

Sciences Eaux & Territoires

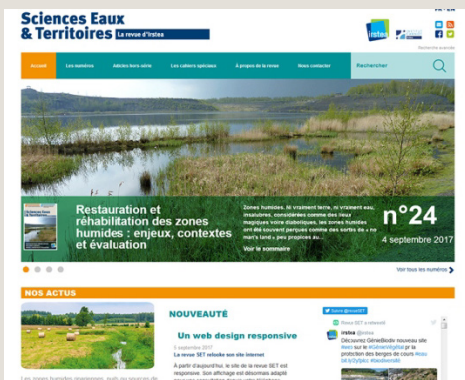
Article hors-série numéro 57

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

Monique Poulin, André Evette, Maxime Tisserant, Naren Keita, Vincent Breton, Pascale Biron, Pierre Raymond, Gabriel Charbonneau et Isabelle Falardeau

© S. De Danieli (Iristea)

www.set-revue.fr



Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Iristea

Article hors-série numéro 57 – 2019

Directeur de la publication : Marc Michel

Directrice éditoriale : Emmanuelle Jannès-Ober

Comité éditorial : Nicolas de Menthiera, Alain Hénaud, Ghislain Huyghe, Alette Maillard, Charlotte Mermier, Thierry Mougey et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Sabine Arbellé

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagneux

Infographie : Françoise Peyriguer

Conception de la maquette : CBat

Contact édition et administration : Iristea-DRISE-IE

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution – N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : © S. De Danieli (Iristea)



Cet article tire ses origines du colloque sur le génie végétal qui s'est tenu à l'Université Laval, le 5 octobre 2016, où des échanges entre des experts européens et canadiens ont permis de prendre conscience du retard qu'accuse le Québec dans cette discipline. Cet article est également issu d'une collaboration entre l'Université Laval et l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Irstea), financée par le ministère chargé des relations internationales et de la francophonie (Québec) et le ministère chargé de l'Europe et des affaires étrangères (France) dans le cadre du programme CPCFQ (Commission permanente de coopération franco-québécoise). Les informations sur les caractéristiques des ouvrages de génie végétal au Québec sont issues d'un recensement fait dans le cadre d'un projet de recherche mené par M. Poulin, A. Evette et P. Biron, financé par le ministère chargé des transports du Québec (MTQ) et par la firme PleineTerre. Le projet de Formation agricole pour la sécurité alimentaire au Mali (FASAM), dirigé par l'Université Laval, a également contribué à la réalisation de l'expérimentation sur la capacité de bouturage des saules.

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

Les techniques de génie végétal pour la stabilisation des berges de cours d'eau restent encore peu utilisées au Québec. Alternatives au génie civil, elles offrent pourtant de nombreux avantages structurels, environnementaux et récréatifs. Alors comment expliquer cette inertie et favoriser le développement de ces techniques ? Cet article fait un point sur le contexte spécifique québécois, apporte des connaissances sur les ouvrages de génie végétal existants et présente des premiers résultats d'expérimentations.



Il est reconnu que la dynamique naturelle des cours d'eau repose sur des processus d'érosion et de dépôt de sédiments, modelant ainsi le tracé des rivières dans l'espace et le temps. Les rivières ont en effet besoin d'espace pour dissiper leur énergie, maintenir leur charge solide et la diversité des habitats. Sur les rivières dont les berges ne sont pas fixées, on peut observer des déplacements impressionnants du lit au fil du temps. Par exemple, on a documenté des taux de migration des berges de l'ordre d'un mètre par année dans certains tronçons actifs de la rivière Yamaska Sud-Est ainsi que des déplacements de méandres sur 65 mètres en moins de six années sur la rivière Coaticook près de Compton. Ce mouvement des rivières devient cependant une contrainte majeure lorsque celles-ci sont situées près des infrastructures humaines.

