

**ÉTUDE DES POTENTIELS STRUCTURELS ET ÉCOLOGIQUES DU  
GÉNIE VÉGÉTAL DANS LES TRAVAUX DE STABILISATION  
RIVERAINE DANS LES BASSES TERRES DU SAINT-LAURENT**

Projet no R692.1

**RAPPORT FINAL**

Maxime Tisserant et Monique Poulin  
Département de phytologie, Université Laval

André Evette  
Laboratoire Écosystèmes et sociétés en montagne, Institut national de  
recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

Pascale Biron  
Département de géographie, urbanisme et environnement,  
Université Concordia

Réalisé pour le compte du Ministère des Transports du Québec  
Direction de l'environnement et de la recherche

2021

## **Équipe de recherche**

Monique Poulin (Chercheuse principale)

Professeure titulaire et chercheuse en écologie végétale

Département de phytologie, Université Laval

Maxime Tisserant

Étudiant au doctorat en biologie végétale sous la direction de Monique Poulin et la co-direction d'André Evette.

Département de phytologie, Université Laval

André Evette

Ingénieur et chercheur en écologie de la restauration des berges de cours d'eau (INRAE) et professeur associé (U. Laval)

Laboratoire Écosystèmes et sociétés en montagne, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Grenoble

Pascale Biron

Professeure titulaire et chercheuse en hydrogéomorphologie

Département de géographie, urbanisme et environnement, Université Concordia

Max Hurson

Étudiant Honours, B.Sc. en sciences environnementales sous la direction de Pascale Biron

Département de géographie, urbanisme et environnement, Université Concordia

Naren Keita

Étudiante à la maîtrise en biologie végétale sous la direction de Monique Poulin et la co-direction d'André Evette.

Département de phytologie, Université Laval

Mathieu Vaillancourt

Professionnel de recherche sous la direction de Monique Poulin

Département de phytologie, Université Laval

### **Chargés de projet au Ministère des Transports du Québec**

Guillaume Lapierre

Direction de l'environnement

Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation

800, place D'Youville, 11<sup>e</sup> étage

Québec (Québec) G1R 3P4

Téléphone: (418) 643-0800 p24403

Courriel: [guillaume.lapierre@transports.gouv.qc.ca](mailto:guillaume.lapierre@transports.gouv.qc.ca)

Isabelle Falardeau

Direction de l'environnement

Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation

800, place D'Youville, 11<sup>e</sup> étage

Québec (Québec) G1R 3P4

Téléphone: (418) 643-0800 p24403

### **Comité de suivi**

Guillaume Lapierre

MTQ, Direction de l'environnement

Carl Dufour

MTQ, Direction de l'environnement

Michel Michaud

MTQ, Direction de la coordination de la recherche et de l'innovation

Sarah Chabot

MTQ, Direction territoriale – Montérégie Ouest

Guy Bédard  
MTQ, Direction territoriale – Montérégie Est

Pierre-Michel Vallée  
MTQ, Direction territoriale Chaudière-Appalaches

Christian Poirier  
MTQ, Direction de l'hydraulique

Myriam Trudeau  
MTQ, Direction de l'hydraulique

Philippe-Hubert Roy-Gosselin  
MTQ, Direction de l'hydraulique

Pascal Locat  
MTQ, Direction de la géotechnique et de la géologie

Catherine Ledoux  
MTQ, Direction de la géotechnique et de la géologie

Marc-André Larose  
MTQ, Direction territoriale – Centre-du-Québec

Jean-Philippe Bibeau  
MTQ, Direction territoriale – Centre-du-québec

Jean-Denis Bouchard  
MELCC, Direction de l'expertise hydrique

Francis Bourret  
MELCC, Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique

Marie-Pierre Veilleux  
MPO, Division de la gestion des espèces en péril

Stéphanie Gagnon  
MPO, Division de la protection des pêches

Stéphanie Rioux  
MPO, Division de la protection des pêches

Frédéric Lecomte  
MFFP, Direction de l'expertise sur la faune aquatique

Emmanuel Seguin  
MFFP, Direction de l'expertise sur la faune aquatique

Samuel Comtois  
Groupe PleineTerre Inc.

## Référence à citer

Tisserant, M., Poulin, M., Evette, A., Biron, P., Hurson, M. 2021. *Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les Basses terres du Saint-Laurent*. Ministère des Transports du Québec, Direction de l'environnement, projet R692.1, 131 p.

## **Remerciements**

Le travail réalisé dans le cadre du projet no R692.1 fut possible grâce à la participation et l'aide de plusieurs collaborateurs. D'abord, nous avons bénéficié de l'appui technique et financier du Groupe PLEINETERRE inc. Leurs connaissances et expertise ont alimenté grandement la réflexion du doctorant affilié au projet, Maxime Tisserant, qui a fait plusieurs stages dans le secteur géomatique, ingénierie et environnement de la firme. Le Groupe PLEINETERRE a également financé le doctorat de Maxime Tisserant, conjointement avec le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie (CRSNG) et le Fonds de Recherche Nature et Technologies (FRQNT) via une bourse d'étude du programme Bourse en milieu pratique (BMP) d'une valeur totale de 27 000\$/an sur trois ans. De même, les travaux de modélisation hydrogéomorphologiques ont été possibles grâce à l'appui financier du CRSNG, par une subvention à la découverte à Pascale Biron et une bourse de recherche de premier cycle à Max Hurson.

Le projet a également bénéficié du soutien financier et logistique fourni par le Ministère des relations internationales et de la Francophonie (MRIF) grâce à plusieurs projets de mobilité. Nous avons obtenu d'abord deux financements via les 65 et 66<sup>e</sup> Commissions permanentes de coopération franco-qubécoise de 2015 à 2019 (projet no 65.706; 17 576\$ et 66.307; 14 000\$) puis un troisième financement via le programme Fonds franco-qubécois pour la coopération décentralisée de 2019 à 2021 (projet 67.819; 20 000\$). Les projets bilatéraux financés par le MRIF nous ont permis de stimuler les échanges et discussions avec nos pairs en Europe, dont plusieurs praticiens et experts en génie végétal. Le présent projet a ainsi été alimenté par les connaissances d'experts reconnus internationalement, dont certains ont visité les sites à l'étude au Québec et donné leur opinion sur les processus impliqués et les approches à préconiser en génie végétal. La Ville de Québec a également soutenu financièrement la tenue d'une journée de colloque, le 5 octobre 2016. Ce financement a permis la venue de plusieurs experts : Christophe Moiroud de la Compagnie Nationale du Rhône (France), Nicolas Valé de l'ARRA<sup>2</sup> Rivière Rhone Alpes (France),

Klaus Peklo, consultant I.C.E. (France) et Pierre Raymond de Terra Erosion Control Ltd (Colombie Britannique, Canada). Nous remercions les participants (140 personnes) à cette journée qui a donné un coup d'envol au projet, notamment par la participation de nombreux praticiens et chargés de projet des ministères. Le programme de Formation agricole pour la sécurité alimentaire au Mali (FASAM) a également soutenu la recherche sur la capacité de bouturage des saules soumis à différentes conditions hydriques.

Au cours du projet, nous avons eu de nombreux échanges avec des consultants et chargés de projet au ministère des Transports. Nous soulignons la générosité de Gabriel Charbonneau de la société Aubier Environnement pour avoir organisé des journées démonstrations dans les Laurentides, Martin Lafrance (MTQ, direction territoriale de la Capitale Nationale) pour nous avoir accompagnés sur le terrain pour discuter des projets réalisés dans la région. Une mission terrain en octobre 2015 nous a permis également d'interagir avec plusieurs personnes des directions territoriales du MTQ, dont Sarah Bédard (Montérégie Ouest), Guy Bédard (Montérégie Est), Pierre-Michel Vallée (Chaudière Appalaches). Le recensement des ouvrages de stabilisation de berge a bénéficié de la collaboration de nombreuses firmes privées, municipalités, organismes de bassins versants et ZIP. Entre autres, nous soulignons l'aide précieuse d'Alexandre Baker (Ville de Québec), des directions générales territoriales (DGT) du Ministère des Transports, notamment la DGT Montérégie, de Raymond Larouche (Rio Tinto Alcan) et de Mathieu Gendreau (Écogénie).

Le projet a bénéficié de l'implication de plusieurs experts et chargés de projet du MTQ. Nous remercions chaleureusement Isabelle Falardeau pour avoir agi à titre de chargée de projet lors des quatre premières années et Guillaume Lapierre pour avoir pris le relais. Tous les membres du comité de suivi présentés au début de ce rapport ont grandement contribué au projet en investissant temps et énergie et en présentant une grande ouverture face aux nouveaux concepts abordés dans ce projet.



## Résumé du projet

Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les Basses terres du Saint-Laurent

Durée: 02/2015 – 12/2021

Depuis quelques années, les techniques issues du génie végétal sont recommandées par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques pour lutter contre l'érosion tout en maintenant la naturalité et certaines fonctions écologiques des milieux riverains. Ces techniques sont également mises de l'avant par divers intervenants gouvernementaux (Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation), municipaux et privés (e.g. Canards Illimités). Pour sa part, le Ministère des Transports du Québec a la volonté d'intégrer ces pratiques à ses mesures de stabilisation de berge, avec encore peu de recul sur la situation au Québec.

Le présent rapport présente au Ministère des Transports du Québec une synthèse des résultats du projet de recherche débuté en 2015. Le mandat confié par le MTQ au laboratoire de la professeure Monique Poulin et son équipe était de dresser pour la première fois au Québec un portrait général de l'utilisation du génie végétal dans les ouvrages de stabilisation de berge dans les Basses terres du Saint-Laurent. Il consistait également à déterminer la contribution des ouvrages de génie végétal à la diversité végétale riveraine. Sur la base des inventaires botaniques, une expérience en conditions semi-contrôlées a également été mise sur pied dans le cadre du mandat. Elle visait à déterminer le potentiel de bouturage et de croissance d'espèces arbustives couramment employées dans les ouvrages de génie végétal. Nous avons également saisi l'opportunité d'étudier le contexte hydrogéomorphologique du site choisi pour la construction d'un ouvrage de stabilisation de berges par technique de génie végétal, soit le site de Saint-Albert.

Les résultats du recensement des ouvrages de génie végétal construits au Québec, des inventaires botaniques, de l'expérience en conditions contrôlées sur la capacité de bouturage des saules et de la modélisation hydrologique pour le site de Saint-Albert sont présentés synthétiquement dans ce rapport et permettent de dresser un portrait général de l'utilisation du génie végétal au Québec et de ses bienfaits écologiques.

## **Synthèse des conclusions et recommandations**

Dans le cadre de son mandat, le laboratoire d'écologie végétale de Monique Poulin a permis d'établir un certain nombre de constats relatifs à l'utilisation du génie végétal dans les ouvrages de stabilisation de berge au Québec. Les constats concernent les types de techniques et d'espèces utilisées en génie végétal au Québec, l'évaluation de la diversité végétale des ouvrages de stabilisation de berge construits, les résultats d'une expérience en conditions semi-contrôlées sur les capacités de reprise et de croissance de boutures de saules soumises à différentes conditions d'hygrométrie et les résultats de la modélisation hydrologique au site de Saint-Albert. Les connaissances acquises à l'issue du projet de recherche réalisé sont transmises au Ministère des Transports du Québec par le présent rapport et ses annexes. En somme, le projet permet de confirmer la capacité du génie végétal à rétablir sur les berges stabilisées une flore diversifiée et à haut taux de naturalité, comme cela a été montré dans d'autres régions du monde (France, Suisse, Autriche, Chine, États-Unis). Les travaux permettent une meilleure compréhension des effets de la stabilisation de berge sur la flore riveraine du Québec et mènent à des pistes de recherche pour améliorer les pratiques de restauration de la végétation riveraine en contexte de stabilisation de berge. L'analyse historique de la dynamique hydrogéomorphologique de la rivière Nicolet nous a permis de mieux comprendre le contexte associé au site de Saint-Albert pour la construction d'un ouvrage de stabilisation de berge par génie végétal. Les travaux sur la modélisation hydrodynamique ont aussi permis de développer une approche pour bien tenir compte de l'impact de la rugosité accrue associée au génie végétal sur l'écoulement. Cela permettra de mieux anticiper, à l'étape de la conception, les ajustements post-stabilisation qui pourraient survenir dans le chenal ainsi que l'impact du génie végétal sur l'hétérogénéité des vitesses à proximité de la rive.

Sont présentées dans cette section les conclusions principales des différentes étapes du projet.

### Portrait du génie végétal dans la stabilisation de berge au Québec

Selon notre recensement, l'utilisation du génie végétal au Québec a débuté dans les années 1990. Depuis, le nombre d'ouvrages utilisant le génie végétal n'a cessé d'augmenter avec les années. Nous avons recensé de façon non-exhaustive 226

projets de stabilisation de berge, dont 130 faisant entièrement ou en partie appel à des techniques de génie végétal. Les techniques de génie végétal les plus utilisées dans les ouvrages recensés étaient les fascines et les couches de branches à rejet. Pour caractériser l'effet du génie végétal sur les communautés végétales, la flore riveraine a été inventoriée dans 51 ouvrages faisant intervenir des techniques de génie végétal. Les ouvrages de génie végétal ont été classés en trois types d'ouvrages, selon les proportions respectives de techniques de génie végétal et d'enrochement utilisées dans la stabilisation de berge. Cinq types de berges ont ainsi été définis à la suite de ce classement, ordonnés par leur degré de naturalité: berge naturelle, ouvrage de génie végétal pur, ouvrage de génie végétal avec enrochement de pied de berge, ouvrage mixte (génie végétal et enrochement dans des proportions similaires) et enrochement de berge.

#### Évaluation de la diversité végétale des ouvrages de stabilisation de berge

Au terme de deux saisons de terrain, 124 berges ont été inventoriées pour déterminer la diversité végétale riveraine le long d'un gradient de naturalité. Parmi ces 124 berges, 84 berges avaient été stabilisées, dont 51 avec des techniques issues du génie végétal et 33 par enrochement de berge. Les 40 berges restantes étaient des berges naturelles, réparties uniformément dans l'aire d'étude et appariées par cours d'eau pour représenter une berge en condition de dépôt de sédiments et une autre en érosion. Les espèces les plus souvent employées dans les ouvrages de génie végétal étaient le saule de l'intérieur (*Salix interior*), le saule à tête laineuse (*Salix eriocephala*) et le cornouiller stolonifère (*Cornus sericea*). Le haut de berge était semé dans 64% des ouvrages de génie végétal, principalement avec un mélange grainier dominé par la fétuque rouge (*Festuca rubra*).

La stabilisation de berge incluant des techniques issues du génie végétal a permis le retour d'une flore diversifiée, généralement comparable à celle des berges naturelles. Les ouvrages de génie végétal étaient caractérisés par une grande richesse en espèces indigènes et hydrochores, en comparaison avec les enrochements. Toutefois, les communautés végétales de berges stabilisées avec du génie végétal semblaient plus homogènes entre elles en termes de composition en espèces que celles des berges naturelles et des enrochements. Les ouvrages de génie végétal induisaient un changement temporel dans la composition des communautés végétales riveraines,

menant avec le temps à un retour d'espèces post-pionnières ligneuses, compétitrices et tolérantes au stress et à l'ombre, se rapprochant des communautés végétales présentes sur les berges naturelles. À l'inverse, la composition des communautés végétales dans les sites stabilisés par enrochement évoluait peu dans le temps, sauf en pied de berge où on a noté une forme de succession végétale. En ce qui a trait à l'influence du paysage sur la végétation des berges, contrairement aux berges naturelles, la flore établie sur les ouvrages de génie végétal ne semblait pas répondre à l'anthropisation du bassin versant en amont. Les communautés de berges stabilisées avec du génie végétal étaient en fait principalement structurées par des mécanismes exogènes de colonisation de l'habitat riverain et des traits fonctionnels liés aux stratégies de reproduction et de dissémination des graines.

#### Étude des performances de bouturage et de croissance de trois espèces de saules pour une utilisation en génie végétal

Les inventaires de la flore riveraine de berges stabilisées nous ont permis de constater que les trois espèces arbustives les plus fréquemment utilisées dans les ouvrages de génie végétal étaient *Salix interior*, *S. eriocephala* et *S. discolor*. La capacité de bouturage de ces trois espèces a été étudiée en conditions contrôlées en serre où des boutures ont été soumises à différents traitements hydriques, pour évaluer leur réponse à la disponibilité en eau (conditions de sécheresse, de capacité au champ et d'inondation). Un dispositif expérimental en tiroirs (split-plot design) a été employé pour isoler l'effet des traitements hydriques et des espèces. La survie des boutures était élevée pour toutes les espèces et les traitements, dépassant 88%. Parmi les paramètres mesurés, la biomasse et le volume racinaire différaient seulement entre les espèces : *Salix eriocephala* a produit le plus de biomasse aérienne et souterraine. Lorsqu'on considère l'allocation de la biomasse, la biomasse aérienne était 4.4 fois supérieure à celle souterraine pour *S. interior*, alors que ce ratio était de 2.6 pour *S. eriocephala* et de 1.3 pour *S. discolor*. En conditions d'inondation, *Salix eriocephala* a produit des racines plus courtes alors que les racines de *S. interior* étaient plus longues dans ces conditions.

En somme, *Salix interior* semble être l'espèce la plus résistante à l'excès d'eau du sol, et devrait être utilisée principalement pour stabiliser les zones de berge sous la ligne des hautes eaux. *Salix eriocephala* semble être l'espèce la plus généraliste parmi

les trois étudiées, produisant une grande biomasse aérienne et racinaire, et devrait être majoritairement employée dans les ouvrages de stabilisation de berge, surtout en milieu de berge. *Salix discolor* présente l'avantage d'un ratio biomasse racinaire : biomasse aérienne élevé, ce qui pourrait favoriser la stabilisation de surface des sols. Il s'en suit qu'un mélange de ces trois espèces dans un même ouvrage pourrait favoriser la résilience de l'ouvrage face aux conditions environnementales variables.

Analyse historique de la dynamique hydrogéomorphologique de la rivière Nicolet au site de Saint-Albert et modélisation pour estimer l'impact d'un ouvrage de génie végétal sur cette dynamique.

L'étude historique a révélé que la rivière Nicolet, au site d'étude, était une rivière dynamique avec une charge sédimentaire élevée, constats amenés par la présence d'anciens chenaux. La présence de bancs d'accumulation dans le chenal, de petites îles et d'anciennes traces d'anabranches (chenaux secondaires) en 1960 indiquent que ce tronçon de rivière était probablement de style divagant avant que la rivière ne soit modifiée pour suivre un tracé plus simple. La présence de deux points fixes (pont actuel en amont et ancien pont avec culéess encore présentes en aval) sur une distance relativement courte (environ 590 m) pourrait avoir contribué à une érosion accrue près de la rue Principale puisqu'il s'agit d'une des rares zones sans stabilisation (voir [Figure 22](#)) où la mobilité latérale de la rivière est possible. Cette mobilité a été estimée à 1.6 m/an à certains endroits dans le tronçon, entre 1966 et 1979, ce qui est considérable. Sans les piliers de pont en aval, on pourrait penser que la mobilité aurait érodé la rive gauche (donc dans les champs agricoles) au lieu de la rive droite (près de la route causant un problème de sécurité publique) au site d'étude.

Afin de simuler l'impact qu'aurait la stabilisation par génie végétal sur le champ de vitesse d'écoulement de l'eau, des simulations hydrodynamiques ont été faites, notamment en ajoutant une rugosité représentant (approximativement) l'effet de tressage, matelas de branches, fascines, lits de plants, plançons ou caissons végétalisés. La rugosité à macro-échelle représentant ces éléments a été introduite dans le modèle numérique d'élévation (MNE) par un motif en dents de scie en augmentant l'amplitude de ce motif par intervalle de 0,1 m, pour un maximum de 1 m. L'effet de la rugosité à micro-échelle a été étudié en faisant varier le coefficient de Manning ( $n$  de Manning) afin de simuler la résistance accrue engendrée par la

présence de génie végétal. En ajoutant de la rugosité (à micro- et macro-échelle), la modélisation a révélé une diminution de la vitesse de l'eau, et donc du risque d'érosion, à proximité de la berge instable. Cette situation se traduisait en des vitesses plus élevées dans le champ agricole, ce qui pourrait accélérer l'érosion dans ce secteur. L'approche présentée ici constitue une première tentative prometteuse d'intégration du génie végétal à l'étape du pré-projet, ce qui n'était jusqu'à maintenant pas documenté dans la littérature scientifique.

## Table des matières

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Équipe de recherche .....                                                                                  | 2  |
| Remerciements .....                                                                                        | 6  |
| Résumé du projet .....                                                                                     | 9  |
| Synthèse des conclusions et recommandations .....                                                          | 10 |
| Table des matières .....                                                                                   | 15 |
| Liste des figures .....                                                                                    | 17 |
| Liste des tableaux .....                                                                                   | 21 |
| Activités de diffusion .....                                                                               | 22 |
| Activités de transfert scientifique .....                                                                  | 23 |
| Glossaire .....                                                                                            | 26 |
| I. Contexte et problématique .....                                                                         | 32 |
| II. Objectifs du projet .....                                                                              | 36 |
| 1. Objectif général .....                                                                                  | 36 |
| 2. Objectifs spécifiques .....                                                                             | 37 |
| III. Portrait du génie végétal pour la stabilisation de berge au Québec (Étape 1, Objectif 1 et 2) .....   | 38 |
| 1. Sondage auprès des firmes .....                                                                         | 39 |
| 2. Recensement des ouvrages de stabilisation au Québec .....                                               | 40 |
| 3. Classification des ouvrages de stabilisation .....                                                      | 42 |
| IV. Évaluation de la diversité végétale des ouvrages de stabilisation de berge (Étape 2, objectif 3) ..... | 54 |
| 1. Sélection des sites pour les inventaires floristiques .....                                             | 54 |
| 2. Méthodologie d'échantillonnage de la végétation sur les sites d'étude ....                              | 57 |
| 3. Portrait des espèces utilisées dans le génie végétal .....                                              | 58 |
| 4. Effet du type de berge sur la végétation riveraine .....                                                | 63 |

|       |                                                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.    | Dynamique temporelle de la végétation dans les ouvrages de stabilisation de berge .....                                                                                                                                                               | 68  |
| 6.    | Influence du paysage sur la végétation riveraine .....                                                                                                                                                                                                | 72  |
| 7.    | Mécanismes structurant les communautés végétales riveraines de berges de génie végétal et de berges naturelles.....                                                                                                                                   | 75  |
| V.    | Étude des performances de bouturage et de croissance de trois espèces de saules pour une utilisation en génie végétal .....                                                                                                                           | 79  |
| VI.   | Développement d'un banc expérimental utilisant des techniques de génie végétal (Étape 3, objectif 4) .....                                                                                                                                            | 84  |
| 1.    | Étude hydrogéomorphologique du site de Saint-Albert. ....                                                                                                                                                                                             | 86  |
| VII.  | Mise en valeur du banc d'essai comme site de démonstration de l'application du génie végétal pour des travaux de stabilisation riveraine (Étape 3, objectif 5). ....                                                                                  | 95  |
| VIII. | Comparaison des coûts pour l'instauration des ouvrages de stabilisation de berges, selon les approches d'écoingénierie réalisées à l'étape 3 (banc d'essai) et les techniques d'ingénierie classiques (par empierrement) (Étape 4, objectif 6).<br>96 |     |
| IX.   | Conclusion .....                                                                                                                                                                                                                                      | 96  |
|       | Références .....                                                                                                                                                                                                                                      | 103 |
|       | Annexes.....                                                                                                                                                                                                                                          | 109 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. Terminologie des zones d'une berge de rivière utilisée dans ce rapport.<br>Schéma adapté de Verniers (1995).....                                                                                                                                                                                                                       | 28 |
| Figure 2. Travaux de stabilisation de berge décrits comme du génie végétal sur la<br>rivière Du Berger, Capitale Nationale .....                                                                                                                                                                                                                 | 39 |
| Figure 3. Variété des techniques de génie végétal.....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 41 |
| Figure 4. Richesse spécifique total sur tout le talus selon le calibre d'enrochement. ....                                                                                                                                                                                                                                                       | 44 |
| Figure 5. Physionomie de la végétation des berges naturelles, selon le critère de<br>sélection. ....                                                                                                                                                                                                                                             | 45 |
| Figure 6. Représentation en Analyse en Composantes Principales de la composition<br>en espèces des communautés végétales de berges naturelles en condition de dépôt<br>de sédiments (gris; n=20) et en érosion (noir; n=20). ....                                                                                                                | 46 |
| Figure 7. Nombre d'ouvrages de stabilisation recensés depuis les années 1970,<br>répartis par intervalles de 5 ans.....                                                                                                                                                                                                                          | 49 |
| Figure 8. Sites d'étude classés par type, localisés dans les Basses terres du Saint-<br>Laurent, dans les contreforts des Appalaches et du Bouclier Canadien, et dans la<br>région Saguenay-Lac-Saint-Jean. ....                                                                                                                                 | 55 |
| Figure 9. Aire et sites d'étude dans la Ville de Québec (zone grisée) et sur les cours<br>d'eau avoisinants. ....                                                                                                                                                                                                                                | 56 |
| Figure 10. Schéma en coupe des quatre types de stabilisation de berge et des trois<br>niveaux de berge où la végétation a été inventoriée à chaque site. ....                                                                                                                                                                                    | 56 |
| Figure 51. Fréquence pour chacune des quatre espèces du mélange grainier utilisé<br>par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) sur le haut de berge des 33<br>enrochements échantillonnés, en fonction de l'âge de l'ouvrage. ....                                                                                                          | 64 |
| Figure 12. Richesses en espèces totales, indigènes et hydrochores et des indices<br>LCBD parmi les cinq types de berge et les trois niveaux de berge.....                                                                                                                                                                                        | 67 |
| Figure 13. Dynamique temporelle des communautés végétales depuis la stabilisation<br>de berges selon trois types de techniques, à trois hauteurs dans le profil de talus<br>(haut, milieu et pied de berge). Les courbes sont celles issues d'une analyse de<br>réponse principale (principal response curves; PRC) où la composition des berges |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| naturelles sert de point de référence (ligne verte à 0). Le nombre d'années depuis les travaux de stabilisation a été classé par intervals de temps de façon à former des groupes homogènes. Seules les espèces ayant un score de plus de 0.25 le long de l'axe 1 de la PRC sont présentées. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge. .... | 69 |
| Figure 14. Changement de physionomie de la végétation après l'implantation d'un matelas de branches ou de couches de branches à rejet pour stabiliser la berge. ..                                                                                                                                                                                                                                     | 71 |
| Figure 65. Variabilité de la physionomie des ouvrages d'enrochement de berge selon leur âge en années (précisé dans l'encadré pour chaque sous-figure). ....                                                                                                                                                                                                                                           | 72 |
| Figure 16. Effet de la composition du bassin versant amont sur la richesse spécifique totale (nombre d'espèces), par type de berge et niveau de transect (haut, milieu et pied de berge). ....                                                                                                                                                                                                         | 73 |
| Figure 17. Représentation (Analyse en Composantes Principales) de la diversité bêta par distance au centroïde pour les sites situés dans des bassins versants les plus naturels naturels (en vert) et les plus anthropisés (en jaune), pour chaque type de berge et niveau de transect. ....                                                                                                           | 74 |
| Figure 18. Différences de valeurs de traits de la strate herbacée entre sites de génie végétal (n = 16) et sites naturels (n = 16). ....                                                                                                                                                                                                                                                               | 79 |
| Figure 19. Variations de la biomasse aérienne, souterraine et de l'allocation de biomasse (aérienne/souterraine) de boutures des trois espèces de saule étudiées. La moyenne (hauteur de la barre grise), l'erreur-type (barre d'intervalle noir) et les différences significatives (lettres, test post-hoc du LSD de Fisher) sont indiqués. ...                                                       | 81 |
| Figure 20. Volume racinaire (moyenne $\pm$ erreur-type) produite par les boutures des trois espèces de saules étudiées et taille des racines (espèces groupées ensembles). Les lettres représentent les différences significatives selon le test post-hoc du LSD de Fisher. ....                                                                                                                       | 83 |
| Figure 217. Longueur racinaire (moyenne $\pm$ erreur-type) en fonction des trois traitements d'hygrométrie et des trois espèces de saule. ....                                                                                                                                                                                                                                                         | 83 |
| Figure 22. Site de St-Albert montrant A) les fortes contraintes engendrées par la présence de routes de part et d'autre de la rivière Nicolet, avec aussi un pont en amont et un ancien pont à l'aval de la zone d'étude; B) une stabilisation                                                                                                                                                         |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| immédiatement en aval de la zone instable; C) et D) la berge instable, avec à sa base de l'argile. ....                                                                                                                                                                                                                                                      | 86 |
| Figure 23. Modèle numérique d'élévation LiDAR du secteur à l'étude montrant une plaine inondable (élévations faibles en brun) ainsi que ce qui semble être d'anciens chenaux qui seraient typiques d'un cours d'eau de style divagant (caractérisé par la présence d'anabranches (chenaux secondaires) et d'accumulations de sédiments dans le chenal). .... | 88 |
| Figure 24. Photographie aérienne de 1960 montrant une île avec anabranches et une ancienne branche du chenal partiellement remblayée qui suggère qu'avant la construction du pont. ....                                                                                                                                                                      | 88 |
| Figure 25. Modifications morphologiques autour du pont de la route Warwick, avec un rétrécissement marqué du chenal entre 1966 (A) et 1979 (B), et des ajustements qui se poursuivent depuis, comme on le voit sur l'image de 2020 (C). ....                                                                                                                 | 89 |
| Figure 26. Changements dans le tracé de la rivière Nicolet survenu entre 1966 (A) et 1979 (B) montrant une érosion latérale majeure dans cet intervalle de 13 années. .                                                                                                                                                                                      | 89 |
| Figure 27. Modifications morphologiques depuis 1960 autour de l'ancien pont en aval, dont les culées sont demeurées en place, fixant ainsi les berges. ....                                                                                                                                                                                                  | 90 |
| Figure 28. Position possible de la rivière Nicolet en l'absence des culées de l'ancien pont à l'aval du secteur d'étude. ....                                                                                                                                                                                                                                | 91 |
| Figure 29. Mesures bathymétriques prises par l'équipe de l'U. Concordia au site de St-Albert (en vert), ajoutées à celles du Ministère des transports (en mauve). ....                                                                                                                                                                                       | 92 |
| Figure 30. Maille numérique du modèle Delft3D A) à bas niveau, pour des fins de calibration et validation (débits de 2,6 et 9,7 m <sup>3</sup> /s), et à haut niveau B) pour une crue de 157,3 m <sup>3</sup> /s, survenue le 17 août 2016). ....                                                                                                            | 93 |
| Figure 31. A) Vitesse moyenne simulée par le modèle Delft3D lors de la crue du 17 août 2016; B) Profondeur d'eau pour cette crue indiquant une zone très creuse au pied de la berge instable, avec des profondeurs de plus de 5 mètres. ....                                                                                                                 | 93 |
| Figure 32. A) Bathymétrie du lit et des berges dans la zone de la berge instable; B) bathymétrie modifiée par un motif en dents de scie pour représenter la rugosité liée à une stabilisation de berge par génie végétal. ....                                                                                                                               | 94 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 33. A) Vitesse simulée pour la berge actuelle pour la crue du 17 août 2016; B) différence de vitesse entre la simulation pour la berge actuelle et la simulation lorsque la rugosité à macro- et micro-échelles est maximale. Le rectangle noir indique l'emplacement de l'ouvrage simulé pour stabiliser la berge par des techniques de génie végétal. .... | 95  |
| Figure 34. Effet "mur" créé par l'implantation d'un ouvrage de génie végétal monospécifique .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 100 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1. Portrait des 130 ouvrages de génie végétal recensés pour l'étude, selon la position sur la berge et la technique utilisée. ....                                          | 40 |
| Tableau 2. Portrait des ouvrages de stabilisation recensés pour l'étude, selon un gradient de naturalité décrit par le ratio végétation/minéral utilisé pour la stabilisation. .... | 43 |
| Tableau 3. Ouvrages recensés au Québec en fonction de leur classe d'âge et du type d'ouvrage. ....                                                                                  | 48 |
| Tableau 4. Nombre de sites échantillonnés selon le type de berge et l'âge de la stabilisation. ....                                                                                 | 54 |
| Tableau 5. Liste des principales espèces utilisées pour la construction des ouvrages de génie végétal et leur fréquence. ....                                                       | 59 |
| Tableau 6. Liste des espèces de saules présentes dans les inventaires botaniques des berges naturelles (n = 40). ....                                                               | 61 |
| Tableau 7. Liste des neuf traits de plantes utilisés pour caractériser les 283 espèces. ....                                                                                        | 78 |
| Tableau 8. Sites de récoltes des trois espèces de saules utilisées dans l'étude expérimentale. ....                                                                                 | 80 |

## **Activités de diffusion**

### Organisation de colloque:

*Développement des phytotechnologies pour la stabilisation des berges*, co-organisé par Monique Poulin, Pascale Biron, André Evette et Maxime Tisserant. Université Laval, 5 octobre 2016. 140 participants.

Le but de ce colloque était de rassembler les acteurs des différents paliers gouvernementaux, des universités, des centres de recherche, des organismes non-gouvernementaux et des professionnels, pour favoriser les échanges d'idées sur le génie végétal et présenter des cas de stabilisation de berge réalisés au Québec et ailleurs dans le monde. La présence de nombreux experts a permis de stimuler les discussions sur l'état des lieux et les perspectives du génie végétal au Québec, de proposer des pistes de solutions quant aux défis des argiles sensibles, de la glace, de la législation actuelle afin de promouvoir le génie végétal au Québec et de diversifier les techniques utilisées.

## Activités de transfert scientifique

(Les personnes impliquées dans le projet de recherche sont indiquées en gras)

### Conférences:

- **Keita N., Evette A. & Poulin M.** (2019) Survie et croissance végétative des boutures de *Salix* sous divers régimes hydriques dans une perspective plus large de stabilisation naturelle des berges. Journée de la recherche, F.S.A.A., Université Laval, Québec, Canada. 16 mai.
- **Tisserant M., Evette A., Gonzalez E. & Poulin M.** (2018) Communauté végétales de berges aménagées : analyse temporelle de la réponse taxonomique. Affiche, Colloque étudiant, CentrEau, Longueuil, Canada. 22 mars.
- **Hurson, M., Biron, P.M.** (2018) 3D modelling as a tool to quantify flow dynamics near eroding river banks and hydrodynamic changes due to stabilization measures. Symposium annuel du GRIL, Orford, 22-24 mars.
- **Hurson, M., Biron, P.M.** (2018) 3D modelling as a tool to quantify hydrodynamic changes due to bank stabilization measures in rivers. 7th Water Resources Engineering Graduate Student Research Symposium, Faculty of Engineering, Université de Sherbrooke, 2-3 mai.
- **Tisserant M., Petit-Prost M., González E., Evette A. & Poulin M.** (2018) Understanding processes structuring riparian plant communities in riverbanks to improve bioengineering works for bank stabilization. Affiche, 3rd international conference of the I.S. Rivers. Integrative sciences and sustainable development of rivers. Lyon, France. 4-8 juin.
- **Tisserant M., Evette A., González E. & Poulin M.** (2017) Communautés végétales de berges aménagées : analyse temporelle de la réponse taxonomique. Présentation orale, 8<sup>e</sup> *Colloque annuel du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec*. Montréal, Canada. Décembre 12-13.
- **Tisserant M., Evette A., González E. & Poulin M.** (2017) Réponse taxonomique et fonctionnelle des communautés végétales riveraines aux facteurs environnementaux et à l'aménagement de berges. Affiche, ÉCOVEG13 : *Colloque International Francophone en écologie végétale*. Forêt Montmorency, Québec, Canada. Septembre 10-13.

- Castagni M., Keita N., **Tisserant M., Poulin M., Evette A.**, Breton V., Forestier O., Thivierge M.N., Gonzalez E. & Garofano V. (2017) Capacité de reprise et de croissance des boutures de *Salix eriocephala* et *Cornus stolonifera* soumis à différentes conditions d'humidité du sol en serre. Affiche, ÉCOVEG13 : Congrès international francophone en écologie végétale. Université Laval, Forêt Montmorency, Québec, Canada. 10-13 septembre.
- **Falardeau, I., Poulin, M., Biron, P.M.** (2016) L'utilisation des phytotechnologies pour la stabilisation de berges au Québec: une approche en émergence. Journées techniques d'information et d'échanges, Restauration des berges et ingénierie écologique. Belley and Chambéry, France, 30 juin et 1er juillet.

Publications:

- **Tisserant M., Bourgeois B., Evette A. & Poulin M.** (En préparation) Using functional traits to study environmental determinants of vegetation in bioengineered riverbanks compared to natural riparian habitats. *Restoration Ecology*.
- **Tisserant M., Bourgeois B., González E., Evette A. & Poulin M.** Soumis. Controlling erosion while promoting plant biodiversity: a comparison of riverbank stabilization techniques. Soumis à *Ecological Engineering*, 1er Déc. 2020.
- **Keita N., Bourgeois B., Evette A., Tisserant M., González E., Breton V., Goulet C. & Poulin M.** (En révision) Growth response of cuttings to drought and flooding for three *Salix* species and implications for riverbank soil bioengineering. *Environmental Management*, soumis le 24 août 2020.
- **Tisserant M., Janssen P., Evette A., González E., Cavaillé P. & Poulin M.** (2020) Diversity and succession of riparian plant communities along riverbanks engineered for erosion control: a case study in the foothills of the Alps and the Jura Mountains. *Ecological Engineering* 152, 105880.
- **Poulin M., Evette A., Tisserant M., Keita N., Breton V., Biron P., Raymond P., Charbonneau G. & Falardeau I.** (2019) Le génie végétal pour la protection de cours d'eau au Québec : état des lieux et perspectives pour les Basses terres du Saint-Laurent. *Sciences Eaux & Territoires*. Article hors-série numéro 57.
- **Hurson, M. & Biron, P.M.** (2019) Quantifying hydrodynamic changes associated with bioengineered stabilization measures using numerical modelling. *Ecological Engineering*. 136, 118-124

Rapports:

- **Tisserant M.** (2020) Biodiversité et génie végétal: réponse taxonomique et fonctionnelle de la flore vasculaire riveraine à la stabilisation de berge. Thèse de doctorat. Université Laval, Québec. 180 p.
- **Tisserant M.**, Petit-Prost M. & Maurice M.-P. (2019) Guide d'identification des plantes riveraines du Québec. 337 p.
- **Poulin M.** (2015). Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les basses-terres du Saint-Laurent. Rapport d'étape 1. Décembre 2015. Ministère des Transports du Québec, Direction de l'environnement, projet R692.1, 12 p.
- **Poulin M., Tisserant M.** (2017). Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les basses-terres du Saint-Laurent. Rapport d'étape 1. Juin 2017. Ministère des Transports du Québec, Direction de l'environnement, projet R692.1, 18 p.
- **Poulin M., Tisserant M. & Evette, A.** (2019). Étude des potentiels structurels et écologiques du génie végétal dans les travaux de stabilisation riveraine dans les basses-terres du Saint-Laurent. Rapport d'étape 1. Mai 2019. Ministère des Transports du Québec, Direction de l'environnement, projet R692.1, 61 p.

## Glossaire

Dans le domaine d'aménagement de berge, différents termes sont utilisés pour décrire les parties du talus. Pour faciliter la compréhension du rapport, nous proposons les définitions suivantes pour les différentes parties du talus et nous les illustrons à la figure 1. Ces parties sont :

### Talus :

Terrain, en pente forte ( $> 1V : 4H$ ) d'une hauteur de plus de 4 m, bordé d'une surface relativement plane en haut et d'un plan ou cours d'eau au bas. Cette définition s'applique au domaine des glissements de terrain. En dehors de ce domaine et dans le cadre de ce rapport, le terme talus est tout de même appliqué à des pentes plus courtes. Le talus définit la structure physique de la berge et est délimité en haut et en bas par les cassures de pente du replat et du pied de talus respectivement.

### Replat :

Partie relativement plane en haut du talus (MDDELCC, 2015).

### Littoral :

Partie des lacs et cours d'eau qui s'étend à partir de la ligne des hautes eaux vers le centre du plan d'eau (MDDELCC, 2015).

### Rive :

Bande de terre qui borde les lacs et les cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux (MDDELCC, 2015).

Stabilisation : La stabilisation d'une berge est l'action de conserver la position d'équilibre d'une berge. Les opérations de stabilisation de berge peuvent viser à protéger le pied de berge contre l'érosion créée par la circulation d'eau ou les glaces, ou à rééquilibrer les forces gravitaires entre le pied et le haut de talus. Ce dernier type d'intervention est décrit dans le Cadre normatif pour le contrôle de l'utilisation du sol dans les zones de contraintes relatives aux glissements de terrain dans les dépôts meubles (MAMOT, 2016). Il est alors réservé aux actions prises pour protéger un talus contre les glissements de terrain, par l'adoucissement de la pente ou l'ajout de contre-

poids en pied de talus. Il s'applique aux pentes fortes ( $\geq 1V : 4H$ ) d'une hauteur de plus de 4 m. Dans le présent rapport, la stabilisation de berge décrit la protection contre l'érosion et la lutte contre les glissements de terrain superficiels.

