

LA RESTAURATION DES BERGES
L'UTILISATION D'INDICATEURS DE PERFORMANCE COMME OUTIL D'AIDE À LA
DÉCISION

Par

Marie-Hélène Paquette

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Longueuil, Québec, Canada, mai 2010

IDENTIFICATION SIGNALÉTIQUE

LA RESTAURATION DES BERGES - L'UTILISATION D'INDICATEURS DE PERFORMANCE COMME OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION

Marie-Hélène Paquette

Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de M. Réjean de Ladurantaye

Université de Sherbrooke, mai 2010

Mots clé : restauration des berges, érosion, indicateur de performance, méthodes de restauration, développement durable

Les berges des cours d'eau ont de nombreuses fonctions, tant biologiques que physiques. La détérioration des berges qui peut être constatée le long des lacs et cours d'eau engendre donc une multitude d'impacts dans une grande quantité de domaines. Les impacts peuvent être environnementaux, économiques et sociaux. L'élaboration d'une grille avec des indicateurs dans chacun de ces domaines permet de statuer sur l'état d'une berge afin d'évaluer si elle doit être restaurée et pour quelles raisons, et permet aussi de statuer sur la réussite d'une restauration par une évaluation quelques années après les travaux. Les différentes techniques de restauration connues sont aussi évaluées selon leurs performances techniques et leur respect des principes du développement durable, ainsi que sur leur capacité à répondre aux problématiques soulevées par l'analyse initiale de l'état de la berge.

SOMMAIRE

Il y a une multitude de cours d'eau et plans d'eau au Québec et divers intervenants s'intéressent de plus en plus à leurs berges. Les berges des cours d'eau ont de nombreuses fonctions, c'est pourquoi il y a consensus quant à la nécessité de les protéger et les restaurer au besoin. Lorsque les berges sont détériorées, des impacts se font sentir dans plusieurs domaines. La faune et la flore peuvent être affectées, de même que l'humain et ses activités récréatives et économiques.

Étant donné que la détérioration des berges affecte plusieurs types d'activités, il est important d'évaluer concrètement quels sont les impacts réels d'une détérioration et de les quantifier, afin de pouvoir comparer des faits réels et ainsi justifier soit la réalisation de travaux, ou juger si les travaux ont été réalisés de manière satisfaisante.

Cet essai a donc pour but de passer en revue les fonctions d'une berge et les impacts associés à leur détérioration, puis d'élaborer une grille d'indicateurs qui servira à statuer sur l'état d'une berge. Cette grille est proposée comme outil d'aide à la décision afin de juger si une berge doit être restaurée. Elle permettra aussi de statuer sur la réussite d'une restauration par une évaluation quelques années après les travaux. Les indicateurs élaborés sont des indicateurs environnementaux, économiques et sociaux.

Les méthodes de restauration connues sont aussi évaluées selon leurs performances techniques et leur respect des principes du développement durable, ainsi que sur leur capacité à répondre aux problématiques soulevées par l'analyse initiale de l'état de la berge. Les méthodes de restauration évaluées sont la végétalisation, certaines méthodes du génie végétal, les méthodes mécaniques, l'utilisation de matériaux artificiels et deux méthodes de rechargement de plage.

Suite à l'analyse des méthodes de restauration, celles-ci sont classées selon leurs performances techniques et leurs performances selon les principes du développement durable. Ce classement illustre que les méthodes qui performant le mieux techniquement sont les méthodes mécaniques, les méthodes utilisant des matériaux artificiels et certaines méthodes du génie végétal. Les méthodes qui performant le mieux selon les critères du développement durable sont la végétalisation et certaines méthodes du génie végétal.

Pour répondre aux besoins en restauration illustrés par les indicateurs de la grille d'état, toutes les méthodes intégrant de la végétation sont favorisées pour répondre aux besoins environnementaux, et à certains besoins sociaux et économiques basés sur la faune et la flore. Toutefois tout ce qui concerne l'érosion sévère et la perte de terrain va requérir une méthode ayant une bonne performance technique. Il est donc recommandé d'utiliser des méthodes ayant une bonne performance technique en conjonction avec des méthodes plus naturelles afin de limiter la piètre performance environnementale de ces méthodes. Il est aussi possible de noter que toutes les méthodes dites plus naturelles (végétalisation, génie végétal) répondent non seulement mieux à la majorité des besoins en lien avec les différents impacts de la dégradation des berges, mais les méthodes en elles-mêmes sont aussi plus performantes au niveau des principes du développement durable.

La méthodologie développée pour analyser la problématique de restauration des berges avec les deux grilles d'analyse peut être utilisée pour d'autres types de problématiques environnementales. De plus, les grilles élaborées pourraient être raffinées si elles étaient utilisées pour l'analyse d'un cas précis. L'utilisation de la grille d'état sur plusieurs tronçons d'un même cours d'eau permet d'obtenir un portrait global du cours d'eau et de l'influence des zones détériorées sur les zones plus en aval.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1 DÉTÉRIORATION DES BERGES	3
1.1 Fonctions d'une berge en bon état.....	3
1.2 Sources de la détérioration des berges au Québec : facteurs naturels	5
1.3 Sources de la détérioration des berges : facteurs anthropiques.....	7
1.3.1 Fleuve.....	7
1.3.2 Rivières et lacs	8
1.3.3 Agriculture.....	9
1.4 Impacts de la détérioration des berges au Québec.....	10
1.4.1 Fleuve.....	13
1.4.2 Rivières et lacs	16
1.4.3 Agriculture.....	18
1.5 Pourquoi restaurer les berges.....	21
2 TECHNIQUES DE RESTAURATION.....	24
2.1 Végétalisation	24
2.2 Génie végétal	26
2.3 Méthodes mécaniques.....	30
2.3.1 Enrochement et murets.....	30
2.3.2 Produits artificiels avec insertion possible de végétaux.....	30

2.3.3	Regénération de plages	32
2.4	Analyse des différentes techniques de restauration	32
3	ASPECT LÉGAL DE LA RESTAURATION DES BERGES	35
4	INDICATEURS POUR LA RESTAURATION DES BERGES	38
4.1	Utilité des indicateurs à la prise de décision.....	38
4.2	Méthodologie d'analyse	39
4.3	Élaboration des indicateurs - grille d'état.....	40
4.3.1	Aspect environnemental.....	40
4.3.2	Aspect financier	48
4.3.3	Aspect humain	51
4.4	Élaboration de la grille des techniques.....	53
4.4.1	Performance technique	53
4.4.2	Performance environnementale	55
4.4.3	Performance sociale	58
4.4.4	Performance économique	59
4.4.5	Sommaire de la performance	61
5	ANALYSE DES TECHNIQUES EN FONCTION DES BESOINS DÉTERMINÉS PAR LA GRILLE D'ÉTAT ET DISCUSSION	64
5.1	Méthodologie	67
	CONCLUSION	69

RÉFÉRENCES	71
ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE	78
ANNEXE 2 : EXEMPLES DE TAUX D'ÉROSION MESURÉ DU ST-LAURENT	80
ANNEXE 3 : ESSENCES DE VÉGÉTAUX RECOMMANDÉES POUR LA VÉGÉTALISATION	82
ANNEXE 4 : ILLUSTRATIONS DE DIVERSES MÉTHODES DE RESTAURATION DES BERGES.....	84
ANNEXE 5 : GRILLE D'ÉTAT	90
ANNEXE 6 : GRILLE DES MÉTHODES	97