Pour protéger les routes, les bâtiments et autres infrastructures urbaines ou rurales, les berges de rivières doivent souvent être stabilisées. À cet effet, les techniques d'ingénierie civile ont été développées sur la base d'abaques et de méthodes de calcul éprouvées : on enroche les berges afin de stopper l'érosion et de les maintenir en place. Ces techniques sont largement utilisées au Québec. Pourtant, des techniques plus en phase avec la nature existent depuis longtemps, notamment celles issues du génie végétal. Cette discipline se définit comme « L'uti-

lisation de plantes ou partie de celles-ci pour 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 » (Lachat, 1994). Les techniques de génie végétal telles que les fascines ou matelas de branches sont utilisées depuis longtemps dans plusieurs régions du monde. Certains documents révèlent même des ouvrages de génie végétal instaurés plus de deux mille ans avant Jésus-Christ en Chine et les références se succèdent à ce sujet depuis la renaissance en Europe. En Amérique du Nord, des travaux de génie végétal de grande envergure sont notamment menés dès la deuxième moitié du dix-neuvième siècle sur les rives du Mississippi, du Missouri ou de l'Arkansas. Au Québec, bien que plusieurs ouvrages aient été instaurés il y a plusieurs décennies, le génie végétal reste peu présent dans les travaux de stabilisation de berges.

Plusieurs contraintes peuvent expliquer l'inertie associée au développement du génie végétal au Québec. Le climat rigoureux et la présence de glace peuvent freiner les initiatives : la débâcle printanière mène au frottement de morceaux de glace le long des berges agissant comme un papier sablé géant. La débâcle est une période particulièrement critique pour la stabilité des berges et des ouvrages qui y sont installés. De même, le contexte géologique nécessite des précautions particulières en regard de la présence d'argiles sensibles, ces dernières pouvant

se révéler très instables. En plus de cette contrainte géotechnique, l'argile en soi, qui est abondante dans les Basses-terres du Saint-Laurent, reste un substrat présentant des défis pour la reprise de la végétation utilisée pour l'instauration des ouvrages de génie végétal. De même, nos connaissances sont limitées quant à la capacité des espèces à tolérer la sécheresse rencontrée en berges de rivières en périodes d'étiage ainsi que leur résilience quant à la durée des périodes d'inondation au printemps. Enfin, le cadre légal peut également ralentir l'essor du génie végétal au Québec puisqu'il implique plusieurs ministères dont les textes légaux ne sont pas toujours au diapason. Il y a également très peu d'allègement légal pour l'instauration d'ouvrages de génie végétal, qui pourtant, offrent des gains environnementaux substantiels par rapport aux ouvrages de génie civil.

Cet article vise à établir certains constats quant à la place qu'occupe le génie végétal au Québec afin de favoriser son essor. Nous présentons d'abord le contexte hydrogéomorphologique, climatique et légal dans lequel cette discipline évolue au Québec. Nous décrivons également les caractéristiques des ouvrages recensés. Enfin, nous exposons, au meilleur de nos connaissances, les capacités de bouturage des espèces ligneuses utilisées au Québec selon les informations issues de la littérature. Des résultats d'une expérimentation sur la capacité de bouturage en conditions de sécheresse ou d'inondation sont également présentés.

Contexte hydro-géomorphologique et climatique des Basses-terres du Saint-Laurent

Le climat au sein des Basses-terres du Saint-Laurent est continental humide, avec un été chaud et légèrement humide, ainsi qu'un hiver froid et plutôt long. L'amplitude thermique (différence entre les hautes et basses températures) de ce climat est approximativement de 30 °C. Les précipitations sont importantes tout au long de l'année, dépassant fréquemment 900 mm¹.

Les rivières du sud du Québec présentent généralement un régime d'écoulement pluvio-nival. La crue printanière issue de la fonte des neiges s'étale de mars à mai avec des débits élevés et une débâcle glaciaire. On peut aussi observer des crues estivales ou automnales, mais ces dernières sont généralement plus faibles et de moindre durée que les crues printanières. Il y a un étiage très marqué en hiver ainsi qu'un autre en été (août-septembre). Les crues printanières présentent un double défi pour les végétaux implantés dans les ouvrages, puisque les hautes eaux s'étalent sur une longue durée qui correspond au début de la période de croissance de la végétation et que les glaces concomitamment charriées peuvent arracher la berge et les végétaux, totalement ou en partie. Les taillis arbustifs de saule de l'intérieur (*Salix interior* Rowlee) semblent toutefois relativement bien adaptés à ces contraintes avec des tiges flexibles et des capacités de régénération hors du commun. Dans le contexte des changements climatiques, on s'attend notamment à une augmentation du risque de redoux hivernaux, ce qui accroîtra le risque d'embâcles de glace. On prévoit également une baisse de l'hydraulicité et des débits d'étiage estivaux (CEHQ, 2015).