Berge :

Partie du milieu riverain plus ou moins escarpée, s'étendant entre le replat en haut et le lit moyen du cours d'eau en bas. C'est en berge que sont conçus les ouvrages de stabilisation.

Pied de berge :

Zone du talus situé sous la ligne des hautes eaux, et donc sous l'influence régulière du cours d'eau adjacent (Verniers, 1995; Figure 1).

Milieu de berge :

Zone du talus située dans la zone de la ligne des hautes eaux.

Haut de berge :

Zone du talus située entre la ligne des hautes eaux et le replat. *Pour l'échantillonnage des milieux riverains réalisé dans la présente étude (voir les méthodes, section 5), et lorsque cette zone du talus était très haute, la zone de haut de berge échantillonnée était plus proche du milieu de berge que du replat.*

Dans la suite du rapport, et pour un champ lexical simplifié, trois termes seront utilisés, basés sur les observations terrain et le positionnement des ouvrages de stabilisation avec du génie végétal : pied de berge, milieu de berge et haut de berge. Ces trois zones font partie du talus.

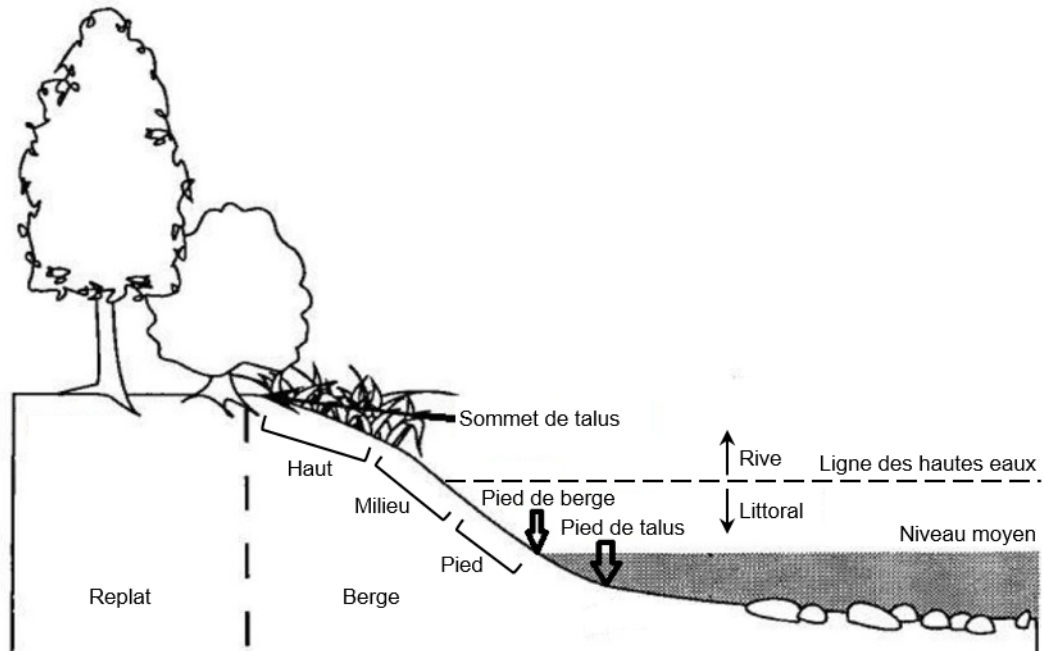


Figure 1. Terminologie des zones d'une berge de rivière utilisée dans ce rapport. Schéma adapté de Verniers (1995).

D'autres termes propres au génie végétal méritent une certaine attention. Voici donc quelques définitions qui aideront à la compréhension du rapport.

### Génie végétal :

Selon la définition acceptée de Lachat (1994), "Utilisation de plantes ou de parties de celles-ci et de semences afin de résoudre les problèmes de l'ingénieur dans les domaines mécaniques de la protection contre l'érosion, de la stabilisation et de la régénération des sols". Le génie végétal regroupe donc l'ensemble des techniques de stabilisation, en berge ou non, incluant un matériau végétal vivant (e.g. bouture de saule ou de cornouiller, pieu vivant) et parfois inerte (pieu mort, branches sèches, caisson de bois). Parmi les techniques de génie végétal pouvant être utilisées seules ou en combinaison avec d'autres techniques végétales, on peut trouver les techniques suivantes, décrites plus en détails dans plusieurs ouvrages (Adam et al., 2008; Gray et Sotir, 1996; Li et Eddleman, 2002) :

Le tressage, qui correspond à de longues boutures vivantes de saules (ou branches mortes), tressées serrées autour de pieux ancrés dans le sol et disposées parallèlement au cours d'eau en pied de berge;

La fascine, qui est un fagot de longues boutures de saule et/ou de cornouiller fixées ensemble et posées dans une tranchée creusée en pied ou milieu de berge;

La couche de branches à rejets, qui est composée de longues boutures de saule disposées perpendiculairement au cours d'eau et recouvertes d'une fine couche de terre;

Le matelas de branches, qui est un tapis de branches de saule, vivantes (longues boutures) et mortes, entremêlées et fixées par des pieux. Classiquement, le matelas de branches n'est pas recouvert de terre, et les sédiments charriés par le cours d'eau vont être trappés par le matelas et servir de substrat pour l'enracinement des boutures. Il est souvent utilisé pour combler un creux dans la pente du talus (via l'accumulation de sédiments);

Dans les techniques ci-dessus, les pieux peuvent être vivants ou morts. Les pieux faits d'un matériau végétal vivant ont classiquement un diamètre minimal de 10 cm et sont battus manuellement ou mécaniquement en pied de berge pour protéger la berge et/ou fixer d'autres techniques (Bonin et al., 2013). En plus de son rôle de fixation, le pieu vivant peut bouturer et redonner un individu qui contribuera à la stabilisation grâce au développement du système racinaire;

Les lits de plants et plançons, qui sont des alternances de poches de terre végétale retenue par du treillis de coco (géotextile) et de longues boutures (plançons de saules ou cornouiller) ou de plants (arbustes à racines nues par exemple).

Les boutures, qui sont des branches vivantes d'espèces ligneuses plantées dans le sol. Le matériel vivant doit provenir d'espèces propices au bouturage, puisque toutes les espèces n'ont pas cette propriété.

Les techniques décrites ci-haut sont composées principalement avec des espèces de saules arbustifs et du cornouiller stolonifère (*Cornus sericea*). D'autres espèces ligneuses peuvent être utilisées en plants en milieu et haut de berge, tels que le

noisetier (*Corylus cornuta*), l'aulne rugueux (*Alnus incana* subsp *rugosa*), l'érable à épis (*Acer spicatum*) ou l'érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum*).

Les ouvrages échantillonnés pour ce projet de recherche ont été classés selon quatre types que nous avons définis comme suit :

1. Génie végétal pur : Technique de stabilisation faisant intervenir uniquement (ou presque, ces ouvrages peuvent aussi comprendre du fil de fer et des agrafes métalliques) du matériel végétal.
2. Génie végétal avec enrochement de pied de berge : Technique de stabilisation utilisant le génie végétal et faisant intervenir un petit cordon de roches au pied de la technique végétale pour la protéger de l'érosion dans les premières années de la construction de l'ouvrage.
3. Génie mixte : Technique de stabilisation de berge utilisant un matériau inerte (gabion, enrochement, caisson de bois) combiné à un matériau végétal, et dont la partie inerte occupe la moitié basse de l'ouvrage. Contrairement à la classe d'ouvrages de génie végétal avec enrochement de pied de berge, la partie végétale contribue peu à la stabilité de la berge puisqu'elle se situe plus haut dans la berge. Parmi les combinaisons possibles de génie mixte, on peut trouver : i) enrochement et fascine ou ii) enrochement et matelas de branches ou couche de branches à rejets, iii) enrochement et lits de plants et plançons ou iv) caissons végétalisés.
4. Enrochement : Technique de protection de berge utilisant uniquement un matériau inerte (roches) dont le dimensionnement est conçu pour stabiliser adéquatement la berge. Souvent, lorsque la berge est stabilisée avec un enrochement, le haut de talus et le replat peuvent être ensemencés ou végétalisés (plants d'arbustes), mais les végétaux utilisés ne contribuent pas à la stabilisation de la berge.

Trait fonctionnel : Caractéristique morpho-physio-phénologique d'un organisme mesuré à l'échelle des individus et qui affecte sa valeur sélective (Violle et al., 2007). Puisque les traits fonctionnels reflètent la capacité des individus à s'adapter à leur environnement, l'approche par traits fonctionnels permet de mettre en évidence les mécanismes d'assemblage des communautés végétales.

#### Estimateurs de la diversité des communautés végétales :

Diversité alpha : Mesure de la diversité en espèces dans un même habitat. Elle peut être estimée avec la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces, ou avec un indice de diversité prenant en compte l'abondance des espèces.

Diversité beta : Étendue des changements de composition dans les communautés, ou le degré de différenciation des communautés, le long de gradients environnementaux

(topographique, temporel, climatique, etc., Whittaker, 1972). La diversité-beta est une mesure de la variabilité de la composition en espèces entre plusieurs unités d'échantillonnage pour une région donnée (Anderson et al., 2006). Cette mesure peut être représentée par la distance moyenne (ou la disparité), en termes de composition en espèces, des unités échantillonnées par rapport au centroïde du groupe d'unités. La diversité-beta peut être le reflet de deux processus : le remplacement d'espèces d'un site à l'autre ou l'enrichissement (ou appauvrissement) en espèces d'un site à l'autre. La diversité-beta est souvent utilisée pour mesurer le processus d'homogénéisation biotique dans l'espace ou le temps (McKinney et Lockwood, 1999).

### Nomenclature

Les noms d'espèces suivent la nomenclature de la base de données des plantes vasculaires du Canada (Desmet et Brouillet, 2013). La liste des espèces recensées avec les noms d'auteurs est fournie à l'annexe 6. Les noms d'auteur ne sont pas ajoutés dans le corps du texte pour éviter d'alourdir la lecture.

## I. Contexte et problématique

La province de Québec possède une incroyable diversité de milieux humides et riverains, riche de 3.6 millions de plans d'eau douce et de dizaines de milliers de rivières qui couvrent, avec le Saint-Laurent, 22 % de la superficie de son territoire (Gouvernement du Québec, 2014). Cette abondance de milieux dulçaquicoles (3 % des réserves d'eau douce de la planète) est accompagnée d'une grande diversité floristique, puisque le tiers de la flore vasculaire indigène du Québec vit préférentiellement ou exclusivement dans ces milieux (709 espèces sur 2 287 espèces; Gouvernement du Québec, 2019). La santé des écosystèmes aquatiques d'eau douce reste toutefois préoccupante. En effet, 20 % des 709 espèces obligées ou facultatives de milieux humides sont en situation précaire au Québec. De plus, selon le Portrait global de la qualité de l'eau des principales rivières du Québec, près de 40 % des stations de rivières enregistraient une qualité de l'eau douteuse, mauvaise ou très mauvaise, selon l'indice de qualité bactériologique et physicochimique (Simard, 2004). S'il n'existe pas de bilan sur l'état de santé des milieux riverains, les études récentes sur celui des écosystèmes aquatiques (Gouvernement du Québec, 2019b) et sur les pertes et perturbations des milieux humides (Pellerin & Poulin, 2013) portent à croire que les milieux riverains sont également soumis à de nombreuses pressions d'origine humaine.

Dans le Sud du Québec, principalement dans la province naturelle des Basses terres du Saint-Laurent, une grande partie des cours d'eau a subi et subit encore des pressions anthropiques majeures, incluant le fleuve Saint-Laurent. Par exemple, sur les 1600 km de rive de la portion fluviale du Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny, 680 km ont été artificialisés (Richard, 2010). De plus, les opérations de redressement de cours d'eau agricoles au Québec ont fortement modifié le paysage québécois, surtout durant la deuxième moitié du 20<sup>e</sup> siècle. En plus du redressement, d'autres aménagements nuisant à l'intégrité des cours d'eau ont été réalisés : chenalisation, curage ou installation de sorties de drainage ou de seuils. La quantité de sections de cours d'eau aménagées est ainsi passée de 320 km/an en 1945 à 1 600 km/an en 1965, principalement dû à l'intensification de l'agriculture et à l'amélioration de la machinerie (Beaulieu, 2001). Les pressions foncières ont fait augmenter la valeur d'achat des lots agricoles exploitables, favorisant davantage le

drainage des milieux humides et créant plus de pressions sur ces derniers. En effet, le ratio entre le prix d'achat de lots agricoles et celui de leur drainage est passé en moyenne de 600/ 600 \$/ha dans les années 1950 à 60 000/ 3 500 \$/ha dans les années 2000, conduisant au drainage de 579 000 ha de terres pour l'agriculture au Québec (Bouchard, 2018). Finalement, on estime que 30 000 km de cours d'eau ont été aménagés durant les dernières décennies, dont 10 000 km créés de toute pièce pour le drainage des terres, doublant ainsi la quantité de cours d'eau par rapport au réseau hydrographique naturel dans certaines zones fortement agricoles du sud du Québec (Beaulieu, 2001). Les milieux riverains du sud du Québec sont donc soumis à de nombreuses pressions et perturbations d'origine humaine, auxquelles il convient d'ajouter les perturbations naturellement à l'œuvre, comme l'érosion des berges créée par le passage de l'eau, les crues et les embâcles de glace. Ce processus naturel d'érosion induit un déséquilibre des forces entre le pied et le haut de talus et peut parfois menacer la pérennité des infrastructures en haut de berge, notamment les routes. La stabilisation de berge devient alors nécessaire pour garantir la viabilité des infrastructures routières à proximité des milieux riverains et assurer la sécurité du public. Lorsque l'on est en présence d'argiles sensibles, cette stabilisation est géotechnique (mécanique) et devrait faire appel à des techniques d'acoucissement de pente ou à l'ajout d'un contre-poids. Ces techniques peuvent aussi être complétées par des mesures de protection contre l'érosion sur le talus ou/et en pied de berge, soit par enrochement ou génie végétal.

Les techniques de protection contre l'érosion dites "conventionnelles" font appel à l'enrochement ou aux murs, mais ces techniques ne présentent pas de plus-value écologique, et ont des effets négatifs sur la biodiversité riveraine et aquatique. Ces effets négatifs ont déjà été montrés dans des études portant sur les macroinvertébrés (Cavaillé et al., 2018; Sudduth & Meyer, 2006), sur la faune piscicole (Massey et al., 2017; Pander et al., 2017; Schmitt et al., 2018), sur la végétation riveraine (Cavaillé et al., 2013; Tisserant et al., 2020) ou sur la qualité globale de l'habitat riverain (Janssen et al., 2019). Or les écosystèmes riverains sont d'une grande importance à travers les nombreux services écologiques qu'ils procurent : protection contre l'érosion, lutte contre les îlots de chaleur, préservation de la biodiversité, filtration des effluents terrestres, etc. (Riis et al., 2020). L'enrochement est actuellement la technique privilégiée par le Ministère des Transports lors des interventions pour stabiliser les

berges de cours d'eau lorsque l'érosion et les glissements de terrain menacent les routes. Cela est dû notamment à la grande responsabilité en matière de sécurité civile associée à de telles interventions mais également au mode de gestion de ces interventions. Étant donné le très grand nombre de cours d'eau à surveiller, les sites présentant des signes d'érosion sont classés selon les risques de décrochement et de glissement de terrain et donc selon l'urgence d'intervenir. L'enrochement présente alors l'avantage de stabiliser dès l'instauration de l'ouvrage, de façon assurée. Toutefois, une nouvelle approche pour stabiliser les berges émerge, basée sur des solutions fondées sur la nature. Parmi ces solutions fondées sur la nature, le génie végétal, qui utilise des végétaux et leurs propriétés mécaniques et biologiques, est une réponse particulière intéressante pour stabiliser les berges contre l'érosion tout en apportant un gain écologique à l'ouvrage.

Depuis plusieurs années, les techniques de génie végétal sont recommandées par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) pour contrôler l'érosion tout en maintenant une certaine naturalité sur les berges aménagées. Ces techniques sont également mises de l'avant par divers intervenants gouvernementaux (Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation), municipaux et privés. Depuis ces recommandations, plusieurs documents produits par des instances publiques ou privées décrivent les bonnes pratiques d'aménagement de berge (voir par exemple la *Fiche technique sur la stabilisation des rives* du MELCC et le *Guide des bonnes pratiques, Chapitre 7, Techniques de stabilisation des rives* attaché à l'édition 2005 de la Politique de Protection des Rives, du Littoral et des Plainnes Inondables). De plus, des listes d'espèces sont disponibles pour guider le choix des espèces à utiliser pour végétaliser les berges, comme le Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec (FIHOQ & AQPP, 2008) et leur moteur de recherche disponible en ligne.

Le génie végétal fait appel à une approche pluridisciplinaire complexe nécessitant des connaissances en écologie végétale, botanique, ingénierie, droit de l'eau, géotechnique, hydromorphologie, etc. (Evette, 2017). Le cadre légal entourant la pratique du génie végétal au Québec, et plus largement les activités d'aménagement en cours d'eau au Québec, est lui aussi complexe. Plusieurs autorisations émanant de

différents ministères peuvent être nécessaires, selon l'envergure et la nature des travaux de stabilisation. Ainsi, en regard de la loi sur la qualité de l'environnement (LRQ, c. Q-2) et de la loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (LQ 2017, Chapitre 14), une certification d'autorisation du MELCC est requise pour un aménagement de berge localisé en terrain public, et une autorisation municipale est nécessaire pour tout aménagement. Le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ou encore Pêches et Océans Canada doivent également être consultés pour certains ouvrages de stabilisation de berge (présence d'une forêt riveraine ou intervention dans l'habitat du poisson).

Si on reconnaît désormais que les coûts associés aux enrochements sont en général plus élevés que ceux engendrés par l'instauration d'ouvrage de génie végétal, ceux-ci sont encore peu utilisés par les acteurs de l'aménagement qui n'ont recours au génie végétal que de manière occasionnelle et très localisée, sur des secteurs généralement à faible enjeu et soumis à une érosion peu importante. De plus, les techniques de génie végétal peuvent être plus difficiles à intégrer car elles nécessitent souvent un reprofilage de berges, là où l'urgence de la situation et le manque de marge de manœuvre ne le permettent souvent pas. Le succès des ouvrages de génie végétal pour stabiliser les berges est aussi garant de plusieurs facteurs impondérables comme la météo et de facteurs sur lesquels nous exerçons un contrôle seulement partiel, tels l'établissement et la croissance des plants utilisés. Ainsi, l'implantation des ouvrages de génie végétal doit être basée sur des principes de précaution incluant notamment la possibilité de procéder à un ajustement des ouvrages quelques mois ou années après leur implantation.

Les limites associées à l'utilisation des techniques de génie végétal pour stabiliser les berges de cours d'eau près des infrastructures routières ne sont toutefois pas incontournables. De plus, le génie végétal offre plusieurs avantages non négligeables par rapport aux ouvrages de génie civil. Parmi les avantages du génie végétal par rapport au génie civil, on peut citer l'efficacité croissante avec le temps de la fonction de protection de la berge contre l'érosion, puisque les matériaux de construction sont vivants, la dissipation des forces d'arrachements et le ralentissement des vitesses d'écoulement (incluant les effets géomorphologiques positifs en aval de l'ouvrage) (Evette et al. 2018), l'amélioration des capacités d'autoépuration (Symmank et al,

2020), la prévention de l'établissement d'espèces envahissantes (Kim et al., 2006), une plus grande souplesse et adaptabilité de l'ouvrage due à la régénération des matériaux, un coût carbone moindre et le retour d'une certaine naturalité et de certaines fonctions écologiques dans l'ouvrage (von der Thannen et al., 2017). Ainsi, le génie végétal apportera la plus-value écologique désirée lors d'aménagements en milieu riverain par rapport aux enrochements sur la qualité de l'habitat (Janssen et al., 2019; Li et al., 2006) et la diversité végétale (Cavaillé et al., 2013; Li et al., 2006;) ou animale (Schmitt et al., 2018, Cavaillé et al., 2018). Le présent projet est une première étape menant à l'intégration des techniques de génie végétal au sein des pratiques du Ministère des Transports.

## **II. Objectifs du projet**

### **1. Objectif général**

En février 2015, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) octroyait un contrat de recherche à une équipe de chercheurs, dirigée par Monique Poulin de l'Université Laval, pour améliorer les pratiques de stabilisation en milieu riverain. Ce contrat de recherche a été accordé initialement pour une durée de 5 ans, mais la fin de projet prévue en décembre 2020 a été reportée d'un an (*Avenant 2* au contrat de recherche), soit en décembre 2021. Le mandat de recherche consiste à évaluer la valeur écologique des ouvrages de stabilisation de berges construits avec des techniques de génie végétal. Il comprend également la construction d'un ouvrage de stabilisation de berge dans la municipalité de Saint-Albert, Centre-du-Québec, en intégrant plusieurs techniques de génie végétal. La gestion de ce projet d'ouvrage de génie végétal est sous la responsabilité du MTQ. L'idée est de construire un ouvrage de démonstration qui utilise des techniques végétales qui ont fait leurs preuves en Europe ou ailleurs au Canada mais qui restent peu utilisées au Québec. Le but à long terme de cette collaboration entre le Ministère, les universitaires et différents intervenants du milieu, dont les firmes privées, est d'améliorer les pratiques de stabilisation de berge au Québec en améliorant l'intégration des ouvrages de protection dans le milieu naturel environnant, notamment par la valorisation des techniques de génie végétal.

Ainsi, l'objectif principal de ce projet est d'évaluer les potentiels structurels et écologiques des techniques du génie végétal pour stabiliser durablement les berges,

tout en favorisant la naturalité et la diversité végétale des rives. Il vise à déterminer la contribution des ouvrages de génie végétal à la diversité de la flore riveraine, par rapport aux ouvrages de génie civil traditionnel comme les enrochements.

## **2. Objectifs spécifiques**

Les six objectifs spécifiques tels qu'établis en début de projet se regroupent en quatre étapes principales, décrites en détails à la section 4 du Devis de recherche (version Mai 2017).

### **Étape 1 :**

Objectif 1 - Repérage de 40 sites dans les Basses terres du Saint-Laurent ayant fait l'objet de travaux de stabilisation de berges de rivière par des techniques de génie végétal au cours des quinze dernières années.

Objectif 2 - Classification des ouvrages de stabilisation selon un gradient de naturalité (inversement proportionnel au degré d'enrochement).

### **Étape 2 :**

Objectif 3 - Évaluation de la diversité végétale des ouvrages de stabilisation de berge.

### **Étape 3 :**

Objectif 4 - Développement d'un nouvel ouvrage de stabilisation de berge basé sur les techniques de génie végétal dans les Basses terres du Saint-Laurent. Cet ouvrage constituera un banc d'essai expérimental démontrant les potentiels structurels et écologiques des techniques en génie végétal.

Objectif 5 - Mise en valeur du banc d'essai comme site de démonstration de l'applicabilité du génie végétal pour des travaux de stabilisation riveraine (éducation et sensibilisation grand public, transfert de connaissances, vitrine de l'expertise technique en écoingénierie, etc.).

### **Étape 4 :**

Objectif 6 - Comparaison des coûts pour l'instauration des ouvrages de stabilisation de berges, selon les approches d'écoingénierie réalisées à l'étape 3 (le banc d'essai) et les techniques d'ingénierie classique (par enrochement).

L'étape 3 comprenait **l'étude du contexte hydrogéomorphologique** du site choisi pour la construction d'un ouvrage de stabilisation de berges par technique de génie végétal, soit le site de Saint-Albert. À cela nous avons ajouté un volet de **modélisation de l'impact de l'ouvrage sur la dynamique hydrogéomorphologique du cours d'eau**. Nous avons aussi saisi l'opportunité de réaliser une expérience en serre visant déterminer le **potentiel de bouturage et de croissance d'espèces arbustives** couramment employées dans les ouvrages de génie végétal.

### **III. Portrait du génie végétal pour la stabilisation de berge au Québec (Étape 1, Objectif 1 et 2)**

La réalisation des étapes du projet consistait à contacter les acteurs impliqués dans l'aménagement de berge pour établir une liste la plus exhaustive possible des ouvrages de génie végétal ayant été réalisés au Québec. Cette étape était cruciale pour nous assurer de démarrer le processus de sélection de sites avec un portrait complet de ce qui se fait en matière de génie végétal au Québec. Cette démarche nous a permis de constater qu'il existe une bonne expertise mais que certains ouvrages construits ne valorisent pas les techniques du génie végétal à leur plein potentiel, notamment en présentant ces techniques très haut dans le talus, au-delà de la ligne des hautes eaux, alors que l'implantation des techniques de génie végétal se fait classiquement entre la ligne des hautes eaux et le niveau moyen. Une sélection de sites a donc été faite à partir de ce recensement afin de *i)* représenter au mieux les techniques de génie végétal, *ii)* d'assurer leur répartition dans l'aire d'étude et *iii)* d'équilibrer l'âge des ouvrages entre les types d'ouvrages. La même démarche de recensement a été entreprise pour les ouvrages de stabilisation par enrochement, bien

que le bilan fût moins exhaustif car il visait surtout à représenter les mêmes régions et les mêmes âges que ceux associés aux ouvrages de génie végétal.

### 1. Sondage auprès des firmes

Comme indiqué dans les rapports d'étape 2 et 3, nous avons sondé les firmes et organisations ayant fait des travaux de stabilisation de berge ou d'aménagement de rivières. Cette démarche nous a permis de dresser un portrait des travaux de génie végétal dans la province. Parmi les 39 organisations contactées, soit des firmes de génie civil, des firmes de consultants en environnement, des comités de bassins versants, des villes et des ministères, 22 ont mentionné avoir déjà construit des ouvrages de génie végétal pour la stabilisation de berges, principalement dans les



Basses terres du Saint-Laurent. On a ainsi pu comptabiliser environ 226 ouvrages de stabilisation de berge, dont 130 de génie végétal, et 96 enrochements (Tableau 1).

Figure 2. Travaux de stabilisation de berge décrits comme du génie végétal sur la rivière Du Berger, Capitale Nationale. Bien que les roches soient abondantes de façon naturelle dans le lit et qu'une section subissant probablement de fortes contraintes d'érosion soit présente, la partie enrochée de l'ouvrage monte bien au-delà d'un aménagement typique de génie végétal et de la ligne des hautes eaux. On voit bien ici que la partie végétale n'assure pas la stabilisation du sol de berge. Bien qu'il soit

essentiel de prendre en compte l'ensemble des aspects caractérisant le milieu (fonctionnement morphodynamique, écologie, composition du paysage) et les enjeux justifiant un ouvrage de stabilisation, il est aussi important de ne pas surdimensionner la technique de protection de pied de berge.

Photographie : Maxime Tisserant.

Il est à noter que plusieurs de ces ouvrages ne peuvent être considérés comme du génie végétal, la végétation ayant été utilisée bien au-delà de la ligne des hautes eaux (ou près du niveau plein bord ou de récurrence deux ans; Figure 2). En effet, pour qu'un ouvrage soit considéré comme étant issu du génie végétal, les plantes utilisées doivent jouer un rôle de stabilisation. Cela a été pris en compte lors de la sélection des sites pour les inventaires terrain visant l'évaluation de la diversité végétale.

## 2. Recensement des ouvrages de stabilisation au Québec

Les 130 ouvrages de génie végétal recensés ont été construits au moyen des techniques présentées dans le tableau 1.

La technique la plus fréquemment utilisée était celle des fascines de saule (64 ouvrages), suivie de la technique alliant les fascines au matelas de branches (44 ouvrages). Les fascines de saule utilisées seules ou en combinaison avec le matelas de branches représentaient ainsi 83% des ouvrages de génie végétal (soit 108 des 130 ouvrages de génie végétal). La figure 3 illustre quelques unes des techniques rencontrées dans les ouvrages de stabilisation de berge utilisant du génie végétal au Québec.

Tableau 1. Portrait des 130 ouvrages de génie végétal recensés pour l'étude, selon la position sur la berge et la technique utilisée.

| Technique de stabilisation                         | Pied de berge | Milieu et haut de berge |
|----------------------------------------------------|---------------|-------------------------|
| Enrochement de pied de berge                       | 113           | -                       |
| Tressage                                           | 6             | -                       |
| Boudin de terre                                    | 2             | -                       |
| Fascine de saule                                   | 3             | 64                      |
| Matelas de branches ou couches de branches à rejet | 0             | 19                      |



|                                                       |     |    |
|-------------------------------------------------------|-----|----|
| Fascine de saule et matelas<br>ou couches de branches | 0   | 44 |
| Technique non connues                                 | 6   | 3  |
| Total                                                 | 130 |    |

Figure 3. Variété des techniques de génie végétal. De gauche à droite et de haut en bas : tressage et matelas de branches, fascines, lits de plants et plançons, caisson végétalisé. Au centre : pieux vivants et tressage. Photographies : Maxime Tisserant.

La plupart des ouvrages (c.a. 87%) présentait un enrochement de pied de berge. Le reste des ouvrages montraient des techniques purement végétales en pied de berge, telles qu'un tressage, un boudin de terre ensemencé ou une fascine. Dans certains sites, aucun aménagement spécifique n'avait été instauré en pied de berge, lorsque la faible force du courant ne nécessitait pas de protection à cet endroit.

Au-dessus du pied de berge, les techniques utilisées étaient les fascines de saule, un matelas de branches ou des couches de branches à rejets ou une combinaison de fascines de saule en pied de berge et de matelas de branches en milieu de berge. Il

est toutefois à noter que l'information fournie par les organisations contactées était parfois partielle et que ces statistiques sont fournies surtout à titre indicatif.

D'autres techniques de stabilisation avec du génie végétal sont recensées dans la littérature, mais n'ont pas été répertoriées lors de ce recensement auprès des diverses organisations. Il y a notamment les techniques de caissons de bois et de lits de plants et plançons. Lors de missions en France par nos équipes et grâce à l'implication d'André Evette (Grenoble) dans le projet, nous avons pu constater que ces techniques y étaient courantes. La haute technicité nécessaire à ces types d'aménagement, ainsi que la méconnaissance de leur résistance aux contraintes des glaces pourraient expliquer leur faible utilisation dans les ouvrages de stabilisation de berge au Québec. Il est intéressant de constater que la technique de lits de plants et plançons connaît une bonne popularité en France, notamment parce qu'elle autorise des pentes fortes et une bonne résistance à la sécheresse via un enracinement en profondeur. Au Québec, très peu de concepteurs intègrent des lits de plants et plançons dans leurs ouvrages (2 ouvrages recensés). Quant aux caissons végétalisés, nous en avons répertoriés quelques-uns à la suite du recensement présenté ici, mais cette technique reste marginale au Québec.

### **3. Classification des ouvrages de stabilisation**

#### **3.1. Classification des berges selon les techniques de génie végétal**

À l'analyse des informations reçues, nous avons constaté qu'il y avait souvent confusion dans l'appellation du type de technique utilisée. En effet, nous avons constaté une grande disparité dans les termes utilisés pour décrire les techniques. Une fascine de saule pouvait tour à tour être appelée "fascine", "fagot", "boudin", "boutures", et une couche de branches à rejet pouvait être décrite comme un "matelas de branches". Les termes "plantation" ou "boutures" étaient aussi couramment utilisés et il était parfois difficile d'identifier clairement la technique implantée à partir de la description fournie par l'organisation ayant établi l'ouvrage.

En visitant les ouvrages, nous avons également réalisé que la technique utilisée pouvait être différente de celle décrite lors du recensement. De plus, sur l'avis d'experts, la technique précise utilisée dans l'ouvrage de génie végétal, c'est-à-dire la disposition des boutures en couches de branches à rejet ou en fascines par exemple,

ne devrait pas tant influencer la composition des communautés riveraines s'établissant spontanément. Nous avons donc reclassifié les ouvrages selon leur degré de naturalité (ratio végétation/minéral) plutôt que selon la technique précise utilisée. Nous avons émis l'hypothèse que c'était la proportion de matériau minéral utilisé dans l'ouvrage qui pouvait expliquer la composition des communautés végétales plutôt que le type de technique de génie végétal utilisé.

Le tableau 2 décrit la répartition des ouvrages de stabilisation de berge recensés selon la nouvelle classification. Les techniques employant du génie végétal ont été séparées en trois types selon la proportion d'enrochement dans la berge, soit :

- Génie végétal pur: correspond à des ouvrages dans lesquelles la roche n'est pas du tout utilisée à des fins de stabilisation;
- Génie végétal avec enrochement de pied de berge : correspond à un cordon de roche disposé au pied de l'ouvrage pour le protéger de l'érosion lors des premières années de croissance des végétaux;
- Génie mixte : correspond à des ouvrages dans lesquels un enrochement est utilisé jusqu'à la ligne des hautes eaux.

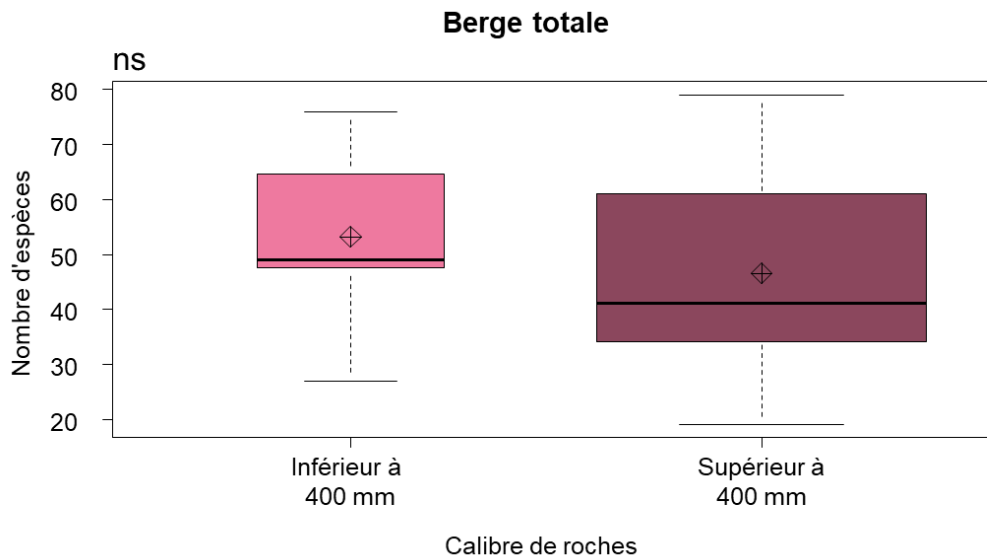
Tableau 2. Portrait des ouvrages de stabilisation recensés pour l'étude, selon un gradient de naturalité décrit par le ratio végétation/minéral utilisé pour la stabilisation.

| Technique                                       | Nombre de sites |
|-------------------------------------------------|-----------------|
| Génie végétal pur                               | 17              |
| Génie végétal avec enrochement de pied de berge | 17              |
| Génie mixte                                     | 96              |
| Enrochement (génie civil)                       | 96              |
| Total                                           | 226             |

### 3.2. Classification des enrochements

Les berges stabilisées par enrochement ont été classées en deux types selon le calibre de roche utilisé. Suite aux travaux de terrain décrits plus bas (section 2; Méthodologie d'échantillonnage de la végétation sur les sites d'étude), nous avons testé s'il existait des différences de richesse végétale selon le calibre de roche utilisé, soit pour un calibre inférieur ou supérieur à 400 mm. Cette classification a été faite sur la base de

consultations avec des géotechniciens du MTQ et d'observations terrain. Il s'est avéré que le calibre de roche ne semblait pas influencer la richesse des communautés végétales (Figure 4). De même, pour tous les niveaux de berge étudiés individuellement (haut, milieu et pied de berge), aucune différence significative n'a été décelée en termes de nombre d'espèces entre les ouvrages à petit ou gros calibre de roche (données non montrées). On note toutefois une grande variation d'espèces au



niveau du pied de berge pour les sites avec gros calibre de roches (amplitude des moustaches de la boîte). Cette variation pourrait signifier que la colonisation par les espèces sur des enrochements de gros calibre s'effectue de façon aléatoire ou pourrait être tributaire de facteurs liés au cours d'eau, comme le colmatage des interstices par les sédiments. Pour la suite du rapport, les deux calibres de roche ont été considérés comme un seul type de berge enrochée.

Figure 4. Richesse spécifique total sur tout le talus selon le calibre d'enrochement. (ns: non significatif, test non paramétrique de Mann-Whitney ; n=8 et 25 respectivement pour les calibres inférieur et supérieur à 400 mm.)

### 3.3. Classification des berges naturelles

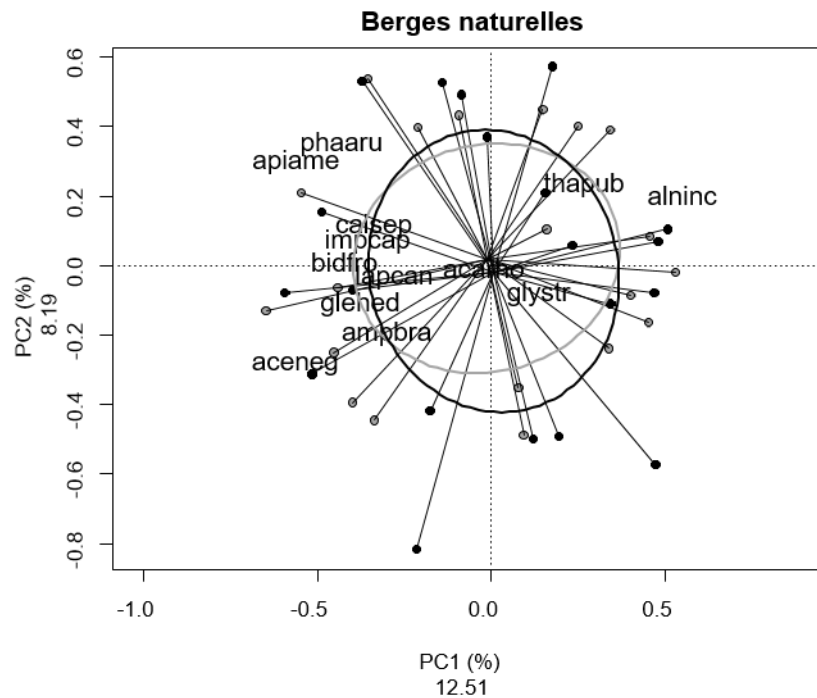
En plus des 226 ouvrages de stabilisation recensés, des berges naturelles ont été sélectionnées, réparties uniformément dans l'aire d'étude par rapport aux ouvrages de stabilisation de berge (voir Figure 8 & 9) pour la localisation des berges naturelles dans l'aire d'étude). Vingt segments de rivière ont été choisis de façon à ce qu'ils soient représentatifs des conditions rencontrées dans les sections stabilisées avec des ouvrages de génie végétal ou civil (largeur de rivière, géomorphologie, largeur de

berge, vitesse du cours d'eau, etc.). Quand cela était possible, les segments naturels étaient localisés sur la même rivière qu'un ou plusieurs ouvrages de stabilisation de berge. Deux types de berges naturelles étaient échantillonnés de façon appariée sur un même segment de rivière : une berge en conditions d'érosion et une autre en conditions de dépôt (Figure 5). Les zones d'érosion ont été considérées comme subissant de fortes contraintes hydrauliques alors que les zones de dépôt résultent de faibles contraintes hydrauliques et du dépôt de sédiments.



Figure 5. Physionomie de la végétation des berges naturelles, selon le critère de sélection. Condition de dépôt de sédiments (colonne de gauche) et condition d'érosion (colonne de droite). Les cours d'eau sont précisés pour chaque berge dans l'encadré. La première ligne illustre les deux conditions (érosion ou dépôt de sédiments) d'une même rivière.

Pour chaque berge, nous nous assurons de la présence de différents stades de succession le long du gradient latéral de la berge (perpendiculaire à la rivière) ainsi que de la présence d'un couvert arborescent. De plus, les berges en érosion devaient présenter des traces d'érosion sans être totalement dénudées, preuve que la végétation en place maintenait les couches du sol de la berge (Figure 5). Classiquement, dans les rivières à méandres, une section concave et une section



convexe du cours d'eau étaient sélectionnées pour l'inventaire floristique, lorsque les autres critères étaient validés. L'hypothèse de départ était qu'il y aurait des différences de végétation entre ces deux types de berges naturelles. Par contre, il s'est avéré que la composition des espèces ne variait pas entre les berges en érosion et les berges soumises au dépôt de sédiments (Figure 6). Pour la suite du rapport, les berges en érosion et les berges de dépôt ont donc été considérées comme un seul type (en prenant compte de la structure appariées des berges aux niveaux des analyses statistiques).

Figure 6. Représentation en Analyse en Composantes Principales de la composition en espèces des communautés végétales de berges naturelles en condition de dépôt de sédiments (gris; n=20) et en érosion (noir; n=20). Les points représentent les 40 sites échantillonnés et la distance entre les points indique la similarité entre les sites en termes de composition en espèces. On voit ainsi que l'ensemble des berges en condition de dépôt de sédiments ne diffère pas des berges en condition d'érosion (les deux ellipses, représentant l'écart type de la dispersion des sites pour un même groupe, se superposent). Les résultats du test de permutations multivarié montrent

que la différence de composition entre les deux types de berge (dépôt et érosion) n'est pas significatif :  $F(1, 38) = 0.679$ ,  $p = 0.966$ .