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Définition de la bande riveraine selon la <i>Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables</i>	3
Tableau 1.2	Impacts de la détérioration des berges analysés dans les sections 1.4.1 à 1.4.3	12
Tableau 1.3	Pertes de sol pour différents types de bande riveraine en agriculture (Zaimes et al., 2008)	19
Tableau 1.4	Pertes en phosphore pour différent type de bande riveraine en agriculture (Zaimes et al., 2008)	20
Tableau 1.5	Réduction de la concentration de pesticide par une bande riveraine végétée (Patty et al., 1997).....	20
Tableau 2.1	Résumé des techniques du génie végétal (MDDEP, 2005).....	28
Tableau 2.2	Résumé des méthodes de restauration.....	33
Tableau 3.1	Résumé de l'encadrement législatif relatif à la protection des rives.....	37
Tableau 4.1	Indicateurs environnementaux pour mesurer la qualité de l'eau en lien avec la bande riveraine.....	41
Tableau 4.2	Température de l'eau pour la fraie de quelques espèces de poisson	43
Tableau 4.3	Taux minimal d'oxygène dissous pour la protection de la vie aquatique (MDDEP, 2002).....	44
Tableau 4.4	Indicateurs environnementaux pour évaluer les habitats en lien avec la bande riveraine	46
Tableau 4.5	Indicateurs environnementaux pour évaluer la végétation et l'aspect visuel de la bande riveraine.....	47

Tableau 4.6	Indicateurs environnementaux pour évaluer la morphologie du cours d'eau en lien avec la bande riveraine.....	48
Tableau 4.7	Indicateurs retenus pour l'évaluation des impacts économiques de la détérioration des berges.....	49
Tableau 4.8	Indicateurs retenus pour l'évaluation des impacts sociaux de la détérioration des berges	51
Tableau 4.9	Paramètres pour l'évaluation technique d'une méthode de restauration....	54
Tableau 4.10	Paramètres pour l'analyse de la performance environnementale	55
Tableau 4.11	Paramètres pour l'analyse de la performance sociale	58
Tableau 4.12	Paramètres pour l'analyse de la performance économique	59
Tableau 4.13	Résultat de l'analyse de performance selon le développement durable	62

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Stabilisation des berges par végétalisation	25
Figure 2.2	Stabilisation des berges par génie végétal	27
Figure 2.3	Coûts du génie végétal comparé à d'autres méthodes de restauration	29

AUTRE DOCUMENT : Fichier *Excel* indicateurs rev finale.xls disponible auprès de l'auteure (mahepa667@hotmail.com)

Liste des acronymes

MAPAQ : Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec

MDDEP : Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs

MES : Matières en suspension

MRNF : Ministère des ressources naturelles et de la faune

Lexique

Note : à moins d'indication contraire, toutes les définitions proviennent du Grand dictionnaire terminologique (Office québécois de la langue française, 2010).

Arbuste : Arbre de petite taille d'une hauteur totale inférieure à 1 m.

Berge : bande de terre qui borde un cours d'eau ou une étendue d'eau (Le petit Larousse illustré, 2006).

Batillage : le battement des vagues contre les rives d'un cours d'eau produit par le remous des navires et embarcations et qui provoque une érosion des berges.

Effet de bout : force des vagues qui est multipliée exponentiellement en bordure de quai ou d'infrastructures maritimes (Municipalité des Iles de la Madeleine, 2008).

Érosion : Usure que l'eau, le vent et certaines interventions de l'homme font subir au sol.

Frayère : Zone d'un milieu aquatique où une espèce de poisson pond et féconde ses œufs.

Géotextile : Produit textile perméable, à base de fibres synthétiques, se présentant sous forme de nappe souple et résistante, utilisé principalement pour ses fonctions de filtration, de séparation, de protection, de drainage et de renforcement.

Herbacée : Plante à tige verte et souple, non ligneuse.

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 (*Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*).

Matières en suspension : Substances en suspension, contenues dans un liquide sans y être dissoutes.

Rive : bande de terre qui borde les lacs et cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux (*Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*).

INTRODUCTION

Il y a une multitude de cours d'eau et plans d'eau au Québec et divers intervenants s'intéressent de plus en plus à leurs berges. Les berges des cours d'eau ont de nombreuses fonctions, c'est pourquoi il y a consensus quant à la nécessité de les protéger et les restaurer au besoin. Lorsque les berges sont détériorées, des impacts se font sentir dans plusieurs domaines. La faune et la flore peuvent être affectées, de même que l'humain et ses activités récréatives et économiques.

Étant donné que la détérioration des berges affecte plusieurs types d'activités, il est important d'évaluer concrètement quels sont les impacts réels d'une détérioration et de les quantifier, afin de pouvoir comparer des faits réels et ainsi justifier soit la réalisation de travaux, ou juger si les travaux ont été réalisés de manière satisfaisante.

Cet essai a donc pour but de passer en revue les fonctions d'une berge et les impacts associés à leur détérioration, puis d'élaborer une grille d'indicateurs qui servira à statuer sur l'état d'une berge. Cette grille pourra servir de grille décisionnelle afin de juger si une berge doit être restaurée, elle permettra aussi de statuer sur la réussite d'une restauration par une évaluation quelques années après les travaux.

Les méthodes de restauration connues seront aussi évaluées selon leurs performances techniques et leur respect des principes du développement durable, ainsi que sur leur capacité à répondre aux problématiques soulevées par l'analyse initiale de l'état de la berge.

Afin de procéder à cette étude, diverses sources ont été consultées. Les principales sources proviennent d'instances gouvernementales, comme le Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP), le Ministère des ressources naturelles et de la faune (MRNF), Environnement Canada, les comités de bassins versant, les municipalités, etc. Des articles scientifiques ont aussi été consultés, de même que les sites internet de quelques groupes de recherches, tel St-Laurent vision 2000. Plusieurs recherches ont aussi été effectuées auprès de fournisseurs de matériaux qui sont utilisés pour la restauration des berges.

La première section de cet essai définira d'abord ce qu'est une berge dans le cadre de ce rapport, puis énumérera les diverses fonctions des berges. Des facteurs naturels et anthropiques qui causent la détérioration des berges seront ensuite présentés. Finalement, une revue des impacts engendrés par la détérioration des berges sera effectuée.

La seconde section passera en revue différentes techniques de restauration des berges et énumérera leurs caractéristiques et leurs avantages et inconvénients. Les techniques naturelles seront analysées, de même que les méthodes du génie végétal, les méthodes mécaniques ainsi que l'utilisation des matériaux artificiels. Deux méthodes de rechargement de plage seront aussi analysées.

La troisième section présentera brièvement quelles sont les contraintes légales dont il faut tenir compte lors de travaux de restauration de berge au Québec.

La quatrième section présentera d'abord la grille d'état des berges, élaborée avec plusieurs indicateurs. Les indicateurs seront expliqués, ainsi que la façon de les mesurer et les plages de valeurs servant de balises à la prise de décision. Cette grille a été élaborée suite à la revue des impacts de la détérioration des berges de la section 1. Une grille d'analyse des différentes méthodes de restauration des berges (présentées à la section 2) selon les concepts du développement durable sera aussi présentée. Il est à noter que ces deux grilles ont aussi été élaborées sous forme d'outil sur fichier excel. Ce fichier est disponible auprès de l'auteure.

A la cinquième section, une analyse permettra d'évaluer si certaines méthodes de restauration des berges permettent de mieux remédier aux impacts de la détérioration des berges tels que définis par la grille d'état. Une discussion sur la méthodologie employée pour effectuer les deux grilles d'analyse sera aussi effectuée, afin de définir si cette méthodologie serait applicable comme méthode d'analyse à d'autres problématiques requérant des travaux en lien avec l'environnement.

Une conclusion terminera le tout.

1 DÉTÉRIORATION DES BERGES

D'après le dictionnaire Larousse, la berge et la rive ont la même définition, soit la bande de terre qui borde un cours d'eau ou une étendue d'eau. Dans la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, la rive est toutefois définie plus précisément comme étant "une bande de terre qui borde les lacs et cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux". La bande riveraine est la portion de la rive qui doit être protégée selon la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, tel que défini dans le tableau suivant.