Enfin, il est bon de noter que les cours d'eau des Basses-terres du Saint-Laurent ont fait l'objet de nombreux travaux de canalisation, notamment en zone agricole. On y trouve ainsi un certain nombre de rivières fortement modifiées par l'homme. On estime que le redressement des berges et les travaux de drainage ont dénaturé plus de trente mille kilomètres de cours d'eau et ont créé environ dix mille kilomètres de fossés verbalisés au Québec (Beaulieu, 2007).

Les contraintes liées à la neige et à la glace

La présence de neige, de glace et de sols gelés requiert que les ouvrages soient construits avant ou après l'hiver. Sachant qu'il est préférable d'éviter la période de croissance de la végétation, de façon à assurer de meilleures réserves énergétiques dans les branches qui serviront de boutures et garantir une meilleure reprise, il y a lieu de réaliser les ouvrages soit à l'automne, soit au printemps. Chacune des deux périodes présente des avantages et des inconvénients. Si on a le choix, ce qui n'est pas toujours le cas en raison des contraintes de chantier, on peut peser le pour et le contre, mais la balance semble pencher pour une intervention à l'automne.

Même si l'instauration d'ouvrages de génie végétal à l'automne pose le risque de voir les niveaux d'eau grimper subitement ou d'être surpris et interrompu par la neige durant le chantier, cette période présente plusieurs avantages. En cas d'intervention dans le cours d'eau, elle permet d'éviter les périodes de frai de la majorité des espèces de poisson (quoiqu'il y ait beaucoup de variations inter-régionales quant aux dates de restrictions pour les travaux en berges de rivière). Des travaux en automne permettent également aux professionnels et maîtres de chantier de bénéficier d'une large fenêtre de temps durant tout l'été pour identifier les populations d'arbustes qui serviront de sources de récolte pour les boutures plus tard à l'automne; cela assure ainsi une identification juste et précise des espèces sélectionnées. De même, les interventions à l'automne permettent de récolter facilement les boutures puisque le couvert neigeux est absent (ou presque), et de les mettre immédiatement en terre. Cela implique qu'elles passent l'hiver sous la neige et qu'elles soient prêtes à produire des tiges dès le début du printemps quand la chaleur revient et que la ressource en eau est abondante. De surcroît, le niveau des rivières est généralement plus bas à l'automne qu'au printemps, ce qui améliore les conditions de chantier.

Il est à noter que si on choisit de réaliser le chantier au printemps, les boutures peuvent être récoltées vers la fin de l'automne ou durant l'hiver quand les plantes ont atteint leur période de dormance. Elles devront être conservées à une température comprise idéalement entre -4 °C et -2 °C et entreposées dans des sacs de plastique ou en toile de jute pour éviter tout dessèchement. Elles peuvent également être entreposées à l'extérieur sous la neige pendant l'hiver. L'implantation des boutures au printemps est par contre plus coûteuse que la mise en terre immédiate i.e. en automne, car elle demande de la manutention et des ressources pour l'entreposage. Si le projet est prévu pour être réalisé tardivement au prin-

1. <http://www.gouv.qc.ca/FR/LeQuebec/Pages/Geographie.aspx>

► temps (jusqu'en juin), les boutures peuvent être isolées par un couvert de 60 à 90 cm de neige compactée, elle-même recouverte d'au moins 60 cm d'une couche de tourbe et/ou d'un paillis d'écorce, ce qui préservera la neige et la dormance des boutures jusqu'à leur plantation. Quant aux contraintes de glaces, elles sont très importantes et entraînent fréquemment des érosions massives sur les berges lors de la débâcle (photo ❶). On ne connaît pas encore bien les mécanismes d'interaction entre la glace et la végétation des berges, et l'utilisation du génie végétal dans des contextes de fortes contraintes de glace doit se faire avec circonspection. Si des exemples ont déjà montré que c'était possible par endroit, des expérimentations sur le terrain à l'échelle des ouvrages mériteraient d'être menées pour étudier plus finement les limites d'utilisation du génie végétal sous contrainte de glace. Notamment, il y aurait lieu de documenter les stratégies de résilience des espèces riveraines face à la glace, comme la capacité des tiges à se plier pour résister aux forces d'arrachement, ou à se casser et par la suite se régénérer à partir du système racinaire resté en place. À cet égard, le saule de l'intérieur possède des capacités de régénération hors du commun et est connu pour subir impunément l'action mécanique des glaces (Marie-Victorin *et al.*, 2002).