### 3.4. Classification des sites selon l'âge des ouvrages

Lors du recensement des ouvrages de génie végétal auprès des diverses organisations, l'année de construction était un paramètre important à connaître puisqu'il est essentiel d'estimer sur quelle échelle de temps les communautés végétales ont pu s'établir à chacun des sites lors de l'analyse de leur diversité et composition végétale. Sur les ouvrages récemment construits, les communautés végétales sont composées des espèces implantées dans l'ouvrage (arbustes et herbacées semées) ainsi que d'espèces ayant colonisé spontanément l'ouvrage. Avec le temps et le changement des conditions écologiques (fermeture de la canopée, diminution de la disponibilité des ressources dû à la compétition entre espèces), la succession végétale opère et peut donner lieu à l'implantation d'espèces forestières, tolérantes à l'ombre. La compilation des techniques de stabilisation de berge par classe d'âge indique une augmentation au fil des ans du nombre d'ouvrages faisant appel aux techniques de génie végétal ou aux techniques mixtes au détriment des enrochements (Tableau 3 & Figure 7).

Tableau 3. Ouvrages recensés au Québec en fonction de leur classe d'âge et du type d'ouvrage.

| Technique                                       | Âge |      |       | Total |
|-------------------------------------------------|-----|------|-------|-------|
|                                                 | 1-5 | 6-15 | 16-20 |       |
| Génie végétal pur                               | 12  | 4    | 1     | 17    |
| Génie végétal avec enrochement de pied de berge | 4   | 12   | 1     | 17    |
| Génie mixte                                     | 56  | 26   | 14    | 96    |
| Enrochement (génie civil)                       | 37  | 26   | 33    | 96    |
| Total                                           |     |      |       | 226   |

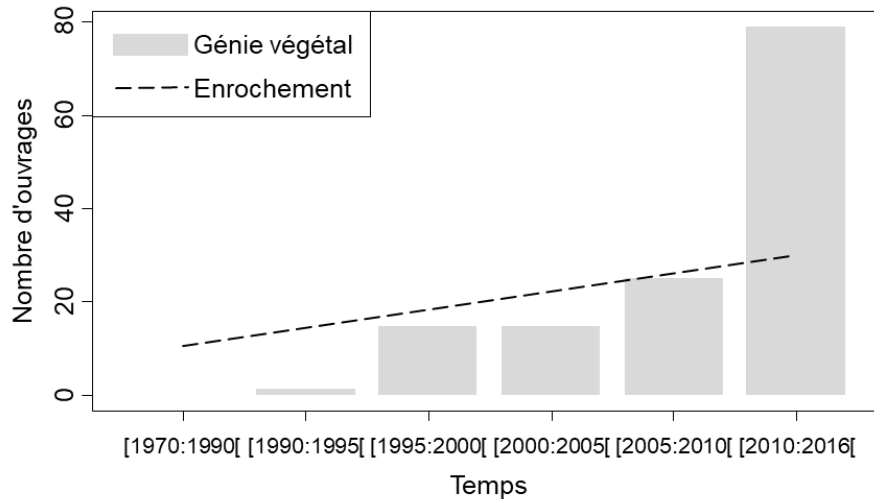
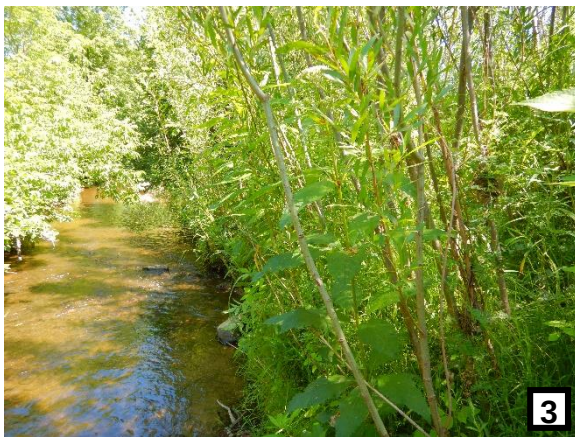


Figure 7. Nombre d'ouvrages de stabilisation recensés depuis les années 1970, répartis par intervalles de 5 ans. Pour donner un aperçu général de l'utilisation du génie végétal dans les ouvrages de stabilisation de berge avec le temps, les effectifs des trois types de génie végétal du Tableau 3 ont été regroupés, permettant des intervalles de temps plus petits que ceux du Tableau 3. La ligne pointillée représente le nombre d'ouvrages d'enrochements recensés selon leur âge et est indiquée à titre informatif. Elle n'est pas représentative de la réalité puisque l'effort de recensement n'était pas le même pour les enrochements que pour le génie végétal dans l'étude.

**Les quatre planches présentées aux pages suivantes illustrent les différents types de berges stabilisées telles que recensées dans le cadre du projet. Pour chaque photo, le cours d'eau, la localité, l'âge de l'ouvrage et le type de technique utilisée sont indiqués.**

**Planche I. Ouvrages de génie végétal pur inventoriés dans le cadre du projet**



| Photo | Cours d'eau  | Localité                    | Âge | Technique de pied de berge | Technique de milieu de berge | Technique de haut de berge |
|-------|--------------|-----------------------------|-----|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | Bécancour    | Thetford Mines              | 2   | Boudin d'hélophyte         | Matelas de branches          | Matelas de branches        |
| 2     | Quilliams    | Foster                      | 3   | Tressage                   | Fascine                      | Plants                     |
| 3     | Du Cap Rouge | Saint-Augustin-de-Desmaures | 5   | Couche de branches à rejet | Couche de branches à rejet   | Ensemencement              |
| 4     | Richelieu    | Saint-Ours                  | 6   | Tressage                   | Matelas de branches          | Matelas de branches        |
| 5     | Du Marais    | Sherbrooke                  | 6   | Fascines                   | Fascine                      | Plants                     |
| 6     | Richer       | Saint-Marc-sur-Richelieu    | 9   | Tressage                   | Fascine                      | Ensemencement              |

## Planche II. Ouvrages de génie végétal avec enrochement de pied de berge inventoriés dans le cadre du projet



| Photo | Cours d'eau    | Localité    | Âge | Technique de pied de berge | Technique de milieu de berge | Technique de haut de berge |
|-------|----------------|-------------|-----|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | L'Acadie       | Napierville | 2   | Enrochement                | Fascine                      | Plants                     |
| 2     | Yamaska        | Brigham     | 7   | Enrochement                | Couche de branches à rejet   | Ensemencement              |
| 3     | Key            | Brompton    | 9   | Enrochement                | Fascine                      | Couche de branches à rejet |
| 4     | Nicolet        | Asbestos    | 10  | Enrochement                | Couche de branches à rejet   | Ensemencement              |
| 5     | Saint-François | Odanak      | 14  | Enrochement                | Fascine                      | Couche de branches à rejet |
| 6     | Du Berger      | Québec      | 18  | Enrochement                | Fascine                      | Couche de branches à rejet |

### Planche III. Ouvrages de génie mixte inventoriés dans le cadre du projet



| Photo | Cours d'eau     | Localité      | Âge | Technique de pied de berge | Technique de milieu de berge | Technique de haut de berge |
|-------|-----------------|---------------|-----|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | Nicolet         | Victoriaville | 3   | Enrochement                | Couche de branches à rejet   | Ensemencement              |
| 2     | Sainte Anne     | Saint-Raymond | 4   | Enrochement                | Couche de branches à rejet   | Plants + Ensem.            |
| 3     | Du Berger       | Québec        | 5   | Enrochement                | Fascine                      | Fascine                    |
| 4     | Cap Rouge       | Québec        | 6   | Enrochement                | Fascine                      | Couche de branches à rejet |
| 5     | Jacques-Cartier | Shannon       | 10  | Enrochement                | Fascine                      | Couche de branches à rejet |
| 6     | Ratsoul         | Saint-Marcel  | 12  | Enrochement                | Fascine                      | Fascine                    |

## Planche IV. Ouvrages d'enrochement inventoriés dans le cadre du projet



| Photo | Cours d'eau | Localité                     | Âge | Technique de pied de berge | Technique de milieu de berge | Technique de haut de berge |
|-------|-------------|------------------------------|-----|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1     | Richelieu   | Beloeil                      | 3   | Enrochement                | Enrochement                  | Ensemencement              |
| 2     | L'Acadie    | Saint-Jean-sur-Richelieu     | 6   | Enrochement                | Enrochement                  | Enrochement                |
| 3     | Batiscan    | Sainte-Geneviève-de-Batiscan | 12  | Enrochement                | Enrochement                  | Enrochement                |
| 4     | Assomption  | L'Assomption                 | 17  | Enrochement                | Enrochement                  | Ensemencement              |
| 5     | Chicoutimi  | Chicoutimi                   | 21  | Enrochement                | Enrochement                  | Enrochement                |
| 6     | Yamaska     | Saint-Hyacinthe              | 29  | Enrochement                | Enrochement                  | Enrochement                |

## IV. Évaluation de la diversité végétale des ouvrages de stabilisation de berge (Étape 2, objectif 3)

### 1. Sélection des sites pour les inventaires floristiques

Une sélection des sites a été réalisée afin de restreindre les travaux d'inventaire de la végétation, car il n'était pas possible et pertinent d'inventorier les 226 ouvrages répertoriés. Un total de 51 ouvrages de génie végétal, 33 enrochements et 40 berges naturelles ont fait l'objet d'un inventaire floristique au cours de deux étés complets, en 2016 et 2017 (voir Tableau 4 pour les effectifs ; voir Figure 8 et 9 pour la répartition des sites dans l'aire d'étude). Les détails sur la répartition des sites d'études selon les cours d'eau et les régions administratives du Québec sont fournis à l'Annexe 1. Des détails sur le type de berge, l'âge, le cours d'eau, le calibre de roche et les coordonnées géographiques de chaque site sont présentés à l'Annexe 2.

Tableau 4. Nombre de sites échantillonnés selon le type de berge et l'âge de la stabilisation.

| Type de berge   | Détails                              | Effectif de départ | Nombre d'ouvrages inventoriés | Étendue d'âge des ouvrages |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Berge naturelle |                                      | NA                 | 40 (20 paires)                | NA                         |
| Génie végétal   | pur                                  | 17                 | 16                            | 1 à 20 ans                 |
|                 | avec enrochement de pied de berge    | 17                 | 10                            | 2 à 18 ans                 |
|                 | mixte                                | 96                 | 25                            | 3 à 20 ans                 |
| Enrochement     | Calibre de roche $\leq 400\text{mm}$ | NA                 | 8                             | 3 à 29 ans                 |
|                 | Calibre de roche $\geq 400\text{mm}$ | NA                 | 25                            | 3 à 29 ans                 |
| Total           |                                      | 220                | 124                           | 1 à 29 ans                 |

La sélection des sites à échantillonner s'est faite de façon à répartir les types de berges et les années de construction des ouvrages de façon homogène dans l'aire d'étude. Cela était nécessaire pour dresser un portrait représentatif de la réalité du Sud du Québec et pour pouvoir isoler adéquatement l'effet du type de berge et du temps sur la composition des communautés végétales. Les sites choisis étaient principalement localisés dans les Basses terres du Saint-Laurent, mais nous avons dû étendre l'aire d'étude pour inclure des sites se trouvant dans les contreforts des Appalaches ou du

Bouclier Canadien afin de balancer les effectifs entre les types de berges et les années de construction (Figure 8). Les sites d'étude sont localisés dans 10 des 17 régions administratives du Québec, soit le Bas-Saint-Laurent, le Saguenay, la Capitale Nationale, la Mauricie, l'Estrie, Chaudière-Appalaches, les Laurentides, la Montérégie et Centre-du-Québec (Annexe 1). Ils sont localisés sur 53 cours d'eau et se trouvent dans 23 bassins versants majeurs (Annexe 1).

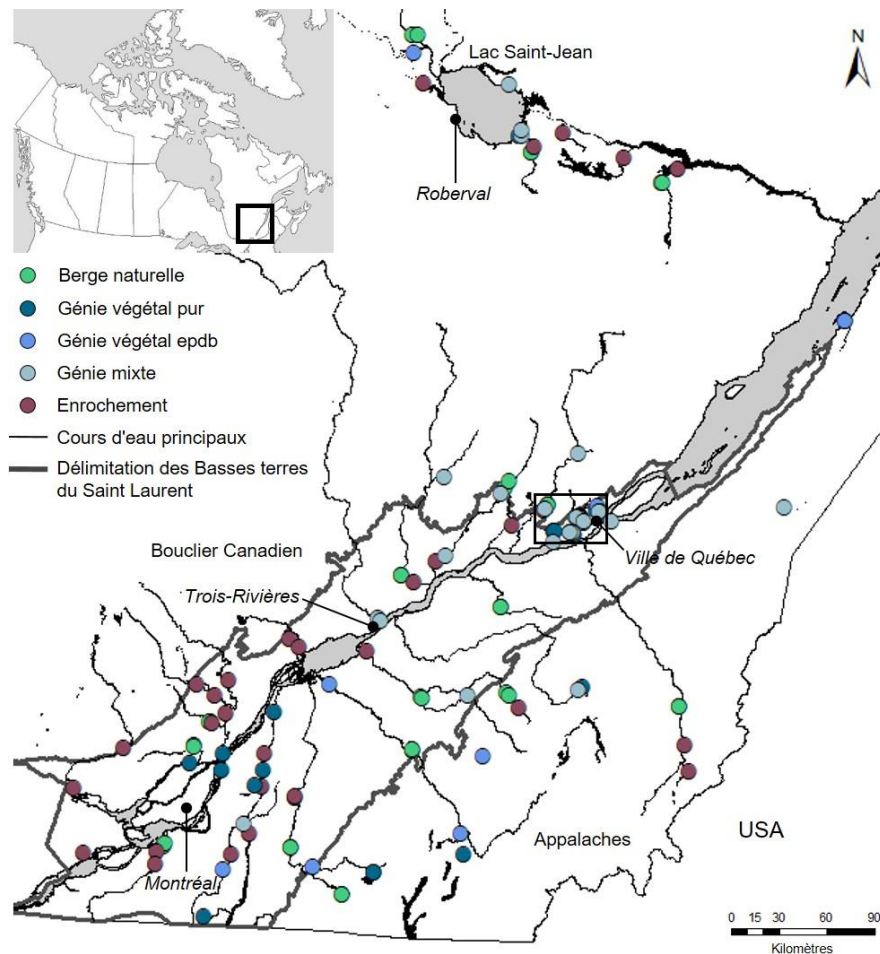


Figure 8. Sites d'étude classés par type, localisés dans les Basses terres du Saint-Laurent, dans les contreforts des Appalaches et du Bouclier Canadien, et dans la région Saguenay-Lac-Saint-Jean. Pour plus de détails concernant la répartition des sites par région administrative ou par cours d'eau et bassin versant, voir l'annexe 1. Génie végétal epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge. Se référer à la Figure 9 pour une vue rapprochée des sites dans la Ville de Québec.

La même classification de berge que celle décrite pour l'ensemble des sites recensés et présentée à la section 3 a été utilisée pour les sites sélectionnés pour l'échantillonnage de la végétation. En rappel, cette classification était basée sur la proportion de matériel végétal et minéral utilisé dans l'ouvrage de stabilisation de berge, qui est supposée influencer la composition des communautés végétales

riveraines (Figure 10). Ensemble, les cinq types de berges représentent un gradient de naturalité (ou de minéralisation) des ouvrages :

- Berge naturelle
- Génie végétal pur
- Génie végétal avec enrochement de pied de berge
- Génie mixte
- Enrochement

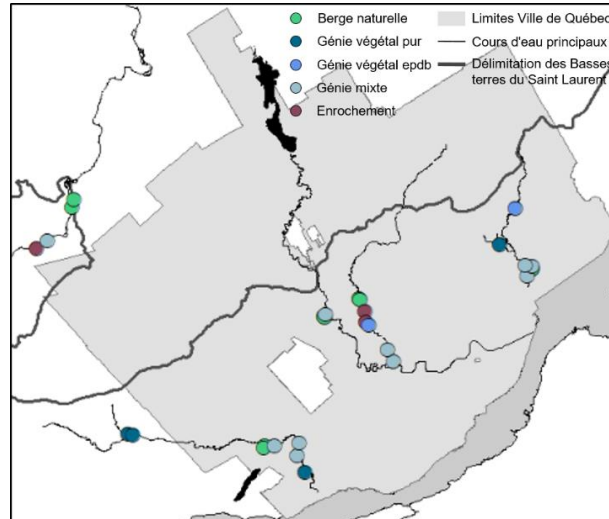


Figure 9. Aire et sites d'étude dans la Ville de Québec (zone grisée) et sur les cours d'eau avoisinants.

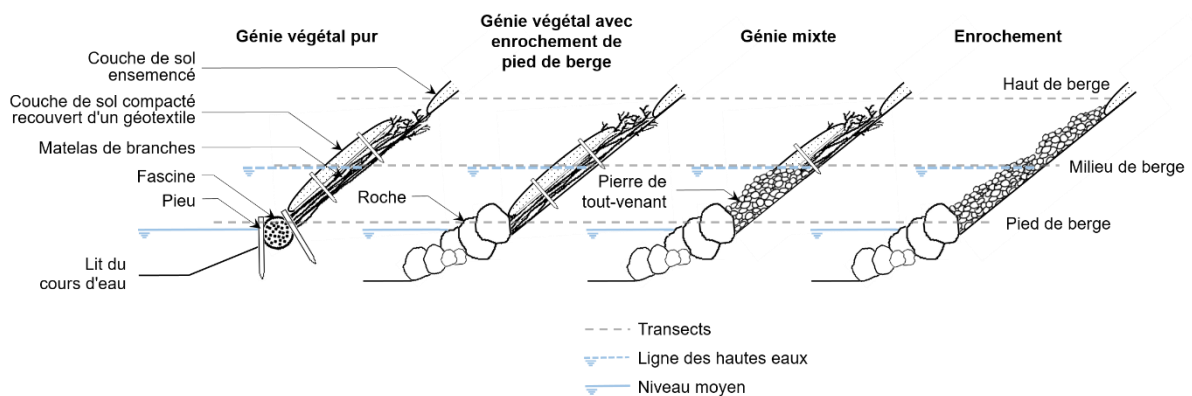


Figure 10. Schéma en coupe des quatre types de stabilisation de berge et des trois niveaux de berge où la végétation a été inventoriée à chaque site. Voir la section 2 de la partie IV (ci-bas) du rapport pour les détails méthodologiques de l'échantillonnage de la végétation.

## **2. Méthodologie d'échantillonnage de la végétation sur les sites d'étude**

Lors des deux saisons de terrain, la flore riveraine des berges naturelles et stabilisées a été inventoriée de mi-juin à la mi-septembre (2016) ou à la fin août (2017). Les types de berges et l'âge des berges stabilisées étaient répartis équitablement entre les deux étés de terrain.

Pour chacun des sites sélectionnés, nous avons utilisé la méthode de points de contacts pour échantillonner la végétation et obtenir un portrait représentatif des communautés végétales établies. Cette méthode consiste à identifier les espèces présentes à plusieurs points répartis le long de transects. À chacun des sites, trois transects horizontaux de 25 m ont été disposés parallèlement à la berge (Figure 7). Le protocole complet utilisé pour les inventaires botaniques est fourni en Annexe 3.

Pour les ouvrages de génie végétal pur, avec enrochement de pied de berge ou de génie mixte, nous avons disposé les transects ainsi :

1) au niveau du pied de berge, sous la ligne des hautes eaux (LHE), soit à l'endroit où il y a l'enrochement ou une technique de génie végétal (ex. boudin d'hélophytes, tressage, fascine de saules) ;

2) sur la technique de génie végétal instaurée en milieu de berge, à peu près au niveau de la LHE (cette technique est souvent linéaire comme une fascine de saule). Bien que les recommandations des guides internationaux indiquent d'implanter les ouvrages de génie végétal entre la LHE et le niveau moyen, les ouvrages de notre étude étaient en pratique souvent implantés à la LHE (voir plus haut).

3) sur la technique de génie végétal de haut de berge ou en haut de la LHE (cette technique est souvent surfacique et couvre une large distance dans la pente).

La ligne des hautes eaux a été repérée de façon assez précise grâce à la technique botanique simplifiée, basée sur la caractérisation de la flore, et des indices de crue biannuelle (Q2) tels que le dépôt de sédiments sur les structures (racines, sol, ponceaux, roches), la présence de traces d'embâcles sur les berges et de traces du passage des glaces sur les troncs et branches d'arbres et arbustes (MDDELCC, 2015).

Pour les ouvrages de génie civil (enrochement) ainsi que pour les berges naturelles, les mêmes hauteurs de berge ont été utilisées pour disposer les transects.

Un total de 126 points de contact par transect (un point au 20 cm) a été échantillonné. Ces points étaient équidistants et la présence de toutes les espèces de plantes vasculaires touchant une tige infinie (2 cm de diamètre) a été notée. La structure de végétation a également été considérée en notant le couvert horizontal des arbres, arbustes et herbacées. La structure physique ou biologique du substrat a été caractérisée selon en plusieurs catégories : sol nu, roche, sable, mousse, racine, litière, branches mortes et matériau de stabilisation (e.g. pieux, corde, géotextile). Les copies des feuilles de terrain utilisées pour prendre en note les informations générales, les variables environnementales et la végétation sont fournies en Annexes 4 et 5.

### **3. Portrait des espèces utilisées dans le génie végétal**

Les espèces ligneuses les plus fréquemment recensées sur les 51 ouvrages échantillonnés étaient le cornouiller stolonifère (*Cornus sericea*), le saule à tête laineuse (*Salix eriocephala*), le saule de l'intérieur (*Salix interior*) et le saule discolor (*Salix discolor*; Tableau 5). Ces espèces sont toutes indigènes et d'après l'ensemble de nos relevés, elles sont très fréquentes sur les berges naturelles (Voir tableau 6 pour la fréquence des saules sur les berges naturelles). Il est à noter que les quatre espèces se multiplient très bien par bouturage (multiplication végétative d'individus) et qu'elles peuvent être utilisées comme éléments de structure dans les fascines, les couches et matelas de branches. Le cornouiller stolonifère et le saule de l'intérieur disposent en outre de tiges souterraines (rhizomes) et racines traçantes qui leur confèrent d'excellentes capacités de propagation latérale (Landhäusser et Lieffers, 1997; Mosseler et Major, 2014). Cette dernière propriété est très utile pour un bon ancrage des ouvrages, pour la recolonisation d'une zone où la végétation ne s'est pas bien établie ou pour la résilience de l'ouvrage après perturbation. D'autres saules sont également régulièrement utilisés pour la construction d'ouvrages de génie végétal (voir Tableau 5), et on aurait avantage à diversifier les essences sur les ouvrages (Poulin et al. 2019). La diversification présente plusieurs avantages, notamment celui de multiplier les micro-habitats offerts aux espèces animales et végétales et d'améliorer la perception qu'ont les gens des aménagements en général (Cottet et al., 2013), quoique ce dernier point reste à tester pour le cas particulier des ouvrages de génie

végétal. De plus, l'emploi de différentes espèces ligneuses et herbacées dans l'ouvrage consolide plus efficacement les couches de sol et augmente la résistance de l'ouvrage. En effet les différentes espèces n'ont pas nécessairement la même structure racinaire et occupation de volume de sol, ni les mêmes réponses aux perturbations et aux stress (arrachement, sécheresse, anoxie), elles peuvent ainsi se compléter dans leur rôle de stabilisation. Enfin, l'utilisation d'un cortège d'espèces plus diversifié permet d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage, en lui donnant un aspect plus naturel grâce aux différentes strates arbustives. Cela permet d'éviter l'effet 'mur' souvent provoqué par un ouvrage dense en saules.

Tableau 5. Liste des principales espèces utilisées pour la construction des ouvrages de génie végétal et leur fréquence. Les espèces ligneuses sont utilisées dans les techniques de génie végétal sous forme de boutures ou de plants (B) ou sous forme de plants uniquement (P). Les espèces de graminées sont semées sur le haut de berge aménagé. Les fréquences correspondent au nombre de sites de génie végétal où l'espèce était présente, sur les 51 ouvrages de génie végétal inventoriés.

| Espèces ligneuses              |                                      | Espèces graminées           |                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Nom des espèces                | Fréquence<br>(N <sub>tot</sub> = 51) | Nom des espèces             | Fréquence<br>(N <sub>tot</sub> = 51) |
| <i>Cornus sericea</i>          | 40 (B)                               | <i>Festuca rubra</i>        | 32                                   |
| <i>Salix eriocephala</i>       | 38 (B)                               | <i>Agrostis stolonifera</i> | 30                                   |
| <i>Salix interior</i>          | 25 (B)                               | <i>Poa pratensis</i>        | 21                                   |
| <i>Alnus incana</i>            | 17 (P)                               | <i>Lolium perenne</i>       | 11                                   |
| <i>Salix discolor</i>          | 17 (B)                               |                             |                                      |
| <i>Spiraea alba</i>            | 10 (P)                               |                             |                                      |
| <i>Salix bebbiana</i>          | 7 (B)                                |                             |                                      |
| <i>Physocarpus opulifolius</i> | 7 (P)                                |                             |                                      |
| <i>Diervilla lonicera</i>      | 6 (P)                                |                             |                                      |
| <i>Viburnum opulus</i>         | 6 (P)                                |                             |                                      |
| <i>Salix pellita</i>           | 5 (B)                                |                             |                                      |
| <i>Symphoricarpos albus</i>    | 2 (P)                                |                             |                                      |

Les relevés botaniques réalisés dans des berges naturelles réparties partout dans les Basses terres du Saint-Laurent nous ont permis d'avoir une meilleure vision de la présence et de l'abondance des saules arbustifs naturellement établis en forêt riveraine. Le tableau 6 présente les dix espèces de saules arbustifs recensés dans les 40 berges naturelles inventoriées dans ce projet. Il ressort de ce tableau que l'espèce la plus couramment utilisée en génie végétal, *Salix eriocephala*, est également l'espèce la plus fréquente dans les berges naturelles, et qu'elle couvre une grande superficie lorsqu'elle est présente sur les berges (colonne 'Abond.'). En pied et milieu de berge, *Salix interior* est lui aussi couramment utilisé en génie végétal, notamment pour sa haute tolérance à l'anoxie du sol et aux forces d'arrachement. Ces conditions sont retrouvées principalement au niveau du pied de berge, et c'est à ce niveau que l'espèce est la plus fréquente en berge naturelle (7 sites sur 40). Cette espèce a un taux de recouvrement moins important que *S. eriocephala* puisqu'il présente une abondance moyenne de 7 ou 8% lorsqu'il est présent sur les berges.

D'autres constats portant sur l'ajout d'espèces de saules dans les techniques de génie végétal et leur positionnement sur la berge peuvent être tirés du tableau 6 :

- *Salix pellita* et *S. petiolaris* pourraient être des espèces appropriées pour un usage en génie végétal. Elles sont moins présentes que *S. eriocephala* et *S. interior* mais pourraient remplacer ce dernier sur le pied et milieu de berge pour diversifier le cortège végétal implanté. *S. petiolaris* est de surcroît fréquemment rencontré dans les milieux humides du Sud du Québec. *S. bebbiana* et *S. discolor*, déjà utilisées en génie végétal mais de façon moins fréquente que *S. eriocephala* et *S. interior*, pourraient être utilisées plus fréquemment puisque ces deux espèces sont naturellement abondantes sur les berges.
- Les préférences écologiques des espèces sont visibles dans le tableau, même si cela repose sur un faible nombre d'échantillons. Ainsi, certaines espèces sont mieux adaptées aux conditions présentes en pied de berge, comme on le sait pour *Salix interior* et comme cela semble être aussi le cas pour *S. pellita* et *S. petiolaris*. *S. eriocephala*, *S. bebbiana* et *S. discolor* paraissent tolérer un grand gradient écologique puisqu'il sont présents et relativement abondants sur les trois niveaux de berge.

Tableau 6. Liste des espèces de saules présentes dans les inventaires botaniques des berges naturelles (n = 40). Les fréquences (nombre de sites; Freq.) et les abondances (pourcentage de recouvrement moyen dans les sites où l'espèce est présente; Abond.) sont fournies pour chaque niveau de berge. Les espèces avec un astérisque (\*) sont des espèces exotiques selon VASCAN Canadensis. Les valeurs de fréquence supérieures à 10% des sites ou d'abondance moyenne supérieure à 10% sont indiquées en gras.

| Espèce                   | Pied de berge |            | Milieu de berge |            | Haut de berge |            |
|--------------------------|---------------|------------|-----------------|------------|---------------|------------|
|                          | Fréq.         | Abond.     | Fréq.           | Abond.     | Fréq.         | Abond.     |
| <i>Salix bebbiana</i>    | <b>7</b>      | <b>10%</b> | 3               | 7%         | <b>7</b>      | <b>5%</b>  |
| <i>Salix discolor</i>    | <b>6</b>      | <b>16%</b> | 3               | 3%         | <b>6</b>      | <b>4%</b>  |
| <i>Salix eriocephala</i> | <b>18</b>     | <b>16%</b> | <b>16</b>       | <b>23%</b> | <b>7</b>      | <b>7%</b>  |
| <i>Salix interior</i>    | <b>7</b>      | <b>7%</b>  | <b>4</b>        | <b>8%</b>  | 0             | 0%         |
| <i>Salix lucida</i>      | 0             | 0%         | 0               | 0%         | <b>1</b>      | <b>10%</b> |
| <i>Salix pellita</i>     | <b>4</b>      | <b>6%</b>  | <b>2</b>        | <b>18%</b> | 1             | 6%         |
| <i>Salix pentandra</i> * | 3             | 9%         | 1               | 2%         | 2             | 3%         |
| <i>Salix petiolaris</i>  | 2             | 2%         | 0               | 0%         | 0             | 0%         |
| <i>Salix sericea</i>     | 1             | 3%         | 1               | 6%         | 1             | 4%         |
| <i>Salix triandra</i> *  | 0             | 0%         | <b>1</b>        | <b>10%</b> | 1             | 6%         |

Il est important de noter que deux conditions sont limitantes à l'emploi de ces espèces supplémentaires dans les techniques de génie végétal :

- la capacité de reproduction végétative, primordiale pour les techniques de génie végétal faisant appel à des boutures de saule. Cette capacité est inconnue pour certaines espèces mentionnées ci-dessus, notamment pour *S. bebbiana*, *S. lucida*, *S. pellita*, *S. petiolaris* et *S. sericea*. Toutefois, il est fort probable que *S. pellita* présente des capacités de bouturage identiques à celles de *S. interior* car il partage avec cette espèce une morphologie et des préférences écologiques semblables.

- la disponibilité des ressources en boutures pour les ouvrages de génie végétal. Certaines espèces ne sont pas disponibles en grande nombre en pépinière, mais leur mise en place sur de premiers ouvrages permettrait de disposer de ressources plus importantes pour la suite.
- la hauteur atteinte par les espèces de saules utilisées. Les espèces de saules plus petites sont en général compétitives sur des milieux subissant de fortes contraintes (comme en pied de berge). La hauteur peut aussi ultimement jouer sur l'encombrement du lit (et du paysage).

Les ouvrages étaient très fréquemment ensemencés en haut de berge avec des mélanges grainiers d'espèces herbacées dont la composition était souvent simple. L'ensemencement de berge est une pratique plus courante dans les sites stabilisés par enrochements que dans les ouvrages de génie végétal. On constate une utilisation fréquente du mélange typique décrit dans le cahier des charges et devis généraux pour les infrastructures de transports du MTQ. Ce mélange est composé de quatre espèces de graminées : fétuque rouge (*Festuca rubra*), pâturin des prés (*Poa pratensis*), agrostide blanche (*Agrostis stolonifera*) et ray-grass anglais (*Lolium perenne*). Ces espèces présentent un système racinaire fasciculé, dense et traçant qui assure des fonctions de stabilisation du sol, ce qui leur confère une grande popularité pour composer les mélanges grainiers utilisés en haut de berge dans les ouvrages de stabilisation de berge. Lors de nos inventaires, ce mélange de quatre espèces a été retrouvé dans la quasi-totalité des sites avec enrochements (haut de berge principalement) et dans quelques ouvrages de génie végétal. Cependant il est difficile de donner la proportion exacte d'ouvrages de génie végétal ensemencé car cette donnée n'est pas systématiquement présentée dans les plans et devis, et il est difficile d'estimer sur le terrain la présence et la composition d'un ensemencement *a posteriori*. Dans la pratique, les retours d'expérience sur la réussite et le devenir des ensemencements réalisés sur les ouvrages de génie végétal, et leur effet sur la recolonisation spontanée de la flore riveraine, sont presque inexistants. Delage et al. (2019) ont montré que certaines espèces, dont *P. pratensis* et certains *Lolium* spp., présentaient des taux d'établissement très faibles en revégétalisation d'ouvrages et que l'ensemencement ne semblait pas freiner la colonisation de l'ouvrage par la flore spontanée. Il est important de noter qu'il est maintenant recommandé d'utiliser des mélanges grainiers d'au moins 10 à 15 espèces, pour favoriser la biodiversité et les

fonctions associées (fixation d'azote, utilité pour les espèces mellifères) et garantir la survie à minima de quelques espèces en cas de stress intense (Adam et al., 2008). Selon nos inventaires botaniques dans les ouvrages, seule la fétuque rouge (*Festuca rubra*) persistait sur l'ouvrage et couvrait toute la surface ensemencée après quelques années, alors que le ray-grass anglais (*Lolium perenne*) disparaissait parfois complètement après 2 ans. La figure 11 montre la fréquence des espèces du mélange grainier à quatre espèces décrit ci-haut, pour le niveau du haut de berge des enrochements. La propriété couvrante de la fétuque rouge est une propriété désirable pour empêcher la colonisation par des espèces exotiques envahissantes, mais semble également réduire la diversité d'espèces végétales en haut de berge. De plus, ce mélange typique utilisé ne comprend que des poacées et aucune fabacée comme il est pourtant souvent recommandé, notamment en vue de l'enrichissement du sol en azote (Bonin et al., 2013). Il est à noter que d'autres mélanges incluant une plus grande diversité d'espèces, dont des espèces indigènes, sont disponibles dans le commerce et pourraient être plus utilisés.

#### **4. Effet du type de berge sur la végétation riveraine**

Pour l'analyse de la richesse en espèces, le nombre d'espèces de chaque site a été mis en relation avec le type de berge selon la classification décrite dans les sections précédentes (berge naturelle, génie végétal pur, génie végétal avec enrochement de pied de berge, génie mixte et enrochement). La richesse en espèces totales a été complétée avec deux groupes écologiques d'intérêt pour la gestion des milieux riverains : les espèces indigènes au Québec et les espèces hydrochores (se dispersant par l'eau). La colonisation spontanée d'espèces indigènes est souvent prise en compte dans le suivi de projets d'aménagement et de restauration de milieux dégradés, où le retour d'une certaine naturalité de l'habitat est attendu. Les espèces hydrochores sont fortement associées aux milieux riverains et témoignent d'un retour des processus de dispersion à l'œuvre dans les milieux riverains naturels (Bourgeois et al. 2016). Ainsi, il est important de déterminer si les ouvrages de génie végétal permettent le retour d'une flore "désirable" sur les berges aménagées.

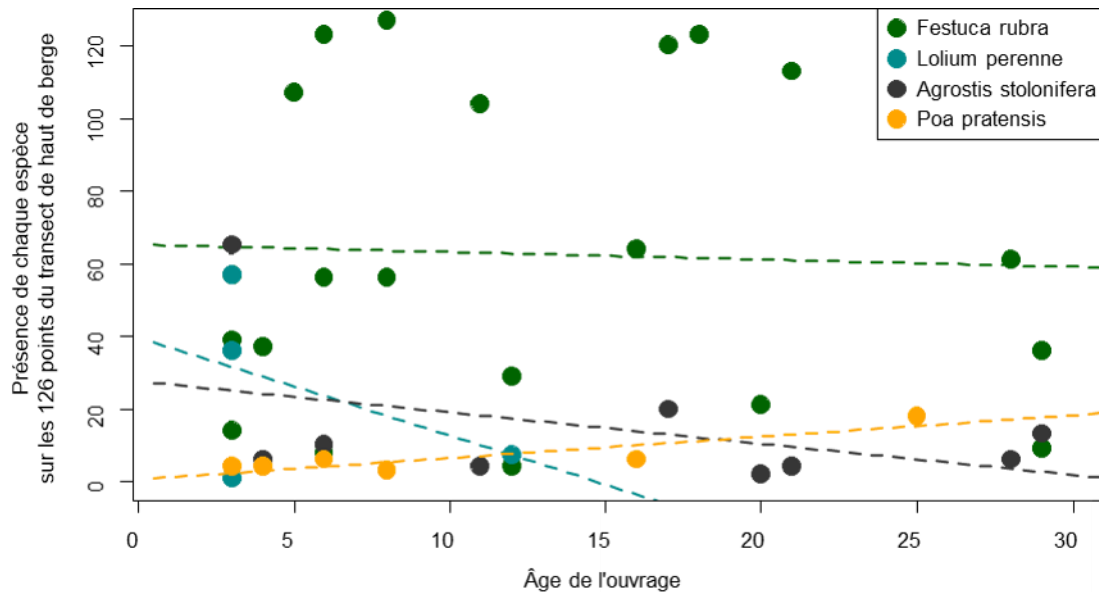


Figure 51. Fréquence pour chacune des quatre espèces du mélange grainier utilisé par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) sur le haut de berge des 33 enrochements échantillonnés, en fonction de l'âge de l'ouvrage. Ici, la fréquence correspond au nombre de points de contact où l'espèce est retrouvée sur 126 points de contact au total par transect (ici, seulement le transect de haut de berge a été considéré). Les espèces du mélange grainier MTQ sont celles décrites dans le cahier des charges et devis généraux pour les infrastructures de transports du MTQ (Gouvernement du Québec, 2017). Chaque point représente un enrochement. Ce graphique représente uniquement les enrochements, puisqu'ils sont directement comparables entre eux. Les ouvrages de génie végétal ne sont pas systématiquement ensemencés, et le haut de berge peut être dominé par les saules.

En plus des groupes d'espèces présentés ci-dessus, un estimé de la diversité beta a été calculé : l'indice LCBD (*Local Contribution to Beta Diversity*). Cet indice permet de quantifier la variation dans la composition des communautés végétales entre les sites. En d'autres termes, c'est une mesure du caractère unique d'une communauté végétale par rapport aux autres communautés de la région d'étude. Cette mesure permet d'approcher la diversité des berges sous un autre angle et de décrire plus finement les patrons de diversité. Si l'indice LCBD d'un groupe de sites est plus faible qu'un autre, cela signifie que les communautés de ce groupe sont plus homogènes entre elles, en termes de composition (les mêmes espèces sont retrouvées dans un grand nombre de sites de ce groupe).

L'effet potentiel de la position du transect sur la diversité végétale a été pris en compte, car l'exposition à la perturbation par les crues et la disponibilité en eau sont des facteurs déterminants pour les communautés végétales riveraines et sont fortement modulées par la hauteur sur la berge. Pour cela, les richesses en espèces totales,

hydrochores et indigènes, ainsi que les indices LCBP sont détaillés pour les trois niveaux de berges, et sont présentées ci-dessous (Figure 12).

Au total, 562 taxons (542 espèces et 20 taxons identifiés au genre) ont été recensés dans les 124 sites échantillonnés au cours des étés 2016 et 2017. La liste des espèces (et taxons) est détaillée par strate et forme de vie à l'annexe 6. Parmi ces 562 taxons, les berges naturelles (n = 40 sites) hébergeaient le plus grand nombre de taxons (433 taxons, dont 80 exclusivement retrouvées dans les berges naturelles et non dans les autres types de berge). Les ouvrages de génie végétal pur (n = 16), avec enrochement de pied de berge (n = 10) et mixte (n = 25) en comptaient respectivement 265 (16 exclusives), 236 (11 exclusives) et 319 (31 exclusives). Les enrochements (n = 33) incluaient 337 espèces au total, dont 39 exclusives.

Lorsqu'on examine les résultats de la richesse en espèces par type de berge pour toutes les espèces (Figure 12, partie gauche du graphique), on observe que les berges naturelles sont plus diversifiées que les autres types de berges. La richesse en espèces semblait décroître le long du gradient naturel-artificiel des types de stabilisation de berge. Ce patron de diversité décroissante était visible à tous les niveaux de berge (pied, milieu et haut de berge). La richesse totale des sites de génie végétal pur et avec enrochement de pied de berge étaient systématiquement similaire à celle des berges naturelles. Aussi, parmi les berges stabilisées, celles présentant un ouvrage de génie végétal pur étaient plus diversifiées que les enrochements, même si cette différence n'était pas significative en pied de berge dû à une très grande variabilité de la richesse entre les sites enrochés à ce niveau de berge. En ce qui concerne la richesse en espèces indigènes, la même tendance a été trouvée, mais uniquement au niveau du pied de berge. Les richesses en espèces indigènes aux niveaux du milieu et haut de berge étaient comparables entre les trois types de génie végétal (pur, avec enrochement de pied de berge et mixte) et étaient similaires à celles des enrochements. Finalement, tous les types de berge présentaient sensiblement la même richesse en espèces hydrochores, à part sur le milieu de berge où les enrochements présentaient une richesse plus faible.

