territoires* Numéro 16 (1): 4-9. <https://doi.org/10.3917/set.016.0004>.
- Rode, Sylvain. 2017. « Reconquérir les cours d'eau pour aménager la ville ». *Cybergeo: European Journal of Geography*, janvier. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27933>.
- Sangalli, Paola, João Paulo Fernandes, et Guillermo Tardío. 2021. « Soil and Water Bioengineering as Natural-Based Solutions ». In *Urban Services to Ecosystems : Green Infrastructure Benefits from the Landscape to the Urban Scale*, édité par Chiara Catalano, Maria Beatrice Andreucci, Riccardo Guarino, Francesca Bretzel, Manfredi Leone, et Salvatore Pasta, 317-32. Future City. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75929-2_17.
- Sauro, Alexandre. 2021. « Phytotechnologies et la stabilisation des berges ». *Journal Métro* (blog). 16 septembre 2021. <https://journalmetro.com/environnement/2696222/phytotechnologies-et-la-stabilisation-des-berges/>.
- Schiechl, Hugo Meinhard, R. Stern, et L. Jaklitsch. 1997. *Water Bioengineering Techniques for Watercourse, Bank and Shoreline Protection*. London: Blackwell Science.
- Schmitt, Kathrin, Michael Schäffer, Jochen Koop, et Lars Symmank. 2018. « River bank stabilisation by bioengineering: potentials for ecological diversity ». *Journal of Applied Water Engineering and Research* 6 (4): 262-73. <https://doi.org/10.1080/23249676.2018.1466735>.
- Seddon, Nathalie, Alexandre Chausson, Pam Berry, Cécile A. J. Girardin, Alison Smith, et Beth Turner. 2020. « Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges ».

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 375 (1794): 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>.
- Simard, Caroline, Chloé L'Ecuyer-Sauvageau, Jean-François Bissonnette, et Jérôme Dupras. 2019. « Le rôle des infrastructures naturelles pour la gestion des eaux de ruissellement et des crues dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques ». *Le Naturaliste canadien* 143 (1): 25-31. <https://doi.org/10.7202/1054114ar>.
- Société de la faune et des parcs - Québec. 2003. « Stabilisation du milieu riverain ». Fiche technique sur la protection de l'habitat du poisson. Société de la faune et des parcs - Québec.
- SQP. 2023. « Définitions ». *Phytotechnologie* (blog). 2023. <https://phytotechno.com/definitions/>.
- Stokes, Alexia, Claire Atger, Anthony Glyn Bengough, Thierry Fourcaud, et Roy C. Sidle. 2009. « Desirable Plant Root Traits for Protecting Natural and Engineered Slopes against Landslides ». *Plant and Soil* 324 (1): 1-30. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0159-y>.
- St-Pierre, Guylaine. 2003. « Techniques de stabilisation végétale ». *ZIP Alma-Jonquière*, 25.
- Symmank, Lars, Stephanie Natho, Mathias Scholz, Uwe Schröder, Katharina Raupach, et Christiane Schulz-Zunkel. 2020. « The Impact of Bioengineering Techniques for Riverbank Protection on Ecosystem Services of Riparian Zones ». *Ecological Engineering* 158 (décembre):106040. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106040>.
- Thannen, Magdalena von der, Stephan Hoerbinger, Roman Paratscha, Roman Smutny, Thomas Lampalzer, Alfred Strauss, et Hans Peter Rauch. 2020. « Development of an environmental life cycle assessment model for soil bioengineering constructions ». *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 24 (2): 141-55. <https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1369460>.
- The City of Calgary. 2023. « Riparian monitoring program - Phase 2 ». Final Program Report Project No. 810.090.300. Calgary, Canada.
- Tilley, Derek J., et J. Chris Hoag. 2009. « Evaluation of Fall versus Spring Dormant Planting of Hardwood Willow Cuttings with and without Soaking Treatment ». *Native Plants Journal* 10 (3): 288-94. <https://doi.org/10.2979/NPJ.2009.10.3.288>.
- Tisserant, Maxime. 2020. « Biodiversité et génie végétal : réponse taxonomique et fonctionnelle de la flore vasculaire riveraine à la stabilisation de berge ». Québec: Université Laval. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/40081>.
- . 2024. « Maximiser la biodiversité dans les ouvrages de génie végétal ». In *Colloque : Promouvoir les phytotechnologies pour la stabilisation des berges*. Québec, Québec, Canada.
- Tisserant, Maxime, Bérenger Bourgeois, Eduardo González, André Evette, et Monique Poulin. 2021. « Controlling erosion while fostering plant biodiversity: A comparison of riverbank stabilization techniques ». *Ecological Engineering* 172 (décembre):106387. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106387>.
- Tisserant, Maxime, Philippe Janssen, André Evette, Eduardo González, Paul Cavaillé, et Monique Poulin. 2020. « Diversity and succession of riparian plant communities along riverbanks bioengineered for erosion control: a case study in the foothills of the Alps and the Jura Mountains ». *Ecological Engineering* 152 (juin):105880. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105880>.
- Tisserant, Maxime, Monique Poulin, Andre Evette, et Pascale Biron. 2021. « Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les basses terres du Saint-Laurent ». Québec: Ministère des Transports du Québec Direction de l'environnement et de la recherche. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1260145.pdf>.
- Turcotte, Benoît. 2017. « Dynamique des glaces de rivière ». In *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*, par Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec, 187-201. Granby.
- Vennetier, Michel, Christian Ripert, Olivier Chandioix, et Patrice Mériaux. 2004. « Gestion de la végétation des digues et berges sous contrainte de sécurité ». *Ingénieries*, n° Spécial, 25-36.
- Vezina, Julie Rose. 2022. « Génie-végétal pour remédier à l'érosion ». *Métro Québec*, 1 novembre 2022. <https://metroquebec.com/local/cote-de-beaupre-i-o/323552/genie-vegetal-pour-remedier-a-lerosion/>.
- Ville de Matane. 2008. « La protection et la stabilisation des berges. Pourquoi le faire et comment s'y prendre. » https://www.environnementmatane.ca/images/Upload/Environnement/Eau/prot_stab_berges.pdf.

- Ville de Montréal et JFSA. 2021. « Diagnostic et concept préliminaires pour la stabilisation de la berge aux abords du quai Duc d'Albre au Parc de la Promenade Bellerive ». Rapport final. Montréal, Canada: JFSA.
- Ville de Québec. 2024. « Stabilisation des berges du parc de la Plage-Jacques-Cartier : travaux complétés ». Québec. https://www.ville.quebec.qc.ca/apropos/espace-presse/actualites/fiche_autres_actualites.aspx?id=31613.
- Wenger, E. 1999. *Communities of practice: learning, meaning and identity*. Cambridge.
- Westling, Emma L., Ben W. J. Surridge, Liz Sharp, et David N. Lerner. 2014. « Making sense of landscape change: Long-term perceptions among local residents following river restoration ». *Journal of Hydrology, Water governance across competing scales: Coupling land and water management*, 519 (novembre):2613-23. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.029>.
- White, Charles. 2024. « Protection des rives à l'aide des phytotechnologies, exemples pratiques ». In *8ème Assemblée des acteurs de l'eau de la table de concertation régionale de l'estuaire fluvial du Saint-Laurent*. Trois Rivières.
- Wollny, Julia T., Annette Otte, et Sarah Harvolk-Schöning. 2019. « Dominance of competitors in riparian plant species composition along constructed banks of the German rivers Main and Danube ». *Ecological Engineering* 127 (février):324-37. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.013>.