Tableau 1.1 Définition de la bande riveraine selon la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*

Longueur à protéger	Pente	Hauteur de talus
10 m	30% ou moins	5 m ou moins
10 m	30% ou plus	5 m ou moins
15 m	30% ou plus	5 m ou plus

Quant au littoral, toujours selon la même *Politique*, il s'agit de la "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". Ces termes seront utilisés selon ces définitions tout au cours de ce rapport.

1.1 Fonctions d'une berge en bon état

Les berges des cours d'eau à leur état naturel ont de nombreuses fonctions, principalement biologiques et physiques, et ces fonctions ont une incidence importante sur le milieu qui les entoure.

Tout d'abord, une berge est un habitat riverain pour de nombreuses formes de vie. Le littoral à proximité de la berge constitue une part importante de l'habitat du poisson. En effet, les frayères se retrouvent principalement à proximité des berges, là où le courant est moins fort et où les poissons trouvent des abris. Les alevins prélèvent aussi principalement leur nourriture dans les eaux peu profondes et plus chaudes à proximité des berges (Service canadien de la faune (s.d.)). Les berges et leur proximité servent donc de lieu de reproduction du poisson. Les amphibiens utilisent ces mêmes lieux pour les mêmes raisons.

Les berges constituent aussi l'habitat de nombreuses espèces d'oiseaux et principalement de canards, car ceux-ci nichent sur les berges. Ils y trouvent aussi une partie de leur nourriture. A titre d'exemple, le très commun canard colvert fait son nid sur les berges des cours d'eau. Les oiseaux de rivage, comme leur nom l'indique, vivent aussi principalement sur les berges où ils nichent et se nourrissent. Les espèces les plus connues de ce type d'oiseau sont les pluviers, les échasses et les bécasseaux. Les oiseaux migrateurs tels l'oie des neiges ou la bernache, s'arrêtent aussi sur les berges lors de la migration pour se nourrir (Service canadien de la faune, 2010).

Aux poissons, amphibiens et oiseaux s'ajoutent certains mammifères qui vivent sur les berges, comme le rat musqué, de même que tous les insectes qui font partie de l'écosystème des berges.

Les berges doivent être en bon état pour servir d'habitat. En effet, une berge à l'état naturel permettra de procurer de la nourriture et des abris pour la faune qui y vit, et permettra aussi une régulation de la température de l'eau à cause de l'ombre qu'elle procure. Une température plus fraîche permettra l'augmentation du taux d'oxygène dissous dans l'eau. En effet, certaines espèces, principalement de poisson, peuvent se reproduire seulement si la température et le taux d'oxygène dissous de l'eau sont optimaux, condition qui est rencontrée lorsque la berge est en bon état (Boissonneault (s.d.)).

La régularisation de la température est aussi importante pour le contrôle de la prolifération des algues dans les plans d'eau. Il est démontré que lorsque la température d'un cours d'eau augmente, ceci favorise la prolifération des algues, dont les cyanobactéries (Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008).

Les berges ont aussi un rôle physique dans la gestion des eaux de ruissellement. En effet, lors de pluies, le volume d'eau qui s'écoulera jusqu'aux cours d'eau est fonction de la nature du terrain. Sur un terrain imperméable, comme le béton ou la roche, la totalité de l'eau s'écoule vers les cours d'eau. Sur un terrain végété, une partie de l'eau sera absorbée, l'eau s'écoulera plus lentement et donc un débit d'eau beaucoup plus faible atteindra le cours d'eau à un moment donné (Chow et al, 1988). Une berge à l'état naturel servira donc de tampon pour le ruissellement, en diminuant l'apport d'eau au cours d'eau lors des averses. Un débit ponctuel plus faible du cours d'eau permettra aussi de limiter

l'érosion des berges. Une berge en bon état assure donc sa propre protection contre l'érosion, en permettant de limiter les apports d'eau brusques au cours d'eau.

Une bande riveraine pourvue de végétation fait aussi office de filtre pour les polluants. L'eau de ruissellement transporte des sédiments, des polluants tels les pesticides, les engrais, les huiles et graisses. Si l'eau de ruissellement s'écoule directement dans un cours d'eau, tous ces polluants s'y retrouvent aussi. De nombreux écrits scientifiques démontrent l'efficacité des berges et des bandes riveraines à l'état naturel pour assurer la qualité de l'eau. Les végétaux permettent la sédimentation des matières en suspensions et des polluants qui y adhèrent. Les racines des plantes, de même que la faune microbienne qui y vie, assimilent les nutriments dissous dans l'eau, et même les pesticides (Correl, 1996). La végétation est particulièrement efficace pour réduire la concentration des nutriments dus aux engrais agricoles, tels le phosphore et les nitrates (St-Jacques et Richard, 1998).

Finalement, la végétation joue aussi un rôle mécanique dans la protection contre l'érosion. Les racines des végétaux aident à stabiliser la pente, et les feuilles des végétaux ralentissent l'écoulement de l'eau, et donc les risques d'érosion. La végétation permet de protéger la pente contre les agressions des vagues et de la glace (Gagnon et Gangbazo, 2007). Les végétaux favorisent aussi la sédimentation des matières en suspension dans la pente, avant qu'elles n'atteignent l'eau.

1.2 Sources de la détérioration des berges au Québec : facteurs naturels

Depuis quelques années au Québec, il est beaucoup question de la détérioration des berges et leur restauration, toutefois il ne faut pas oublier que la détérioration n'est pas uniquement causée par des facteurs anthropiques. Plusieurs facteurs naturels favorisent la détérioration des berges.

L'érosion survient lorsque les matériaux de la berge ne peuvent pas résister aux forces gravitationnelles ou aux forces dynamiques du courant.

L'augmentation des événements climatiques extrêmes observés au cours des derniers 20 à 25 ans (Environnement Canada, 2001) est un facteur qui favorise la détérioration des berges. En effet, les événements climatiques extrêmes tels les orages et les tempêtes

engendrent de forts débits dans les cours d'eau, ce qui augmente la vitesse du courant et entraîne les particules de sols, causant l'érosion.

Certains sols sont aussi plus susceptibles à l'érosion que d'autres. Et une berge naturellement abrupte a plus de chances de s'éroder. Dépendamment du type de sol, l'angle de repos naturel du sol est plus ou moins abrupt. Par exemple, les sols cohésifs comme l'argile sont moins susceptibles à l'érosion et peuvent être placés naturellement en pentes plus abruptes que le sable (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2008). Si un fort courant entraîne des particules de sol à la base d'une pente, celle-ci reprendra son angle naturel de repos par un affaissement ou un décrochement de matériau sur toute sa hauteur.

Un niveau de nappe phréatique élevé favorise aussi l'érosion des berges. En effet, l'apport d'une source d'eau en milieu de pente aura tendance à entraîner les particules de sol et favoriser des décrochements. Les obstacles naturels à l'écoulement et les rétrécissements de section de cours d'eau sont aussi des zones où la vitesse d'écoulement augmente naturellement, ce qui favorise l'érosion.

La rupture et l'écoulement des glaces au printemps est un autre phénomène naturel qui engendre de l'érosion. De plus, à cause des changements climatiques, le couvert de glace est moins important qu'auparavant et l'érosion hivernale (particulièrement dans le fleuve) prend donc de l'importance (Comité de concertation suivi de l'état du St-Laurent, 2008). Toujours au niveau du fleuve, les courants et les marées jouent un rôle sur l'état des berges. Finalement, l'action des vagues dues au vent érode aussi les berges.