Les indices de diversité beta variaient entre les types de berges, mais différemment selon la position dans la berge (Figure 12, partie droite de la figure). La diversité beta était plus élevée pour les berges naturelles dans le haut de berge et pour les

enrochements en pied de berge. Entre les trois types d'ouvrages de génie végétal, les patrons étaient très variables, quoiqu'en général, la diversité beta de ces sites était plus faible que dans les sites naturels ou enrochés. Les enrochements présentent une richesse en espèce faible mais une diversité beta (indices LCBD) élevée. Ce dernier résultat signifie que la composition en espèces à chaque site est unique en terme de composition spécifique. Il peut être expliqué par une colonisation stochastique des enrochements par les espèces végétales, c'est-à-dire que la colonisation d'une espèce sur un enrochement est imprévisible, et dépend de facteurs non contrôlés dans cette étude.

En résumé, la richesse en espèces était plus élevée dans les berges naturelles que dans les enrochements, avec des valeurs intermédiaires dans les ouvrages de génie végétal. Bien que les ouvrages de génie végétal abritaient une richesse en espèces indigènes plus faible que celle des berges naturelles, elle restait supérieure à celle des enrochements, mais cette différence variait selon le niveau de berge. Les indices LCBD des ouvrages de génie végétal, et particulièrement le génie végétal pur et avec enrochement de pied de berge, étaient toujours plus faibles que ceux des berges naturelles et des enrochements. Ainsi, les ouvrages de génie végétal induisaient le retour d'une flore diversifiée et relativement riche en espèces indigènes et hydrochores par rapport aux enrochements, mais semblaient plus homogènes en termes de composition des communautés végétales.

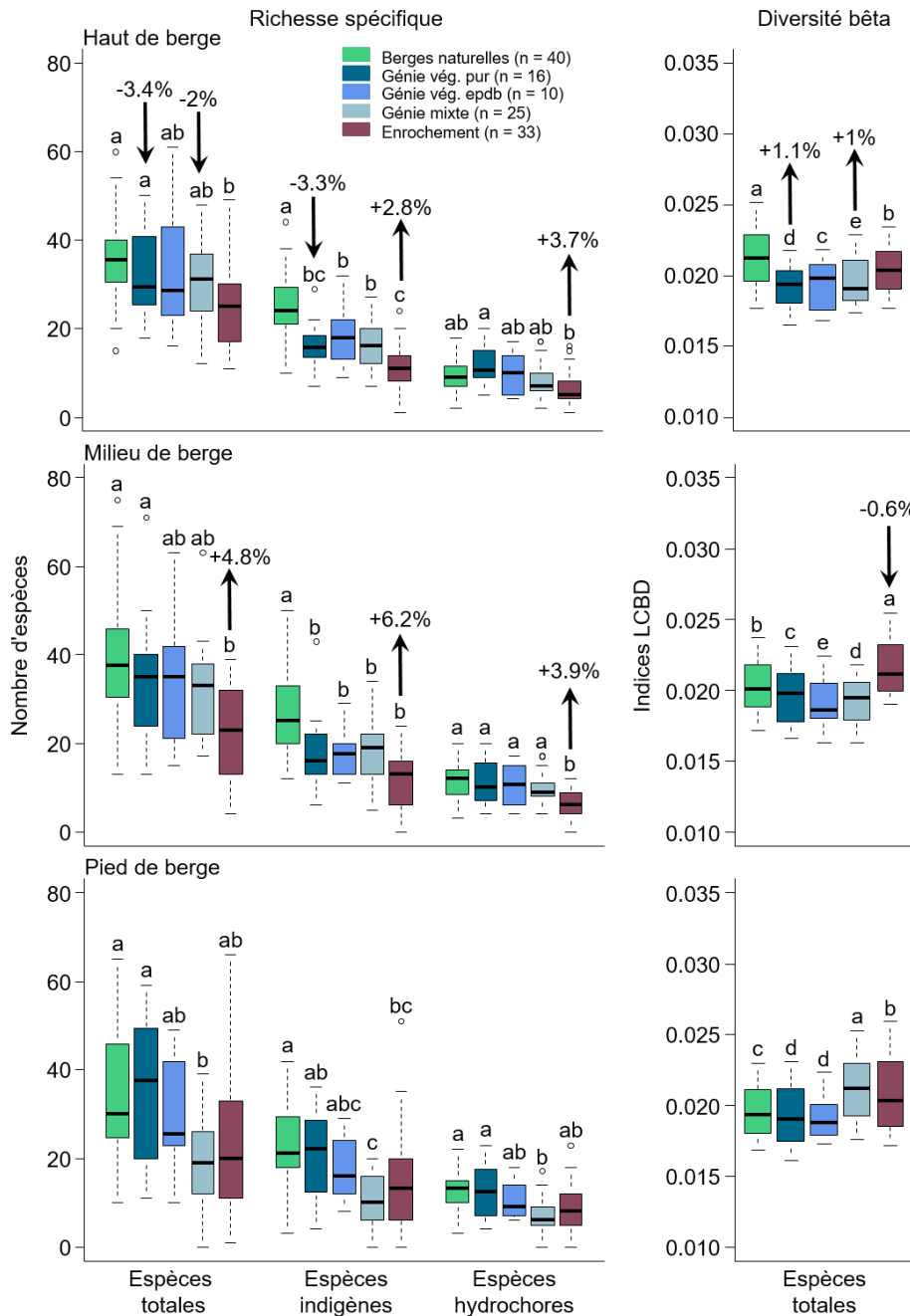


Figure 12. Richesses en espèces totales, indigènes et hydrochores et des indices LCBD parmi les cinq types de berge et les trois niveaux de berge. Les lettres au-dessus des boîtes représentent les groupes statistiquement homogènes selon le test post-hoc HSD de Tukey (deux lettres différentes signifient une différence significative à  $p < 0.05$ ). Pour chaque boîte, une flèche vers le haut ou vers le bas représente une augmentation ou une diminution significative de la richesse ou de l'indice LCBD avec le temps, avec le pourcentage de variation annuel indiqué en haut de la flèche. L'effet du temps a été testé avec un modèle linéaire prenant en compte l'interaction entre le temps et le type de berge. Une absence de flèche signifie une absence de variation temporelle de la richesse ou de l'indice LCBD. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

## **5. Dynamique temporelle de la végétation dans les ouvrages de stabilisation de berge**

### **5.1. Richesse spécifique et groupes écologiques**

La principale variable expliquant les différences de richesse spécifique dans les berges aménagées était le type d'ouvrage implanté, comme le montrent les résultats de la section précédente. La dynamique temporelle des communautés végétales est un autre aspect à prendre en compte pour décrire l'effet du type d'ouvrage. Nous avons trouvé que la richesse et la composition des communautés étudiées variaient dans le temps, avec une réponse différente selon le type d'aménagement. Certains groupes écologiques d'intérêt pour les opérations d'aménagement de berge ont été étudiés pour décrire de façon plus précise l'effet du temps sur la flore riveraine des berges aménagées.

Des changements de richesse en espèces totales, indigènes et hydrochores ont été observés au niveau du haut de berge uniquement, pour les ouvrages de génie végétal (Figure 12, flèches). La richesse floristique totale et indigène diminuait dans les ouvrages de génie végétal purs et mixtes. Au contraire, les indices LCBD augmentaient avec le temps sur ces ouvrages. La diversité végétale sur les ouvrages de génie végétal avec enrochement de pied de berge ne semblait pas être influencée par le temps après la construction d'un ouvrage.

Cette perte de richesse sur les ouvrages de génie végétal peut être l'effet de la succession végétale. Dans les premières années après la construction d'un ouvrage de génie végétal, la présence d'habitats avec un faible couvert de végétation permet à des espèces non spécifiques de milieu riverain de s'implanter dans l'ouvrage. Avec le temps et l'intensification des filtres abiotiques (stress, perturbations par les crues) et biotiques (compétition pour l'espace et les ressources), le nombre d'espèces diminuent, en faveur d'espèces pouvant être mieux adaptées aux conditions du milieu (espèces d'ombre par exemple).

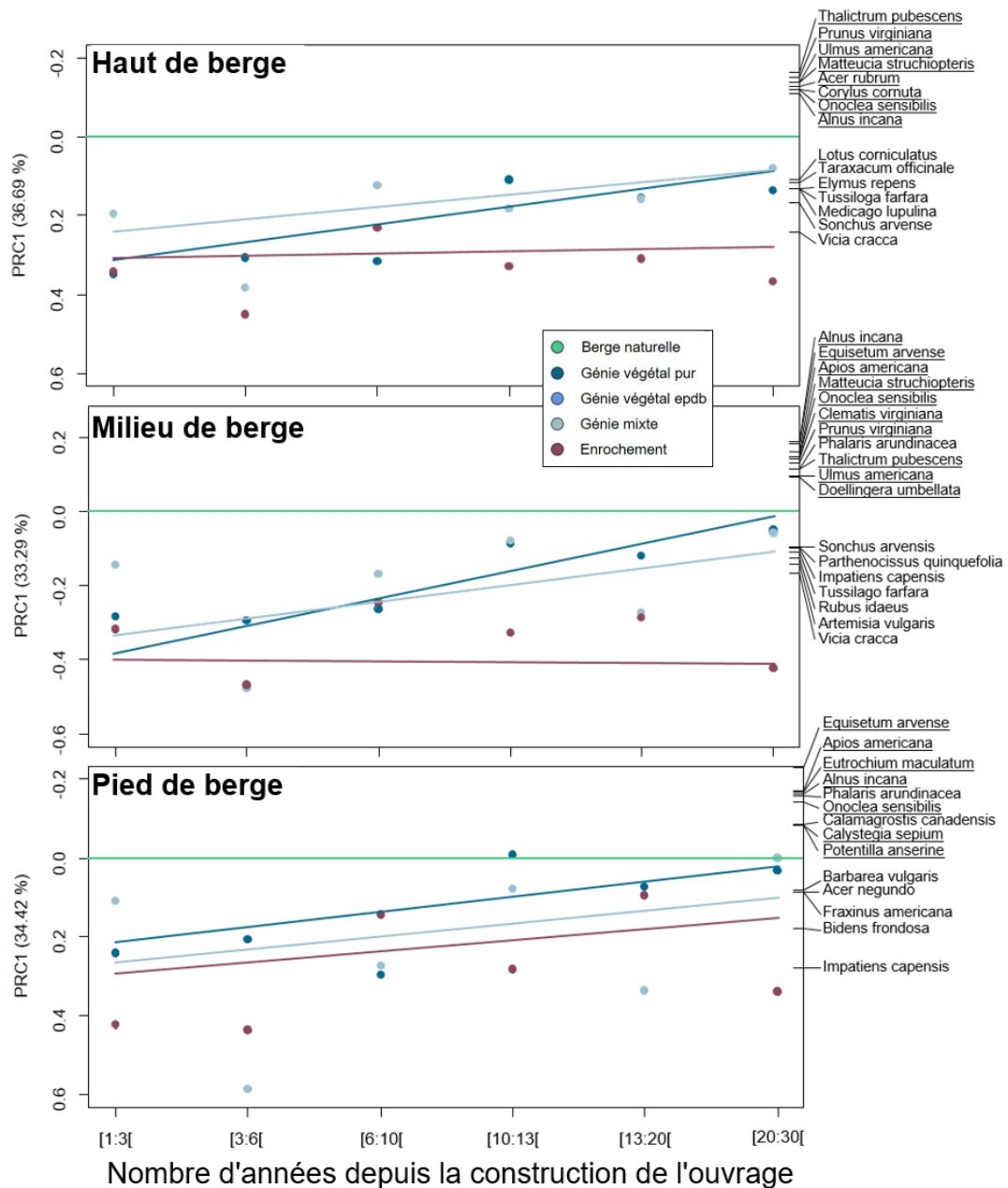


Figure 13. Dynamique temporelle des communautés végétales depuis la stabilisation de berges selon trois types de techniques, à trois hauteurs dans le profil de talus (haut, milieu et pied de berge). Les courbes sont celles issues d'une analyse de réponse principale (principal response curves; PRC) où la composition des berges naturelles sert de point de référence (ligne verte à 0). Le nombre d'années depuis les travaux de stabilisation a été classé par intervalles de temps de façon à former des groupes homogènes. Seules les espèces ayant un score de plus de 0.25 le long de l'axe 1 de la PRC sont présentées. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

La richesse spécifique sur les enrochements était elle aussi variable avec le temps sur le milieu de berge pour tous les groupes d'espèces étudiés, et sur le haut de berge pour les espèces indigènes et hydrochores. L'effet du temps sur les estimés de

diversité étaient inversés par rapport à ceux trouvés dans les ouvrages de génie végétal. En effet, sur les enrochements, la richesse spécifique augmentait avec le temps, alors que les indices LCBD diminuaient. Le sol nu persistant longtemps après l'implantation d'un enrochement explique que la richesse spécifique soit très faible au cours des premières années, et augmente progressivement. En effet, la végétation est aux premiers stades de la succession végétale primaire. Avec le colmatage des interstices par le passage successif des crues et le dépôt de sédiments, les espèces peuvent coloniser progressivement l'ouvrage, entraînant une augmentation de la richesse si les espèces qui colonisent le milieu sont variées. La baisse de diversité beta observée dans les enrochements en milieu de berge est très faible. Composition des communautés végétales riveraines

Pour analyser l'influence du temps sur la composition des communautés de berges aménagées, une analyse de Courbes de Réponses Principales a été utilisée. Cette analyse permet de comparer la variation de composition entre les berges naturelles et les berges stabilisées à chaque pas de temps.

La succession de la végétation différait selon le type d'ouvrages : une grande variation temporelle était mise en évidence dans les ouvrages de génie végétal, aux trois niveaux de berges, alors que la composition de la végétation des enrochements ne semblait pas varier au cours du temps, excepté pour le pied de berge (Figure 13). La variation temporelle de la composition des communautés de berges stabilisées avec du génie végétal était associé au retour d'une flore typique de forêts riveraines naturelles. Un changement de la composition de la végétation s'opérait depuis les jeunes sites dominés par des espèces exotiques et souvent non inféodées aux milieux humides vers les sites plus âgés dominés par des espèces indigènes et typiques de milieux humides et riverains.

Selon cette analyse temporelle, la végétation colonisant les enrochements ne montrait pas de grande variabilité temporelle. On pourrait penser que sur les enrochements, la vitesse à laquelle s'opère la végétalisation des ouvrages et la succession végétale vers des stades ligneux est beaucoup plus lente. Ainsi, la fenêtre temporelle de notre étude serait trop courte pour mettre en évidence ces changements de composition. De plus, on a observé une colonisation spontanée stochastique sur les enrochements (voir section ci-haut détaillant les résultats sur la diversité beta selon le type de berge,

Figure 12). On peut voir sur la figure 15 que la composition et le recouvrement de la végétation des enrochements sont très variables d'un site à l'autre, et que le couvert de la végétation ne semble pas augmenter avec le temps. La végétation des enrochements peut être expliquée par d'autres processus locaux, comme la vitesse à laquelle se comblient les interstices des roches ou l'exposition Nord-Sud de la berge.

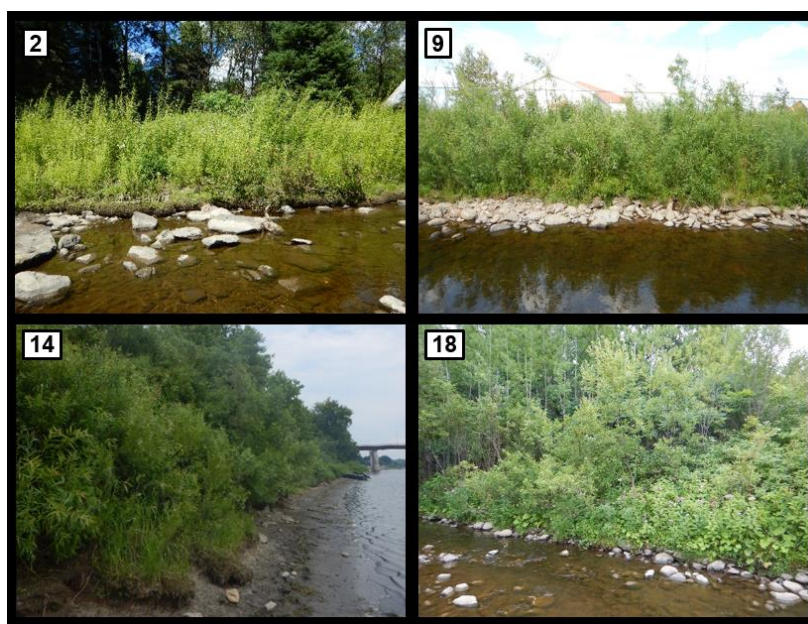


Figure 14. Changement de physionomie de la végétation après l'implantation d'un matelas de branches ou de couches de branches à rejet pour stabiliser la berge. (Âge des sites en années dans les encadrés.) Photographies : Maxime Tisserant.

Cette analyse nous a permis de montrer que sur les berges de génie végétal, la végétation suivait une succession vers des stades plus matures (Figure 14). Ainsi, le génie végétal permet d'initier une succession végétale et semble diriger la berge stabilisée vers un état post-pionnier de forêt riveraine. Au contraire, la végétation des enrochements semblait soumise à une dynamique temporelle beaucoup plus lente et moins prévisible. La physionomie de la végétation sur les enrochements change très lentement et de manière parfois aléatoire et imprévisible (Figure 15). Il est également à noter que les mêmes constats concernant la dynamique temporelle sur les ouvrages de stabilisation ont été retrouvés dans une étude menée en Europe (Tisserant et al., 2020).

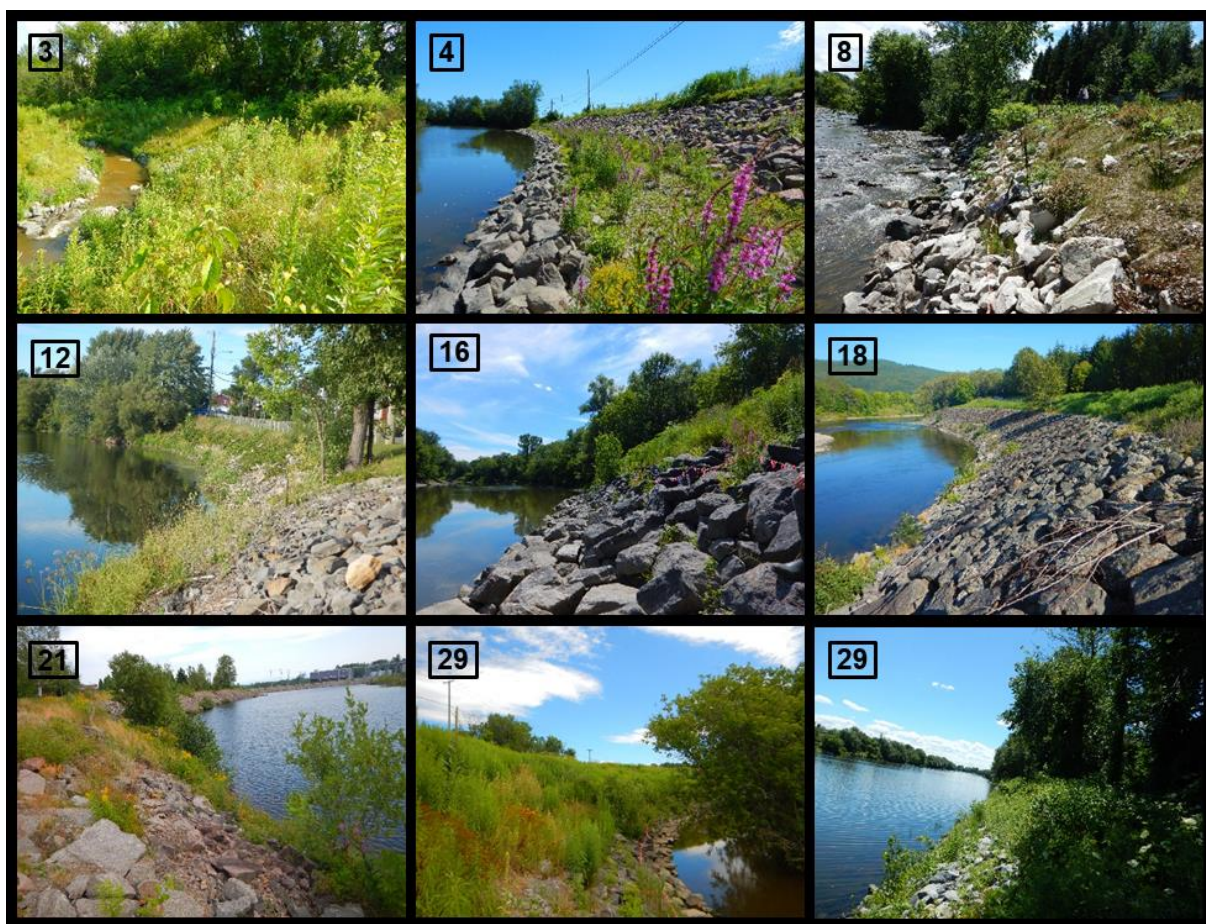


Figure 65. Variabilité de la physionomie des ouvrages d'enrochement de berge selon leur âge en années (précisé dans l'encadré pour chaque sous-figure). Le degré de végétalisation (intentionnelle ou spontanée) dans l'ouvrage semble indépendant de l'âge de l'enrochement, jusqu'à 21 ans après l'implantation. Photographies : Maxime Tisserant.

## 6. Influence du paysage sur la végétation riveraine

Nous avons examiné l'effet de la composition du paysage sur la richesse spécifique des berges naturelles et stabilisées. Pour ce faire, nous avons caractérisé la quantité de milieux naturels (forêt et milieux humides) et de milieux perturbés (par le développement agricole ou urbain) dans le bassin versant associé à chacune des berges échantillonnées. Lorsque nous avons mis la richesse en espèce des berges étudiées en relation avec la composition du paysage, nous avons trouvé des patrons plus marqués pour les berges naturelles que pour les autres types de berges. Ainsi, nous avons constaté que plus le paysage était dégradé (faible proportion de milieux naturels), plus les berges naturelles étaient riches en espèces (Figure 16). Cette

relation était beaucoup plus forte en pied de berge qu'en milieu et haut de berge. Pour les berges naturelles, nous pouvons penser que la composition du bassin versant structure les communautés en pied de berge plus fortement que celles en milieu ou haut de berge. Ainsi, la proportion de milieux anthropisés en amont du site est proportionnelle à la richesse spécifique rencontrée dans les berges naturelles, et ce particulièrement en pied de berge. La présence de milieux agricoles et urbains dans le paysage ajoute des espèces dans le paysage et mène ainsi à des communautés végétales plus riches dans les berges naturelles.

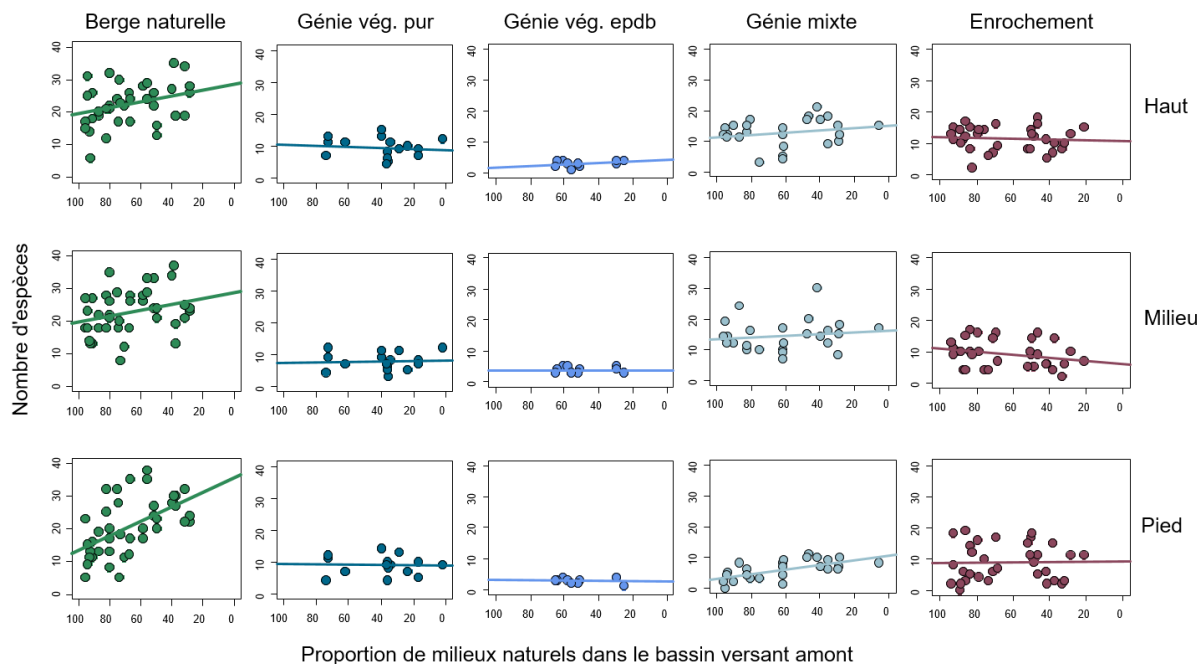


Figure 16. Effet de la composition du bassin versant amont sur la richesse spécifique totale (nombre d'espèces), par type de berge et niveau de transect (haut, milieu et pied de berge). L'axe des abscisses est en ordre décroissant pour refléter un changement d'occupation du sol sur un gradient d'anthropisation (naturel-urbain/agricole) dans le bassin versant en amont du site. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

Les relations entre la richesse des berges et la proportion de milieux naturels dans le paysage étaient peu marquées pour les berges avec ouvrage de génie végétal ou enrochement. Il semblerait donc que les berges stabilisées soient moins sensibles que les berges naturelles à l'anthropisation du bassin versant. Mise à part une très faible baisse de la richesse totale en milieu de berge avec la perturbation du paysage, la diversité végétale des enrochements semblait peu influencée par la composition du paysage, ce qui laisse supposer des processus de colonisation stochastique sur ces revêtements inertes.

Nous avons également analysé l'effet de la composition du paysage sur la diversité bêta des berges. Cette diversité réfère à la variabilité dans la composition en espèces d'une berge à l'autre. Une analyse a été faite séparément pour chaque type de berges (naturelles, avec génie végétal pur, génie végétal avec clé, génie mixte ou enrochement), pour lesquelles nous avons formés deux groupes : un pour les berges présentes en paysage naturel et l'autre pour les berges en paysage perturbé. Les berges présentes dans des paysages intermédiaires n'ont pas été incluses dans cette analyse. Nous avons trouvé que la perturbation des paysages favorise une homogénéisation de la composition de la végétation d'un site à l'autre pour les berges naturelles, particulièrement pour le haut de berge (Figure 17).

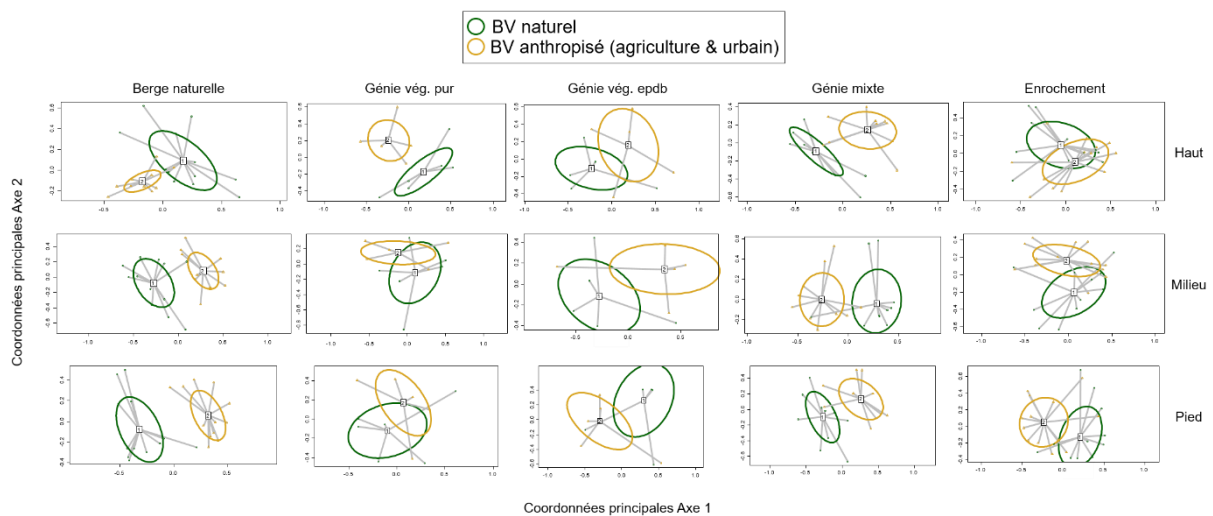


Figure 17. Représentation (Analyse en Composantes Principales) de la diversité bêta par distance au centroïde pour les sites situés dans des bassins versants les plus naturels (en vert) et les plus anthropisés (en jaune), pour chaque type de berge et niveau de transect. La diversité bêta représente la variation de la composition des communautés végétales. La distance au centroïde est une mesure de diversité bêta appropriée pour comparer des sites à l'intérieur de groupes définis a priori. La taille des ellipses correspond à la diversité bêta au sein d'un groupe. Plus l'ellipse est grande, plus les sites de ce groupe diffèrent en termes de composition en espèces. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

La diversité beta des berges en paysage perturbé était en effet plus faible pour les berges naturelles, tel que révélé par la taille plus petite des ellipses. Ces berges sont plus similaires entre elles en termes de composition végétale que les berges des paysages moins perturbés. Ils semblent donc y avoir une réduction de la diversité végétale parmi les berges naturelles à l'échelle du paysage lorsque celui-ci est transformé par le développement agricole ou urbain. Ce patron pourrait s'expliquer par le remplacement d'espèces spécialistes diverses et adaptées aux conditions

régionales des milieux riverains naturels par des espèces généralistes rudérales ou compétitrices associées aux perturbations, telles que *Phalaris arundinacea*, *Impatiens capensis* ou *Tussilago farfara*. D'ailleurs, la composition des berges naturelles différerait entre les deux types de paysage, et cela tant en haut qu'en milieu ou pied de berge (Figure 17 : la position des centroïdes pour les deux ellipses est différente).

L'effet du paysage sur la diversité bêta était plus faible pour les berges stabilisées que les berges naturelles, peu importe le type de techniques de stabilisation utilisées (taille des ellipses; Figure 17). Il semble ainsi que les perturbations anthropiques à l'échelle des bassins versants n'affecte pas la composition des communautés de berges stabilisées de la même façon que pour les berges naturelles. Les berges stabilisées semblent ainsi montrer des cortèges floristiques qui ne sont pas plus variables en paysage naturel qu'en paysage anthropisé. Par contre, la composition des berges stabilisées différerait entre les deux types de berges (différence de position des centroïdes; Figure 17).

## **7. Mécanismes structurant les communautés végétales riveraines de berges de génie végétal et de berges naturelles**

Une approche par traits fonctionnels a également été utilisée pour mettre en évidence les processus structurant les communautés végétales de berge de génie végétal, par rapport aux berges naturelles. L'objectif de cette analyse était d'identifier les règles d'assemblages dans les communautés de berge stabilisées avec du génie végétal, et de comparer ces règles d'assemblages à celles des berges naturelles. Puisque le génie végétal vise à restaurer une composition similaire à celle des berges naturelles (ce qui fut partiellement démontré dans les sections précédentes) et certaines de leurs fonctions, il est attendu que les communautés de berges stabilisées présentent des valeurs de traits fonctionnels similaires à celles des berges naturelles, ce que confirmerait l'hypothèse selon laquelle dans les berges de génie végétal, les processus contrôlant l'assemblage des communautés végétales riverains sont similaires à ceux naturellement à l'œuvre dans les habitats riverains. Pour cette analyse, nous avons uniquement pris en compte la strate herbacée (couverture au sol) puisqu'elle répond plus rapidement aux changements de conditions du milieu et permet de cibler des réponses aux facteurs environnementaux. Nous avons sélectionné pour cette analyse les berges stabilisées principalement avec du génie végétal, c'est-à-dire les ouvrages

de génie végétal pur et de génie végétal avec enrochement de pied de berge (les ouvrages de génie mixte ont été éliminés). De plus, pour que les deux types de berges étudiées dans cette analyse (berges de génie végétal et berges naturelles) soient plus directement comparables en termes de mécanismes d'assemblage des communautés végétales, seules les berges naturelles en conditions d'érosion ont été utilisées (celles en conditions de dépôt de sédiments n'ont pas été incluses ici). En effet, les sites stabilisés sont par définition soumis à l'érosion de berge. Finalement, nous avons sélectionné uniquement les sites localisés dans les Basses terres du Saint-Laurent. En appliquant ces différents filtres aux sites et aux espèces du jeu de données, les effectifs des deux types de berges étaient équilibrés (16 sites de chaque type), facilitant encore davantage la comparaison des mécanismes à l'œuvre.

Pour chaque espèce, nous avons compilé les valeurs de neuf traits fonctionnels impliqués dans l'établissement des espèces dans le milieu, dans la survie et dans l'acquisition des ressources (Tableau 7). Premièrement, nous avons compilé des traits liés au cadre LHS des stratégies de plantes (Leaf-Height-Seed). Ce cadre théorique comprend trois traits quantitatifs : la surface foliaire spécifique, la hauteur de la plante et la masse de graines. Il permet de comparer les espèces sur la base de leur acquisition des ressources, de leur capacité de compétition et de dispersion dans l'environnement. D'autres traits qualitatifs liés à ces stratégies ont également été compilés. Pour chaque trait, les moyennes des valeurs de trait de la strate herbacée ont été calculées, et comparées entre les berges de génie végétal et les berges naturelles.

Parmi les faits saillants de cette analyse, nous avons pu montrer que les valeurs de traits à l'échelle de la communauté différaient entre les berges naturelles et stabilisées par le génie végétal, pour quatre traits (Figure 18c, d, g, h). Concernant les traits de la stratégie LHS (Figure 18a, b, c), les communautés riveraines de berges stabilisées (avec du génie végétal) étaient caractérisées par une plus grande masse de graines que celles des berges naturelles, alors que la SLA et la hauteur ne différaient pas entre les deux types de sites. Toutefois, la SLA des communautés de génie végétal était légèrement plus élevée que celle des communautés de berges naturelles. Pour les traits liés à l'établissement (Figure 18d, e, f), les communautés végétales des deux types de berges étaient majoritairement dominées par des espèces ayant la capacité de se reproduire végétativement (Figure 18d), avec une prépondérance plus élevée de ce type de plantes en berges naturelles. Les communautés végétales des deux types de berges ne montraient pas de différences dans les vecteurs de dispersion (et étaient dominées par la dispersion anémochore) ni dans la contribution à la banque de graines (Figure 18e et f). Pour les traits liés à l'acquisition des ressources, les communautés étaient dominées par des espèces de lumière, bien que les berges naturelles comptaient plus d'espèces sciaphiles (c'est-à-dire adaptées à l'ombre) que les berges de génie végétal (Figure 18g). Les berges naturelles comptaient significativement plus d'herbacées latifoliées pérennes mais moins d'herbacées latifoliées annuelles que les berges stabilisées par génie végétal (Figure 18h). Par contre, aucune différence n'a été détectée dans la tolérance à l'humidité du sol (Figure 18i).

En somme, la végétation des berges de génie végétal était caractérisée par des graines plus lourdes, une plus faible capacité de reproduction végétative, une plus faible tolérance à l'ombre et un cycle de vie plus court, en comparaison avec la végétation des berges naturelles. Ainsi, les différences majeures dans les valeurs moyennes de traits étaient liées aux graines et à une stratégie rudérale (c'est-à-dire adaptée aux conditions perturbées et aux premiers stades de colonisation). Sur les berges de génie végétal, les processus d'assemblages filtrent les espèces d'après leur capacité à s'établir dans le milieu riverain aménagé. Ces résultats sont en faveur de l'hypothèse que sur les berges aménagées avec du génie végétal, la végétation est encore à un stade de colonisation du milieu, même si on a montré plus haut qu'une succession végétale était initiée sur ces ouvrages. La composition des communautés

végétales est donc principalement conditionnée par des processus exogènes, associés à la dispersion le long du cours d'eau. Au contraire, dans les berges naturelles, la composition des communautés est plutôt structurée par des processus locaux, autogènes, associées à la compétition interspécifique, à l'occupation du milieu et aux caractéristiques écologiques (plus grande proportion d'espèces à reproduction végétative, sciaphiles et à cycle de vie long).

Tableau 7. Liste des neuf traits de plantes utilisés pour caractériser les 283 espèces. La colonne «Valeurs documentées» correspond à la proportion d'espèces parmi les 283 pour lesquelles une valeur de trait a été compilée.

| Code                    | Trait fonctionnel                                                                                              | Unité / Échelle                                                                                                                                    | Mécanisme associé | Valeurs documentées (%) |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| SLA                     | Surface foliaire spécifique                                                                                    | mm <sup>2</sup> / mg                                                                                                                               | Acquisition       | 71                      |
| Hauteur                 | Hauteur maximal de l'espèce                                                                                    | cm                                                                                                                                                 | Compétition       | 93                      |
| Masse graines           | Masse des graines                                                                                              | mg                                                                                                                                                 | Établissement     | 93                      |
| Reproduction végétative | Capacité à se reproduire de façon végétative                                                                   | Sans: Reproduction uniquement par graines<br>Avec: Reproduction majoritairement par clonalité                                                      | Acquisition       | 88                      |
| Hydro<br>Anemo<br>Zoo   | Vecteur de dispersion des graines                                                                              | Hydrochorie: Oui/Non<br>Anémochorie: Oui/Non<br>Zoochorie: Oui/Non                                                                                 | Établissement     | 100                     |
| Banque de graine        | Persistance des graines dans l'environnement (sol ou eau) après la dispersion                                  | Transient: Ne persiste pas dans l'environnement<br>SemiPersistant: Persiste à court terme (< 5 ans)<br>Persistant: Persiste à long terme (> 5 ans) | Établissement     | 70                      |
| Tolérance à l'ombre     | Capacité à croître dans un milieu ombragé                                                                      | Lumière: Intolérance à l'ombre<br>SemiOmbre: Semi-tolérance à l'ombre<br>Ombre: Tolérance à l'ombre                                                | Compétition       | 92                      |
| Cycle de vie            | Combinaison du cycle de vie (annuel ou pérenne) et de la forme de croissance (graminée ou herbacée latifoliée) | Gram. Per. : Graminoïde pérenne<br>Herb. lat. ann. : Herbacée latifoliée annuelle<br>Herb. lat. per. : Herbacée latifoliée pérenne                 | Acquisition       | 100                     |
| Statut hydrique         | Tolérance à l'humidité du sol, représentée par le pourcentage d'occurrence dans les milieux humides            | FACU: 1-33%<br>FAC: 34-66%<br>FACW: 67-99%<br>OBL: < 99%                                                                                           | Persistance       | 100                     |

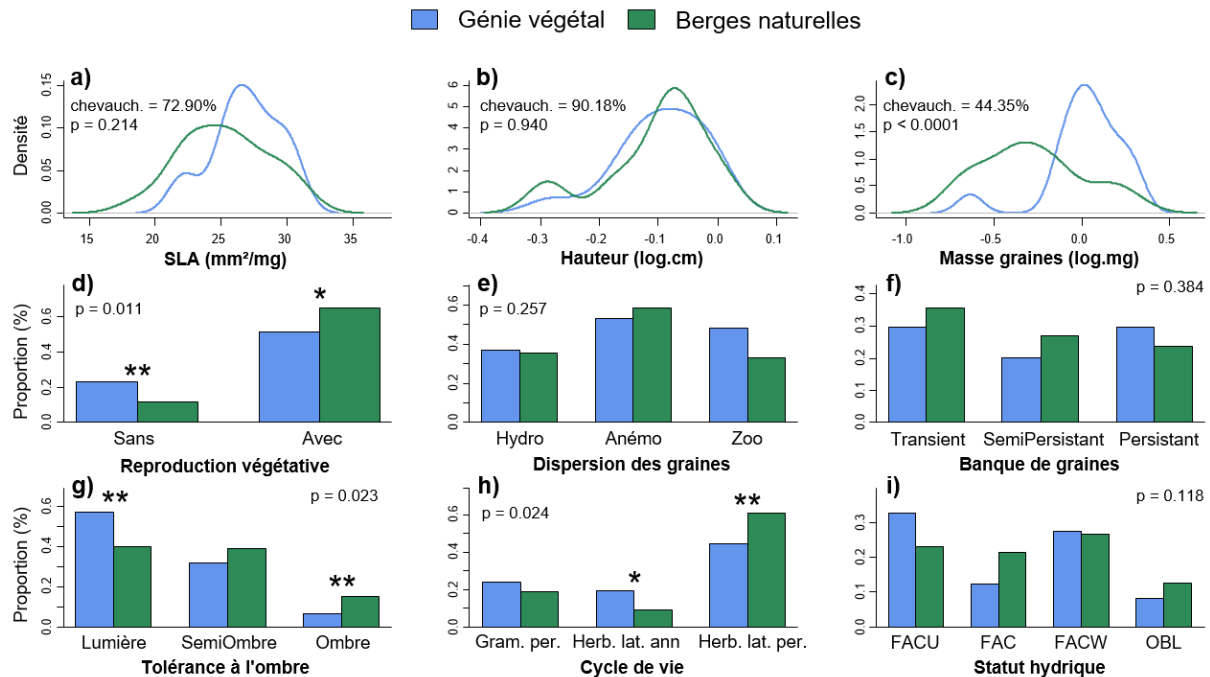


Figure 18. Différences de valeurs de traits de la strate herbacée entre sites de génie végétal (n = 16) et sites naturels (n = 16). Pour cette figure et pour pouvoir comparer plus finement les valeurs de traits entre les deux types de berge, les sites en dehors des Basses terres du Saint-Laurent ont été exclus, la catégorie de génie végétal est constituée uniquement des ouvrages de génie végétal pur ou avec enrochement de pied de berge (génie mixte exclu) et seules les berges naturelles en conditions d'érosion ont été inclus.