Il est à noter également que les sols gelés peuvent constituer un avantage pour accéder au site avec la machinerie lourde avant l'instauration des ouvrages pour y apporter des matériaux tels que troncs, roches et graviers ainsi que le matériel végétal. Les matériaux peuvent ainsi être entreposés *in situ* pour être mis en œuvre au printemps. Le transport sur sol gelé a aussi l'avantage de réduire la compaction des sols et la perturbation de la flore.

Règlementation

L'encadrement légal régissant les activités en cours d'eau au Québec, comme les projets de stabilisation en génie végétal, est complexe. Des autorisations de plu-

sieurs ministères peuvent être nécessaires, dont celles du ministère chargé de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC) 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 (2017, chapitre 14), du ministère chargé des forêts, faune et parcs (MFFP) par la loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (chapitre C-61.1) et de Pêches et Océans Canada avec la loi sur les pêches (L.R.C. (1985), ch. F-14). De plus, les cadres légaux et administratifs pour obtenir les autorisations ou les permis encouragent peu le génie végétal en lieu et place de l'enrochement, du moins jusqu'à tout récemment. De même, les concepteurs peuvent sur-dimensionner les ouvrages pour des raisons de sécurité. Par conséquent, les enrochements sont souvent construits à des hauteurs qui vont bien au-delà de ce qui serait essentiel pour garantir la stabilité des sols.

En l'occurrence, les concepteurs se basent souvent sur la ligne des hautes eaux (LHE) pour définir l'endroit où débiter l'implantation de la végétation. En 1987, on a défini la LHE comme étant l'endroit dans la berge où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres. Comme cette définition peut engendrer une évaluation basée sur des relevés terrain souvent fastidieux, on utilise fréquemment une autre définition depuis 1996, soit l'endroit atteint par les eaux d'une crue susceptible de se produire une fois tous les deux ans. Cette dernière définition semble amener la limite de la LHE plus haut dans la berge (et plus loin du lit moyen). Peu importe la définition utilisée pour établir la LHE, les plantes peuvent tolérer les conditions prévalant bien plus bas dans le talus. Elles peuvent en fait s'établir près du niveau moyen, qui constitue le niveau d'eau le plus susceptible de rester constant durant la saison végétative, à l'extérieur des périodes de fluctuations importantes. Une sensibilisation pour une identification plus juste de la ligne des hautes eaux et l'utilisation du niveau moyen des eaux pourrait ainsi améliorer les pratiques de génie végétal au Québec.

Une approche fiable et facile d'utilisation pour déterminer le niveau de berge le plus bas pour l'établissement des héliophytes et des ligneux consiste à se caler sur les modèles naturels sur le même tronçon de rivière. En effet, les végétaux intègrent les variations hydrologiques du cours d'eau ; si on peut les observer à un certain niveau sur la rivière, on sait qu'ils peuvent s'y développer. On peut ainsi mesurer localement le niveau des héliophytes et ligneux établis sur les berges adjacentes non perturbées et utiliser ce repère pour la conception du projet.

Un autre frein à l'utilisation du génie végétal au Québec réside dans la nécessité d'assurer des compensations, pour la perte d'habitat du poisson, afin d'obtenir les autorisations ou les permis dans certains cas. En dessous de la LHE, toute superficie accueillant une construction doit être compensée ailleurs dans le cours d'eau, ou faire état de compensations financières qui seront affectées à des programmes de création ou de restauration d'habitat du poisson. Toutefois, il faut comprendre que certaines constructions peuvent être favorables à l'habitat du poisson quand elles sont aménagées en conséquence, comme certains épis qui sont des ouvrages construits dans la zone littorale. Leur rôle est principalement de



© M. Tisserant (U Laval)

❶ Berge érodée par les crues et le passage des glaces, dans la région de la Capitale Nationale, rivière Sainte-Anne. Parmi les signes d'érosion par les embâcles de glace, on distingue ici l'érosion des sols, le dépôt de matériaux grossiers, le déchaussement des racines et la présence de cicatrices sur les troncs d'arbres.

réorienter le courant ou de ralentir la vitesse de celui-ci, en utilisant des matériaux minéraux ou végétaux morts ou vivants. Cette diversification du courant peut être favorable aux poissons, notamment en créant des petites fosses en aval de l'épis. Les épis peuvent aussi favoriser la sédimentation, ou contrôler l'érosion de la berge en étant combinés avec d'autres techniques végétales. Depuis le 20 septembre 2018, le nouveau règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques soustrait de la compensation financière les travaux relatifs à un ouvrage de stabilisation d'un talus à l'aide des phytotechnologies (ce terme utilisé dans le règlement ne comprend pas certaines techniques de génie végétal telles que les caissons végétalisés et les techniques mixtes, qui sont assimilés à de la stabilisation mécanique), dans la rive ou le littoral d'un lac ou d'un cours d'eau. La végétalisation des ouvrages de stabilisation constitue maintenant une bonne pratique reconnue comme mesure de minimisation favorisant l'acceptabilité environnementale des projets de stabilisation. Cela devrait favoriser l'utilisation du génie végétal au Québec.