A l'échelle géologique, le Québec vient de sortir de la zone de transition entre la dernière glaciation et le climat plus chaud actuel. Lors de cette transition, de nombreux sédiments ont été transportés par la fonte des glaciers, et ceci a modelé le paysage (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, 2007). Depuis peu, il y a un déficit de sédiments dans les cours d'eau, et leur profil est donc en changement.

La position des cours d'eau et la limite des lacs ne sont donc pas statiques. Naturellement lors de fortes crues, avec les vagues et les glaces, il se crée de l'érosion et la position de la limite des berges peut changer. Sur une plus longue échelle, les époques géologiques entraînent aussi des changements. C'est depuis que l'humain a construit des

infrastructures et exploité le territoire qu'il a souhaité que la position et l'état de berges reste identique à perpétuité. Toutefois cet état statique n'est pas naturel.

1.3 Sources de la détérioration des berges : facteurs anthropiques

En plus des facteurs naturels de détérioration énoncés ci-haut, s'ajoutent plusieurs facteurs anthropiques. Ces facteurs sont décrits dans les lignes suivantes selon trois problématiques de détérioration de berges distinctes, soit le long du fleuve, le long des rivières et lacs, et en milieu agricole.

1.3.1 Fleuve

Plusieurs problématiques sont spécifiques au fleuve (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, 2007). Tout d'abord, la circulation des véhicules tout-terrain sur les plages et les berges détruit la végétation qui servait de cohésion à la berge, et l'érosion s'en trouve par la suite accélérée.

L'exploitation des tourbières, que l'on retrouve principalement dans la région de Rivière du Loup, engendre sensiblement les mêmes facteurs de détérioration que les exploitations agricoles traditionnelles, avec un drainage accru des terres et une concentration de l'écoulement des eaux et donc une augmentation du débit et des vitesses d'écoulement vers le fleuve.

Les structures artificielles que l'on retrouve en bordure du fleuve tels les quais et les murs sont un facteur de détérioration. En bordure de ces équipements, l'érosion est accélérée à cause de l'effet de bout. L'effet de bout est défini comme étant la force des vagues qui est multipliée exponentiellement en bordure de ce type d'infrastructures (Municipalité des Iles de la Madeleine, 2008). Les vagues plus fortes causent donc plus de dommage. Ces structures engendrent aussi un déficit sédimentaire le long du fleuve en bloquant l'écoulement naturel des sédiments. En conséquences, certaines zones de plages en aval de ces structures qui bénéficiaient auparavant d'un apport continu de nouveaux sédiments sont en recul et tendent même à disparaître (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, 2007).

La présence de barrages sur les cours d'eau affluents au fleuve a aussi un effet sur la zone côtière. Les débits réduits des cours d'eau à l'aval des barrages permettent à l'eau

du fleuve de pénétrer de façon plus importante dans ces cours d'eau ce qui engendre plus d'érosion côtière de ces rivières lors des tempêtes. De plus, les barrages bloquent l'écoulement normal des sédiments qui servaient auparavant à alimenter les plages le long du fleuve. (Bernatchez, Dubois, 2004). Il s'agit donc encore d'un facteur qui fait reculer les plages et contribue à leur disparition.

La circulation maritime et le batillage qu'elle engendre sont aussi une cause d'érosion des berges du fleuve. Le batillage est "le battement des vagues contre les rives d'un cours d'eau produit par le remous des navires et embarcations et qui provoque une érosion des berges" (St-Laurent Vision 2000, 2004). Le batillage survient en général lorsque les navires circulent à moins de 800 m de la rive. Dans la région de Sorel, des estimations réalisées sur les rives du fleuve montrent que le batillage dû à la circulation maritime commerciale pourrait être responsable d'environ 20% de la détérioration des berges et la navigation de plaisance de 5% (Environnement Canada, 2002).

Étant donné que le fleuve est un cours d'eau au même titre que les différentes rivières et cours d'eau agricole du Québec, certaines problématiques d'érosion de berges y sont identiques. L'augmentation de la superficie des terres agricoles, la déforestation et la concentration de l'écoulement des eaux, qui seront traitées dans les sections 1.3.2 et 1.3.3 sont aussi valides pour le fleuve.

1.3.2 Rivières et lacs

Le long des rivières et des lacs, mis à part la problématique agricole, un facteur important de la détérioration des berges est l'urbanisation. Au fil des années, les résidents riverains ont aménagé les berges selon leurs besoins sans tenir compte de la fonction environnementale des berges. En conséquence, la végétation de plusieurs bandes riveraines a été coupée et remplacée par de la pelouse, parfois des murets ont été construits (Garand, 2009).

Lors de précipitations, le ruissellement est plus important sur la pelouse et les zones asphaltées et bétonnées que sur la végétation naturelle. Le débit des cours d'eau augmente donc plus, ce qui engendre plus d'érosion le long des berges.

Les drains agricoles utilisés pour drainer les cours d'eau et qui se jettent dans les rivières et lacs sans aménagement adéquats engendrent aussi d'importants cratères d'érosion le long des berges.

En zone urbaine par le passé, des parties de rivières ont souvent été remblayées afin d'agrandir la superficie du terrain ou de faciliter la construction d'un muret ou d'un quai (Garand, 2009). Lorsque le lit d'un cours d'eau est remblayé, l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau est réduit, ce qui accroît la vitesse d'écoulement de l'eau dans ce secteur. L'accroissement de la vitesse de l'eau engendre encore plus d'érosion.

1.3.3 Agriculture

L'accroissement de la production et de l'efficacité des exploitations agricoles n'a pas été sans conséquences sur l'état des berges des cours d'eau et fossés qui bordent ces industries. Plusieurs facteurs liés à l'exploitation agricole intensive viennent contribuer à la détérioration des berges (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2008).

En premier lieu, la superficie des zones cultivées, de plus en plus grande comparé au couvert boisé, amène un taux de ruissellement plus important vers les cours d'eau et donc un débit plus important susceptible de causer de l'érosion. En effet, le taux de ruissellement est plus important sur une surface cultivée que boisée (Chow et al, 1988), surtout au printemps lorsque les végétaux n'ont pas encore poussé.

De plus, l'amélioration du réseau de drainage des terres agricoles, qui est bénéfique pour l'exploitation et la production, contribue à l'accroissement du débit des cours d'eau qui bordent les champs. Les systèmes de drainage permettent d'éviter l'accumulation d'eau stagnante dans les champs. Le drainage permet aussi d'allonger la saison de culture, puisqu'il est alors possible de semer plus tôt au printemps. Pour favoriser un bon écoulement des eaux, les champs sont donc pourvus de drains agricoles ou drains français, ce qui permet un écoulement rapide de l'eau de pluie vers les fossés et cours d'eau. Lors d'averses importantes, l'apport d'eau aux cours d'eau est donc beaucoup plus rapide et plus important que si toute la superficie du champ n'était pas pourvue de drains. Ces forts débits peuvent entraîner de l'érosion.

Le volume d'eau important apporté par les drains agricoles lors d'événements hydrologiques est problématique, et la configuration de la sortie des drains l'est aussi.

Souvent, l'eau s'écoule sans protection adéquate sur la berge ce qui crée des cratères d'érosion importants. (Agriculture et agroalimentaire Canada, 2008).

Le redressement des cours d'eau est une pratique qui consiste à creuser un fossé en ligne droite à la place d'un ruisseau qui fait des méandres sur une terre agricole. Le redressement des cours d'eau a eu lieu principalement avant les années 1980 au Québec. Cette pratique a pour but d'optimiser l'exploitation de la terre en agrandissant sa surface cultivable et en la rendant plus simple géométriquement. De plus, ceci a pour but d'accélérer l'écoulement et favoriser le drainage de la terre. (Beaulieu, 2008). L'eau dans un ruisseau en ligne droite aura une vitesse plus rapide que dans un ruisseau qui fait des méandres. Ceci a des effets néfastes sur les berges des cours d'eau, car de plus forts débits et de plus fortes vitesses d'écoulement lors des crues entraîneront une dégradation de l'état des berges.