## V. Étude des performances de bouturage et de croissance de trois espèces de saules pour une utilisation en génie végétal

D'après les inventaires botaniques et le Tableau 5, les trois espèces de saules les plus fréquemment utilisées dans les ouvrages de génie végétal sont *Salix eriocephala*, *S. interior* et *S. discolor*. Pour guider le choix des espèces à utiliser dans les techniques de génie végétal, nous avons étudié la capacité de bouturage de ces trois espèces soumises à trois traitements d'hygrométrie (humidité relative du sol) sur la survie et différents paramètres de croissance (biomasse totale, longueur et volume de racines).

Des boutures de ces trois espèces ont été récoltées en milieu naturel pendant la phase de dormance des végétaux (automne 2017). Les populations sélectionnées pour prélever les boutures étaient situées dans les alentours de la Ville de Québec, en milieu riverain. Les sites de prélèvement de chaque espèce et leurs coordonnées géographiques sont précisées dans le Tableau 8.

Tableau 8. Sites de récoltes des trois espèces de saules utilisées dans l'étude expérimentale.

| Site                            | Coordonnées géographiques     | <i>Salix discolor</i> | Espèces<br><i>Salix eriocephala</i> | <i>Salix interior</i> |
|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Base de plein air de Sainte-Foy | 46°47'03.9"N<br>71°20'20.2"W  | X                     | X                                   | X                     |
| Rivière du Cap-Rouge            | 46°45'57.1"N<br>71°21'23.2"W  | X                     | X                                   |                       |
| Domaine Pointe-de-Saint-Vallier | 46°54'29.5"N<br>70°47'27.6"W  | X                     |                                     |                       |
| Trait-Carré                     | 46°51'34.4"N<br>71°16'26.2"W  | X                     | X                                   |                       |
| Parc des Chutes-de-la-Chaudière | 46°43'02.1"N<br>71°16'55.3"W  |                       | X                                   | X                     |
| Parc de la rivière Du Berger    | 46°49'01.3"N<br>71°17'36.0"W  |                       |                                     | X                     |
| Rivière Saint-Charles           | 46°49'54.9 "N<br>71°19'52.9"W |                       |                                     | X                     |

Une fois les boutures prélevées (en novembre), elles ont été stockées sous vide à - 4°C durant l'hiver après application d'un fongicide à large spectre. En février 2018, les boutures ont été plantées dans des sacs de 30 L dans un substrat sableux calibré, et disposées en serre en conditions semi-contrôlées (contrôle de la température de l'air et du degré d'humidité de l'air).

Les trois traitements d'hygrométrie, qui représentaient un gradient pouvant être rencontré dans des sites en milieu riverain, étaient:

- Sécheresse: arrosage une fois par semaine avec 1 à 2 L d'eau par sac;
- Saturation (capacité au champ): arrosage deux fois par semaine avec 3 à 4 L d'eau par sac
- Inondation: niveau de l'eau maintenu à 5 cm au-dessus du substrat pendant deux semaines, en alternance avec une semaine à capacité au champ (voir traitement ci-dessus).

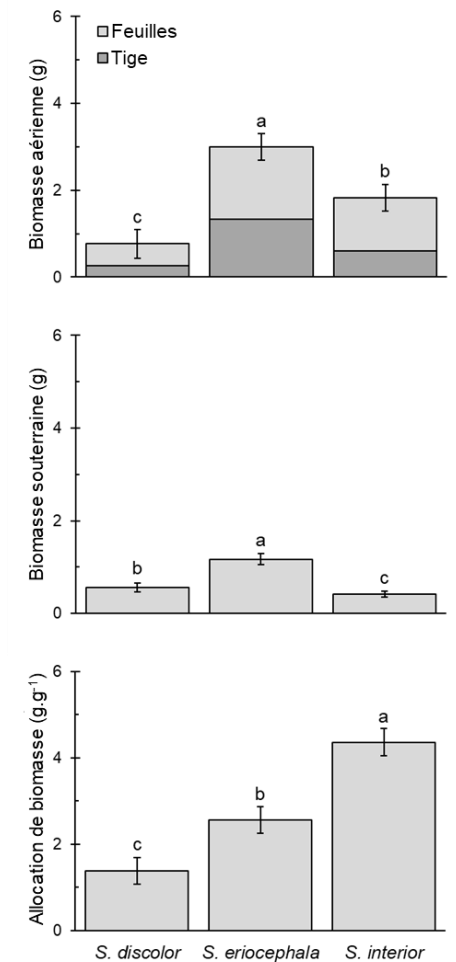


Figure 19. Variations de la biomasse aérienne, souterraine et de l'allocation de biomasse (aérienne/souterraine) de boutures des trois espèces de saule étudiées. La moyenne (hauteur de la barre grise), l'erreur-type (barre d'intervalle noir) et les différences significatives (lettres, test post-hoc du LSD de Fisher) sont indiqués.

À la fin de l'expérience, toutes les boutures ont été retirées du substrat et les mesures suivantes ont été prises pour chaque bouture, notamment avec l'appareil WinRHIZO en ce qui concerne les traits des racines:

- Poids sec de la biomasse aérienne (bouture + tiges + feuilles)
- Poids sec des racines
- Longueur totale des racines
- Volume de racine selon trois catégories:
  - Racines fines (diamètre de 0.5 à 1.5 mm)
  - Racines moyennes (diamètre de 1.5 à 2.0 mm)
  - Racines larges (diamètre de 2.0 à 2.5 mm)

Le taux de survie des boutures était élevé pour les trois espèces pour toutes les conditions hygrométriques. Toutes les boutures de *Salix eriocephala* ont survécu. Le taux de survie était de 88% (sécheresse) à 94% (inondation) pour *S. discolor* et de 94% (sécheresse et saturation) à 97% (inondation) pour *S. interior*.

Les différentes mesures de biomasse variaient entre les espèces étudiées, mais ne semblaient pas influencées par les traitements d'hygrométrie. En effet, *S. eriocephala* a produit la plus grande biomasse aérienne, soit 3.9 et 1.6 fois plus que celles de *S. interior* et *S. discolor* respectivement (Figure 19). Alors que *S. eriocephala* a produit une biomasse aérienne répartie de façon à peu près égale entre feuilles et tiges, les deux autres espèces ont produit environ deux fois plus de feuilles que de tiges, en termes de biomasse. De plus, *S. eriocephala* a produit deux fois plus de racines que les deux autres espèces (Figure 19). Enfin, l'allocation de biomasse (ratio entre biomasse aérienne et biomasse souterraine) variait significativement entre les trois espèces : le ratio d'allocation de production de biomasse était de 4.4 pour *S. interior* (cette espèce produisait 4.4 fois plus de biomasse aérienne que souterraine), de 2.6 pour *S. eriocephala* et de 1.3 pour *S. discolor*.

De la même façon que la biomasse, le volume racinaire n'a pas varié entre les traitements d'hygrométrie. En revanche, il variait beaucoup d'une espèce à l'autre. Ainsi, le volume racinaire de *S. eriocephala* était deux fois plus élevé que celui des deux autres espèces (Figure 20 gauche). De plus, pour toutes les espèces, le volume racinaire était surtout composé de racines fines (66%) alors que les racines moyennes et larges comptaient pour 26 et 8% du volume total (Figure 20 droite).

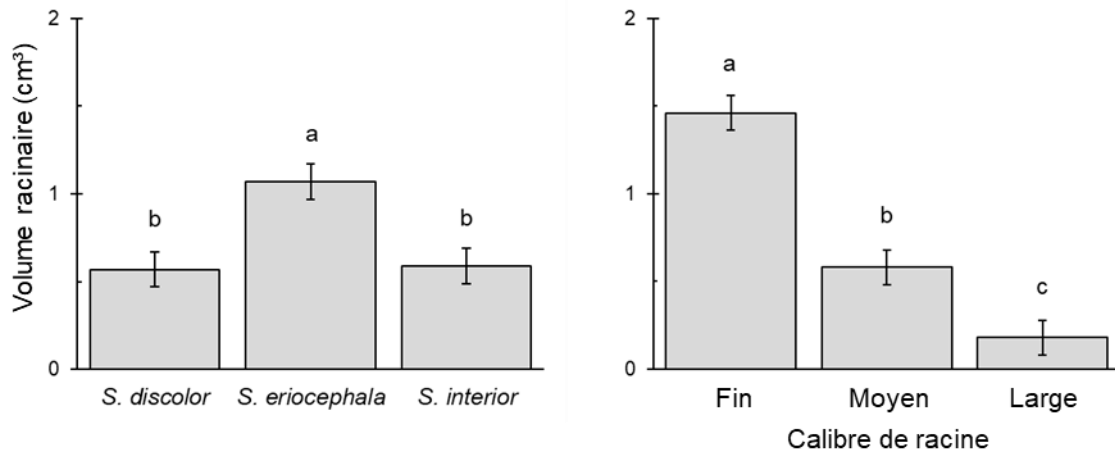


Figure 20. Volume racinaire (moyenne  $\pm$  erreur-type) produite par les boutures des trois espèces de saules étudiées et taille des racines (espèces groupées ensemble). Les lettres représentent les différences significatives selon le test post-hoc du LSD de Fisher.

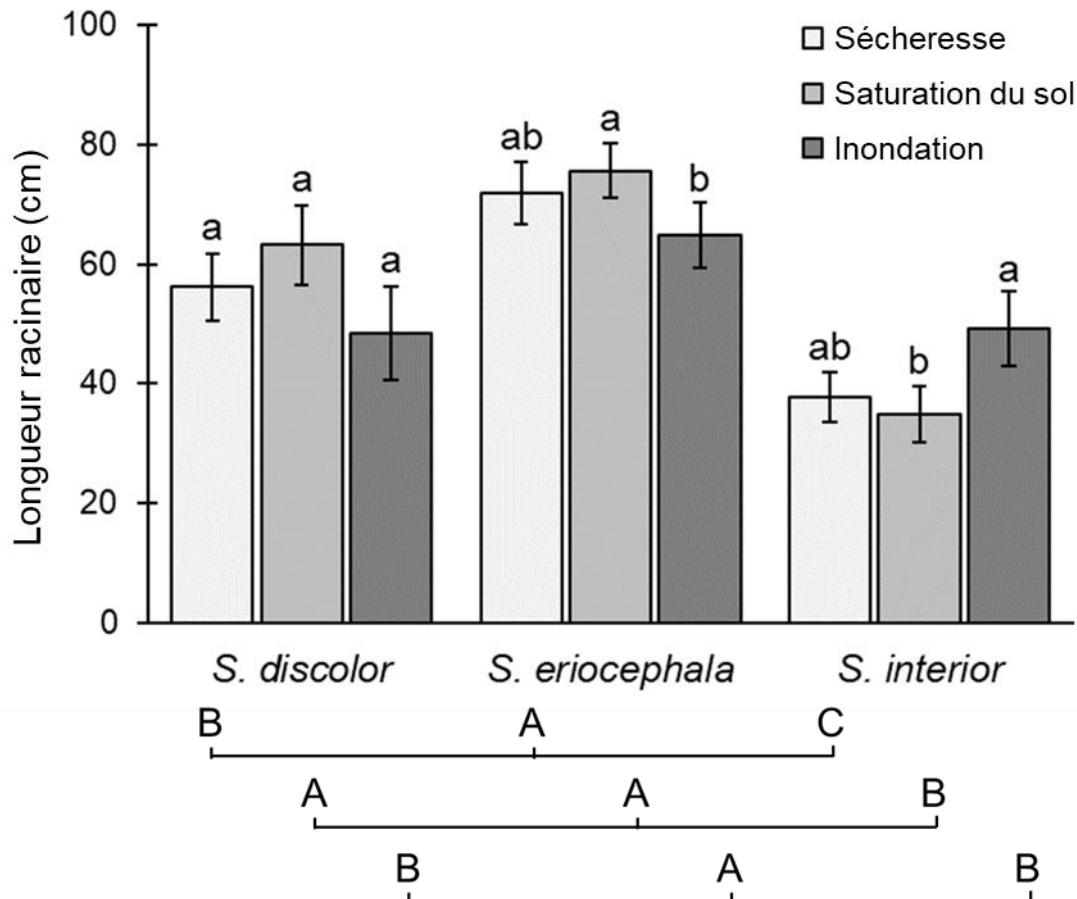


Figure 217. Longueur racinaire (moyenne  $\pm$  erreur-type) en fonction des trois traitements d'hygrométrie et des trois espèces de saule. Les lettres minuscules (haut du graphique) indiquent les différences significatives entre les traitements d'hygrométries pour une même espèce, et les lettres majuscules (bas du graphique) représentent les différences significatives entre les espèces pour un même traitement d'hygrométrie, selon le test post-hoc du LSD de Fisher.

Contrairement aux mesures de biomasse, les mesures de longueur racinaire variaient entre les traitements d'hygrométrie (Figure 21). La longueur racinaire était plus grande en conditions de saturation du sol par rapport au traitement inondation pour *S. eriocephala*, contrairement à *S. interior* qui avait une plus grande longueur racinaire en conditions d'inondation. Pour *S. discolor*, il n'y avait pas de différences de longueur racinaire entre les traitements d'hygrométrie, et cette espèce présentait en général une longueur racinaire intermédiaire à celle des deux autres espèces.

En résumé, cette étude expérimentale suggère que *S. eriocephala* devrait être utilisé préférentiellement dans les ouvrages de génie végétal, produisant une grande biomasse et s'adaptant à différentes conditions d'hygrométrie. De plus *S. discolor* semble être un bon candidat pour le génie végétal lorsque les conditions d'hygrométrie ne sont pas extrêmes, puisqu'il avait la même longueur racinaire en saturation du sol. Finalement, *S. interior* était le plus performant en termes de longueur racinaire en conditions d'inondation. Ainsi, cette espèce est appropriée pour une utilisation en pied de berge, et la production de longues tiges fines qui lui est caractéristique permet de ralentir la vitesse de l'eau et de limiter la force érosive du courant en augmentant la rugosité de la berge ("effet peigne") et de protéger la berge en se plaquant sur le sol ("effet tapis"). Le développement racinaire de *S. interior* peut aussi être mis en relation avec sa capacité à drageonner dans ces zones de pied de berge fortement soumises à l'inondation, la production de longues racines étant susceptibles de contribuer à sa reproduction végétative. Finalement, le potentiel de survie et de croissance d'autres espèces de saules permettrait de les ajouter au cortège d'espèces recommandées dans les techniques de génie végétal.

## **VI. Développement d'un banc expérimental utilisant des techniques de génie végétal (Étape 3, objectif 4)**

Un site localisé dans la municipalité de Saint-Albert, Centre-du-Québec, a été sélectionné pour construire un ouvrage de stabilisation de berges à l'aide des techniques de génie végétal. Ce site situé le long de la rivière Nicolet présentait des défis techniques tout en permettant l'utilisation du génie végétal, et fut considéré comme une vitrine intéressante pour ce domaine en émergence au Québec. L'équipe de l'Université Laval a procédé à un appel d'intérêt sur le système électronique d'appel d'offres (SÉAO) pour sonder les firmes prétendant détenir l'expertise nécessaire à la

réalisation du projet d'instauration d'un ouvrage de génie végétal au site choisi. Le type de mandat à octroyer et la valeur estimée du projet permettaient d'effectuer par la suite un appel d'offre sur invitation. Ainsi, l'Université Laval a invité quatre des dix firmes ayant montré un intérêt pour le projet à soumissionner. Trois firmes ont déposé une soumission. Le mode d'adjudication était basé uniquement sur la qualité des dossiers, soit selon la note finale la plus élevée. Les soumissions ont été évaluées en août 2016 par un comité de sélection, encadré selon la Loi sur les contrats des organismes publics (LCOP) et ses règlements. La firme EXM Coop fut celle retenue pour effectuer la conception de l'ouvrage souhaité, en date du 29 septembre 2016.

Une rencontre sur le terrain s'est par la suite tenue le 14 octobre 2016. En matinée, les contextes géomorphologique (Pascale Biron), géotechnique (Catherine Ledoux) et hydraulique (Philippe-Hubert Roy-Gosselin) ont été présentés en salle. En après-midi, une visite du talus à stabiliser a eu lieu. Au total, vingt personnes ont participé à cette rencontre, dont Éric Prido et Raphael Leblond de la firme EXM Coop, les gens du MTQ et de l'Université Laval, de l'Université Concordia et de l'IRSTEA associés au projet ainsi que trois experts externes (Christophe Moiroud de la Compagnie Nationale du Rhône, Lyon, France; Klaus Peklo de Consultant ICE, Toulouse, France; et Pierre Raymond de Terra Erosion Control, Colombie Britannique, Canada). Un compte-rendu de la rencontre est présenté au rapport d'étape 3 présenté le 3 mai 2019 (67 pages).

Le plan de travail, les plans et les devis qui ont suivi ne rencontraient pas les exigences du MTQ. Les détails des documents remis par la firme EXP et la rétroaction des membres de l'Université Laval et du MTQ ont été décrits dans ce même rapport d'étape 3. L'Université Laval a dû mettre fin au contrat le 13 avril 2018, évoquant la clause 13.03 (résiliation sans justification). La direction territoriale du MTQ Mauricie-Centre du Québec fut par la suite chargée de la gestion du projet de conception de l'ouvrage de génie végétal de Saint-Albert. Elle a mandaté la firme Cima+ pour la conception de l'ouvrage. La firme a présenté au comité de suivi les plans et devis préliminaires le 22 janvier 2019 dans les locaux du MTQ à Québec. Aucun compte-rendu de cette rencontre n'est disponible. Par contre, André Evette et Pierre Raymond ont par la suite fait des mises en garde après avoir évalué rapidement les propositions de Cima+. La suite des étapes d'élaboration des plans par Cima+ a été gérée par le ministère. La construction du banc d'essai est prévue pour 2022.

## 1. Étude hydrogéomorphologique du site de Saint-Albert.

Le site de Saint-Albert inclut une berge de pente forte ( $37^\circ$ ) et d'une grande hauteur de talus ( $\sim 12$  m) (Figure 22). De fortes contraintes anthropiques caractérisent ce site, avec la présence de routes de part et d'autre de la rivière, un pont immédiatement en amont de la section d'étude et un ancien pont à l'aval, dont les culées sont toujours présentes et empêchent donc la rivière de migrer librement. Enfin, de la stabilisation par enrochement est présente tant sur la rive gauche que droite. Puisqu'il s'agit d'une section à méandres, normalement caractérisée par une migration latérale, l'accumulation de ces contraintes a probablement contribué à accentuer l'érosion en bordure de la rue Principale, qu'il faut maintenant protéger pour des raisons de sécurité publique.



Figure 22. Site de St-Albert montrant A) les fortes contraintes engendrées par la présence de routes de part et d'autre de la rivière Nicolet, avec aussi un pont en amont et un ancien pont à l'aval de la zone d'étude; B) une stabilisation immédiate en aval de la zone instable; C) et D) la berge instable, avec à sa base de l'argile.

### 1.1. Étude historique de la dynamique hydrogéomorphologique de la rivière Nicolet au site de Saint-Albert

Les données LiDAR révèlent une plaine inondable très large (en brun sur la Figure 23) au niveau du pont de la route de Warwick. On y décèle des traces d'anciens chenaux

(identifiés par les flèches sur la Figure 23), en particulier au niveau du pont mais aussi en aval. Il s'agit donc vraisemblablement d'une rivière dynamique qui a une charge sédimentaire élevée. La présence de bancs d'accumulation dans le chenal, de petites îles et d'anciennes traces d'anabranches (chenaux secondaires) en 1960 (Figure 24A) indiquent que ce tronçon était probablement de style divagant avant que la rivière ne soit modifiée pour suivre un tracé plus simple (Figure 24B).

Les rivières de type divagant occupent un espace de mobilité plus large que les rivières à méandres à chenal unique. La construction d'infrastructures routières à proximité de ces rivières pose donc un défi supplémentaire, en particulier pour les ponts qui contraignent l'écoulement à passer à l'intérieur d'une section relativement étroite (et fixe).

Il est intéressant de noter que le secteur avec une berge problématique se retrouve donc entre deux points fixes, soit le pont actuel (érigé en 2004 en remplacement du point établi en 1956) et l'ancien pont en aval, dont les culées sont demeurées en place après sa démolition, sans doute survenue au cours des années 1950. La présence de deux points fixes sur une distance relativement courte (environ 590 m) pourrait avoir contribué à une érosion accrue près de la rue Principale puisqu'il s'agit d'une des rares zones sans stabilisation (voir Figure 22) où la mobilité latérale de la rivière est possible.

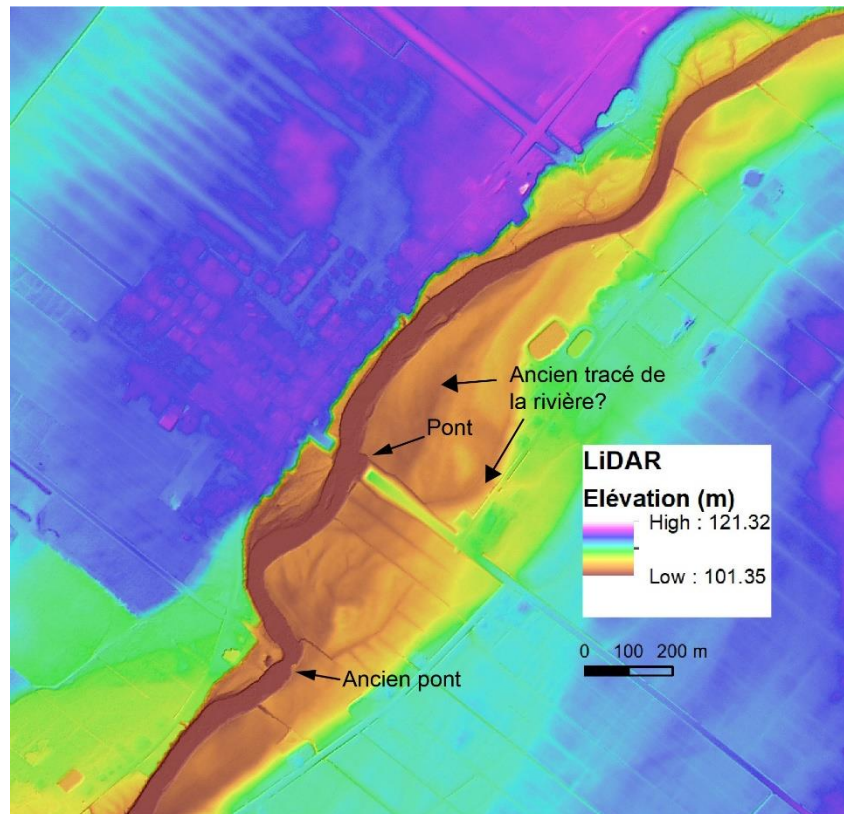


Figure 23. Modèle numérique d'élévation LiDAR du secteur à l'étude montrant une plaine inondable (élevations faibles en brun) ainsi que ce qui semble être d'anciens chenaux qui seraient typiques d'un cours d'eau de style divagant (caractérisé par la présence d'anabranches (chenaux secondaires) et d'accumulations de sédiments dans le chenal).

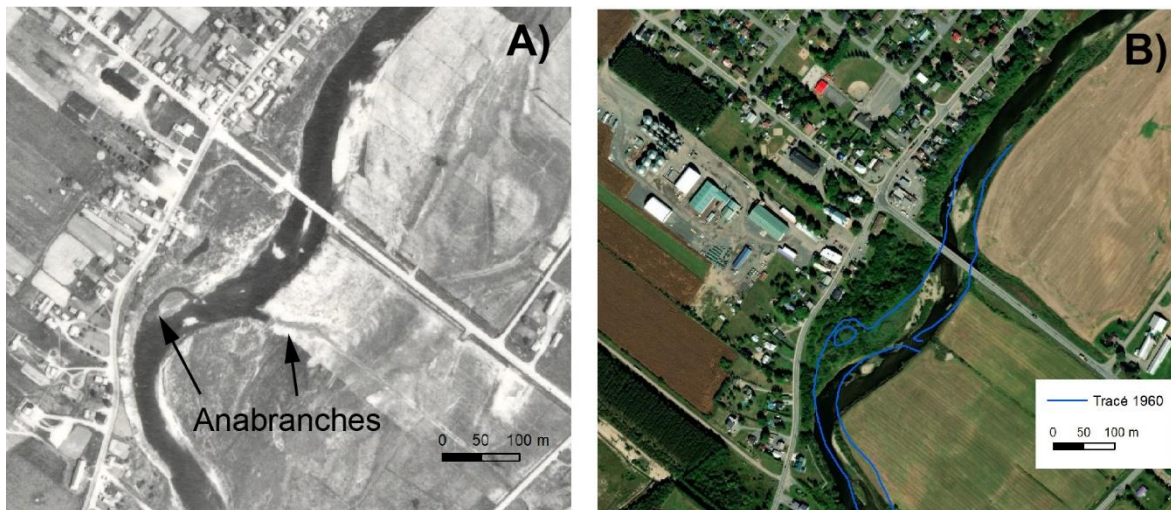


Figure 24. Photographie aérienne de 1960 montrant une île avec anabranches et une ancienne branche du chenal partiellement remblayée qui suggère qu'avant la construction du pont. Il est possible qu'un chenal secondaire ait fréquemment été inondé lorsque les niveaux d'eau étaient élevés.

Il y a eu très peu de changements morphologiques entre 1960 et 1966. Par contre, entre 1966 et 1979, on note un rétrécissement prononcé de la largeur de la rivière au niveau du pont de la route de Warwick (Figure 25A, B). La photo récente (Figure 25C) révèle que cette constriction est encore présente aujourd’hui, bien que des ajustements morphologiques soient aussi apparus en amont et en aval du pont. Il est par ailleurs intéressant de noter sur la Figure 25C qu’un chenal secondaire (anabranch) semble être en voie de se former sur la berge droite.

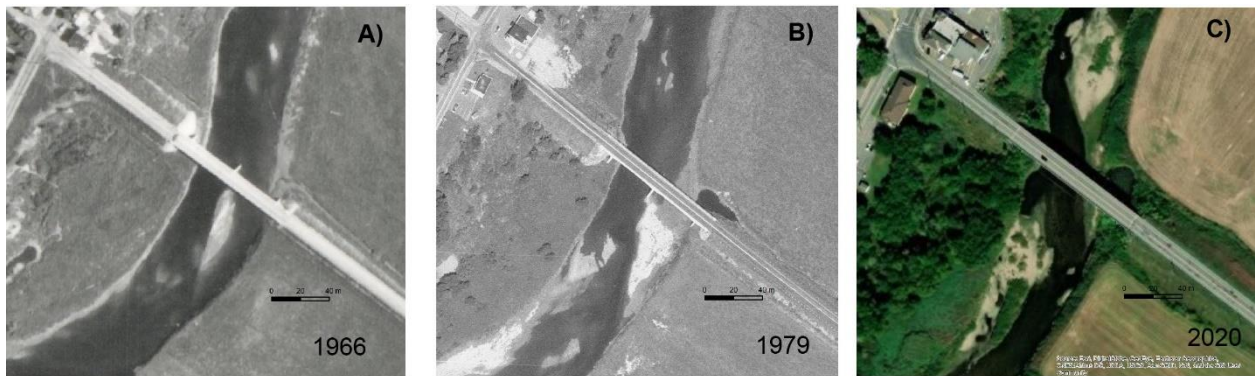


Figure 25. Modifications morphologiques autour du pont de la route Warwick, avec un rétrécissement marqué du chenal entre 1966 (A) et 1979 (B), et des ajustements qui se poursuivent depuis, comme on le voit sur l’image de 2020 (C).

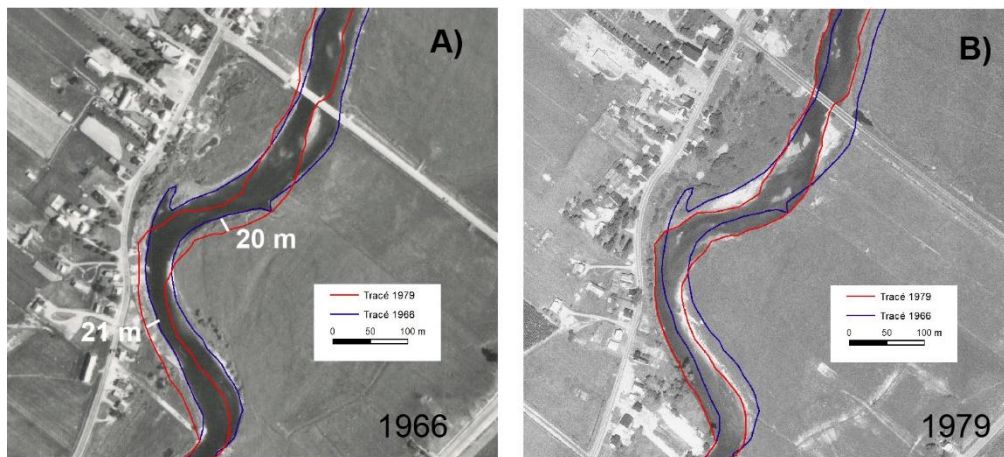


Figure 26. Changements dans le tracé de la rivière Nicolet survenu entre 1966 (A) et 1979 (B) montrant une érosion latérale majeure dans cet intervalle de 13 années.

La constriction au pont apparue à la fin des années 1960 ou au début des années 1970 a eu des répercussions majeures sur la dynamique de la rivière dans le secteur à l’étude. La Figure 26 révèle une translation vers l’aval du méandre, résultant en une érosion de berge sur la rive gauche de 20 m, et de 21 m sur la rive droite, vers la rue Principale. Dans ce cas, il s’agit d’un taux de migration latérale moyen de 1.6 m/an, ce qui est considérable.



Figure 27. Modifications morphologiques depuis 1960 autour de l'ancien pont en aval, dont les culées sont demeurées en place, fixant ainsi les berges.

Il est difficile de déterminer jusqu'à quel point l'ajustement de la rivière résultant de cette constriction aurait été différent sans la présence de l'autre point de contrôle, soit la présence des culées de l'ancien pont plus en aval. Il semble toutefois assez clair lorsque l'on examine la séquence de photographies historiques dans ce secteur (Figure 27) que la rivière aurait érodé la berge gauche sans cette contrainte, migrant ainsi vers le champ agricole. Ce trajet hypothétique (et approximatif) est représenté à la Figure 28. Il est possible que l'érosion de la berge gauche à l'aval (au niveau de l'ancien pont) aurait atténué l'érosion de la rive droite vers la rue Principale, mais cela demeure spéculatif en l'absence de modélisation morphodynamique qui permettrait de prédire la migration des méandres dans ce secteur. Un tel exercice de modélisation serait toutefois complexe à réaliser, entre autres en raison de la difficulté de bien simuler le transport de sédiments et l'érosion des berges avec les connaissances actuelles et les modèles disponibles.

### 1.2. Modélisation 3D pour quantifier la dynamique de l'écoulement associée à des mesures de stabilisation de berges par génie végétal au site de Saint-Albert

Les techniques de génie végétal permettent de protéger contre l'érosion les berges de rivière tout en leur conférant une certaine naturalité par le développement du couvert végétal. Malgré les nombreux avantages de ces techniques par rapport à celles relevant du génie civil, la mise en œuvre des projets de stabilisation végétale de berge par génie végétal peut avoir des effets inattendus sur la morphologie des rivières. Pour être en mesure de comprendre ces effets, une méthodologie de modélisation numérique a été développée et appliquée à l'étude d'un segment de la rivière Nicolet, au site d'étude de Saint-Albert. Ces travaux de modélisation ont été réalisés en vue d'une application à tout projet de génie végétal implanté au Québec dans le futur afin de minimiser certains effets indésirables associés à la stabilisation de berges. Cela permettrait d'éviter des interventions supplémentaires et d'éviter les coûts associés à de telles interventions.



Figure 28. Position possible de la rivière Nicolet en l'absence des culées de l'ancien pont à l'aval du secteur d'étude.

La stabilisation des berges incluant des techniques de génie végétal crée des éléments de rugosité détectés à plusieurs échelles spatiales, soit l'échelle micro (mm – cm) et l'échelle macro (cm – m). La définition de la micro- et de la macro-rugosité

dépend de la résolution spatiale du domaine du modèle et peut être considérée comme analogue à la friction liée aux particules individuelles (échelle micro) et à leur organisation structurée en formes du lit (échelle macro) dans les rivières naturelles. Les objectifs de cette recherche sont d'évaluer l'impact hydrodynamique de la micro- et de la macro-rugosité associée à un projet pilote de génie végétal prévu au Québec

De nombreuses mesures de bathymétrie (4364 points) ont été recueillies avec une station totale dans la section d'étude pour compléter les relevés d'arpentage du Ministère des transports (Figure 29). Ces données ont été géoréférencées à l'aide d'un GPS différentiel.



Figure 29. Mesures bathymétriques prises par l'équipe de l'U. Concordia au site de St-Albert (en vert), ajoutées à celles du Ministère des transports (en mauve).

Un modèle numérique d'élévation (MNE) a été créé à partir de ces points (voir Annexe X, Hurson et Biron, 2019). Ce MNE a été utilisé pour simuler l'écoulement en 3 dimensions avec le modèle hydrodynamique Delft3D. Deux mailles numériques ont été employées, soit à bas niveau (Figure 30A) et à haut niveau (Figure 30B). Des données d'élévation de la surface de l'eau (avec des sondes à pression Solinst) et de vitesses (avec un courantomètre à hélice) ont permis de calibrer et valider le modèle pour de faibles débits.

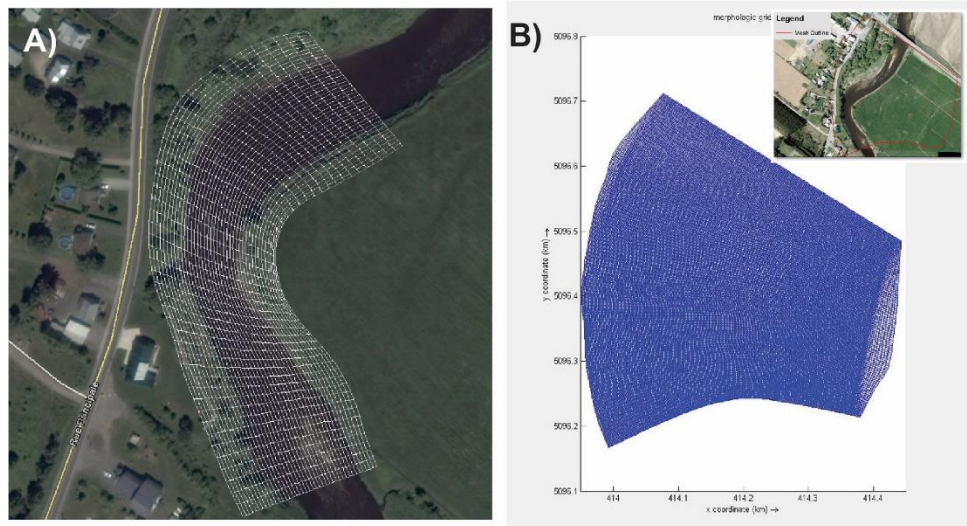


Figure 30. Maillage numérique du modèle Delft3D A) à bas niveau, pour des fins de calibration et validation (débits de 2,6 et 9,7 m<sup>3</sup>/s), et à haut niveau B) pour une crue de 157,3 m<sup>3</sup>/s, survenue le 17 août 2016).

Les simulations hydrodynamiques pour un débit élevé révèlent que le champ agricole situé sur la berge gauche se trouve inondé (Figure 31A). On note que les profondeurs sont particulièrement élevées proche de la berge instable (Figure 31B), ce qui augmente les contraintes de cisaillement et donc le risque d'érosion.

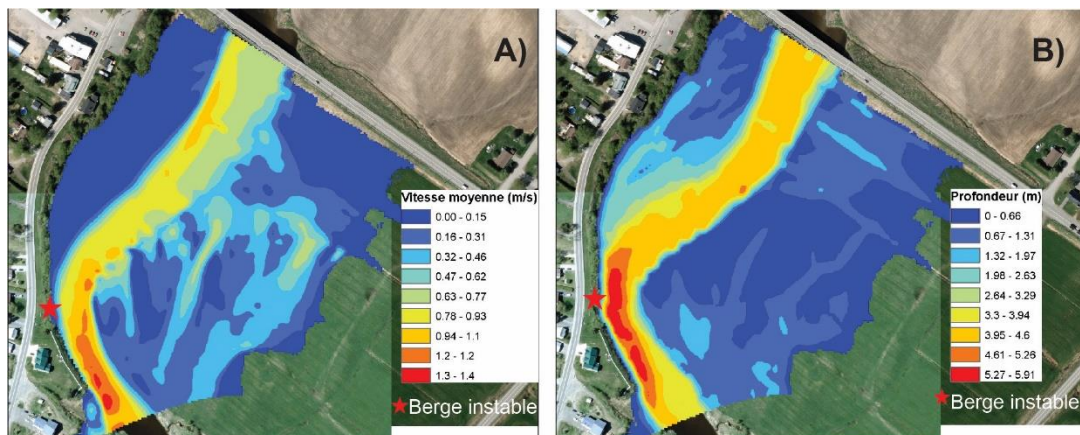


Figure 31. A) Vitesse moyenne simulée par le modèle Delft3D lors de la crue du 17 août 2016; B) Profondeur d'eau pour cette crue indiquant une zone très creuse au pied de la berge instable, avec des profondeurs de plus de 5 mètres.

Afin de simuler l'impact qu'aurait la stabilisation par génie végétal sur le champ de vitesse, le modèle hydrodynamique a été modifié pour y ajouter une rugosité représentant (approximativement) l'effet de tressage, matelas de branches, fascines, lits de plants, plançons ou caissons végétalisés. La rugosité à macro-échelle représentant ces éléments a été introduite dans le MNE par un motif en dents de scie (Figure 32). Puisqu'il n'y avait aucun plan précis des méthodes de génie végétal qui

seraient employées au site de Saint-Albert, nous avons procédé par analyse de sensibilité, en augmentant l'amplitude de ce motif par intervalle de 0,1 m, pour un maximum de 1 m. Les sections le long de l'axe de la berge sont additionnées ou soustraites de 0,1 m afin d'assurer que la largeur du chenal demeure constante en moyenne. Cela se traduit par une différence de hauteur totale de 0,2 m entre le sommet et le creux du motif en dents de scie pour chaque répétition. Ainsi, la dixième répétition avait une portée totale de 2 m.

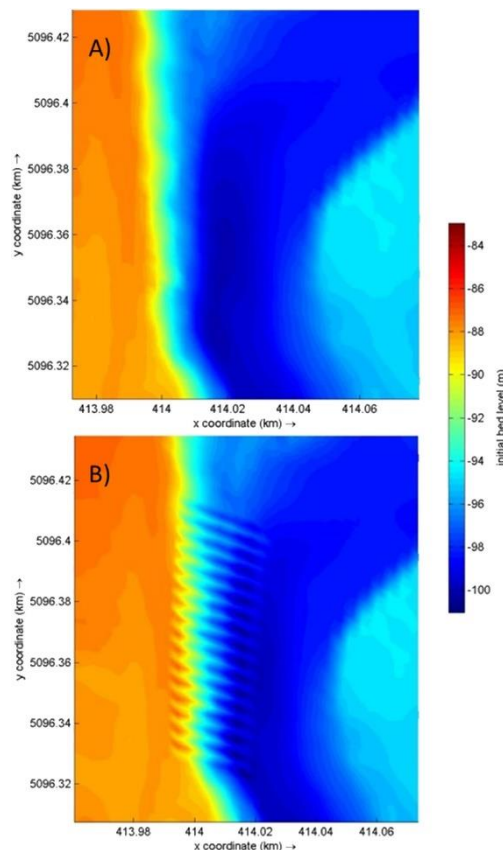


Figure 32. A) Bathymétrie du lit et des berges dans la zone de la berge instable; B) bathymétrie modifiée par un motif en dents de scie pour représenter la rugosité liée à une stabilisation de berge par génie végétal.