② Protection d'une berge initialement érodée par le batillage, stabilisée avec un matelas de branches. La photo a été prise trois ans après les travaux, dans la région de Lanaudière près de Montréal.

Quels ouvrages de génie végétal dans les Basses-terres du Saint-Laurent ?

Un projet de recherche financé par le ministère chargé des transports du Québec, portant entre autres sur la diversité des plantes établies dans les ouvrages instaurés au Québec au fil des années, nous a permis de dresser un portrait des travaux de génie végétal dans la province. Parmi les trente-neuf organisations contactées, soit des firmes de génie civil, des firmes de consultants en environnement, des comités de bassins versants, des municipalités et des ministères, vingt-deux 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 deux-cent-vingt-six ouvrages. À l'analyse des dossiers, nous avons constaté que nombre de ces ouvrages étaient principalement constitués d'enrochements, la végétation ayant été utilisée bien au-delà de la ligne des hautes eaux (niveau plein bord ou de récurrence deux ans). Vu l'importance des enrochements dans leur structure, ces ouvrages n'utilisent que très peu les capacités de résistance mécanique des végétaux pour protéger la berge. Or, on peut présumer que pour qu'un ouvrage soit considéré comme étant issu du génie végétal pour le contrôle de l'érosion, les plantes utilisées doivent

jouer un rôle de stabilisation du sol. Aussi lorsque sur un ouvrage les plantes sont installées bien au-dessus de la ligne des hautes eaux, la qualification de génie végétal peut être sérieusement interrogée. Par ailleurs, le recensement des ouvrages nous a également permis d'observer une croissance du nombre d'ouvrages faisant appel aux techniques de génie végétal ou aux techniques mixtes au détriment des enrochements (tableau ①).

Les ouvrages de génie végétal recensés ont été instaurés à l'aide d'une diversité de techniques. La plupart (environ 90 %) présentent une clé d'enrochement ou un enrochement de pied de berge. Au-dessus vient souvent une fascine de saules (38 % des cas), un matelas de branches (20 % ; photo ②), des pieux vivants insérés dans le sol (10 %), un tressage (4 %), ou une combinaison de fascine de saules en pied de berge et de matelas de branches en milieu de berge (28 %). Les fascines de saules (parfois mélangées avec du cornouiller) sont donc présentes dans 66 % des ouvrages de stabilisation référencés. La technique des lits de plants et plançons n'est pas présente dans les ouvrages référencés. Bien qu'elle soit rare au Québec, elle est très populaire en France, notamment parce qu'elle autorise des pentes fortes et une bonne résistance à la sécheresse via un enracinement en profondeur. Enfin, des mélanges de semences sont souvent épanchus sur les ouvrages recensés et également en haut de berge.

① Ouvrages recensés au Québec en fonction de leur classe d'âge et de la proportion d'enrochement. Ces ouvrages sont majoritairement dans les Basses-terres du Saint-Laurent. Les ouvrages de génie végétal avec et sans clé d'enrochement * ont été distingués (deux premières colonnes).

Âge/technique	Génie végétal pur	Génie végétal avec clé	Génie végétal mixte	Enrochement	Total
1-5	12	4	56	37	109
5-15	4	12	26	26	68
15-20	1	1	14	33	49
Total général	17	17	96	96	226

* On entend ici par « clé » un cordon de roches disposé au pied de l'ouvrage. Il ne s'agit pas d'un sabot d'enrochement inséré dans le lit et la berge.