La gestion des déplacements des animaux de ferme peut aussi être une source de détérioration des berges. Lorsque les animaux circulent constamment au même endroit en bordure de ruisseau, ceci peut finir par créer des affaissements. Lorsque les animaux vont s'abreuver dans les cours d'eau, ceci entraîne un piétinement du fond du cours d'eau et l'émission de matières en suspension. Leurs excréments polluent aussi les cours d'eau.

La circulation d'équipement en bordure des cours d'eau peut créer des ornières qui s'emplieront d'eau et s'écouleront dans le cours d'eau en créant de l'érosion. La vibration engendrée par la circulation des équipements lourds peut aussi entraîner des décrochements des pentes de la berge.

1.4 Impacts de la détérioration des berges au Québec

Après avoir fait un survol des causes de la détérioration des berges, ses impacts seront passés en revue pour les problématiques reliées au fleuve, aux rivières et lacs et au milieu agricole. Certains impacts de la détérioration des berges sont quasiment identiques pour les différentes problématiques indiquées ci-haut. Ces impacts seront soit répétés et traités différemment selon la problématique (par exemple pour le recul de la position des berges qui est traité différemment pour les trois problématiques) ou soit traité à un endroit seulement lorsque l'impact est vraiment identique (par exemple la détérioration des remblais routiers qui peut survenir le long du fleuve ou des rivières).

Le tableau suivant résume les différents impacts qui seront traités selon chaque problématique. Certains impacts discutés dans la section d'une problématique s'appliquent aussi aux autres, tel qu'indiqué dans le tableau.

Tableau 1.2 Impacts de la détérioration des berges analysés dans les sections 1.4.1 à 1.4.3

Section 1.4.1 : Fleuve	Section 1.4.2 : Rivières et lacs	Section 1.4.3 : Milieu agricole
<p>Recul de la position de la berge et des plages</p> <p>Perte d'habitat pour la faune</p> <p>Perte d'habitat pour la flore</p> <p>Diminution des succès de pêche sportive</p> <p>Diminution du tourisme</p> <p>Diminution des revenus de pêche et de tourisme</p> <p>Diminution des succès de pêche commerciale</p> <p>Diminution des revenus de pêche commerciale</p> <p>Diminution de la qualité de l'eau</p> <p>Envasement de la voie maritime</p> <p>Augmentation des coûts d'entretien de la voie maritime</p> <p>Augmentation des coûts de transport par bateau</p> <p>Dégradation des remblais routiers le long du fleuve (3)</p> <p>Augmentation des coûts d'entretien des remblais routiers (3)</p> <p>Perte de terrains privés</p> <p>Perte d'habitations le long du fleuve</p> <p>Perte monétaire pour les riverains</p> <p>Impacts sociaux pour les riverains</p> <p>Impacts visuels</p>	<p>Recul de la position de la berge</p> <p>Perte de valeur foncière</p> <p>Perte monétaire pour les riverains</p> <p>Perte d'habitat pour la faune et la flore (1)</p> <p>Diminution de la qualité de l'eau (1)</p> <p>Augmentation de la température de l'eau (1)</p> <p>Diminution du taux d'oxygène dissous (1)</p> <p>Diminution des succès de pêche sportive</p> <p>Diminution du tourisme</p> <p>Diminution des revenus de pêche et de tourisme</p> <p>Augmentation des cas de cyanobactéries (1)</p> <p>Restriction d'activités sur les plans d'eau (1)</p> <p>Fermeture de plage (1)</p> <p>Pertes économiques en tourisme (1)</p> <p>Augmentation du coût de traitement de l'eau (1)</p>	<p>Recul de la position de la berge et perte de terrain cultivable</p> <p>Apport de sédiments dans l'eau (2)</p> <p>Diminution de la qualité de l'eau (2)</p> <p>Coûts d'entretien des cours d'eau</p> <p>Apport d'engrais dans l'eau</p> <p>Apport de pesticides dans l'eau</p> <p>Impacts sur la santé humaine</p>
<p>(1) Valide aussi pour les cas du fleuve et du milieu agricole</p> <p>(2) Valide aussi pour le cas du fleuve et des rivières</p> <p>(3) Valide aussi pour le cas des rivières</p>		

1.4.1 Fleuve

La détérioration des rives constitue un recul net de la position des berges et donc une perte de superficie de terrain émergé. A certains endroits, ce sont les plages qui disparaissent car elles ne bénéficient plus d'une recharge naturelle en sédiments (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, 2007). A d'autres endroits, c'est l'érosion elle-même qui entraîne un recul de la position d'une berge. A titre d'exemple, le recul de la position des berges est de 80 cm annuellement en moyenne entre Montréal et le Lac St-Pierre. Ce recul atteint jusqu'à 3 m dans le secteur de Sorel (Comité de concertation suivi de l'état du St-Laurent, 2008). Le tableau montré à l'annexe 2 présente en exemple un résumé de l'ampleur du recul des berges dans l'estuaire moyen du St-Laurent.

Ces pertes de terrain entraînent tout d'abord la perte de nombreux habitats pour la faune et la flore. Lorsque les matériaux meubles comme le sable et l'argile sont emportés par le courant, les plantes aquatiques sont aussi déracinées et le milieu de vie de plusieurs espèces de poissons, amphibiens et oiseaux est détruit. Les milieux humides, qui sont des habitats importants, sont de moins en moins nombreux le long du fleuve. Il est estimé que 1500 habitats insulaires sont disparus à cause de l'érosion entre Montréal et Sorel depuis l'instauration de la voie maritime en 1959. (Environnement Canada, 2002). Il est estimé que ces pertes pourraient avoir entraîné une baisse de la population de canards barboteurs de 50 000 individus dans cette zone.

Au niveau la flore, des études démontrent que plusieurs types d'arbres et d'arbustes ont déjà disparu complètement des rives du corridor Cornwall – Sorel (Environnement Canada, 2002).

Les zones érodées constituent des pertes d'habitat car l'habitat lui-même disparaît, mais il y a aussi le transport et la déposition des sédiments érodés par-dessus les frayères et les zones d'approvisionnement en nourriture qui nuisent à la survie des espèces. En effet, environ 50% des espèces de poisson du fleuve déposent leurs œufs sur un lit de gravier ou de roche. Lorsque ce substrat est recouvert de sédiments, ces espèces ne peuvent plus se reproduire à cet endroit. (Chapdeleine et Duchesne, 2009)

Les pertes d'habitat décrites précédemment ont un impact direct sur la biodiversité. Les pertes d'habitat pour la faune ont aussi des répercussions au niveau économique et

touristique. La pêche récréative est une activité importante sur le fleuve, notamment la pêche aux capelans et la collecte de mollusques. La diminution de la présence de ces espèces peut avoir un impact sur le nombre de touristes qui se rendent dans une région donnée dans le but de s'adonner à cette activité. Ceci est particulièrement important pour de petites municipalités, pour qui les sites avec de la faune spécifique sont une des seules raisons d'arrêt des touristes. A titre d'exemple, l'embouchure de la rivière Brochu à 13 km de Port-Cartier est un site de fraie du capelan et un des site les plus populaires pour la récolte de ce poisson sur la côte nord. Toutefois, ce secteur est de plus en plus endommagé par l'érosion et une baisse de la population de capelan, et donc de pêcheurs, est appréhendée (Comité Zip Côte-Nord du Golfe, s.d.).