À la rugosité à macro-échelle s'est aussi ajoutée une rugosité à micro-échelle, représentée par le coefficient de rugosité de Manning (appelé  $n$  de Manning). L'objectif est d'intégrer la résistance accrue engendrée par la présence de génie végétal dans les simulations numériques. Là encore, une analyse de sensibilité a dû être employée compte tenu de l'absence de plans précis. L'ajustement a été effectué par un accroissement du  $n$  de Manning de  $+0,01n$ , ce qui correspond à un ajustement de  $+0,1n$  lors de la dixième répétition. Le détail de ces analyses est publié en anglais dans Hurson et Biron (2019), dont une version traduite est jointe (voir l'annexe 7).

En ajoutant de la rugosité, on s'attend à une diminution de la vitesse, et donc du risque d'érosion, à proximité de la berge instable. C'est ce qui est révélé à la Figure 33B, où l'on observe des vitesses plus faibles lorsque la rugosité à micro- et macro-échelles est maximale. Par ailleurs, cette situation résulte en des vitesses plus élevées dans le champ agricole, ce qui pourrait accélérer l'érosion dans ce secteur.

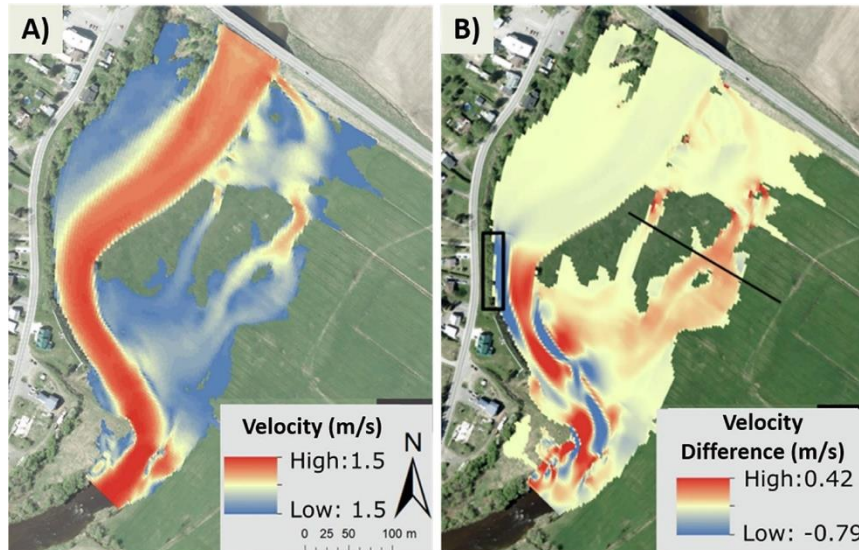


Figure 33. A) Vitesse simulée pour la berge actuelle pour la crue du 17 août 2016; B) différence de vitesse entre la simulation pour la berge actuelle et la simulation lorsque la rugosité à macro- et micro-échelles est maximale. Le rectangle noir indique l'emplacement de l'ouvrage simulé pour stabiliser la berge par des techniques de génie végétal.

L'approche de modélisation employée permet d'anticiper l'effet d'une stabilisation par génie végétal au site de St-Albert, mais comporte aussi évidemment une grande incertitude puisqu'elle repose sur une modification approximative de la bathymétrie du lit, ainsi que sur une augmentation de la valeur de coefficient de rugosité de Manning, qu'il est impossible de vérifier à moins de recueillir des mesures de terrain (surface de l'eau, vitesse) post-stabilisation. L'approche présentée ici constitue néanmoins une première tentative prometteuse d'intégration du génie végétal à l'étape du pré-projet, ce qui n'était jusqu'à maintenant pas documenté dans la littérature scientifique.

## VII. Mise en valeur du banc d'essai comme site de démonstration de l'application du génie végétal pour des travaux de stabilisation riveraine (Étape 3, objectif 5).

L'objectif 5 n'a pas été réalisé du fait que la construction de l'ouvrage de stabilisation de berge au site de St-Albert a pris du retard. Une fois le site construit, notre équipe

pourra participer à un événement de diffusion des connaissances pour le grand public ainsi que pour les praticiens et gestionnaires dans le domaine. Une journée technique de terrain pourra également être organisée pour permettre aux gestionnaires et autres acteurs ou représentants d'organismes impliqués dans le milieu de prendre connaissance des résultats obtenus sur le terrain.

### **VIII. Comparaison des coûts pour l'instauration des ouvrages de stabilisation de berges, selon les approches d'écoingénierie réalisées à l'étape 3 (banc d'essai) et les techniques d'ingénierie classiques (par empierrement) (Étape 4, objectif 6).**

L'objectif de comparer les coûts devait être assumé par les partenaires du Ministère des transports et la firme impliquée dans la construction du banc d'essai. Cette étape n'a pas été réalisée dans le cadre du projet mais pourra l'être une fois l'ouvrage construit à Saint-Albert. Nous pourrions intégrer ces calculs au présent rapport par la suite.

### **IX. Conclusion**

Bien que conçus avant tout pour stabiliser la berge, les ouvrages de génie végétal offrent une véritable plus-value écologique, par rapport aux techniques traditionnelles comme les enrochements. Selon la classification des ouvrages utilisée dans ce projet, on retrouve une diversité végétale croissante sur le gradient de naturalité, pour tous les groupes écologiques étudiés. Des études précédentes ont déjà montré le potentiel du génie végétal (ou d'autres formes de protections de berge avec une valeur écologique ajoutée) à favoriser le retour d'une flore diversifiée sur les berges (voir par exemple Cavaillé et al., 2013; Schmitt et al., 2018; Wollny et al. 2019). De même, il a été montré que le génie végétal restaure efficacement des conditions de l'habitat propices à l'établissement d'autres groupes taxonomiques (Schmitt et al., 2018, Cavaillé et al., 2018). Les simulations hydrodynamiques ont aussi permis de documenter l'impact possible du génie végétal sur la vitesse d'écoulement (Hurson et Biron, 2019), révélant un potentiel de plus grande hétérogénéité qui peut s'avérer bénéfique pour plusieurs espèces aquatiques. Cependant, la contribution des ouvrages de génie végétal à permettre le retour de groupes écologiques importants pour la conservation des habitats riverains a rarement été étudiée. Cette étude a

permis de montrer que les ouvrages de génie végétal abritaient une flore riche en espèces indigènes et hydrochores, et ce à tous les niveaux de berge. La diversité de ces groupes écologiques était souvent comparable à celle des berges naturelles. Il a également été démontré que le génie végétal avait tendance à homogénéiser les berges stabilisées, c'est-à-dire que la végétation était plus similaire d'un site à l'autre comparativement à celle des berges naturelles. Dans les ouvrages de génie végétal, de fortes densités de saules et de cornouiller sont nécessaires pour protéger la berge contre l'érosion. En contrepartie, l'occupation de l'espace aérien et souterrain par ces espèces ingénieures limitent le nombre d'espèces capable de s'établir dans les ouvrages, et peuvent expliquer cette diminution de l'originalité des sites, lorsque comparée à la flore riveraine à l'échelle régionale.

L'introduction d'espèces ligneuses de stade pionnier, comme les saules et les cornouillers, ont permis d'initier la succession végétale sur les berges stabilisées. Les techniques de génie végétal assurent le retour d'espèces forestières et induisent ainsi une succession vers des stades post-pionniers. La croissance rapide des espèces implantées n'a pas entravé l'établissement d'une flore riche (bien qu'homogène) sous la canopée et a permis le retour d'espèces tolérantes au stress dans les ouvrages, et cela même si ces espèces sont souvent peu compétitrices.

Bien que la diversité végétale des communautés de berge stabilisée soit expliquée par le type d'ouvrage, et par les processus de succession végétale, elle est également fortement influencée par les mécanismes de dispersion des graines, et donc par des mécanismes de colonisation des ouvrages. En effet, les communautés de berges de génie végétal étaient surtout structurées par la capacité des espèces à s'établir sur l'ouvrage. Bien que nous ayons montré une succession de la végétation sur les berges de génie végétal et une trajectoire temporelle dirigée vers une composition de berge naturelle, ce résultat suggère que sur les berges stabilisées, les communautés végétales sont encore en transition, contrôlées par des processus exogènes.

Même si le génie végétal n'est pas un aménagement permettant de restaurer la dynamique latérale des cours d'eau, ce projet a démontré qu'il permettait le retour d'une structure et de processus écologiques tels que ceux retrouvés dans les écosystèmes riverains naturels. Les résultats obtenus peuvent donc trouver des implications intéressantes pour l'aménagement de berge.

Dans un premier temps, l'inventaire botanique de 124 berges, dont 40 sites riverains naturels et 51 ouvrages de stabilisation faisant appel à du génie végétal, représente une incroyable source d'information. En milieu pratique, le suivi et l'évaluation de la végétation sur les ouvrages est rarement réalisé, faute de ressources financières allouées à cette étape pourtant cruciale. En plus de montrer les bénéfices écologiques du génie végétal sur la flore riveraine, ce projet a permis de créer des listes d'espèces qui recolonisent fréquemment les berges naturelles et les ouvrages de génie végétal (voir Tableau 6 pour les saules et Tableaux 9, 10 & 11 pour la flore spontanée). La consultation de ces listes, classées par type de berge selon la classification utilisée dans la section 'Classification des ouvrages de stabilisation' pourra permettre aux concepteurs d'adapter les mélanges grainiers. Ces listes devraient être consultées avant une opération de restauration ou de stabilisation de berge puisque les espèces répertoriées sont celles qui persistent dans le milieu riverain et sont adaptées à la composition du bassin versant. Par exemple, pour un projet de restauration de la végétation d'un milieu riverain en paysage urbain, les espèces *Cornus sericea*, *Bidens cernua*, *Cardamine pensylvanica*, *Eutrochium maculatum*, *Potentilla anserina*, ou *Symphyotrichum lanceolatum* pourraient être privilégiées sur le pied de berge. De la même façon, pour un projet de stabilisation au moyen du génie végétal en paysage naturel, les espèces *Calamagostis canadensis*, *Euthamia graminifolia*, *Mentha canadensis*, *Potentilla anserina*, *Symphyotrichum lanceolatum* et *S. puniceum* (entre autres) persistent bien sur le milieu de berge, dans l'ouvrage. Cette liste pourrait être complétée avec des espèces dominantes trouvées en paysages urbains ou agricoles comme *Bidens frondosa* ou *Eutrochium maculatum* par exemple.

L'efficacité des ouvrages de génie végétal pour l'établissement d'un cortège floristique diversifié a été révélée dans cette étude, notamment en ce qui concerne les espèces indigènes et hydrochores. Ce résultat est d'une grande importance pour les gestionnaires, puisqu'il montre que les ouvrages de génie végétal favorisent le retour d'une végétation typique de milieu riverain, et non la colonisation par des espèces indésirables. L'intégration d'une mesure contre les invasions biologiques est souvent requise dans les opérations de stabilisation de berge, puisque les milieux nouveaux et ouverts sont souvent susceptibles d'être envahis par des espèces exotiques. Les résultats de ce projet montrent que le génie végétal permet bien le retour d'une certaine

naturalité sur les berges aménagées et que les espèces exotiques envahissantes ne semblent pas encore représenter un problème majeur.

Le potentiel homogénéisant des ouvrages de génie végétal sur les communautés végétales riveraines a été abordé dans les résultats du projet présentés ci-haut, avec les faibles valeurs de LCBD. Pour pallier cela, plusieurs solutions pourraient être recommandées. La première serait de diversifier les essences arbustives employées dans le génie végétal au Québec, par exemple en utilisant plusieurs espèces de saules dans les techniques. Par exemple, *Salix interior* et *S. eriocephala* ont un port légèrement différent et se prêtent au bouturage avec la même efficacité, selon les résultats de l'étude expérimentale (Keita et al., 2020). D'autres espèces de saules arbustifs pourraient être utilisées plus fréquemment dans les ouvrages, bien que leur capacité de bouturage reste à démontrer (voir Tableau 6: *Salix pellita*, *S. lucida*, *S. petiolaris*). Dans cette même optique, il serait utile de planter des aulnes (*Alnus incana* subsp. *rugosa*) en milieu et haut de berge lorsque les conditions du milieu s'y prêtent. Cette espèce est fréquemment rencontrée en milieu riverain naturel et pourrait diversifier la strate ligneuse dans les ouvrages (Tableaux 9, 10 & 11). De plus, *Alnus incana* est une espèce fixatrice d'azote qui permet d'améliorer la qualité du sol et de favoriser la colonisation par d'autres espèces herbacées (Kennedy et al., 2015; Mason et al., 1984). Ces applications diminueraient l'effet "mur" induit par des plants

monospécifiques de même stade de développement et augmenteraient les niches potentielles pour la recolonisation des ouvrages (Figure 34). L'effet des aulnes sur les

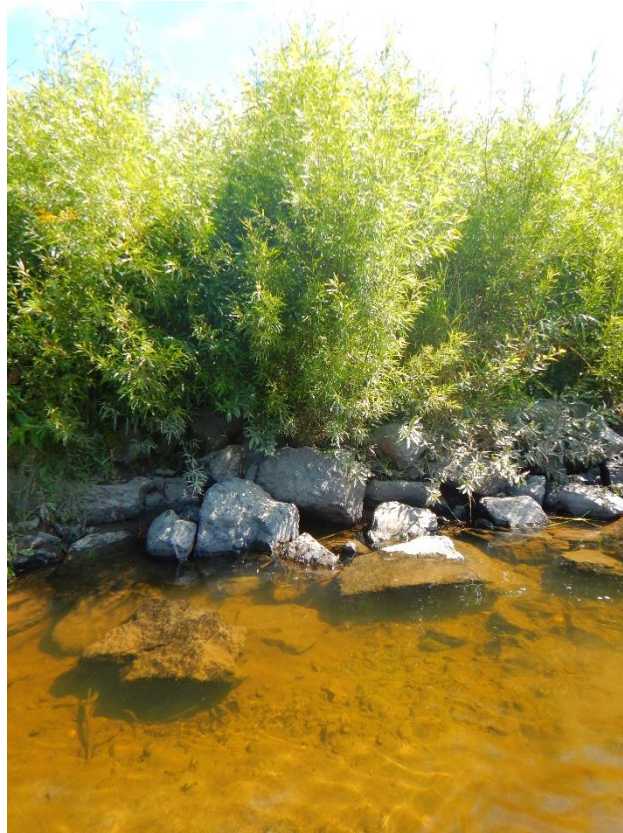


Figure 34. Effet "mur" créé par l'implantation d'un ouvrage de génie végétal monospécifique

strates herbacées en sous-étage serait cependant à valider.

Enfin, ces mesures pourraient permettre l'accélération de la succession végétale vers des stades plus avancés, puisque les aulnes sont des espèces pionnières. La seconde proposition est de recéper régulièrement les saules pour diminuer la compétition pour la lumière dans les ouvrages. La surveillance des ouvrages de génie végétal durant les premières années de croissance est recommandée, comme pour les autres opérations de restauration (Pinto et al., 2016). Elle permet d'ajuster le système et d'éviter les échecs de restauration. Lors de ces visites de surveillance, une coupe partielle dans l'ouvrage, préférentiellement à l'automne, pourrait permettre la colonisation d'une flore spontanée plus diversifiée au printemps suivant. Cette méthode est de plus conseillée pour fortifier le réseau racinaire des saules et ainsi augmenter la stabilité du sol de la berge. Enfin, nous avons pu montrer que certaines espèces ensemencées comme *Lolium perenne* et *Poa pratensis* ne persistaient pas

dans l'ouvrage. Au contraire, *Festuca rubra* semblait couvrir l'ensemble du haut de berge après quelques années de croissance. Ainsi, diversifier les mélanges grainiers en y ajoutant des espèces mellifères et fixatrices d'azote serait un gain écologique majeur en termes de biodiversité.

L'importance des traits de dispersion des graines dans la structure des communautés de berges stabilisées a été établie dans ce projet. Ainsi, maintenir la connectivité transversale dans les ouvrages est important pour favoriser la circulation des propagules dans l'ouvrage, jusqu'en haut de berge. Cela peut se faire en limitant tant que possible l'implantation d'un enrochement en pied de berge et en maintenant les régimes hydrologiques naturels dans les rivières. Certaines mesures lors de la construction comme l'adoucissement de la pente sur le pied et le milieu de berge pourraient permettre une meilleure dispersion et rétention des graines dans l'ouvrage. De plus, le maintien d'une largeur de bande riveraine suffisante sur le haut de berge serait favorable à la colonisation par les espèces terrestres forestières.

Contrairement au génie civil, le génie végétal voit sa résistance mécanique augmenter au cours du temps. Cette augmentation de la résistance est liée au développement des systèmes racinaires de végétaux qui vont renforcer la cohésion du sol, et au développement des tiges aériennes qui vont augmenter la rugosité de la berge et donc diminuer la vitesse du courant à proximité du sol. Les parties aériennes lorsqu'elles sont de petit diamètre (inférieure à 3 à 5 centimètres) vont se coucher sur la berge lors des crues et la protéger par « effet tapis ». Par contre, si on laisse des troncs de plus gros diamètre se développer, ils vont générer de la turbulence lors des crues. Cette turbulence observée au droit de ces troncs peut générer des affouillements au sein de la berge et être l'origine d'une destruction de celle-ci. Dans les cas où les enjeux de protection sont forts, il est utile de recéper régulièrement les ligneux pour éviter d'avoir des tiges de gros diamètre. Ces coupes régulières sont tout à fait tolérées par les saules qui sont très adaptés à la perturbation.

Les contraintes érosives des glaces sur les berges des cours d'eau sont majeures lors de la débâcle. Les forces d'arrachement en jeu sont extrêmes et ces contraintes pourraient augmenter avec le changement climatique en lien avec les redoux hivernaux. La capacité des modèles naturels à résister à ces événements est peu connue même si certains saules semblent avoir des atouts (Poulin et al. 2019).

L'évaluation de la tenue des forêts riveraines à ces contraintes ou l'opportunité de la mise en place d'ouvrages mixtes associant enrochement et techniques de génie végétal constituent des pistes de recherche intéressantes. En effet ces contraintes de glace sont fréquemment mises en avant pourr refuser l'utilisation du génie végétal. Ainsi, l'étude des interactions entre la glace et la végétation riveraine, associée à la mise en place d'ouvrages expérimentaux, serait un moyen de repousser les limites actuelles d'utilisation du génie végétal.

## Références

- Adam P., Debiais N., Gerber F. & Lachat B. 2008. Le génie végétal: un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques. Ministère de l'Ecologie, de l'Environnement, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire. La Documentation Française. 290 p.
- Anderson M. J., Ellingsen K. E. & McArdle B. H. 2006. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology letters*, 9, 683-693.
- Beaulieu R. 2001. Historique des travaux de drainage au Québec et état du réseau hydrographique. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de la Montérégie, secteur Ouest, Québec, Canada.
- Bonin L., Evette A., Frossard P.-A., Prunier P., Roman D. & Valé N. 2013. Génie végétal en rivière de montagne - Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales: végétalisation de berges et ouvrages bois. Grenoble. 318 p.
- Bouchard J. 2018. Processus de drainage et analyse géoréférencée. Présentation orale dans le cadre d'une réunion d'équipe. Napierville, QC, Canada.
- Bourgeois B., Gonzalez E., Vanasse A., Aubin I. & Poulin M. 2016. Spatial processes structuring riparian plant communities in agroecosystems : implications for restoration. *Ecological Applications* 26, 2103-2115.
- Cavaillé P., Dommanget F., Daumergue N., Loucougaray G., Spiegelberger T., Tabacchi E. & Evette A. 2013. Biodiversity assessment following a naturalness gradient of riverbank protection structures in French prealps rivers. *Ecological Engineering* 53, 23–30.
- Cavaillé, P., Dumont B., Van Looy K., Floury M., Tabacchi E. & Evette A. 2018. Influence of riverbank stabilization techniques on taxonomic and functional macrobenthic communities. *Hydrobiologia* 807, 19-35.

Cottet M., Piégay H., & Bornette G. 2013. Does human perception of wetland aesthetics and healthiness relate to ecological functioning? *Journal of Environmental Management* 128, 1012-1022.

Delage C., Evette A., Baillin M., Jaunatre R., Jaymond D. & Huyghe G. 2019. Quels semis pour le génie végétal sur les berges de cours d'eau ?. *Sciences, Eaux et Territoires* 59, Hors-série, 7 p.

Desmet P., & Brouilet L. 2013. Database of Vascular Plants of Canada (VASCAN): a community contributed taxonomic checklist of all vascular plants of Canada, Saint Pierre and Miquelon, and Greenland. *PhytoKeys* 25, 55-67. <http://dx.doi.org/10.3897/phytokeys.25.3100>

Evette A. 2017. Ingénierie écologique pour la restauration des berges de rivières: Adaptation de techniques ancestrales aux nouveaux défis d'un monde en transition (Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, non publié). Université Grenoble Alpes, Saint-Martin-d'Hères.

Evette A., Recking A., Piton G., Rauch H. P., Frossard P. A. & Jaymond D. 2018. The limits of mechanical resistance in bioengineering for riverbank protection. *IALCCE*. Ghent.

Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec (FIHOQ) & Association Québécoise des producteurs en pépinière (AQPP). 2008. Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec. 28 p.

Gouvernement du Québec. 2014. Le Québec chiffres en main - Édition 2014. Institut de la Statistique du Québec.

Gouvernement du Québec. 2017. Cahier des charges et devis généraux – Infrastructures routières – Construction et réparation, Édition 2018. Publications du Québec. 354 p.

Gouvernement du Québec. 2019a. Rapport sur l'eau et les écosystèmes aquatiques au Québec: la flore des écosystèmes aquatiques et humides. URL: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique-Flore-situationCauses.htm#plus>.

Gouvernement du Québec. 2019b. Rapport sur l'eau et les écosystèmes aquatiques au Québec: l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques. URL: <http://www.environnement.gouv.qc.ca/rapportsurleau/Etat-eau-ecosysteme-aquatique.htm>.

Gray D.H. & Sotir R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. John Wiley and Sons. 400 p.

Hurson M. & Biron P. 2019. Quantifying hydrodynamic changes associated with bioengineered stabilization measures using numerical modelling. *Ecological Engineering*, 136, 118-124.

Janssen P., Cavaillé P., Bray F. & Evette A. 2019. Soil bioengineering techniques enhance riparian habitat quality and multi-taxonomic diversity in the foothills of the Alps and Jura Mountains. *Ecological Engineering* 133, 1-9.

Keita N., Bourgeois B., Evette A., Tisserant M., González E., Breton V. & Poulin M. 2020. Growth response of cuttings to drought and waterlogging for three *Salix* species and implications for riverbank soil bioengineering. Submitted for publication to *Botany*.

Kennedy P.G., Walker J.K. & Bogar L.M. 2015. Interspecific mycorrhizal networks and non-networking hosts: exploring the ecology of the host genus *Alnus*. In: *Mycorrhizal Networks*. Springer, pp. 227–254.

Kim K.D., Ewing K. & Giblin D.E. 2006. Controlling *Phalaris arundinacea* (reed canarygrass) with live willow stakes: a density-dependent response. *Ecological Engineering* 27, 219–227.

Lachat B. 1994. Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. 143 p.

Landhäusser S. M. & Lieffers V. J. 1997. Seasonal changes in carbohydrate storage and regrowth in rhizomes and stems of four boreal forest shrubs: applications in *Picea glauca* understorey regeneration. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12, 27-32.

Li M.-H. & Eddleman K.E. 2002. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape and Urban Planning* 60, 225–242.

Li X., Zhang L. & Zhang Z. 2006. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. *Ecological Engineering* 26, 304–314.

Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, 2016. Cadre normatif pour le contrôle de l'utilisation du sol dans les zones de contraintes relatives aux glissements de terrain dans les dépôts meubles. Gouvernement du Québec. 14 p.  
URL : <https://www.mamh.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/orientations-gouvernementales/glissements-de-terrain-dans-les-depots-meubles/#c16473>

Mason C.F., Macdonald S.M. & Hussey A. 1984. Structure, management and conservation value of the riparian woody plant community. *Biological Conservation* 29, 201–216.

Massey W., Biron P.M. & Choné G. 2017. Impacts of river bank stabilization using riprap on fish habitat in two contrasting environments. *Earth Surface Processes and Landforms* 42, 635-646.

McKinney M.L., & Lockwood J. L. 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trends in ecology & evolution*, 14, 450-453.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015. Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques du Québec, Direction des politiques de l'eau. 131 p.

URL : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-interpretationPPRLPI.pdf>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec. 2008; version révisée 2015. Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Note explicative sur la ligne des hautes eaux : la méthode botanique experte, 9 pages + annexes.

Mosseler A., Major J. E. & Labrecque M. 2014. Growth and survival of seven native willow species on highly disturbed coal mine sites in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 44, 340-349.

Pander J., Mueller M., Knott J., Egg L. & Geist J. 2017. Is it worth the money? The functionality of engineered shallow stream banks as habitat for juvenile fishes in heavily modified water bodies. *River research and applications* 33, 63–72.

Pellerin S. & Poulin M., 2013. Analyse de la situation des milieux humides au Québec et recommandations à des fins de conservation et de gestion durable. Rapport final présenté au Ministère du développement durable, de l'environnement, de la faune et des parcs. 104 p.

Pinto A., Fernandes L.F.S. & Maia R. 2016. Monitoring Methodology of Interventions for Riverbanks Stabilization: Assessment of Technical Solutions Performance. *Water Resources Management* 30, 5281–5298.

Poulin M., Evette A., Tisserant M., Keita N., Breton V., Biron P., Raymond P., Charbonneau G. & Falardeau I. 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*. Article hors-série numéro 57.

Richard L.-F. 2010. Suivi de l'état du Saint-Laurent: L'érosion des berges en eaux douces. Ministère de l'Environnement du Canada, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.

Riis T., Kelly-Quinn M., Aguiar F.C., Manolaki P., Bruno D., Bejarano M.D., Clerici N., Fernandes M.R., Franco J.C., Pettit N., Portela A.P., Tammeorg O., Tammeorg P., Rodríguez-González P.M. & Dufour S., 2020. Global overview of ecosystem services provided by riparian vegetation. *Bioscience* 70, 501-514.

Schmitt K., Schäffer M., Koop J. & Symmank L. 2018. River bank stabilisation by bioengineering: potentials for ecological diversity. *Journal of Applied Water Engineering and Research* 1–12.

Simard A. 2004. Portrait global de la qualité de l'eau des principales rivières du Québec. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements

Climatiques, Gouvernement du Québec [En ligne]. URL : [www.menv.gouv.qc.ca/eau/sysimage/global/index](http://www.menv.gouv.qc.ca/eau/sysimage/global/index).

Sudduth E. & Meyer J. 2006. Effects of Bioengineered Streambank Stabilization on Bank Habitat and Macroinvertebrates in Urban Streams. *Environmental Management* 38, 218–226.

Symmank, L., S. Natho, M. Scholz, U. Schröder, K. Raupach and C. Schulz-Zunkel 2020. "The impact of bioengineering techniques for riverbank protection on ecosystem services of riparian zones." *Ecological Engineering* 158: 106040.

Tisserant M., Janssen P., Evette A., González E., Cavallé P. & Poulin, M. 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, 105880.

Verniers G. 1995. Aménagement écologique des berges des cours d'eau: techniques de stabilisation.

Von der Thannen M., Hoerbinger S., Paratscha R., Smutny R., Lampalzer T., Strauss A. & Rauch H.P. 2017. Development of an environmental life cycle assessment model for soil bioengineering constructions. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 24, 1–15.

Violle C., Navas M. L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., & Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882-892.

Wollny J. T. Otte A. & Harvolk-Schöning S. 2019. Dominance of competitors in riparian plant species composition along constructed banks of the German rivers Main and Danube. *Ecological engineering* 127, 324-337.

## **Annexes**

Annexe 1. Répartition des 124 berges échantillonnées selon le cours ou plan d'eau, le bassin versant majeur et la région administrative.

| Nom du cours d'eau / lac | Bassin versant majeur      | Région administrative   | Nombre de berges échantillonnées par cours d'eau |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|
| Ashuapmushuan            | Lac-Saint-Jean             | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 1                                                |
| L'Assomption             | L'Assomption               | Lanaudière              | 2                                                |
| Batiscan                 | Batiscan-Champlain         | Mauricie                | 3                                                |
| Beauport                 | Capitale                   | Capitale Nationale      | 6                                                |
| Bécancour                | Bécancour                  | Chaudière-Appalaches    | 2                                                |
| Belle Rivière            | Lac-Saint-Jean             | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 3                                                |
| Beloeil                  | Richelieu                  | Montérégie              | 1                                                |
| Bullstrode               | Nicolet                    | Centre-du-Québec        | 3                                                |
| du Cap Rouge             | Capitale                   | Capitale Nationale      | 7                                                |
| Chateauguay              | Chateauguay                | Montérégie              | 4                                                |
| Chaudière                | Chaudière                  | Chaudière-Appalaches    | 3                                                |
| Chicoutimi               | Saguenay                   | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 1                                                |
| Delisle                  | Vaudreuil-Soulanges        | Montérégie              | 1                                                |
| de l'Ormière             | Maskinongé                 | Mauricie                | 1                                                |
| des Ha!Ha!               | Saguenay                   | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 2                                                |
| Dorval                   | Saguenay                   | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 1                                                |
| du Berger                | Capitale                   | Capitale Nationale      | 7                                                |
| du Chêne                 | Du Chêne                   | Chaudière-Appalaches    | 2                                                |
| du Marais                | Saint-François             | Estrie                  | 1                                                |
| du Nord                  | Du Nord                    | Laurentides             | 2                                                |
| Fouquette                | Kamouraska-L'Islet-du-Loup | Bas-Saint-Laurent       | 2                                                |
| Jacques-Cartier          | Jacques-Cartier            | Capitale Nationale      | 4                                                |
| Jaune                    | Capitale                   | Capitale Nationale      | 1                                                |
| Key                      | Saint-François             | Estrie                  | 1                                                |
| L'Acadie                 | Richelieu                  | Montérégie              | 2                                                |
| Lacolle                  | Richelieu                  | Montérégie              | 1                                                |
| Lecours                  | Etchemin                   | Chaudière-Appalaches    | 1                                                |
| Saint-Jean (lac)         | Lac-Saint-Jean             | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 4                                                |
| Mascouche                | Mille-Îles                 | Lanaudière              | 2                                                |
| Maskinongé               | Maskinongé                 | Mauricie                | 1                                                |
| Nicolet                  | Nicolet                    | Centre-du-Québec        | 5                                                |
| Ouareau                  | L'Assomption               | Lanaudière              | 2                                                |
| Peuvret                  | Capitale                   | Capitale Nationale      | 1                                                |
| Portneuf                 | Saint-Anne                 | Capitale Nationale      | 1                                                |
| Quilliams                | Yamaska                    | Estrie                  | 2                                                |
| Ratsoul                  | Fleuve-Saint-Jean          | Chaudière-Appalaches    | 1                                                |
| Richelieu                | Richelieu                  | Montérégie              | 5                                                |
| Richer                   | Richelieu                  | Montérégie              | 1                                                |
| Rivière-à-Pierre         | Batiscan-Champlain         | Capitale Nationale      | 1                                                |
| Rouge                    | L'Assomption               | Lanaudière              | 1                                                |
| Saguenay                 | Saguenay                   | Saguenay-Lac-Saint-Jean | 1                                                |

|                                     |                 |                              |                                 |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|
| Saint-Charles                       | Capitale        | Capitale Nationale           | 3                               |
| Saint-Charles                       | Richelieu       | Montérégie                   | 1                               |
| Sainte-Anne                         | Capitale        | Capitale Nationale           | 5                               |
| Saint-Esprit                        | L'Assomption    | Lanaudière                   | 3                               |
| Saint-François                      | Saint-François  | Centre-du-Québec             | 3                               |
| Saint-Laurent (fleuve)              | -               | -                            | 3                               |
| Saint-Maurice                       | Saint-Maurice   | Mauricie                     | 2                               |
| Taché                               | Jacques-Cartier | Capitale Nationale           | 1                               |
| Ticouapé                            | Lac-Saint-Jean  | Saguenay-Lac-Saint-Jean      | 2                               |
| Ti-Georges                          | Saint-François  | Chaudière-Appalaches         | 1                               |
| Yamaska                             | Yamaska         | Montérégie                   | 5                               |
| Yamaska-Sud-Est                     | Yamaska         | Estrie                       | 2                               |
| Total cours d'eau / lac : <b>53</b> |                 | Total BV majeurs : <b>23</b> | Total région admin. : <b>10</b> |
|                                     |                 |                              | Total sites : <b>124</b>        |

Annexe 2. Détails des sites échantillonnés, donnant le type de berge, l'année d'inventaire, le caractère dépôt ou érosion des berges naturelles, l'âge des sites stabilisés, le calibre de roche utilisé, s'il y a lieu, le cours d'eau et les coordonnées géographiques des sites. Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

| Type de berge   | Année | Dépôt/<br>Érosion | Âge | Calibre | Cours d'eau     | Longitude | Latitude |
|-----------------|-------|-------------------|-----|---------|-----------------|-----------|----------|
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Yamaska         | -72.9894  | 45.3609  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Yamaska         | -72.9900  | 45.3616  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Chateauguay     | -73.7625  | 45.3295  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Chateauguay     | -73.7508  | 45.3429  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Chaudière       | -70.6655  | 46.0423  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Chaudière       | -70.6641  | 46.0393  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Batiscan        | -72.4105  | 46.5534  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Batiscan        | -72.4105  | 46.5540  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Belle Rivière   | -71.7232  | 48.3899  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Belle Rivière   | -71.7220  | 48.3898  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Des Ha!Ha!      | -70.8797  | 48.2832  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Des Ha!Ha!      | -70.8767  | 48.2824  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Beauport        | -71.1968  | 46.8600  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Beauport        | -71.1970  | 46.8599  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Nicolet         | -72.2536  | 46.0380  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Nicolet         | -72.2468  | 46.0320  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Yamaska Sud Est | -72.6648  | 45.1769  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Yamaska Sud Est | -72.6656  | 45.1769  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Du Chêne        | -71.7857  | 46.4343  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Du Chêne        | -71.7834  | 46.4353  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Sainte-Anne     | -71.7980  | 46.9494  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Sainte-Anne     | -71.7755  | 46.9785  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Ticouapé        | -72.5366  | 48.8700  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Ticouapé        | -72.5007  | 48.8688  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Saint-Charles   | -71.3429  | 46.8330  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Saint-Charles   | -71.3421  | 46.8323  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Saint-Esprit    | -73.5339  | 45.8748  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Saint-Esprit    | -73.5351  | 45.8754  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Mascouche       | -73.6235  | 45.7669  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Mascouche       | -73.6238  | 45.7660  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Du Berger       | -71.3182  | 46.8422  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Du Berger       | -71.3177  | 46.8418  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Jacques-Cartier | -71.5237  | 46.8808  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Jacques-Cartier | -71.5231  | 46.8845  |
| Berge naturelle | 2016  | Dépôt             | NA  | NA      | Cap Rouge       | -71.3813  | 46.7690  |
| Berge naturelle | 2016  | Érosion           | NA  | NA      | Cap Rouge       | -71.3813  | 46.7680  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Saint-François  | -72.2830  | 45.8027  |
| Berge naturelle | 2017  | Érosion           | NA  | NA      | Saint-François  | -72.2834  | 45.8093  |
| Berge naturelle | 2017  | Dépôt             | NA  | NA      | Bullstrode      | -71.7299  | 46.0721  |

|                 |      |         |    |        |                   |          |         |
|-----------------|------|---------|----|--------|-------------------|----------|---------|
| Berge naturelle | 2017 | Érosion | NA | NA     | Bullstrode        | -71.7094 | 46.0600 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 6  | NA     | Saint-Laurent     | -73.4388 | 45.7418 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 6  | NA     | Richelieu         | -73.1489 | 45.9369 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 1  | NA     | Saint-Charles (2) | -73.4410 | 45.6712 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 2  | NA     | Jaune             | -71.4779 | 46.7717 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 5  | NA     | Cap Rouge         | -71.4743 | 46.7714 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 9  | NA     | Beloeil           | -73.2307 | 45.6155 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 9  | NA     | Richer            | -73.1936 | 45.6864 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 6  | NA     | Du Marais         | -71.9477 | 45.3723 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 7  | NA     | Cap Rouge         | -71.3520 | 46.7566 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 4  | NA     | Peuvret           | -71.2205 | 46.8707 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 5  | NA     | Saint-Laurent     | -73.6396 | 45.6911 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 3  | NA     | Quilliams         | -72.4823 | 45.2779 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 3  | NA     | Quilliams         | -72.4798 | 45.2758 |
| Génie vég. pur  | 2016 | NA      | 2  | NA     | Bécancour         | -71.2602 | 46.1091 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 6  | NA     | Lacolle           | -73.4860 | 45.0429 |
| Génie vég. pur  | 2017 | NA      | 20 | NA     | Lac-Saint-Jean    | -71.8113 | 48.4600 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 9  | <400mm | Key               | -71.9642 | 45.4629 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 7  | >400mm | Yamaska           | -72.8534 | 45.2846 |
| Génie vég. epdb | 2017 | NA      | 10 | >400mm | Nicolet           | -71.8545 | 45.7948 |
| Génie vég. epdb | 2017 | NA      | 2  | <400mm | L'Acadie          | -73.3930 | 45.2476 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 18 | <400mm | Du Berger         | -71.3111 | 46.8293 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 15 | <400mm | Fouquette         | -69.6883 | 47.7084 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 15 | <400mm | Fouquette         | -69.6893 | 47.7077 |
| Génie vég. epdb | 2017 | NA      | 9  | >400mm | Beauport          | -71.2107 | 46.8886 |
| Génie vég. epdb | 2016 | NA      | 14 | <400mm | Saint-François    | -72.8183 | 46.0697 |
| Génie vég. epdb | 2017 | NA      | 7  | <400mm | Rouge             | -72.5176 | 48.7945 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 3  | >400mm | Nicolet           | -71.9683 | 46.0545 |
| Génie mixte     | 2017 | NA      | 4  | >400mm | Saint-Anne        | -71.8207 | 46.9229 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 3  | >400mm | Saint-Charles     | -71.3418 | 46.8337 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 4  | >400mm | À Pierre          | -72.1778 | 46.9783 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 12 | >400mm | Ratsoul           | -70.0472 | 46.9069 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 5  | >400mm | Taché             | -71.3433 | 47.1056 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 6  | >400mm | Sainte-Anne       | -72.1463 | 46.6434 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 4  | >400mm | Saint-Laurent     | -71.4812 | 46.7245 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 4  | >400mm | Beauport          | -71.2000 | 46.8563 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 4  | <400mm | Beauport          | -71.1972 | 46.8609 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 4  | >400mm | Beauport          | -71.2020 | 46.8616 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 5  | <400mm | Du Berger         | -71.2922 | 46.8124 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 5  | <400mm | Du Berger         | -71.2971 | 46.8179 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 5  | >400mm | Cap Rouge         | -71.3580 | 46.7647 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 6  | >400mm | Cap Rouge         | -71.3566 | 46.7711 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 6  | >400mm | Cap Rouge         | -71.3740 | 46.7690 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 6  | <400mm | Saint-Maurice     | -72.5472 | 46.3626 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 17 | >400mm | Richelieu         | -73.2869 | 45.4482 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 10 | >400mm | Jacques-Cartier   | -71.5400 | 46.8640 |
| Génie mixte     | 2016 | NA      | 12 | <400mm | Saint-Maurice     | -72.5297 | 46.3519 |

|             |      |    |    |        |                 |          |         |
|-------------|------|----|----|--------|-----------------|----------|---------|
| Génie mixte | 2016 | NA | 7  | >400mm | Lecours         | -71.1265 | 46.8255 |
| Génie mixte | 2016 | NA | 5  | >400mm | Bécancour       | -71.2900 | 46.0985 |
| Génie mixte | 2017 | NA | 20 | <400mm | Lac-Saint-Jean  | -71.7946 | 48.4589 |
| Génie mixte | 2017 | NA | 16 | <400mm | Lac-Saint-Jean  | -71.7918 | 48.4861 |
| Génie mixte | 2017 | NA | 18 | >400mm | Lac-Saint-Jean  | -71.8910 | 48.6770 |
| Enrochement | 2017 | NA | 6  | >400mm | Ti Georges      | -70.5960 | 45.7631 |
| Enrochement | 2016 | NA | 4  | >400mm | Sainte-Anne     | -72.2063 | 46.6204 |
| Enrochement | 2016 | NA | 12 | <400mm | Du Nord         | -74.3350 | 45.5496 |
| Enrochement | 2016 | NA | 16 | <400mm | Ouareau         | -73.5191 | 45.9875 |
| Enrochement | 2017 | NA | 4  | >400mm | Du Nord         | -74.0473 | 45.7339 |
| Enrochement | 2017 | NA | 5  | >400mm | Saint-Esprit    | -73.5246 | 45.8703 |
| Enrochement | 2017 | NA | 8  | >400mm | Nicolet         | -72.5989 | 46.2177 |
| Enrochement | 2017 | NA | 3  | <400mm | De l'Ormière    | -73.0854 | 46.2519 |
| Enrochement | 2017 | NA | 25 | <400mm | Delisle         | -74.2401 | 45.2740 |
| Enrochement | 2017 | NA | 29 | >400mm | Ouareau         | -73.6331 | 46.0279 |
| Enrochement | 2017 | NA | 28 | >400mm | Assomption      | -73.4410 | 46.0586 |
| Enrochement | 2017 | NA | 26 | >400mm | Maskinongé      | -73.0146 | 46.2207 |
| Enrochement | 2017 | NA | 17 | >400mm | Assomption      | -73.4378 | 45.9142 |
| Enrochement | 2017 | NA | 16 | >400mm | Chateauguay     | -73.7983 | 45.3059 |
| Enrochement | 2017 | NA | 12 | >400mm | Batiscan        | -72.3373 | 46.5269 |
| Enrochement | 2017 | NA | 29 | >400mm | Yamaska         | -72.9839 | 45.5758 |
| Enrochement | 2017 | NA | 21 | >400mm | Chicoutimi      | -71.1310 | 48.3838 |
| Enrochement | 2017 | NA | 18 | >400mm | Chaudière       | -70.6243 | 45.8772 |
| Enrochement | 2017 | NA | 10 | >400mm | Portneuf        | -71.7383 | 46.7870 |
| Enrochement | 2017 | NA | 8  | >400mm | Bullstrode      | -71.6508 | 46.0107 |
| Enrochement | 2016 | NA | 5  | >400mm | Richelieu       | -73.2451 | 45.4096 |
| Enrochement | 2017 | NA | 20 | >400mm | Saguenay        | -70.7763 | 48.3424 |
| Enrochement | 2017 | NA | 15 | <400mm | Belle Rivière   | -71.7110 | 48.4173 |
| Enrochement | 2017 | NA | 22 | <400mm | Dorval          | -71.5284 | 48.4813 |
| Enrochement | 2017 | NA | 20 | >400mm | Ashuapmushuan   | -72.4452 | 48.6639 |
| Enrochement | 2017 | NA | 6  | >400mm | L'Acadie        | -73.3470 | 45.3154 |
| Enrochement | 2016 | NA | 12 | >400mm | Chateauguay     | -73.7993 | 45.2493 |
| Enrochement | 2017 | NA | 11 | >400mm | Jacques-Cartier | -71.5481 | 46.8600 |
| Enrochement | 2016 | NA | 6  | >400mm | Du Berger       | -71.3136 | 46.8359 |
| Enrochement | 2016 | NA | 6  | >400mm | Du Berger       | -71.3127 | 46.8307 |
| Enrochement | 2016 | NA | 3  | >400mm | Richelieu       | -73.1879 | 45.6136 |
| Enrochement | 2016 | NA | 3  | <400mm | Richelieu       | -73.1888 | 45.7523 |
| Enrochement | 2016 | NA | 4  | <400mm | Yamaska         | -72.9825 | 45.5799 |

### Annexe 3. Protocole d'échantillonnage utilisé pour caractériser la végétation et les variables environnementales sur les berges.