① CAPACITÉ DE BOUTURAGE D'ESPÈCES DE SAULES SELON LE RÉGIME HYDRIQUE

Nous avons testé la capacité de bouturage de trois espèces de saules en réponse à différents régimes hydriques. Une expérience en serre a été mise en place pendant trois mois (février à mai 2018) où des boutures de *Salix eriocephala*, *Salix discolor* et *Salix interior* de 20 cm de longueur ont été introduites dans un substrat sableux. Ces boutures avaient été récoltées en novembre 2017 sur des branches de l'année, dans les populations naturelles de la région de Québec, puis entreposées quatre mois au froid (4 °C) avant le début de l'expérimentation en serre. Ces espèces diffèrent quant à leur répartition le long du talus en berges naturelles. La première, *S. eriocephala* est plutôt généraliste et peut être présente sur toute la hauteur du talus alors que *S. discolor* se trouve plus en haut de talus et *S. interior* plutôt en bas de talus. Nous avons ainsi comme hypothèse que la performance de ces espèces allait différer selon les trois régimes hydriques testés : un régime de capacité au champ (pots soumis à un apport régulier en eau), un régime de sécheresse (pots alimentés en eau juste pour éviter la mortalité des boutures) et un régime d'inondation (pots soumis à un régime de capacité au champ lors de l'établissement puis à quatre cycles successifs de deux semaines d'inondation). En fin d'expérience, la biomasse sèche aérienne et souterraine a été mesurée, cette dernière ayant été évaluée à l'aide d'un appareil scanner WinRhizo.

Toutes les espèces ont eu un taux d'établissement très élevé, peu importe le régime hydrique (supérieur à 89%). De façon générale, les biomasses aérienne et racinaire variaient entre les espèces, mais n'étaient pas influencées par les différents régimes hydriques. Plus précisément, la biomasse aérienne était plus élevée pour *S. eriocephala* et plus faible pour *S. discolor*. Quant à la biomasse racinaire, elle était plus élevée pour *S. eriocephala*, mais plus faible pour *S. interior*. Les régimes hydriques n'ont affecté que la longueur racinaire totale. Dans l'ensemble, on peut conclure que *S. eriocephala* montre une bonne capacité d'adaptation aux variations des régimes hydriques, avec en moyenne des racines plus longues et des biomasses supérieures.



② Reprise des boutures de saules en serre dans une expérience testant trois régimes hydriques.

Les espèces utilisées dans le génie végétal

Parmi les deux-cent-vingt-six ouvrages présentés dans le tableau ①, cinquante-et-un ouvrages de génie végétal ont fait l'objet d'une étude approfondie de leur végétation. Les espèces ligneuses les plus fréquentes sur ces cinquante-et-un ouvrages sont le cornouiller stolonifère (*Cornus sericea* Linnaeus), le saule à tête laineuse (*Salix eriocephala* Michaux), le saule de l'intérieur (*Salix interior*) et l'aulne rugueux (*Alnus incana* (Linnaeus) Moench) (tableau ②). Ces espèces sont aussi très fréquentes sur les berges naturelles. Il est à noter que les trois premières se multiplient très bien par bouturage (encadré ①) et qu'elles peuvent être utilisées comme éléments de structure dans les fagots, les matelas de branches ou les lits de plants et plançons. Le cornouiller stolonifère et le saule de l'intérieur disposent en outre d'excellentes capacités de propagation latérale, par drageonnement (production d'un nouvel individu à distance du plant-mère). Cette dernière propriété est très utile pour un bon ancrage des ouvrages ou pour la recolonisation d'une zone où la végétation ne s'est pas bien établie. D'autres saules sont également régulièrement utilisés (tableau ③), et on aura avantage à diversifier les essences sur les ouvrages. Une liste d'espèces intéressantes pour le génie végétal est présentée dans le tableau ④.

Pour les herbacées, les mélanges sont souvent simples. On constate ainsi une utilisation fréquente du mélange à gazon typique décrit dans le cahier des charges et devis généraux pour les infrastructures de transports

du ministère chargé des transports du Québec. Ce mélange est composé de quatre espèces de graminées : fétuque rouge (*Festuca rubra* Linnaeus), pâturin des prés (*Poa pratensis* Linnaeus), agrostide blanche (*Agrostis stolonifera* Linnaeus) et ray-grass (*Lolium perenne* Linnaeus). On peut remarquer que ce mélange fait la part belle aux espèces exotiques et que souvent, après quelques années, seule la fétuque rouge reste sur l'ouvrage et couvre toute la surface ensemencée. Ce mélange ne comprend que des poacées et pas de fabacées comme il est pourtant parfois recommandé, notamment en vue de l'enrichissement du sol en azote. Il est à noter que d'autres mélanges comprenant un plus large choix d'espèces, dont un grand nombre d'indigènes, sont disponibles dans le commerce et utilisés. ■

Les auteurs

Monique POULIN, Maxime TISSERANT et Naren KEITA

Université Laval, Québec, Canada.