La pêche commerciale est aussi affectée par les pertes d'habitat des poissons. Par exemple, dans la région du Lac St-Pierre, une moyenne de 200 tonnes de perchaudes était pêchée annuellement avant 1994, dont 125 tonnes par des pêcheurs commerciaux. Maintenant, la pêche commerciale est réduite à 40 tonnes annuellement (Chaire de recherche du Canada en éducation relative à l'environnement, 2006). Les pertes économiques pour les pêcheurs sont donc importantes. Dans les années 1990, les retombées économiques de la pêche commerciale à la perchaude étaient de 1,6 million de dollars annuellement (Commission de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation, 1996). Ces retombées sont donc en diminution actuellement. La surpêche est principalement responsable de la diminution des stocks de perchaude, mais la détérioration de leur habitat l'est aussi en partie. Dans le même secteur, l'anguille et l'esturgeon subissent aussi une baisse importante de population qui a de forte chance d'être liée à un habitat en mauvais état.

La qualité de l'eau du fleuve est affectée par la détérioration des berges. Non seulement le transport des matières en suspension (MES) et leur sédimentation dans des zones sensibles pour l'habitat de la faune est néfaste, mais les matières en suspension remises en circulation dans le fleuve à cause de l'érosion sont parfois contaminées (Environnement Canada, 2008). Le taux de MES et de contaminants dans l'eau du fleuve est donc directement influencé par la détérioration des berges.

La détérioration des berges et le transport des sédiments a une autre conséquence économique importante : il s'agit de l'accumulation de sédiments dans la voie maritime qui empêchera à long terme les bateaux de fort tonnage de circuler à moins de procéder à du

dragage. Il est important de noter qu'à son état naturel, le fleuve ne permettait pas à des bateaux de fort tonnage de circuler. Historiquement, le fleuve a commencé à être modifié dès 1680 (Corporation de gestion de la voie maritime du St-Laurent, 2010). C'est en 1959 que la voie maritime a été complétée à son état actuel, incluant toutes ses écluses et le dragage d'un chenal d'un minimum de 8,2 m de profondeur entre Québec et Montréal. Des modifications ont eu lieu depuis, et le dernier dragage majeur date des années 1998-99 où certains secteurs du fleuve entre Montréal et Québec ont été dragués pour atteindre une profondeur minimale de 11,3 m et une largeur de 230 m (St-Laurent Vision 2000, 2004). Des travaux d'entretien pour maintenir la profondeur de la voie navigable ont toutefois lieu annuellement.

Rondeau et al (2000) estiment que 67% des matières en suspension transportées dans le fleuve St-Laurent proviennent de l'érosion des berges. A titre d'ordre de grandeur, il est par exemple estimé que l'envasement du lac St-Pierre se fait au rythme de 2 à 3 cm par année, et ce en partie à cause de l'érosion des berges (Chapdeleine et Duchesne, 2009).

Tout ce transport de matières en suspension a donc une grande importance du point de vue économique, car le dragage d'entretien de la voie maritime a un coût. Ne pas faire de dragage et régresser dans la capacité de la voie maritime à recevoir les bateaux de plus fort tonnage aurait aussi un coût pour les différents transporteurs et ports le long du fleuve. Pour chaque centimètre perdu de profondeur de la voie maritime, un bateau devra transporter 6 conteneur en moins, ou 60 tonnes de vrac (Ministère des transports du Québec, 2007).

Un autre impact économique de la détérioration des berges du fleuve est le risque de dégradation des remblais routiers qui bordent le fleuve. Le Ministère des transports doit entreprendre régulièrement des travaux de renforcement des berges afin de sauvegarder une infrastructure. Par exemple dans la municipalité de Ragueneau, sur la côte nord, le Ministère des transports et la municipalité ont dû effectuer des travaux d'enrochement le long du fleuve sur 8800 m, dont 2500 m pour protéger la route 138. En 2005, le coût des travaux était évalué à 6,6 M\$ (Municipalité de Ragueneau, 2005).

La détérioration des berges a un impact au niveau de la villégiature et du paysage. La région des Iles-de-la-madeleine est sans doute le meilleur exemple en ce sens. En effet dans cette région, le recul de la position de la rive à cause de l'érosion est

particulièrement préoccupant et les habitants ne peuvent l'ignorer. Les endroits fréquentés par les villégiateurs sont en changement. Le paysage est affecté. Deux résidences touristiques ont dû être déplacées à Havre-Aubert en 2007 à cause de l'érosion (Municipalité des Iles de la Madeleine, 2008), avec les désagréments et les coûts que cela implique.

Les conséquences économiques et sociales de la détérioration des berges pour les riverains sont donc importantes. Sur la côte nord dans la région de Sept-Iles, l'érosion gruge plusieurs mètres de terrain privé par année et la municipalité étudie diverses possibilités pour gérer ce phénomène. Le déménagement des maisons et chalets est envisagé et il en coûtera plusieurs millions de dollars à la municipalité pour quelques kilomètres de berge (Ville de Sept-Iles, 2009). De fortes sommes sont aussi prévues si la restauration est choisie plutôt que le déménagement. Déjà par le passé, certaines maisons ont dû être démolies ou déplacées dans cette région (Radio-Canada, 2006). Les conséquences humaines pour les gens déplacés sont importantes, car ils doivent vivre l'incertitude face au déménagement et quant à l'aide gouvernementale qui pourra leur être octroyée. Si les indemnités versées n'atteignent pas les montants requis pour acquérir une nouvelle propriété, les résidents subissent des pertes nettes.

1.4.2 Rivières et lacs

Il y a de nombreux impacts liés à la dégradation des berges le long des rivières et les lacs au Québec. Tout d'abord, l'érosion qui engendre un recul de la position de la rive constitue une perte nette de terrain pour les riverains. Une berge dégradée peut faire perdre de la valeur à une propriété, car des investissements seront nécessaires pour la remettre en bon état. La perte de valeur marchande d'un terrain peut être évaluée de plusieurs façons : il peut s'agir du coût requis pour restaurer la berge, de la surface de terrain perdue multipliée par la valeur unitaire du terrain, ou simplement de la valeur du marché par rapport à une propriété non endommagée. Quelle que soit la façon de l'évaluer, le propriétaire subit une perte monétaire.

De plus, lorsque la berge est endommagée, les riverains ont alors tendance à protéger leur terrain avec la construction d'un muret ou un enrochement, et comme cela a été discuté à la section 1.3.2, ces techniques engendreront plus de ruissellement vers la rivière, et donc plus d'érosion à venir lors des événements hydrologiques.

Une berge endommagée et sans couvert végétal entraîne des impacts sur la qualité de l'eau des rivières et lacs. Tel que mentionné au chapitre 1.1, la bande riveraine végétée sert de filtre pour l'eau de ruissellement en réduisant l'apport de polluant et de sédiments vers le cours d'eau. Lorsque l'eau contient plus de matières en suspension et différents polluants, ceci a un impact sur la faune et la flore.

Une mauvaise qualité de l'eau nuit à la faune et la flore. Les particules de sol érodées sédimentent sur les frayères à poisson, ce qui nuit à leur reproduction. Plusieurs espèces sont menacées, et pour certaines d'entre elles, l'érosion des berges est une des causes principales de déclin. Le dard de sable et le lamproie du nord sont des espèces menacées qui étaient auparavant abondantes dans les rivières du Québec et pour lesquelles la détérioration des berges a joué un rôle important (Ressources naturelles et faune Québec, 2009).