#### Campagnes d'échantillonnage :

2016 – du 19 juin au 19 septembre

2017 – du 20 juin au 31 août

#### Plan d'échantillonnage :

Classement des ouvrages (+ berges naturelles) en cinq catégories selon leur naturalité :

1. Berges naturelles
2. Génie végétal pur
3. Génie végétal avec clé d'enrochement
4. Génie mixte
5. Enrochement

Prise en note du calibre d'enrochement (< 400 mm; > 400 mm) et la technique de génie végétal utilisée

Détermination de la hauteur de la LNHE (ligne naturelle des hautes eaux ≈ ligne de récurrence Q2)

Centrage des transects sur l'ouvrage de stabilisation par génie végétal, parallèlement à la berge (Figure 2). L'uniformité de la végétation le long du transect est favorisée. S'il y a un défaut de reprise ou un trou dans le transect, celui-ci est déplacé sur une partie de l'ouvrage où la reprise de la végétation est homogène.

Longueur du transect : 25 m

Points de contact : 1 point / 20 cm

Total : 126 PDC / transect

Trois transects parallèles par berge échantillonnée :

- Sous la LNHE → enrochement ou ouvrage de pied de berge
- Sur la technique linéaire de milieu de berge ou au niveau de la LNHE
- Sur la technique surfacique de haut de berge ou en haut de la LNHE

Estimation rapide du pourcentage de couvert de chaque type de végétation de berge, à l'échelle de l'ouvrage de stabilisation

Prise des mesures des variables (cf partie variables étudiées)

- Conductimétrie : 3 mesures de l'eau de la rivière au centre de l'ouvrage
- Granulométrie du sol : test de texture au début, milieu et fin du transect de haut de berge
- Caractérisation du substrat du lit de la rivière : le long du transect de pied de berge, caractérisation du substrat du lit sur 1.5 m de large dans la rivière et sur 6 m dans le transect. Le substrat sera identifié selon les classes du tableau 1, aux trois points d'observation.

- Caractérisation de l'érosion de la berge par observation de la section de berge échantillonnée (Tableau 2). Cette classification du niveau d'érosion des berges sert à évaluer l'érosion de la berge stabilisée, et permet de définir les berges naturelles en érosion faible et forte, en plus des photos aériennes.

Échantillonnage de la végétation par points de contact (cf Figure 2) :

Déplacement le long des transects avec une perche de 2 m de long et de 1 cm de large. À chaque point, détermination des espèces en contact avec la perche prolongée à l'infini. Prise en compte de la structure verticale des communautés avec détermination des espèces dans les trois strates : arbres, arbustes et couverture au sol. Prise en compte de la structure physique ou biologique présente (bois mort, sol nu - différentes classes, racines, etc.). Comptage de la canopée uniquement si l'arbre est implanté dans la berge, et non si la branche d'un individu recouvre la surface de la berge mais que le tronc est sur le talus.

Échantillonnage des berges riveraines naturelles :

Des berges naturelles seront échantillonnées dans chaque région où se trouvent des ouvrages de stabilisation. Les sections de rives naturelles seront choisies pour être standardisées et représentatives des conditions rencontrées dans les sections stabilisées (largeur de rivière, géomorphologie, largeur de berge, etc.). Leur emplacement sera déterminé avant d'être sur les lieux par photos aériennes actuelles ou orthophotos anciennes. Deux types de berges naturelles seront échantillonnés : des berges naturelles avec conditions d'érosion et d'autres avec conditions de dépôt. Pour cela, une dynamique latérale importante, ainsi que la présence de différents stades de succession seront recherchés. Dans l'idéal, la comparaison des tracés entre des photos aériennes de 1979 (obtenues sur [info-sols.ca](http://info-sols.ca)) et des orthophotos récentes permettront d'identifier des sections dynamiques sur le linéaire du cours d'eau. Sinon, des berges naturelles d'intérêt pour l'étude pourront être identifiées sur le terrain, en recherchant des traces d'érosion et la présence de stades de végétation indicateurs de l'hydromorphologie du cours d'eau.

La longueur des transects, le protocole d'échantillonnage ainsi que les variables mesurées sont identiques aux berges stabilisées.

Figure 1. Schéma en coupe des quatre types de stabilisation de berge et des trois niveaux de transect pour les inventaires botaniques.

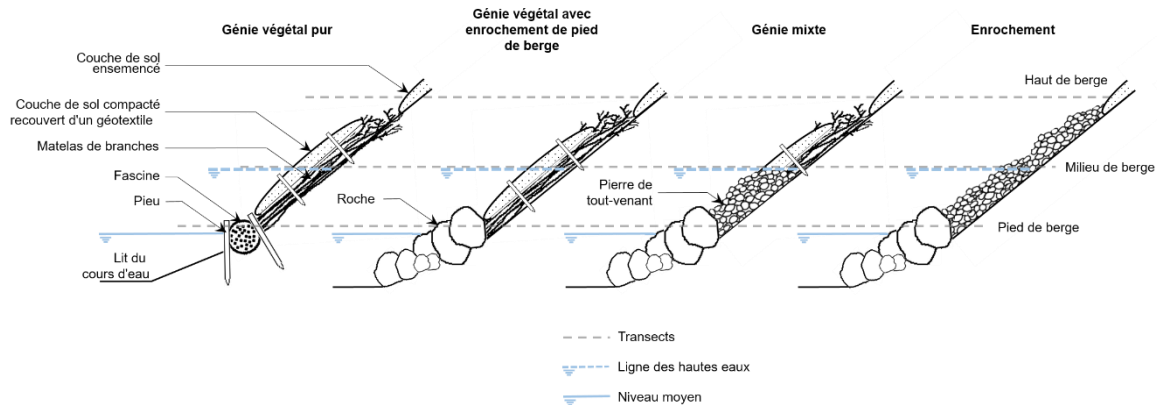


Tableau 1. Identification du substrat du lit de la rivière (MDDELCC, 2005)

| Catégorie                                 | Taille               | Repère                                  |
|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| Bloc et affleurement rocheux              | Plus de 20 cm        | Plus grand qu'un ballon de basket       |
| Galet – Caillou                           | Entre 4 cm et 20 cm  | Entre balle de golf et ballon de basket |
| Gravier                                   | Entre 2 mm et 4 cm   | Entre coccinelle et balle de golf       |
| Sable                                     | Entre 0,2 mm et 2 mm | Matière granuleuse entre les doigts     |
| Limon, argile ou matière organique (vase) | Moins de 0,2 mm      | Non granuleux, lisse entre les doigts   |

4

Tableau 2. Critères de niveaux d'érosion de la berge, d'après Écogénie 2009.

| Niveau d'érosion | Type            | Caractéristiques visibles                                                                                                                              |
|------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                | Érosion nulle   | Aucune érosion visible<br>Zone de sédimentation<br>Végétation présente                                                                                 |
| 1                | Érosion faible  | Berge stable<br>Petite superficie et longueur touchée (< à 50%)<br>Faible recul du front d'érosion<br>Végétation présente                              |
| 2                | Érosion moyenne | Grande superficie touchée<br>Longue distance faiblement érodée (> à 50 %)<br>Végétation parfois présente<br>Plantes inclinées ou à racines nues        |
| 3                | Érosion forte   | Grande superficie et distance touchée (> à 50 %)<br>Affaissement de la berge<br>Berge instable<br>Front d'érosion évident<br>Arbres à racines dénudées |

## Annexe 4. Copie de la feuille de terrain utilisée pour collecter les informations générales et les variables environnementales.

| Site                                                                                                                                              |  |  | Localisation                                                                                                                                                                                   |  |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Nom                                                                                                                                               |  |  | Latitude                                                                                                                                                                                       |  |  |
| Nom rivière                                                                                                                                       |  |  | Longitude                                                                                                                                                                                      |  |  |
| Date                                                                                                                                              |  |  | Altitude                                                                                                                                                                                       |  |  |
| Observateur                                                                                                                                       |  |  |                                                                                                                                                                                                |  |  |
| Type de berge (D/G)                                                                                                                               |  |  | <div>Situation</div> <input type="checkbox"/> Privé <input type="checkbox"/> Public                                                                                                            |  |  |
| Température (air)                                                                                                                                 |  |  | Nom propriétaire                                                                                                                                                                               |  |  |
| Exposition                                                                                                                                        |  |  | Coordonnées                                                                                                                                                                                    |  |  |
| Pente de la berge                                                                                                                                 |  |  |                                                                                                                                                                                                |  |  |
| Ouvrage                                                                                                                                           |  |  | Composante du paysage riverain                                                                                                                                                                 |  |  |
| Technique(s) principales(s):                                                                                                                      |  |  | Espèces arbres / arbustes dominantes                                                                                                                                                           |  |  |
| Espèces implantées:                                                                                                                               |  |  |                                                                                                                                                                                                |  |  |
| Âge de l'ouvrage                                                                                                                                  |  |  | Détails:                                                                                                                                                                                       |  |  |
| Longueur de berge                                                                                                                                 |  |  |                                                                                                                                                                                                |  |  |
| Largeur de berge                                                                                                                                  |  |  | Hauteur canopée (haut de berge)                                                                                                                                                                |  |  |
| Enrochement <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non                                                                             |  |  |                                                                                                                                                                                                |  |  |
| Calibre de roches                                                                                                                                 |  |  | Sol                                                                                                                                                                                            |  |  |
| <input type="checkbox"/> Tout venant <input type="checkbox"/> < 400 mm<br><input type="checkbox"/> > 400 mm <input type="checkbox"/> Autre: ..... |  |  | Épaisseur de litière                                                                                                                                                                           |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | Granulométrie du sol (test de texture)                                                                                                                                                         |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | Point 1.                                                                                                                                                                                       |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | <input type="checkbox"/> S / LoS <input type="checkbox"/> LoLi / Li <input type="checkbox"/> Lo<br><input type="checkbox"/> LoA / LoLiA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> A |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | Point 2.                                                                                                                                                                                       |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | <input type="checkbox"/> S / LoS <input type="checkbox"/> LoLi / Li <input type="checkbox"/> Lo<br><input type="checkbox"/> LoA / LoLiA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> A |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | Point 3.                                                                                                                                                                                       |  |  |
|                                                                                                                                                   |  |  | <input type="checkbox"/> S / LoS <input type="checkbox"/> LoLi / Li <input type="checkbox"/> Lo<br><input type="checkbox"/> LoA / LoLiA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> A |  |  |

| Code      | Teneur sable | Test déterm. |
|-----------|--------------|--------------|
| SLoS      | Sup. à 50 %  | Tactile      |
| LoLi/Li   | Inf. à 50 %  | Tactile      |
| Lo        | Inf. à 50 %  | Rubanage     |
| LoA/LoLiA | Inf. à 50 %  | Tactile      |
| AS        | Sup. à 50 %  | Rubanage     |
| A         | Inf. à 50 %  | Rubanage     |

| Données hydro                                   |                                                                                                             |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Largeur du cours d'eau                          |                                                                                                             |
| Vitesse du courant                              | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3                            |
| Niveau d'érosion                                | <input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 |
| Faciès d'écoulement                             |                                                                                                             |
| <input type="checkbox"/> Chenal lentique        | <input type="checkbox"/> Mouille concav.                                                                    |
| <input type="checkbox"/> Fosse d'affouillement  | <input type="checkbox"/> Chenal lotique                                                                     |
| <input type="checkbox"/> Plat lentique          | <input type="checkbox"/> Plat courant                                                                       |
| <input type="checkbox"/> Radier                 |                                                                                                             |
| Température (eau)                               |                                                                                                             |
| Conductivité                                    | pH                                                                                                          |
| 1.                                              | 1.                                                                                                          |
| 2.                                              | 2.                                                                                                          |
| 3.                                              | 3.                                                                                                          |
| Style fluvial                                   |                                                                                                             |
| <input type="checkbox"/> Linéaire seuil/mouille | <input type="checkbox"/> M. stables                                                                         |
| <input type="checkbox"/> M. dynamiques          | <input type="checkbox"/> Divagant                                                                           |
| <input type="checkbox"/> Tresse                 | <input type="checkbox"/> Anastom.                                                                           |
| Type de dépôt                                   |                                                                                                             |
| <input type="checkbox"/> Alluvial               | <input type="checkbox"/> Semi-alluvial                                                                      |
| <input type="checkbox"/> Non alluvial           |                                                                                                             |
| Niveau d'encaissement                           | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3                            |
| Exposition embâcles                             | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3                            |
| Granulo. du lit                                 | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 |
|                                                 |                                                                                                             |
| Granulométrie du lit                            |                                                                                                             |
| 1                                               | Sable < 2 cm                                                                                                |
| 2                                               | Graviers 2 - 10 cm                                                                                          |
| 3                                               | Blocs > 20 cm                                                                                               |
| 4                                               | Affleurements (roc)                                                                                         |
|                                                 |                                                                                                             |
| Commentaires sur le site                        |                                                                                                             |
|                                                 |                                                                                                             |

| Niveau d'érosion                    |                                                        |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 0                                   | Ø érosion / sédimentation / végétation                 |
| 1                                   | Stable / Sup-long<50% / Faible recul / Végétation      |
| 2                                   | Sup-long>50% (faible érosion) / ~ végétation-rac. nues |
| 3                                   | Sup-long>50% (forte érosion) / Instable / Affaissement |
|                                     |                                                        |
| Faciès d'écoulement                 |                                                        |
| Ch. lentique                        | P>60cm / V<30cm.s <sup>-1</sup> / symétrique           |
| Mo. concavité                       | P>60cm / V<30cm.s <sup>-1</sup> / asym-méandre         |
| Fo. affouill                        | P>60cm / V<30cm.s <sup>-1</sup> / asym-obstacle        |
| Ch. lotique                         | P>60cm / V>30cm.s <sup>-1</sup> / symétrique           |
| Pl. lentique                        | P<60cm / V<30cm.s <sup>-1</sup> / amont radier         |
| Pl. courant                         | P<60cm / V>30cm.s <sup>-1</sup> / écou. unif.          |
| Radier                              | P<60cm / V>30cm.s <sup>-1</sup> / écou. turbul.        |
|                                     |                                                        |
| Style fluvial                       |                                                        |
| Linéaire                            | Migr. sans bancs                                       |
| M. stables                          | Débordements sur plaine alluviale                      |
| M. dynam.                           | Migration avec bancs                                   |
| Divagant                            | Migr. avec bancs convexes et centraux                  |
| Tresse                              | Migr. avec bancs centr. / chen. multi.                 |
| Anastom.                            | Débordement et avulsion                                |
|                                     |                                                        |
| Niveau d'encaissement               |                                                        |
| 1                                   | Large plaine alluviale                                 |
| 2                                   | Débordements possibles mais lit encaissé               |
| 3                                   | Fort encaissement                                      |
|                                     |                                                        |
| Exposition embâcles (aux alentours) |                                                        |
| 1                                   | Ø cicatrises de glace / Ø bois mort                    |
| 2                                   | Présence de cicatrises OU de bois mort                 |
| 3                                   | Présence de cicatrises ET de bois mort                 |
|                                     |                                                        |

Annexe 5. Copie de la feuille de terrain utilisée pour les inventaires botaniques par point de contact (PDC).

| PDC                      | Espèces | PDC | Espèces |
|--------------------------|---------|-----|---------|
| 1                        |         | 33  |         |
| 2                        |         | 34  |         |
| 3                        |         | 35  |         |
| 4                        |         | 36  |         |
| 5                        |         | 37  |         |
| 6                        |         | 38  |         |
| 7                        |         | 39  |         |
| 8                        |         | 40  |         |
| 9                        |         | 41  |         |
| 10                       |         | 42  |         |
| 11                       |         | 43  |         |
| 12                       |         | 44  |         |
| 13                       |         | 45  |         |
| 14                       |         | 46  |         |
| 15                       |         | 47  |         |
| 16                       |         | 48  |         |
| 17                       |         | 49  |         |
| 18                       |         | 50  |         |
| 19                       |         | 51  |         |
| 20                       |         | 52  |         |
| 21                       |         | 53  |         |
| 22                       |         | 54  |         |
| 23                       |         | 55  |         |
| 24                       |         | 56  |         |
| 25                       |         | 57  |         |
| 26                       |         | 58  |         |
| 27                       |         | 59  |         |
| 28                       |         | 60  |         |
| 29                       |         | 61  |         |
| 30                       |         | 62  |         |
| 31                       |         | 63  |         |
| 32                       |         | 64  |         |
| Noms espèces inconnues : |         |     |         |

| PDC | Espèces | PDC                      | Espèces |
|-----|---------|--------------------------|---------|
| 65  |         | 97                       |         |
| 66  |         | 98                       |         |
| 67  |         | 99                       |         |
| 68  |         | 100                      |         |
| 69  |         | 101                      |         |
| 70  |         | 102                      |         |
| 71  |         | 103                      |         |
| 72  |         | 104                      |         |
| 73  |         | 105                      |         |
| 74  |         | 106                      |         |
| 75  |         | 107                      |         |
| 76  |         | 108                      |         |
| 77  |         | 109                      |         |
| 78  |         | 110                      |         |
| 79  |         | 111                      |         |
| 80  |         | 112                      |         |
| 81  |         | 113                      |         |
| 82  |         | 114                      |         |
| 83  |         | 115                      |         |
| 84  |         | 116                      |         |
| 85  |         | 117                      |         |
| 86  |         | 118                      |         |
| 87  |         | 119                      |         |
| 88  |         | 120                      |         |
| 89  |         | 121                      |         |
| 90  |         | 122                      |         |
| 91  |         | 123                      |         |
| 92  |         | 124                      |         |
| 93  |         | 125                      |         |
| 94  |         | 126                      |         |
| 95  |         | Noms espèces inconnues : |         |
| 96  |         |                          |         |

Annexe 6. Liste des 542 espèces et 20 taxons issus des inventaires botaniques sur les 124 sites échantillonnés, classés par strate (arbre, arbuste, vigne, herbacée) et forme de vie. Pour la strate herbacée, les formes de vie sont : herbacée latifoliée (Herb. lat.), graminioïde (poacées, carex, scirpe, jonc, etc.), fougère et prêle. Les familles des espèces sont précisées. Les groupes écologiques utilisés dans l'analyse des résultats sont également données : capacité de dispersion des graines par hydrochorie, statut au Québec, stratégie des plantes selon le triangle de Grime. Les stratégies sont : compétition (C), tolérance au stress (S) et rudéralité (R).

| Espèces                                                     | Famille      | Strate et forme de vie | Hydrochorie | Statut au Québec | C   | S   | R   |
|-------------------------------------------------------------|--------------|------------------------|-------------|------------------|-----|-----|-----|
| <i>Abies balsamea</i> (Linnaeus) Miller                     | Pinaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Acer negundo</i> Linnaeus                                | Sapindaceae  | Arbre                  | Oui         | Exotique         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Acer rubrum</i> Linnaeus                                 | Sapindaceae  | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Acer saccharinum</i> Linnaeus                            | Sapindaceae  | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Acer saccharum</i> Marshall                              | Sapindaceae  | Arbre                  | Oui         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Aesculus hippocastanum</i> Linnaeus                      | Sapindaceae  | Arbre                  | NA          | Exotique         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Alnus glutinosa</i> (Linnaeus) Gaertner                  | Betulaceae   | Arbre                  | Oui         | Exotique         | Oui | Oui | Non |
| <i>Betula alleghaniensis</i> Britton                        | Betulaceae   | Arbre                  | Non         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Betula papyrifera</i> Marshall                           | Betulaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Betula populifolia</i> Marshall                          | Betulaceae   | Arbre                  | Non         | Indigène         | Oui | Oui | Non |
| <i>Carpinus caroliniana</i> Walter                          | Betulaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fagus grandifolia</i> Ehrhart                            | Fagaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fraxinus americana</i> Linnaeus                          | Oleaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Fraxinus nigra</i> Marshall                              | Oleaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall                      | Oleaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | Oui | Non | Non |
| <i>Juglans cinerea</i> Linnaeus                             | Juglandaceae | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Larix laricina</i> (Du Roi) K. Koch                      | Pinaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Malus</i> spp.                                           | Rosaceae     | Arbre                  | -           | -                | -   | -   | -   |
| <i>Picea glauca</i> (Moench) Voss                           | Pinaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Picea mariana</i> (Miller) Britton, Sterns & Poggenburgh | Pinaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Picea rubens</i> Sargent                                 | Pinaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pinus resinosa</i> Aiton                                 | Pinaceae     | Arbre                  | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pinus strobus</i> Linnaeus                               | Pinaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | Non | Oui | Non |
| <i>Populus balsamifera</i> Linnaeus                         | Salicaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Populus deltoides</i> Bartram                            | Salicaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Populus grandidentata</i> Michaux                        | Salicaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Populus tremuloides</i> Michaux                          | Salicaceae   | Arbre                  | Oui         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Prunus nigra</i> Aiton                                   | Rosaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Prunus pensylvanica</i> Linnaeus f.                      | Rosaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Quercus macrocarpa</i> Michaux                           | Fagaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Quercus rubra</i> Linnaeus                               | Fagaceae     | Arbre                  | Non         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> Linnaeus                        | Fabaceae     | Arbre                  | Non         | Exotique         | Oui | Non | Non |
| <i>Salix fragilis</i> Linnaeus                              | Salicaceae   | Arbre                  | Oui         | Exotique         | Oui | Non | Non |
| <i>Sorbus aucuparia</i> Linnaeus                            | Rosaceae     | Arbre                  | Non         | Exotique         | Oui | Oui | Non |
| <i>Syringa</i> spp.                                         | Oleaceae     | Arbre                  | -           | -                | -   | -   | -   |
| <i>Thuja occidentalis</i> Linnaeus                          | Cupressaceae | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Tilia americana</i> Linnaeus                             | Malvaceae    | Arbre                  | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Tilia cordata</i> Miller                                 | Malvaceae    | Arbre                  | Non         | Exotique         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Ulmus americana</i> Linnaeus                             | Ulmaceae     | Arbre                  | Oui         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ulmus pumila</i> Linnaeus                                | Ulmaceae     | Arbre                  | NA          | Exotique         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viburnum opulus</i> Aiton                                | Adoxaceae    | Arbre                  | Non         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Acer pensylvanicum</i> Linnaeus                          | Sapindaceae  | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Acer spicatum</i> Lamarck                                | Sapindaceae  | Arbuste                | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Alnus incana</i> (Du Roi) R.T. Clausen                   | Betulaceae   | Arbuste                | Oui         | Indigène         | Oui | Oui | Oui |
| <i>Amelanchier alnifolia</i> (Nuttall) Nuttall ex M. Roemer | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier arborea</i> (F. Michaux) Fernald             | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier canadensis</i> (Linnaeus) Medikus            | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier humilis</i> Wiegand                          | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier laevis</i> Wiegand                           | Rosaceae     | Arbuste                | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier sanguinea</i> (Pursh) de Candolle            | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amelanchier</i> spp.                                     | Rosaceae     | Arbuste                | -           | -                | -   | -   | -   |
| <i>Aronia melanocarpa</i> (Michaux) Elliott                 | Rosaceae     | Arbuste                | NA          | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cornus alternifolia</i> Linnaeus f.                      | Cornaceae    | Arbuste                | Non         | Indigène         | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cornus sericea</i> Linnaeus                              | Cornaceae    | Arbuste                | Non         | Indigène         | Oui | Non | Non |

|                                                        |                 |         |     |          |     |     |     |
|--------------------------------------------------------|-----------------|---------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Corylus cornuta</i> Marshall                        | Betulaceae      | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Crataegus</i> spp.                                  | Rosaceae        | Arbuste | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Diervilla lonicera</i> Miller                       | Caprifoliaceae  | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Frangula alnus</i> Miller                           | Rhamnaceae      | Arbuste | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ilex verticillata</i> (Linnaeus) A. Gray            | Aquifoliaceae   | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Kalmia angustifolia</i> Linnaeus                    | Ericaceae       | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lonicera canadensis</i> Bartram ex Marshall         | Caprifoliaceae  | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lonicera dioica</i> Linnaeus                        | Caprifoliaceae  | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lonicera tatarica</i> Linnaeus                      | Caprifoliaceae  | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Lonicera villosa</i> (Michaux) Roemer & Schultes    | Caprifoliaceae  | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lonicera</i> spp.                                   | Caprifoliaceae  | Arbuste | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Myrica gale</i> Linnaeus                            | Myricaceae      | Arbuste | Oui | Indigène | Non | Oui | Non |
| <i>Physocarpus opulifolius</i> (Linnaeus) Maximowicz   | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Prunus virginiana</i> Linnaeus                      | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Rhamnus cathartica</i> Linnaeus                     | Rhamnaceae      | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Rhus aromatica</i> Aiton                            | Anacardiaceae   | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rhus typhina</i> Linnaeus                           | Anacardiaceae   | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Ribes americanum</i> Miller                         | Grossulariaceae | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ribes cynosbati</i> Linnaeus                        | Grossulariaceae | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ribes glandulosum</i> Grauer                        | Grossulariaceae | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ribes nigrum</i> Linnaeus                           | Grossulariaceae | Arbuste | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ribes triste</i> Pallas                             | Grossulariaceae | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rosa acicularis</i> Lindley                         | Rosaceae        | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rosa blanda</i> Aiton                               | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rosa canina</i> Linnaeus                            | Rosaceae        | Arbuste | NA  | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Rosa rugosa</i> Thunberg                            | Rosaceae        | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Rosa</i> spp.                                       | Rosaceae        | Arbuste | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Rubus allegheniensis</i> Porter                     | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Rubus idaeus</i> Linnaeus                           | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Rubus odoratus</i> Linnaeus                         | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Rubus pubescens</i> Rafinesque                      | Rosaceae        | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix bebbiana</i> Sargent                          | Salicaceae      | Arbuste | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix discolor</i> Muhlenberg                       | Salicaceae      | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix eriocephala</i> Michaux                       | Salicaceae      | Arbuste | Oui | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Salix interior</i> Rowlee                           | Salicaceae      | Arbuste | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix lucida</i> Muhlenberg                         | Salicaceae      | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix pellita</i> (Anderson) Bebb                   | Salicaceae      | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix pentandra</i> Linnaeus                        | Salicaceae      | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Salix petiolaris</i> Smith                          | Salicaceae      | Arbuste | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix sericea</i> Marshall                          | Salicaceae      | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Salix triandra</i> Linnaeus                         | Salicaceae      | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Salix viminalis</i> Linnaeus                        | Salicaceae      | Arbuste | Non | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Sambucus canadensis</i> Linnaeus                    | Adoxaceae       | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sambucus racemosa</i> (Michaux) Hultén              | Adoxaceae       | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Sorbaria sorbifolia</i> (Linnaeus) A. Braun         | Rosaceae        | Arbuste | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sorbus americana</i> Marshall                       | Rosaceae        | Arbuste | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Spiraea alba</i> Du Roi                             | Rosaceae        | Arbuste | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Spiraea tomentosa</i> Linnaeus                      | Rosaceae        | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Taxus canadensis</i> Marshall                       | Taxaceae        | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Toxicodendron radicans</i> (Linnaeus) Kuntze        | Anacardiaceae   | Arbuste | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Vaccinium angustifolium</i> Aiton                   | Ericaceae       | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Vaccinium myrtilloides</i> Michaux                  | Ericaceae       | Arbuste | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viburnum lantana</i> Linnaeus                       | Adoxaceae       | Arbuste | NA  | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Viburnum nudum</i> Linnaeus                         | Adoxaceae       | Arbuste | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Amphicarpaea bracteata</i> (Linnaeus) Fernald       | Fabaceae        | Vigne   | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Apios americana</i> Medikus                         | Fabaceae        | Vigne   | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Calystegia sepium</i> (Linnaeus) R. Brown           | Convolvaceae    | Vigne   | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Clematis virginiana</i> Linnaeus                    | Ranunculaceae   | Vigne   | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Convolvulus arvensis</i> Linnaeus                   | Convolvaceae    | Vigne   | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Cuscuta gronovii</i> Willdenow ex Roemer & Schultes | Cuscutaceae     | Vigne   | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Echinocystis lobata</i> (Michaux) Torrey & A. Gray  | Cucurbitaceae   | Vigne   | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Fallopia cilinodis</i> (Michaux) Holub              | Polygonaceae    | Vigne   | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fallopia scandens</i> (Linnaeus) Holub              | Polygonaceae    | Vigne   | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Humulus lupulus</i> Linnaeus                        | Cannabaceae     | Vigne   | NA  | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Lathyrus japonicus</i> Willdenow                    | Fabaceae        | Vigne   | Non | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Lathyrus latifolius</i> Linnaeus                    | Fabaceae        | Vigne   | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Lathyrus pratensis</i> Linnaeus                     | Fabaceae        | Vigne   | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lathyrus sylvestris</i> Linnaeus                    | Fabaceae        | Vigne   | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lonicera hirsuta</i> Eaton                          | Caprifoliaceae  | Vigne   | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |

|                                                                       |                 |            |     |          |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (Linnaeus) Planchon ex de Candolle | Vitaceae        | Vigne      | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Persicaria sagittata</i> (Linnaeus) H. Gross                       | Polygonaceae    | Vigne      | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Securigera varia</i> (Linnaeus) Lassen                             | Fabaceae        | Vigne      | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Smilax herbacea</i> Linnaeus                                       | Smilacaceae     | Vigne      | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Solanum nigrum</i> Linnaeus                                        | Solanaceae      | Vigne      | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Vicia sativa</i> Linnaeus                                          | Fabaceae        | Vigne      | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Vicia sepium</i> Linnaeus                                          | Fabaceae        | Vigne      | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Vitis riparia</i> Michaux                                          | Vitaceae        | Vigne      | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Acalypha rhomboidea</i> Rafinesque                                 | Euphorbiaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Achillea millefolium</i> Linnaeus                                  | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Achillea ptarmica</i> Linnaeus                                     | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Actaea rubra</i> (Aiton) Willdenow                                 | Ranunculaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Aegopodium podagraria</i> Linnaeus                                 | Apiaceae        | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Agalinis purpurea</i> (Linnaeus) Pennell                           | Orobanchaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ageratina altissima</i> (Linnaeus) R.M. King & H. Robinson         | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Agrimonia gryposepala</i> Wallroth                                 | Rosaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Agrimonia striata</i> Michaux                                      | Rosaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ajuga reptans</i> Linnaeus                                         | Lamiaceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Alcea rosea</i> Linnaeus                                           | Malvaceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Alisma triviale</i> Pursh                                          | Alismataceae    | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieberstein) Cavara & Grande            | Brassicaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Ambrosia artemisiifolia</i> Linnaeus                               | Asteraceae      | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Ambrosia trifida</i> Linnaeus                                      | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Anaphalis margaritacea</i> (Linnaeus) Benth & Hooker f.            | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Anemone canadensis</i> Linnaeus                                    | Ranunculaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Anemone virginiana</i> Linnaeus                                    | Ranunculaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Angelica atropurpurea</i> Linnaeus                                 | Apiaceae        | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Angelica sylvestris</i> Linnaeus                                   | Apiaceae        | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Anthriscus sylvestris</i> (Linnaeus) Hoffmann                      | Apiaceae        | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Apocynum androsaemifolium</i> Linnaeus                             | Apocynaceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Apocynum cannabinum</i> Linnaeus                                   | Apocynaceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Aquilegia vulgaris</i> Linnaeus                                    | Ranunculaceae   | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Aralia nudicaulis</i> Linnaeus                                     | Araliaceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Arctium minus</i> (Hill) Bernhardt                                 | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Arisaema triphyllum</i> (Linnaeus) Schott                          | Araceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Artemisia campestris</i> Linnaeus                                  | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Artemisia vulgaris</i> Linnaeus                                    | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Asclepias incarnata</i> Linnaeus                                   | Apocynaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Asclepias syriaca</i> Linnaeus                                     | Apocynaceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Atriplex prostrata</i> Boucher ex de Candolle                      | Amaranthaceae   | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Barbarea stricta</i> Andrzejewski                                  | Brassicaceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Barbarea vulgaris</i> W.T. Aiton                                   | Brassicaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Bidens cernua</i> Linnaeus                                         | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Bidens frondosa</i> Linnaeus                                       | Asteraceae      | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Bidens hyperborea</i> Greene                                       | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Bidens tripartita</i> Linnaeus                                     | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Boehmeria cylindrica</i> (Linnaeus) Swartz                         | Lamiaceae       | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Brassica napus</i> Linnaeus                                        | Brassicaceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Brassica nigra</i> (Linnaeus) W.D.J. Koch                          | Brassicaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Butomus umbellatus</i> Linnaeus                                    | Butomaceae      | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Caltha palustris</i> Linnaeus                                      | Ranunculaceae   | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Campanula aparinoides</i> Pursh                                    | Campanulaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Campanula rapunculoides</i> Linnaeus                               | Campanulaceae   | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> (Linnaeus) Medikus                     | Brassicaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Cardamine pensylvanica</i> Muhlenberg ex Willdenow                 | Brassicaceae    | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Caulophyllum thalictroides</i> (Linnaeus) Michaux                  | Berberidaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Centaurea jacea</i> Linnaeus                                       | Asteraceae      | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Centaurea nigra</i> Linnaeus                                       | Asteraceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Centaurea stoebe</i> Linnaeus                                      | Asteraceae      | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cerastium fontanum</i> Baumgarten                                  | Caryophyllaceae | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Chamaenerion angustifolium</i> (Linnaeus) Scopoli                  | Onagraceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Chelidonium majus</i> Linnaeus                                     | Papaveraceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Chelone glabra</i> Linnaeus                                        | Plantaginaceae  | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Chenopodium album</i> Linnaeus                                     | Amaranthaceae   | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Chenopodium strictum</i> Roth                                      | Amaranthaceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Chrysosplenium americanum</i> Schweinitz ex Hooker                 | Saxifragaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |

|                                                                         |                  |            |     |          |     |     |     |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Cichorium intybus</i> Linnaeus                                       | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cicuta bulbifera</i> Linnaeus                                        | Apiaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cicuta maculata</i> Linnaeus                                         | Apiaceae         | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Circaea canadensis</i> (Linnaeus) Hill                               | Onagraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cirsium arvense</i> (Linnaeus) Scopoli                               | Asteraceae       | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Tenore                                    | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Clintonia borealis</i> (Aiton) Rafinesque                            | Liliaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Conionoselinum chinense</i> (Linnaeus) Britton, Sterns & Poggenburgh | Apiaceae         | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Coptis trifolia</i> (Linnaeus) Salisbury                             | Ranunculaceae    | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Cornus canadensis</i> Linnaeus                                       | Cornaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Daucus carota</i> Linnaeus                                           | Apiaceae         | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Desmodium canadense</i> (Linnaeus) de Candolle                       | Fabaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Doellingeria umbellata</i> (Miller) Nees                             | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Drosera rotundifolia</i> Linnaeus                                    | Droseraceae      | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Echium vulgare</i> Linnaeus                                          | Boraginaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Epilobium ciliatum</i> (Lehman) Hoch & P.H. Raven                    | Onagraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Epilobium coloratum</i> Biehler                                      | Onagraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Epilobium hirsutum</i> Linnaeus                                      | Onagraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Epipactis helleborine</i> (Linnaeus) Crantz                          | Orchidaceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Erechtites hieraciifolius</i> (Linnaeus) Rafinesque ex de Candolle   | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Erigeron annuus</i> (Linnaeus) Persoon                               | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Erigeron canadensis</i> Linnaeus                                     | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Erigeron philadelphicus</i> Linnaeus                                 | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Erigeron strigosus</i> Muhlenberg ex Willdenow                       | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Erysimum cheiranthoides</i> Linnaeus                                 | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Eupatorium perfoliatum</i> Linnaeus                                  | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Euphorbia helioscopia</i> Linnaeus                                   | Euphorbiaceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | Non | Oui | Non |
| <i>Euphrasia stricta</i> J.P. Wolff ex J.F. Lehmann                     | Scrophulariaceae | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Eurybia macrophylla</i> (Linnaeus) Cassini                           | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Euthamia graminifolia</i> (Linnaeus) Nuttall                         | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Eutrochium maculatum</i> (Linnaeus) E.E. Lamont                      | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench                                      | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Fallopia convolvulus</i> (Linnaeus) A. Löve                          | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Filipendula ulmaria</i> (Linnaeus) Maximowicz                        | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Fragaria virginiana</i> Miller                                       | Rosaceae         | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Galeopsis tetrahit</i> Linnaeus                                      | Lamiaceae        | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruix & Pavon                             | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Galium aparine</i> Linnaeus                                          | Rubiaceae        | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Galium asprellum</i> Michaux                                         | Rubiaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Galium mollugo</i> Linnaeus                                          | Rubiaceae        | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Galium palustre</i> Linnaeus                                         | Rubiaceae        | Herb. lat. | Oui | Indigène | Non | Non | Oui |
| <i>Galium trifidum</i> Linnaeus                                         | Rubiaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Galium triflorum</i> Michaux                                         | Rubiaceae        | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Gentiana linearis</i> Froelich                                       | Gentianaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Geum aleppicum</i> Jacquin                                           | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Geum canadensis</i> Jacquin                                          | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Geum macrophyllum</i> Willdenow                                      | Rosaceae         | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Geum</i> spp.                                                        | Rosaceae         | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Glechoma hederacea</i> Linnaeus                                      | Lamiaceae        | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Gnaphalium uliginosum</i> Linnaeus                                   | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Gratiola neglecta</i> Torrey                                         | Plantaginaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Helenium autumnale</i> Linnaeus                                      | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Helianthus decapetalus</i> Linnaeus                                  | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Helianthus tuberosus</i> Linnaeus                                    | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Helianthus</i> spp.                                                  | Asteraceae       | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Hemerocallis fulva</i> (Linnaeus) Linnaeus                           | Xanthorrhoeaceae | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Hemerocallis lilioasphodelus</i> Linnaeus                            | Xanthorrhoeaceae | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hemerocallis</i> spp.                                                | Xanthorrhoeaceae | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Heraclium mantegazzianum</i> Sommier & Levier                        | Apiaceae         | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hesperis matronalis</i> Linnaeus                                     | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Hieracium umbellatum</i> Linnaeus                                    | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Hieracium vulgatum</i> Fries                                         | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Hydrocotyle americana</i> Linnaeus                                   | Araliaceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hylotelephium telephium</i> (Linnaeus) H. Ohba                       | Crassulaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hypericum ellipticum</i> Hooker                                      | Hypericaceae     | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hypericum fraseri</i> (Spach) Steudel                                | Hypericaceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Hypericum perforatum</i> Linnaeus                                    | Hypericaceae     | Herb. lat. | Oui | Exotique | Non | Oui | Oui |