✉ Monique.Poulin@fsaa.ulaval.ca

✉ maxime.tisserant.1@ulaval.ca / ✉ naren.keita.1@ulaval.ca

André EVETTE et Vincent BRETON

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, LESSEM, F-38000 Grenoble, France.

✉ andre.evette@irstea.fr / ✉ vincent.breton@irstea.fr

Pascale BIRON

Université Concordia, Canada / ✉ pascale.biron@concordia.ca

Pierre RAYMOND

Terra Erosion Control Ltd., Canada / ✉ pierre@terraerosion.com

Gabriel CHARBONNEAU

Aubier Environnement, Canada / ✉ gabriel@aubier-enviro.com

Isabelle FALARDEAU

Ministère chargé des transports du Québec, Canada.

✉ Isabelle.Falardeau@transports.gouv.qc.ca

EN SAVOIR PLUS...

📖 **BEAULIEU, R., 2007**, Historique de l'aménagement des cours d'eau, Affiche présentée à l'Atelier de formation sur l'hydrodynamique, la biodiversité et la mise en valeur des cours d'eau agricoles, Drummondville, QC, Canada.

📖 **BROUILLET, L., COURSOL, F., MEADES, S. J., FAVREAU, M., ANIONS, M., BÉLISLE, P., DESMET, P., 2019**, VASCAN, la Base de données des plantes vasculaires du Canada, disponible sur : <http://data.canadensys.net/vscan>

📖 **CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ), 2015**, Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050, Québec.

📖 **LACHAT, B., 1994**, Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales, Paris, Ministère de l'Environnement.

📖 **MARIE-VICTORIN, F., ROULEAU, E., BROUILLET, L., 2002**, La flore laurentienne, Montréal, 3e édition, Éditions Gaëtan Morin.

📖 **MTMDT (Ministères des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des Transports), 2018**, Cahier des charges et devis généraux – infrastructures routières – construction et réparation, Direction des normes et des documents d'ingénierie, Publication du Québec.

2 Liste d'espèces utilisées et échantillonnées ainsi que leur fréquence (nombre de sites) sur cinquante-et-un ouvrages de génie végétal visités au Québec (2016, 2017). Les espèces non-indigènes pour le Québec sont indiquées par un astérisque.

Ligneux		Herbacées	
Espèce	Fréquence (%)	Espèce	Fréquence (%)
<i>Cornus sericea</i> Linnaeus	64	<i>Festuca rubra</i> Linnaeus	64
<i>Salix eriocephala</i> Michaux	55	<i>Agrostis stolonifera</i> Linnaeus*	49
<i>Salix interior</i> Rowlee	38	<i>Elymus repens</i> (Linnaeus) Gould*	43
<i>Alnus incana</i> (Linnaeus) Moench	30	<i>Poa pratensis</i> Linnaeus	38
<i>Salix discolor</i> Muhlenberg	27	<i>Agrostis gigantea</i> Roth*	29
<i>Salix bebbiana</i> Sargent	15	<i>Lolium perenne</i> Linnaeus*	18
<i>Spiraea alba</i> Du Roi	15		
<i>Diervilla lonicera</i> Miller	12		
<i>Physocarpus opulifolius</i> (Linnaeus) Maximowicz	11		
<i>Viburnum opulus</i> Linnaeus	11		
<i>Salix pellita</i> (Andersson) Bebb	10		
<i>Salix petiolaris</i> Smith	7		
<i>Salix pentandra</i> Linnaeus*	6		
<i>Symphoricarpos albus</i> (Linnaeus) S.F. Blake	2		

3 Liste des végétaux ligneux pouvant être multipliés par bouturage et présentant un intérêt pour le génie végétal au Québec. La nomenclature pour les espèces suit VasCan (Brouillet et al., 2019).