En plus d'avoir une influence sur le taux de contamination de l'eau, la détérioration des berges a aussi un impact sur certaines propriétés physique de l'eau, telles la température et le taux d'oxygène dissous. Parce qu'il n'y a pas de végétation pour faire de l'ombre en bordure d'une berge détériorée, l'eau y est plus chaude, et le taux d'oxygène dissous moindre. Ces conditions sont moins propices à la vie de certains poissons comme les truites et les saumons, qui aiment l'eau fraîche et oxygénée (Centre de conservation de l'eau et des sols de l'est du Canada, 1997). De plus, l'eau moins oxygénée perd ses capacités d'autoépuration, car les bactéries qui dégradent les polluant ont besoin d'oxygène pour s'activer (Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008).

Dépendant des régions au Canada, certaines populations de poisson sont stables et d'autres en décroissance, souvent à cause de la surpêche, et possiblement à cause de la détérioration de leur habitat due à l'érosion des berges (France, 1997). La baisse des stocks de poisson d'eau douce peut avoir un impact économique car les retombées de la pêche sportive sont importantes. D'après Statistique Canada (2009), il s'est dépensé 1,6 milliard de dollars en activités de pêche récréative en 2005 au Canada. Toute détérioration de l'environnement qui mène à une diminution des stocks de poissons peut donc avoir un impact économique.

L'augmentation de la température de l'eau des rivières et lacs est propice à l'éclosion d'une forme de vie moins recherchée : les cyanobactéries. Celles-ci croissent plus

facilement dans l'eau chaude. De plus, les berges sans végétation ne filtrent pas l'eau et permettent un apport de phosphore et de nitrates plus important à partir de l'eau qui ruisselle dans les lacs. Ces éléments constituent les engrais pour les cyanobactéries qui proliféreront plus facilement (Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008). La détérioration des berges et des lacs est donc intimement liée à la problématique des cyanobactéries. Encore là, les propriétés sur des plans d'eau ayant des problèmes de cyanobactéries perdront de la valeur. La villégiature sera affectée. Les cyanobactéries sont aussi nocives pour l'homme et l'eau affectée ne peut être consommée.

En 2006 et 2007, il y a eu prolifération record de cyanobactéries dans les plans d'eau du Québec (Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique, 2008). 62 plans d'eau ont été affectés en 2006 et 156 en 2007. Malgré un battage médiatique moins important, un nombre considérable de plans d'eau a été affecté en 2009, soit 119 (Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, 2009). Au cours de l'été 2009, 4 plans d'eau ont été fermés par une interdiction de certains usages et 2 plages ont été fermés à la baignade. Il s'agit donc d'une perte de jouissance pour les riverains de même qu'une perte économique.

En plus d'avoir un impact sur la faune, la flore et les activités humaines, l'eau de mauvaise qualité coûte plus cher en traitement lorsqu'elle doit être consommée. A titre d'exemple, il en coûte de 9,34\$ à 28,02\$ pour éliminer une tonne de sédiment dans les eaux municipales dans le sud de l'Ontario (Olewiler, 2004). A chaque fois que la concentration en MES est plus importante, le traitement de l'eau est donc plus coûteux.

1.4.3 Agriculture

Lorsque les cours d'eau agricole s'érodent, la conséquence la plus visible est la perte de terrain cultivable. Les fossés et cours d'eau qui s'élargissent peu à peu à cause de l'érosion grudent du terrain cultivable. Une étude effectuée sur des terres agricoles de l'Iowa, où les précipitations sont semblables à celles du Québec, a permis de démontrer que les pertes de sols sont beaucoup plus importantes lorsque la bande riveraine est totalement occupée par les cultures que lorsqu'une zone tampon d'herbacées ou de boisé est conservée. Le tableau suivant résume les conclusions de l'étude.

Tableau 1.3 Pertes de sol pour différents types de bande riveraine en agriculture (Zaimes et al., 2008)

Type de bande riveraine	Recul de la rive (mm/an)	Perte de sol (tonnes/km/an)
Bande riveraine boisée	15 - 46	5 - 18
Bande riveraine herbacée	41 - 106	22 - 47
Culture jusqu'au cours d'eau	101 - 171	197 - 264

Il est à noter que les pertes de sol indiquées ne proviennent pas seulement de la rive, mais bien de l'érosion du champ au complet. Ceci démontre qu'un second impact de l'absence d'une bande riveraine végétée est l'apport important de sédiments en provenance des champs dans les cours d'eau.

L'impact négatif de l'apport de sédiments sur la vie aquatique a été démontré dans les sections précédentes : ensablement des frayères, perte d'habitat pour la faune, espèces de poissons menacées, coût de traitement de l'eau, etc.

Pour les cultivateurs, la perte de sol vers les cours d'eau a aussi des impacts négatifs, car le sol érodé en surface est souvent le plus riche, qui aurait été le plus bénéfique pour la croissance de la culture. L'érosion du champ lui-même n'est toutefois pas lié à la détérioration des berges. Cependant, l'apport important de sédiment dans les cours d'eau agricoles entraîne des frais pour l'agriculteur car il doit déboursier de façon récurrente pour entretenir ses fossés et éviter qu'ils se colmatent.

Lorsque les berges agricoles sont détériorées et non végétées, l'eau qui ruisselle sur les champs n'est pas filtrée. En plus des sédiments, une certaine quantité des produits épandus sur les champs tels les pesticides et les engrais se retrouve dans les cours d'eau. Il s'agit d'une source importante de pollution de l'eau. Le principal polluant est le phosphore, utilisé dans les engrais. Le tableau suivant, tiré de l'étude de Zaimes et al., illustre bien la différence dans les pertes en phosphore vers les cours d'eau dépendant de la nature de la bande riveraine.

Tableau 1.4 Pertes en phosphore pour différent type de bande riveraine en agriculture (Zaimes et al., 2008)

Type de bande riveraine	Perte en phosphore (kg/km/an)
Bande riveraine boisée	2 - 6
Bande riveraine herbacée	9 - 14
Culture jusqu'au cours d'eau	71 – 123

Un apport important en phosphore contribue à la prolifération d'algues, de cyanobactéries et donc à l'eutrophisation des cours d'eau.

Les pesticides sont une autre source de pollution agricole qui se retrouvera en plus grande quantité dans les cours d'eau en l'absence d'une bande riveraine végétée. De nombreux écrits scientifiques démontrent l'efficacité des bandes riveraines végétées pour réduire le transfert des pesticides vers les cours d'eau à partir d'une zone agricole. Le tableau suivant, tiré d'une étude effectuée sur une ferme expérimentale française, illustre bien l'efficacité de la bande riveraine pour réduire l'apport en pesticide vers les cours d'eau.

Tableau 1.5 Réduction de la concentration de pesticide par une bande riveraine végétée (Patty et al., 1997)

Pesticide	% de réduction dans le ruissellement
Lindane	72 à 100%
Atrazine	44 à 100%
Isoproturon	99%
Diflufenican	97%

A titre d'exemple, la rivière Yamaska au Québec, qui est bordée par une forte proportion de terres agricoles, est fortement polluée par les pesticides. La concentration de certains des pesticides les plus courants y dépasse parfois les valeurs limites données par les recommandations canadiennes pour la qualité des eaux (Maguire et Tkacz, 1993). Environnement Canada (2009) a évalué qu'en juin 2006, la rivière Yamaska a transporté 129 kg d'atrazine, 79 kg de Metolachlore et 34 kg de Dicamba vers le fleuve St-Laurent.

La mauvaise qualité des bandes riveraines constitue un des facteurs contributifs à cette pollution.

Les effets néfastes des pesticides sur la santé humaine sont maintes fois cités, l'exposition aux pesticides de façon chronique peut à long terme causer le cancer, des atteintes génétiques, des troubles de reproduction et des atteintes au système immunitaire et endocrinien (Santé et services sociaux Québec, 2010). Les pesticides sont aussi néfastes pour la faune.