|                                                                      |                |            |     |          |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Impatiens capensis</i> Meerburgh                                  | Balsaminaceae  | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Impatiens glandulifera</i> Royle                                  | Balsaminaceae  | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Iris</i> spp.                                                     | Iridaceae      | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Juncus effusus</i> Linnaeus                                       | Juncaceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Juncus tenuis</i> Willdenow                                       | Juncaceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Lactuca biennis</i> (Moench) Fernald                              | Asteraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lactuca canadensis</i> Linnaeus                                   | Asteraceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lactuca serriola</i> Linnaeus                                     | Asteraceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lactuca</i> spp.                                                  | Asteraceae     | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Laportea canadensis</i> (Linnaeus) Weddell                        | Lamiaceae      | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lapsana communis</i> Linnaeus                                     | Asteraceae     | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Leucanthemum vulgare</i> Lamarck                                  | Asteraceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Liatris spicata</i> (Linnaeus) Willdenow                          | Orchidaceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Linaria vulgaris</i> Miller                                       | Plantaginaceae | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Linnaea borealis</i> Linnaeus                                     | Caprifoliaceae | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Liparis loeselii</i> (Linnaeus) Richard                           | Orchidaceae    | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lithospermum latifolium</i> Michaux                               | Boraginaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lithospermum officinale</i> Linnaeus                              | Boraginaceae   | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Lobelia cardinalis</i> Linnaeus                                   | Campanulaceae  | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lobelia inflata</i> Linnaeus                                      | Campanulaceae  | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lotus corniculatus</i> Linnaeus                                   | Fabaceae       | Herb. lat. | Oui | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Ludwigia palustris</i> (Willdenow) Elliott                        | Onagraceae     | Herb. lat. | Oui | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Lycopus americanus</i> Muhlenberg ex W.P.C. Barton                | Lamiaceae      | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lycopus europaeus</i> Linnaeus                                    | Lamiaceae      | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Lycopus uniflorus</i> Michaux                                     | Lamiaceae      | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lysimachia borealis</i> (Rafinesque) U. Manns & Anderberg         | Primulaceae    | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lysimachia ciliata</i> Linnaeus                                   | Primulaceae    | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lysimachia nummularia</i> Linnaeus                                | Primulaceae    | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lysimachia terrestris</i> (Linnaeus) Britton, Sterns & Poggenberg | Primulaceae    | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> Linnaeus                                  | Primulaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Lythrum salicaria</i> Linnaeus                                    | Lythraceae     | Herb. lat. | Oui | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Macleaya cordata</i> (Willdenow) R. Brown                         | Papaveraceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Maianthemum canadense</i> Desfontaines                            | Asparagaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Maianthemum racemosum</i> (Linnaeus) Link                         | Asparagaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Maianthemum stellatum</i> (Linnaeus) Link                         | Asparagaceae   | Herb. lat. | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Malva moschata</i> Linnaeus                                       | Malvaceae      | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Matricaria discoidea</i> de Candolle                              | Asteraceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Medicago lupulina</i> Linnaeus                                    | Fabaceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Medicago sativa</i> Linnaeus                                      | Fabaceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Mellilotus albus</i> Medikus                                      | Fabaceae       | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Mellilotus officinalis</i> (Linnaeus) Lamarck                     | Fabaceae       | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Mentha aquatica</i> Linnaeus                                      | Lamiaceae      | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Mentha canadensis</i> Linnaeus                                    | Lamiaceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Mentha spicata</i> Linnaeus                                       | Lamiaceae      | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Mimulus ringens</i> Linnaeus                                      | Phrymaceae     | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Monarda fistulosa</i> Linnaeus                                    | Lamiaceae      | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Myosotis laxa</i> Lehmann                                         | Boraginaceae   | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Non | Oui |
| <i>Myosotis scorpioides</i> Linnaeus                                 | Boraginaceae   | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> Linnaeus                                | Haloragaceae   | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Nabalus albus</i> (Linnaeus) Hooker                               | Asteraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Nabalus altissimus</i> (Linnaeus) Hooker                          | Asteraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Neottia convallarioides</i> (Swartz) Richard                      | Orchidaceae    | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Oclemena acuminata</i> (Michaux) Greene                           | Asteraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Oenothera biennis</i> Linnaeus                                    | Onagraceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Oenothera grandiflora</i> L'Héritier                              | Onagraceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Oenothera parviflora</i> Linnaeus                                 | Onagraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Oenothera pilosella</i> Rafinesque                                | Onagraceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Oxalis stricta</i> Linnaeus                                       | Oxalidaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Oxybasis glauca</i> (Linnaeus) S. Fuentes, Uotila & Borsch        | Chenopodiaceae | Herb. lat. | Non | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pastinaca sativa</i> Linnaeus                                     | Apiaceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Penthorum sedoides</i> Linnaeus                                   | Penthoraceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Persicaria hydropiper</i> (Linnaeus) Opiz                         | Polygonaceae   | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Persicaria lapathifolia</i> (Linnaeus) Delarbre                   | Polygonaceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Persicaria maculosa</i> Gray                                      | Polygonaceae   | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Persicaria orientalis</i> (Linnaeus) Spach                        | Polygonaceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | NA  | NA  | NA  |

|                                                                          |                  |            |     |          |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Persicaria pensylvanica</i> (Linnaeus) M. Gómez de la Maza            | Polygonaceae     | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Persicaria</i> spp.                                                   | Polygonaceae     | Herb. lat. | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zuccarini) Maximowicz              | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Physostegia virginiana</i> (Linnaeus) Benth                           | Lamiaceae        | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pilea pumila</i> (Linnaeus) A. Gray                                   | Lamiaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pilosella aurantiaca</i> (Linnaeus) F.W. Schultz & Schultz Bipontinus | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Pilosella caespitosa</i> (Dumortier) P.D. Sell & C. West              | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Plantago eriopoda</i> Torrey                                          | Plantaginaceae   | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Plantago lanceolata</i> Linnaeus                                      | Plantaginaceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Plantago major</i> Linnaeus                                           | Plantaginaceae   | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Plantago rugelii</i> Decaisne                                         | Plantaginaceae   | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Polygonum aviculare</i> Linnaeus                                      | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potamogeton gramineus</i> Linnaeus                                    | Potamogetonaceae | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potentilla anserina</i> Linnaeus                                      | Rosaceae         | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Potentilla argentea</i> Linnaeus                                      | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potentilla norvegica</i> Linnaeus                                     | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potentilla recta</i> Linnaeus                                         | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potentilla reptans</i> Linnaeus                                       | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Potentilla simplex</i> Michaux                                        | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Prunella vulgaris</i> Linnaeus                                        | Lamiaceae        | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Pyrola asarifolia</i> Michaux                                         | Ericaceae        | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Pyrola elliptica</i> Nuttall                                          | Ericaceae        | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Ranunculus abortivus</i> Linnaeus                                     | Ranunculaceae    | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ranunculus acris</i> Linnaeus                                         | Ranunculaceae    | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Ranunculus recurvatus</i> Poir                                        | Ranunculaceae    | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Ranunculus repens</i> Linnaeus                                        | Ranunculaceae    | Herb. lat. | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Reynoutria japonica</i> Houttuyn                                      | Polygonaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Rorippa amphibia</i> (Linnaeus) Besser                                | Brassicaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rorippa palustris</i> (Linnaeus) Besser                               | Brassicaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rorippa sylvestris</i> (Linnaeus) Besser                              | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Rubus repens</i> (Linnaeus) Kuntze                                    | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rudbeckia hirta</i> Linnaeus                                          | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Rudbeckia laciniata</i> Linnaeus                                      | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Rumex acetosella</i> Linnaeus                                         | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Rumex britannica</i> Linnaeus                                         | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rumex crispus</i> Linnaeus                                            | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rumex obtusifolius</i> Linnaeus                                       | Polygonaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Rumex occidentalis</i> S. Watson                                      | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rumex orbiculatus</i> A. Gray                                         | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rumex trianulivalvis</i> (Danser) Rechinger f.                        | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Rumex verticillatus</i> Linnaeus                                      | Polygonaceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sagittaria latifolia</i> Willdenow                                    | Alismataceae     | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sanguisorba canadensis</i> Linnaeus                                   | Rosaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Saponaria officinalis</i> Linnaeus                                    | Caryophyllaceae  | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Scorzoneroide autumnalis</i> (Linnaeus) Moench                        | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Scrophularia lanceolata</i> Pursh                                     | Scrophulariaceae | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Scutellaria galericulata</i> Linnaeus                                 | Lamiaceae        | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Scutellaria lateriflora</i> Linnaeus                                  | Lamiaceae        | Herb. lat. | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Sedum acre</i> Linnaeus                                               | Crassulaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sedum album</i> Linnaeus                                              | Crassulaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sedum sarmentosum</i> Bunge                                           | Crassulaceae     | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Senecio viscosus</i> Linnaeus                                         | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Senecio vulgaris</i> Linnaeus                                         | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Silene flos-cuculi</i> (Linnaeus) Clairville                          | Caryophyllaceae  | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Silene latifolia</i> Poir                                             | Caryophyllaceae  | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke                                   | Caryophyllaceae  | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Sinapis alba</i> Linnaeus                                             | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Sinapis arvensis</i> Linnaeus                                         | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Sisymbrium altissimum</i> Linnaeus                                    | Brassicaceae     | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Sisyrinchium montanum</i> Greene                                      | Iridaceae        | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sium suave</i> Walter                                                 | Apiaceae         | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Solanum dulcamara</i> Linnaeus                                        | Solanaceae       | Herb. lat. | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Solidago canadensis</i> Linnaeus                                      | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Solidago flexicaulis</i> Linnaeus                                     | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Solidago gigantea</i> Aiton                                           | Asteraceae       | Herb. lat. | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Solidago hispida</i> Muhlenberg ex Willdenow                          | Asteraceae       | Herb. lat. | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |

|                                                                    |                  |             |     |          |     |     |     |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Solidago nemoralis</i> Aiton                                    | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Solidago rugosa</i> Miller                                      | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Sonchus arvensis</i> Linnaeus                                   | Asteraceae       | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Sonchus asper</i> (Linnaeus) Hill                               | Asteraceae       | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Sonchus oleraceus</i> Linnaeus                                  | Asteraceae       | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Stachys hispida</i> Pursh                                       | Lamiaceae        | Herb. lat.  | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Stachys palustris</i> Linnaeus                                  | Lamiaceae        | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Stellaria graminea</i> Linnaeus                                 | Caryophyllaceae  | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Stellaria longifolia</i> Muhlenberg ex Willdenow                | Caryophyllaceae  | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Stellaria media</i> (Linnaeus) Villars                          | Caryophyllaceae  | Herb. lat.  | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Symphoricarpos albus</i> (Linnaeus) S.F. Blake                  | Caprifoliaceae   | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Symphyotrichum cordifolium</i> (Linnaeus) G.L. Neson            | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Symphyotrichum lanceolatum</i> (Willdenow) G.L. Neson           | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Symphyotrichum lateriflorum</i> (Linnaeus) Á. Löve & D. Löve    | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Symphyotrichum puniceum</i> (Linnaeus) Á. Löve & D. Löve        | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Symphytum officinale</i> Linnaeus                               | Boraginaceae     | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Symplocarpus foetidus</i> (Linnaeus) Salisbury ex W.P.C. Barton | Araceae          | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Tanacetum vulgare</i> Linnaeus                                  | Asteraceae       | Herb. lat.  | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wiggers                           | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Thalictrum pubescens</i> Pursh                                  | Ranunculaceae    | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Thlaspi arvense</i> Linnaeus                                    | Brassicaceae     | Herb. lat.  | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Tragopogon pratensis</i> Linnaeus                               | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Trifolium arvense</i> Linnaeus                                  | Fabaceae         | Herb. lat.  | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Trifolium aureum</i> Pollich                                    | Fabaceae         | Herb. lat.  | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Trifolium hybridum</i> Linnaeus                                 | Fabaceae         | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Trifolium pratense</i> Linnaeus                                 | Fabaceae         | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Trifolium repens</i> Linnaeus                                   | Fabaceae         | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Trillium erectum</i> Linnaeus                                   | Melanthiaceae    | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Tussilago farfara</i> Linnaeus                                  | Asteraceae       | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Non | Non |
| <i>Typha latifolia</i> Linnaeus                                    | Typhaceae        | Herb. lat.  | Oui | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Urtica dioica</i> Linnaeus                                      | Urticaceae       | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Urtica urens</i> Linnaeus                                       | Urticaceae       | Herb. lat.  | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Uvularia sessilifolia</i> Linnaeus                              | Colchicaceae     | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Valeriana officinalis</i> Linnaeus                              | Caprifoliaceae   | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Verbascum thapsus</i> Linnaeus                                  | Scrophulariaceae | Herb. lat.  | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Verbena hastata</i> Linnaeus                                    | Verbenaceae      | Herb. lat.  | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Verbena stricta</i> Ventenat                                    | Verbenaceae      | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Verbena urticifolia</i> Linnaeus                                | Verbenaceae      | Herb. lat.  | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Veronica americana</i> (Rafinesque) Schweinitz ex Benth         | Plantaginaceae   | Herb. lat.  | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Veronica beccabunga</i> Linnaeus                                | Plantaginaceae   | Herb. lat.  | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Veronica officinalis</i> Linnaeus                               | Plantaginaceae   | Herb. lat.  | Non | Exotique | Non | Oui | Oui |
| <i>Veronica peregrina</i> Linnaeus                                 | Plantaginaceae   | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Veronica serpyllifolia</i> Linnaeus                             | Plantaginaceae   | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Vicia cracca</i> Linnaeus                                       | Fabaceae         | Herb. lat.  | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Viola blanda</i> Willdenow                                      | Violaceae        | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viola macloskeyi</i> F.E. Lloyd                                 | Violaceae        | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viola septentrionalis</i> Greene                                | Violaceae        | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viola sororia</i> Willdenow                                     | Violaceae        | Herb. lat.  | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Viola</i> spp.                                                  | Violaceae        | Herb. lat.  | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Xanthium strumarium</i> Linnaeus                                | Asteraceae       | Herb. lat.  | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Agrostis capillaris</i> Linnaeus                                | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Agrostis gigantea</i> Roth                                      | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Agrostis mertensii</i> Trinius                                  | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Agrostis perennans</i> (Walter) Tuckerman                       | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Agrostis scabra</i> Willdenow                                   | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Non | Non | Oui |
| <i>Agrostis stolonifera</i> Linnaeus                               | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Agrostis</i> spp.                                               | Poaceae          | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Anthoxanthum odoratum</i> Linnaeus                              | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Bromus ciliatus</i> Linnaeus                                    | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Bromus inermis</i> Leysser                                      | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Bromus kalmii</i> A. Gray                                       | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Calamagrostis canadensis</i> (Michaux) P. Beauvois              | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Carex arctata</i> Boott                                         | Cyperaceae       | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex aurea</i> Nutt                                            | Cyperaceae       | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |

|                                                                      |            |             |     |          |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Carex bromoides</i> Schkuhr                                       | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex crawfordii</i> Fernald                                      | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Carex crinita</i> Lamarck                                         | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex debilis</i> Michaux                                         | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex deweyana</i> Schweinitz                                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex flava</i> Linnaeus                                          | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Carex gracillima</i> Schweinitz                                   | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex intumescens</i> Rudge                                       | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex lasiocarpa</i> Ehrhart                                      | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Carex laxiflora</i> Lamarck                                       | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex lenticularis</i> Michaux                                    | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex lupulina</i> Muhlenberg ex Willdenow                        | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex lurida</i> Wahlenberg                                       | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex plantaginea</i> Lamarck                                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex pseudocyperus</i> Linnaeus                                  | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Carex retrorsa</i> Schweinitz                                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex rosea</i> Schkuhr ex Willdenow                              | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex scoparia</i> Schkuhr ex Willdenow                           | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex stipata</i> Muhlenberg ex Willdenow                         | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex stricta</i> Lamarck                                         | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex tenera</i> Dewey                                            | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex torta</i> Boott                                             | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex tribuloides</i> Wahlenberg                                  | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex trichocarpa</i> Muhlenberg ex Willdenow                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex trisperma</i> Dewey                                         | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex vesicaria</i> Linnaeus                                      | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | Non | Oui | Non |
| <i>Carex vulpinoidea</i> Michaux                                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Carex</i> spp.                                                    | Cyperaceae | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Cyperus lupulinus</i> (Sprengel) Marcks                           | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dactylis glomerata</i> Linnaeus                                   | Poaceae    | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Danthonia spicata</i> (Linnaeus) P. Beauvois ex Roemer & Schultes | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Dichanthelium acuminatum</i> (Swartz) Gould & C.A. Clark          | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dichanthelium boreale</i> (Nash) Freckmann                        | Poaceae    | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dichanthelium clandestinum</i> (Linnaeus) Gould                   | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dulichium arundinaceum</i> (Linnaeus) Britton                     | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Echinochloa crus-galli</i> (Linnaeus) Palisot de Beauvois         | Poaceae    | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Eleocharis acicularis</i> (Linnaeus) Roemer & Schultes            | Cyperaceae | Gramminoïde | Oui | Indigène | Non | Non | Oui |
| <i>Eleocharis elliptica</i> Kunth                                    | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Eleocharis obtusa</i> (Willdenow) Schultes                        | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Eleocharis palustris</i> (Linnaeus) Roemer & Schultes             | Cyperaceae | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Eleocharis tenuis</i> (Willdenow) Schultes                        | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Eleocharis</i> spp.                                               | Cyperaceae | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Elymus canadensis</i> Linnaeus                                    | Poaceae    | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Elymus repens</i> (Linnaeus) Gould                                | Poaceae    | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Elymus trachycaulus</i> (Link) Gould ex Shinnars                  | Poaceae    | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Elymus virginicus</i> Linnaeus                                    | Poaceae    | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Elymus</i> spp.                                                   | Poaceae    | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Eriophorum</i> spp.                                               | Cyperaceae | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Festuca rubra</i> Linnaeus                                        | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | Non | Oui | Oui |
| <i>Festuca trachyphylla</i> (Hackel) Krajina                         | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Non |
| <i>Festuca</i> spp.                                                  | Poaceae    | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Glyceria canadensis</i> (Michaux) Trinius                         | Poaceae    | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Glyceria grandis</i> S. Watson                                    | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Glyceria striata</i> (Lamarck) Hitchcock                          | Poaceae    | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Juncus acuminatus</i> Michaux                                     | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus articulatus</i> Linnaeus                                   | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Juncus balticus</i> Willdenow                                     | Juncaceae  | Gramminoïde | Oui | Indigène | Oui | Oui | Non |
| <i>Juncus brevicaudatus</i> (Engelmann) Fernald                      | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus canadensis</i> J. Gray ex Laharpe                          | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus compressus</i> Jacquin                                     | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus dudleyi</i> Wiegand                                        | Juncaceae  | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus filiformis</i> Linnaeus                                    | Juncaceae  | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus nodosus</i> Coville                                        | Juncaceae  | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Juncus pelocarpus</i> E. Meyer                                    | Juncaceae  | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Leersia oryzoides</i> (Linnaeus) Swartz                           | Poaceae    | Gramminoïde | Oui | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Leersia virginica</i> Willdenow                                   | Poaceae    | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Lolium arundinaceum</i> (Schreber) Darbyshire                     | Cyperaceae | Gramminoïde | Non | Exotique | NA  | NA  | NA  |

|                                                                       |                  |             |     |          |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|-----|----------|-----|-----|-----|
| <i>Lolium perenne</i> Linnaeus                                        | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Non | Oui |
| <i>Lolium temulentum</i> Linnaeus                                     | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Muhlenbergia frondosa</i> (Poiret) Fernald                         | Poaceae          | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Panicum capillare</i> Linnaeus                                     | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Panicum dichotomiflorum</i> Michaux                                | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Panicum virgatum</i> Linnaeus                                      | Poaceae          | Gramminoïde | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Phalaris arundinacea</i> Linnaeus                                  | Poaceae          | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Phleum pratense</i> Linnaeus                                       | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Phragmites australis</i> (Cavanilles) Trinius ex Steudel           | Poaceae          | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Poa alsodes</i> A. Gray                                            | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Poa annua</i> Linnaeus                                             | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Poa compressa</i> Linnaeus                                         | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Poa palustris</i> Linnaeus                                         | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Poa pratensis</i> Linnaeus                                         | Poaceae          | Gramminoïde | Non | Exotique | Non | Non | Oui |
| <i>Poa triviale</i> Linnaeus                                          | Poaceae          | Gramminoïde | NA  | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Poa</i> spp.                                                       | Poaceae          | Gramminoïde | -   | -        | -   | -   | -   |
| <i>Schoenoplectus americanus</i> (Persoon) Volk ex Schinz & R. Keller | Cyperaceae       | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C. Gmelin) Palla             | Cyperaceae       | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Scirpus atrovirens</i> Willdenow                                   | Cyperaceae       | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Scirpus cyperinus</i> (Linnaeus) Kunth                             | Cyperaceae       | Gramminoïde | Oui | Indigène | Non | Oui | Non |
| <i>Scirpus microcarpus</i> J. Presl & C. Presl                        | Cyperaceae       | Gramminoïde | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Scirpus pendulus</i> Muhlenberg ex Willdenow                       | Cyperaceae       | Gramminoïde | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Setaria faberi</i> R.A.W. Hermann                                  | Poaceae          | Gramminoïde | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Setaria pumila</i> (Poiret) Roemer & Schultes                      | Poaceae          | Gramminoïde | NA  | Exotique | NA  | NA  | NA  |
| <i>Setaria viridis</i> (Linnaeus) Palisot de Beauvois                 | Poaceae          | Gramminoïde | Oui | Exotique | Oui | Oui | Oui |
| <i>Sparganium eurycarpum</i> Engelm                                   | Typhaceae        | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Sporobolus michauxianus</i> (Hitchcock) P.M. Peterson & Saarela    | Poaceae          | Gramminoïde | Oui | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Athyrium filix-femina</i> (Linnaeus) Roth ex Mertens               | Athyriaceae      | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Claytonomunda claytoniana</i> (Linnaeus) Metzgar & Rouhan          | Osmundaceae      | Fougère     | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dennstaedtia punctilobula</i> (Michaux) T. Moore                   | Dennstaedtiaceae | Fougère     | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Dryopteris carthusiana</i> (Villars) H.P. Fuchs                    | Dryopteridaceae  | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Matteuccia struthiopteris</i> (Linnaeus) Todaro                    | Onocleaceae      | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Onoclea sensibilis</i> Linnaeus                                    | Onocleaceae      | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Osmunda regalis</i> Linnaeus                                       | Osmundaceae      | Fougère     | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Osmundastrum cinnamomeum</i> (Linnaeus) C. Presl                   | Osmundaceae      | Fougère     | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Phlegopteris connectilis</i> (Michaux) Watt                        | Thelypteridaceae | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Non | Oui |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (Linnaeus) Kuhn                            | Dennstaedtiaceae | Fougère     | Non | Indigène | Oui | Non | Non |
| <i>Equisetum arvense</i> Linnaeus                                     | Equisetaceae     | Prêle       | Oui | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Equisetum fluviatile</i> Linnaeus                                  | Equisetaceae     | Prêle       | Non | Indigène | Non | Oui | Non |
| <i>Equisetum hyemale</i> Linnaeus                                     | Equisetaceae     | Prêle       | NA  | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Equisetum palustre</i> Linnaeus                                    | Equisetaceae     | Prêle       | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |
| <i>Equisetum pratense</i> Ehrhart                                     | Equisetaceae     | Prêle       | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Equisetum sylvaticum</i> Linnaeus                                  | Equisetaceae     | Prêle       | Non | Indigène | Oui | Oui | Oui |
| <i>Equisetum variegatum</i> Schleicher ex F. Weber & D. Mohr          | Equisetaceae     | Prêle       | Non | Indigène | NA  | NA  | NA  |

Annexe 7. Articles produits dans le cadre du projet.

Joint au présent rapport, nous fournissons un article de vulgarisation sur le génie végétal au Québec, que nous avons publié dans la revue Sciences Eaux & Territoires. Cet article a été publié en 2019 et fut le fruit du travail des chercheurs et étudiants ayant mené le projet ainsi que la chargée de projet du MTQ et deux praticiens collaborateurs. Un article de vulgarisation était prévu comme livrable au projet.

Nous joignons également un article scientifique publié par Max Hurson et Pascale Biron qui traite de la modélisation des changements hydrodynamiques associés à l'instauration d'un ouvrage de génie végétal. Cet article est synthétisé à la section VI du présent rapport. Une version simplifiée de cet article a été produite en français et nous la fournissons en annexe du rapport.

La thèse de Maxime Tisserant a permis de produire trois articles scientifiques. Le premier article est maintenant publié dans la revue Ecological Engineering mais comme il concerne des données provenant de France alors nous ne l'incluons pas ici. Le deuxième article de la thèse est soumis à la même revue et est présentement en évaluation. Le troisième article sera soumis au cours de l'année 2021. La thèse de Maxime Tisserant est fournie en annexe au rapport.

Enfin, l'article produit par Naren Keita sur la capacité de bouturage de trois espèces de saules est présentement en évaluation pour la revue Environmental Management. Nous le fournissons en annexe.

Nous avons également produit un guide photographique d'identification des espèces végétales associées aux berges. Ce guide fut livré au Groupe PLEINETERRE inc. qui a financé la bourse de doctorat de Maxime Tisserant.

Les références complètes des articles et thèse discutés ici sont présentées au début de ce rapport.

Annexe 8. Espèces végétales dominantes implantées ou colonisant spontanément le haut de berge. Les listes d'espèces sont classées par type de berge et de haut en bas de la façon suivante, en ordre alphabétique: espèces ligneuses implantées (en noir), espèces herbacées implantées (en noir), espèces ligneuses spontanées (en couleur) et espèces herbacées spontanées (en couleur). Pour les espèces spontanément établies sur le haut de berge (sous la ligne pointillée), les couleurs représentent les tendances pour chaque espèce à coloniser préférentiellement les bassins versants majoritairement naturels (vert), agricoles (orange) ou urbains (gris). Les espèces exotiques selon VASCAN Canadensis sont indiquées avec un astérisque (\*). Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

| Berge naturelle                   | Haut de berge                 |                                    |                                    |                                     |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|                                   | Génie vég. pur                | Génie vég. epdb                    | Génie mixte                        | Enrochement                         |
|                                   | Salix interior                |                                    | Cornus sericea                     |                                     |
|                                   | Agrostis stolonifera          | Cornus sericea                     | Agrostis stolonifera               |                                     |
|                                   | Festuca rubra                 | Agrostis stolonifera               | Festuca rubra                      | Festuca rubra                       |
| <i>Acer negundo*</i>              | <i>Anthriscus sylvestris*</i> | Rubus idaeus                       | <i>Acer negundo*</i>               | <i>Acer negundo*</i>                |
| <i>Acer rubrum</i>                | <i>Calystegia sepium</i>      | <i>Agrimonia striata</i>           | Rubus idaeus                       | Rubus idaeus                        |
| <i>Alnus incana</i>               | <i>Cirsium vulgare*</i>       | <i>Bromus inermis*</i>             | <i>Ulmus americana</i>             | <i>Achillea millefolium*</i>        |
| <i>Corylus cornuta</i>            | <i>Equisetum arvense</i>      | <i>Equisetum arvense</i>           | <i>Artemisia vulgaris*</i>         | <i>Ambrosia artemisiifolia*</i>     |
| <i>Cornus sericea</i>             | <i>Euthamia graminifolia</i>  | <i>Geum macrophyllum</i>           | <i>Equisetum arvense</i>           | <i>Artemisia vulgaris*</i>          |
| <i>Fraxinus americana</i>         | <i>Galeopsis tetrahit*</i>    | <i>Phalaris arundinacea*</i>       | <i>Euthamia graminifolia</i>       | <i>Elymus repens*</i>               |
| <i>Prunus virginiana</i>          | <i>Oxalis stricta*</i>        | <i>Phleum pratense*</i>            | <i>Hypericum perforatum*</i>       | <i>Equisetum arvense</i>            |
| <i>Rubus idaeus</i>               | <i>Phalaris arundinacea*</i>  | <i>Solidago canadensis</i>         | <i>Leucanthemum vulgare*</i>       | <i>Leucanthemum vulgare*</i>        |
| <i>Ulmus americana</i>            | <i>Phleum pratense*</i>       | <i>Symphyotrichum lanceolatum</i>  | <i>Oenothera biennis</i>           | <i>Lotus corniculatus*</i>          |
| <i>Amphicarpa bracteata</i>       | <i>Solidago canadensis</i>    | <i>Symphyotrichum lateriflorum</i> | <i>Oxalis stricta*</i>             | <i>Medicago lupulina*</i>           |
| <i>Apios americana</i>            | <i>Taraxacum officinale*</i>  | <i>Taraxacum officinale*</i>       | <i>Phalaris arundinacea*</i>       | <i>Oenothera biennis</i>            |
| <i>Bromus inermis*</i>            | <i>Trifolium repens*</i>      | <i>Vicia cracca*</i>               | <i>Plantago major*</i>             | <i>Parthenocissus quinquefolia*</i> |
| <i>Doellingeria umbellata</i>     | <i>Tussilago farfara*</i>     |                                    | <i>Symphyotrichum cordifolium</i>  | <i>Phleum pratense*</i>             |
| <i>Equisetum arvense</i>          | <i>Vicia cracca*</i>          |                                    | <i>Symphyotrichum lanceolatum</i>  | <i>Solidago canadensis</i>          |
| <i>Fragaria virginiana</i>        |                               |                                    | <i>Symphyotrichum lateriflorum</i> | <i>Sonchus arvensis*</i>            |
| <i>Impatiens capensis</i>         |                               |                                    | <i>Taraxacum officinale*</i>       | <i>Taraxacum officinale*</i>        |
| <i>Lysimachia ciliata</i>         |                               |                                    | <i>Trifolium hybridus*</i>         | <i>Tussilago farfara*</i>           |
| <i>Onoclea sensibilis</i>         |                               |                                    | <i>Trifolium repens*</i>           | <i>Vicia cracca*</i>                |
| <i>Phalaris arundinacea*</i>      |                               |                                    | <i>Tussilago farfara*</i>          | <i>Vitis riparia</i>                |
| <i>Solidago canadensis</i>        |                               |                                    | <i>Vicia cracca*</i>               |                                     |
| <i>Solidago flexicaulis</i>       |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Solidago rugosa</i>            |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Symphyotrichum cordifolium</i> |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Symphyotrichum lanceolatum</i> |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Taraxacum officinale*</i>      |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Thalictrum pubescens</i>       |                               |                                    |                                    |                                     |
| <i>Vicia cracca*</i>              |                               |                                    |                                    |                                     |

Annexe 9. Espèces végétales dominantes implantées ou colonisant spontanément le milieu de berge. Les listes d'espèces sont classées par type de berge et de haut en bas de la façon suivante, en ordre alphabétique: espèces ligneuses implantées (en noir), espèces herbacées implantées (en noir), espèces ligneuses spontanées (en couleur) et espèces herbacées spontanées (en couleur). Pour les espèces spontanément établies sur le milieu de berge (sous la ligne pointillée), les couleurs représentent les tendances pour chaque espèce à coloniser préférentiellement les bassins versants majoritairement naturels (vert), agricoles (orange) ou urbains (gris). Les espèces exotiques selon VASCAN Canadiensys sont indiquées avec un astérisque (\*). Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

| Milieu de berge          |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Berge naturelle          | Génie vég. pur                                                                                 | Génie vég. epdb                                       | Génie mixte                                                                  | Enrochement                 |
|                          | Cornus sericea<br>Salix eriocephala<br>Salix interior<br>Festuca rubra<br>Agrostis stolonifera | Cornus sericea<br>Salix eriocephala<br>Salix interior | Cornus sericea<br>Salix eriocephala<br>Festuca rubra<br>Agrostis stolonifera | Festuca rubra               |
| Acer negundo*            | Arctium minus*                                                                                 | Artemisia vulgaris*                                   | Acer negundo*                                                                | Acer negundo*               |
| Alnus incana             | Artemisia vulgaris*                                                                            | Bidens frondosa                                       | Fraxinus americana                                                           | Cornus sericea              |
| Cornus sericea           | Bidens frondosa                                                                                | Calystegia sepium                                     | Rubus idaeus                                                                 | Rubus idaeus                |
| Populus tremuloides      | Calamagrostis canadensis                                                                       | Equisetum arvense                                     | Ulmus americana                                                              | Artemisia vulgaris*         |
| Prunus virginiana        | Equisetum arvense                                                                              | Eutrochium maculatum                                  | Amphicarpa bracteata                                                         | Bidens frondosa             |
| Salix eriocephala        | Euthamia graminifolia                                                                          | Galium palustre                                       | Bidens frondosa                                                              | Elymus repens*              |
| Spiraea alba             | Eutrochium maculatum                                                                           | Impatiens capensis                                    | Equisetum arvense                                                            | Impatiens capensis          |
| Ulmus americana          | Impatiens capensis                                                                             | Phalaris arundinacea*                                 | Euthamia graminifolia                                                        | Leucanthemum vulgare*       |
| Agrostis perennans       | Lythrum salicaria*                                                                             | Ranunculus acris*                                     | Eutrochium maculatum                                                         | Medicago lupulina*          |
| Apios americana          | Mentha canadensis                                                                              | Ranunculus repens*                                    | Impatiens capensis                                                           | Melilotus albus*            |
| Bidens frondosa          | Phalaris arundinacea*                                                                          | Solidago canadensis                                   | Medicago lupulina*                                                           | Oenothera biennis           |
| Calystegia sepium        | Potentilla anserina                                                                            | Symphyotrichum lateriflorum                           | Oxalis stricta*                                                              | Oxalis stricta*             |
| Clematis virginiana      | Solidago canadensis                                                                            | Symphyotrichum puniceum                               | Phalaris arundinacea*                                                        | Parthenocissus quinquefolia |
| Doellingeria umbellata   | Symphyotrichum lanceolatum                                                                     | Taraxacum officinale*                                 | Plantago major*                                                              | Phalaris arundinacea*       |
| Equisetum arvense        | Taraxacum officinale*                                                                          |                                                       | Ranunculus repens*                                                           | Solidago canadensis         |
| Euthamia graminifolia    | Trifolium repens*                                                                              |                                                       | Solidago canadensis                                                          | Sonchus arvense*            |
| Eutrochium maculatum     | Vicia cracca*                                                                                  |                                                       | Taraxacum officinale*                                                        | Taraxacum officinale*       |
| Fragaria virginiana      |                                                                                                |                                                       | Trifolium repens*                                                            | Tussilago farfara*          |
| Galium palustre          |                                                                                                |                                                       | Tussilago farfara*                                                           | Vicia cracca*               |
| Geum macrophyllum        |                                                                                                |                                                       | Vicia cracca*                                                                |                             |
| Glechoma hederacea*      |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Impatiens capensis       |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Lythrum salicaria*       |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Matteucia struthiopteris |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Mentha canadensis        |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Oenothera biennis        |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Onoclea sensibilis       |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Oxalis stricta*          |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |
| Phalaris arundinacea*    |                                                                                                |                                                       |                                                                              |                             |

Suite du tableau à la page suivante.

## Suite du tableau

| Berge naturelle       | Milieu de berge |                    |             |             |
|-----------------------|-----------------|--------------------|-------------|-------------|
|                       | Génie vég. pur  | Génie vég.<br>epdb | Génie mixte | Enrochement |
| Ranunculus repens*    |                 |                    |             |             |
| Rubus pubescens       |                 |                    |             |             |
| Solidago canadensis   |                 |                    |             |             |
| Solidago rugosa       |                 |                    |             |             |
| Symphyotrichum        |                 |                    |             |             |
| lanceolatum           |                 |                    |             |             |
| Symphyotrichum        |                 |                    |             |             |
| lateriflorum          |                 |                    |             |             |
| Symphyotrichum        |                 |                    |             |             |
| puniceum              |                 |                    |             |             |
| Taraxacum officinale* |                 |                    |             |             |
| Thalictrum pubescens  |                 |                    |             |             |
| Tussilago farfara*    |                 |                    |             |             |
| Vicia cracca*         |                 |                    |             |             |

Annexe 10. Espèces végétales dominantes implantées ou colonisant spontanément le pied de berge. Les listes d'espèces sont classées par type de berge et de haut en bas de la façon suivante, en ordre alphabétique: espèces ligneuses implantées (en noir), espèces herbacées implantées (en noir), espèces ligneuses spontanées (en couleur) et espèces herbacées spontanées (en couleur). Pour les espèces spontanément établies sur le pied de berge (sous la ligne pointillée), les couleurs représentent les tendances pour chaque espèce à coloniser préférentiellement les bassins versants majoritairement naturels (vert), agricoles (orange) ou urbains (gris). Les espèces exotiques selon VASCAN Canadensis sont indiquées avec un astérisque (\*). Génie vég. pur: génie végétal pur; Génie vég. epdb: génie végétal avec enrochement de pied de berge.

| Pied de berge                       |                              |                                 |                              |                                 |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Berge naturelle                     | Génie vég. pur               | Génie vég. epdb                 | Génie mixte                  | Enrochement                     |
|                                     | Cornus sericea               | Cornus sericea                  |                              |                                 |
|                                     | Salix eriocephala            | Salix eriocephala               | Cornus sericea               |                                 |
|                                     | Salix interior               | Salix interior                  | Salix eriocephala            |                                 |
| <i>Acer negundo*</i>                | <i>Agrostis gigantea*</i>    | <i>Barbarea vulgaris*</i>       | <i>Acer negundo*</i>         | <i>Acer negundo*</i>            |
| <i>Alnus incana</i>                 | <i>Bidens frondosa</i>       | <i>Bidens frondosa</i>          | <i>Fraxinus americana</i>    | <i>Artemisia vulgaris*</i>      |
| <i>Cornus sericea</i>               | <i>Equisetum arvense</i>     | <i>Epilobium ciliatum</i>       | <i>Eutrochium maculatum</i>  | <i>Barbarea vulgaris*</i>       |
| <i>Salix eriocephala</i>            | <i>Galium palustre</i>       | <i>Eutrochium maculatum</i>     | <i>Impatiens capensis</i>    | <i>Bidens frondosa</i>          |
| <i>Agrostis stolonifera</i>         | <i>Impatiens capensis</i>    | <i>Galium palustre</i>          | <i>Phalaris arundinacea*</i> | <i>Calamagrostis canadensis</i> |
| <i>Apios americana</i>              | <i>Juncus effusus</i>        | <i>Impatiens capensis</i>       | <i>Poa palustris</i>         | <i>Calystegia sepium</i>        |
| <i>Barbarea vulgaris*</i>           | <i>Lythrum salicaria*</i>    | <i>Lythrum salicaria*</i>       | <i>Solanum dulcamara*</i>    | <i>Erysimum cheiranthoides*</i> |
| <i>Bidens cernua</i>                | <i>Phalaris arundinacea*</i> | <i>Phalaris arundinacea*</i>    | <i>Taraxacum officinale*</i> | <i>Eutrochium maculatum</i>     |
| <i>Bidens frondosa</i>              | <i>Plantago major*</i>       | <i>Plantago major*</i>          | <i>Tussilago farfara*</i>    | <i>Galium palustre</i>          |
| <i>Calamagrostis canadensis</i>     | <i>Trifolium repens*</i>     | <i>Ranunculus repens*</i>       |                              | <i>Impatiens capensis</i>       |
| <i>Calystegia sepium</i>            | <i>Vicia cracca*</i>         | <i>Scutellaria lateriflora</i>  |                              | <i>Lycopus uniflorus</i>        |
| <i>Cardamine pennsylvanica</i>      |                              | <i>Symphytotrichum puniceum</i> |                              | <i>Lythrum salicaria*</i>       |
| <i>Equisetum arvense</i>            |                              |                                 |                              | <i>Mentha canadensis</i>        |
| <i>Euthamia graminifolia</i>        |                              |                                 |                              | <i>Oxalis stricta*</i>          |
| <i>Eutrochium maculatum</i>         |                              |                                 |                              | <i>Phalaris arundinacea*</i>    |
| <i>Galium palustre</i>              |                              |                                 |                              | <i>Solanum dulcamara*</i>       |
| <i>Impatiens capensis</i>           |                              |                                 |                              | <i>Taraxacum officinale*</i>    |
| <i>Lycopus uniflorus</i>            |                              |                                 |                              | <i>Thalictrum pubescens</i>     |
| <i>Lythrum salicaria*</i>           |                              |                                 |                              | <i>Tussilago farfara*</i>       |
| <i>Mentha canadensis</i>            |                              |                                 |                              | <i>Urtica dioica*</i>           |
| <i>Persicaria hydropiper</i>        |                              |                                 |                              | <i>Vicia cracca*</i>            |
| <i>Persicaria maculata</i>          |                              |                                 |                              | <i>Vitis riparia</i>            |
| <i>Phalaris arundinacea*</i>        |                              |                                 |                              | <i>Xanthium strumarium</i>      |
| <i>Plantago major*</i>              |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Potentilla anserina</i>          |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Ranunculus repens*</i>           |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Rumex obtusifolius*</i>          |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Solidago canadensis</i>          |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Symphytotrichum lanceolatum</i>  |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Symphytotrichum lateriflorum</i> |                              |                                 |                              |                                 |
| <i>Symphytotrichum puniceum</i>     |                              |                                 |                              |                                 |