Famille Nom latin*	Nom français	Hauteur*	Capacité de reprise au bouturage**	Espèce citée pour le génie végétal dans les écrits techniques québécois***
Salicaceae				
<i>Salix eriocephala</i> Michaux = <i>S. rigida</i> , <i>S. cordata</i>	Saule à tête laineuse	3-6 m	Très bonne (Castagni, 2017 ; USDA, 2002a ; Gray et Sotir, 1996)	FIHOQ, 2013
<i>Salix discolor</i> Muhlenberg	Saule discolore	6-8 m	Très bonne (USDA, 2002a ; Gray et Sotir, 1996)	St-Pierre, 2003 ; FIHOQ, 2013
<i>Salix bebbiana</i> Sargent	Saule de Bebb	4-9 m	Très bonne (Raymond et al., 2011) Faible (USDA, 1998)	Collectif, 1999
<i>Salix interior</i> Rowlee	Saule de l'intérieur	1-5 m	Excellente (USDA, 2002a) Correcte à bonne (Gray et Sotir, 1996)	St-Pierre, 2003
<i>Salix lucida</i> Muhlenberg	Saule brillant	4-6 m	Très bonne (USDA, 2002a ; Gray et Sotir, 1996)	Collectif, 1999 ; FIHOQ 2013
<i>Salix nigra</i> Marshall	Saule noir	5-30 m	Très bonne (USDA, 2002a) Excellente (Gray et Sotir, 1996)	
<i>Populus balsamifera</i> Linnaeus	Peuplier baumier	16-20 m	Bonne (USDA, 2002b) Très bonne (USDA, 2002a ; Gray et Sotir, 1996)	St-Pierre, 2003 ; FIHOQ, 2013 ; Paquette, 2010
<i>Populus deltoides</i> W. Bartman ex Marshall	Peuplier deltoïde	20-30 m	Très bonne (USDA, 2002a ; Gray et Sotir, 1996)	St-Pierre, 2003
<i>Populus tremuloïdes</i> Michaux	Peuplier faux-tremble	16-25 m	Faible (USDA, 2002a)	St-Pierre, 2003
Cornaceae				
<i>Cornus sericea</i> Linnaeus (syn de <i>C. stolonifera</i>)	Cornouiller stolonifère	2 m, <2 m	Faible à correcte (Castagni, 2017)	St-Pierre, 2003 ; Collectif, 1999 ; Paquette, 2010
Rosaceae				
<i>Physocarpus opulifolius</i> (Linnaeus) Maximowicz	Physocarpe à feuilles d'Obier	1-3 m	Correcte à bonne (Gray et Sotir, 1996 ; USDA, 2002a)	Charbonneau (com.pers.)
<i>Spiraea alba</i> var. <i>latifolia</i> (Aiton) Dippel	Spirée à larges feuilles	1-2 m	Correcte à bonne (USDA, 2002a)	St-Pierre, 2003 ; Paquette, 2010

* Informations issues des flores et bases de données floristiques nord-américaines : Flore laurentienne (Marie-Victorin et al., 2002), PLANTS Database of Natural Resources Conservation Service (USDA NCRS, 2019), Flora of North America (eFloras, 2019), Willows-The genus *Salix* (Newsholme, 1992) et VasCan (Brouillet et al., 2019).

** Références sur les capacités de reprise au bouturage des espèces :

- Raymond, P., McDiarmid, J., 2011, Evaluation of Plant Propagation and Development of Plant Material for Soil Bioengineering and Civil Engineering Structures in Western Canada, IRAP PROJECT REPORT 2010, 93 p.
- Castagni, M., 2017, Étude du potentiel de bouturage pour *Salix eriocephala* et *Cornus sericea* selon différents paramètres hydriques, Rapport de Master, Université Laval, 28 p.
- USDA, 1998, The Practical Streambank Bioengineering Guide, 67 p.
- USDA, 2002a, A Soil Bioengineering Guide for Streambank and Lakeshore Stabilization, 187 p.
- USDA, 2002b, Streambank Soil Bioengineering Field Guide for Low Precipitation Areas, 66 p.
- Gray, D.H., Sotir, B., 1996, Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley and Sons Inc, 400 p.

*** Références sur l'utilisation en génie végétal au Québec :

- Collectif, 1999, Fiche technique n° 1 : Stabilisation naturelle des rives. Ministère de l'Environnement, Québec, 9 p.
- FIHOQ, 2013, Guide de bonnes pratiques, Aménagement et techniques de restauration des bandes riveraines, 59 p.
- St-Pierre G., 2003, Techniques de stabilisation végétale, Zone d'intervention prioritaire (ZIP) Alma-Jonquière, 25 p.
- Paquette M-H., 2010, La restauration des berges. L'utilisation d'indicateurs de performance comme outil d'aide à la décision, Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, 110 p.