1.5 Pourquoi restaurer les berges

Tel qu'il a été vu dans les sections précédentes, les impacts de la détérioration des berges sont nombreux et les raisons ne manquent pas pour s'attaquer à leur restauration. La détérioration des berges résulte parfois d'un phénomène naturel, parfois d'une action ou d'une activité anthropique, et ses impacts se font sentir autant sur le milieu naturel que sur les activités de l'homme.

La première raison pour restaurer une berge est certainement la sécurité publique. Lorsque l'érosion menace l'intégrité d'une route ou d'une habitation, des mesures doivent être prises pour limiter les risques d'accident. Le Ministère de la sécurité publique compte d'ailleurs des experts en érosion des berges parmi son personnel (Bouchard, 2009).

Toutefois dans certains cas sévères d'érosion, il y a lieu de se demander s'il est mieux d'investir dans des travaux pour restaurer les berges ou de déplacer l'infrastructure en cause. Tout dépend de la valeur de l'infrastructure, et s'il est possible de la relocaliser. Cela dépend aussi de la source de l'érosion. S'il s'agit d'un phénomène principalement naturel sur lequel l'homme a peu de prise, ou si la source de l'érosion peut être contrôlée. De plus, en plus des valeurs monétaires en cause, il est aussi important de penser aux impacts sociaux des décisions qui seront prises. Par exemple, si des résidences doivent être déplacées, cela ne se fera pas sans impact majeur sur la vie et le bien-être psychologique des citoyens. Le pour et le contre de chaque action doit être analysé.

Une restauration des berges peut être souhaitée pour améliorer la qualité de l'eau. Les impacts au niveau de la santé des humains et de la faune, de même que les coûts en traitement de l'eau sont assez importants pour justifier une restauration. De plus, les cours d'eau agricoles d'où provient une quantité non négligeable de pollution, sont

souvent des fossés ou des petits cours d'eau où il sera relativement simple d'effectuer une restauration, comparé aux berges du fleuve par exemple.

La limitation de la perte de terrain est une autre raison de restaurer les berges. Comme il a été dit dans les sections précédentes, la perte de superficie de terrain peut avoir des répercussions économiques importantes pour les riverains. La sauvegarde de la totalité de la superficie initiale du terrain n'est toutefois pas nécessairement bénéfique. En effet, afin d'éviter des dommages futurs, il sera souvent requis d'adoucir la pente de la rive, et donc de perdre une certaine superficie de terrain horizontal. Ceci est toutefois nécessaire pour le maintien d'une bonne qualité de rive à long terme. Le riverain ne doit pas viser de sauvegarder à tout pris le terrain original en construisant un muret de béton par exemple, car ce type d'ouvrage nécessite beaucoup d'entretien, n'est pas durable et contribue au réchauffement de l'eau (Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008).

Le but de restaurer une berge peut être la sauvegarde d'un habitat pour la faune. En plus de préserver l'habitat d'une certaine forme de vie, la sauvegarde des habitats fauniques a des répercussions au niveau économique et social, grâce aux revenus de la pêche sportive et commerciale, et aux revenus touristiques provenant des observateurs de la faune. Les travaux de restauration de berge comme tels doivent toutefois être exécutés avec soin de façon à ne pas nuire à la faune dont la préservation est souhaitée. Par exemple, il faudra éviter de faire des travaux durant la période d'alevinage. Il faut veiller à ne pas perturber de façon trop importante le littoral et l'écoulement de l'eau durant les travaux (Société de la faune et des parcs Québec, 2003).

De plus, il est important d'analyser la situation dans son ensemble et non de façon ponctuelle. Une restauration à un endroit peut nuire à un habitat situé plus en aval, comme le démontre l'exemple suivant tiré de Comité Zip Côte-Nord du golfe (2007) : Un talus restauré en amont de façon à éliminer la perte de sol et le recul de la rive éliminera l'apport de sédiments à une plage située plus en aval, et pourra entraîner la disparition de la plage, qui servait de site de reproduction du capelan.

En résumé, les buts pour effectuer une restauration des berges peuvent être multiples, et plusieurs paramètres doivent être pris en compte avant d'effectuer une restauration, car il peut y avoir des impacts sur d'autres milieux. Les problématiques sont plus simples dans les petites rivières, les lacs et les fossés agricoles, où les répercussions des travaux sont

plus locales. Toutefois, les travaux sur les berges du fleuve St-Laurent nécessitent une analyse plus exhaustive, à cause de la dynamique fluviale complexe et les nombreuses parties intéressées en cause.

2 TECHNIQUES DE RESTAURATION

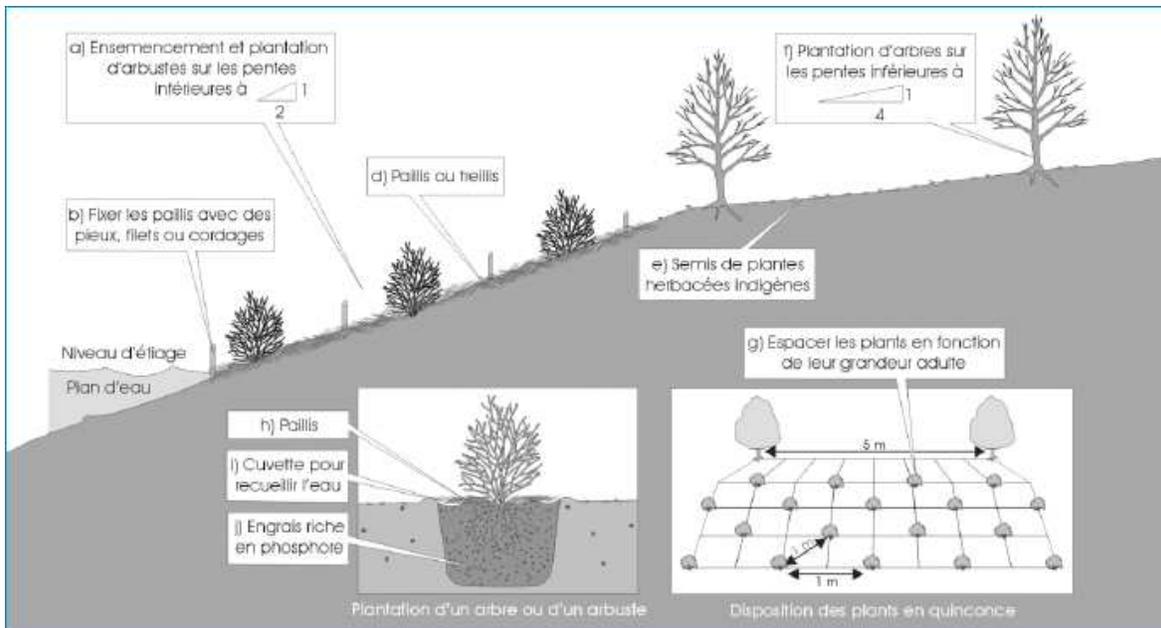
Les diverses techniques de restauration des berges sont bien connues. Le but de la présente section est donc de résumer plusieurs techniques existantes et les circonstances où elles peuvent être utilisées, de même que leurs avantages et leurs inconvénients. Un ordre de grandeur des coûts sera donné. Il sera question des techniques utilisant la végétalisation, le génie végétal et la restauration mécanique, de même que du rechargement de plage.

2.1 Végétalisation

La végétalisation seule est utilisée lorsque la pente du talus est douce (moins de 2H :1V) et lorsque l'érosion de la berge et la vitesse du d'eau sont faibles (Société de la faune et des parcs Québec, 2003).

Il s'agit de restaurer une bande riveraine en mettant en place diverses plantes indigènes. Trois types de végétaux sont habituellement recommandés : les herbacés, les arbustes et les arbres. Les arbustes et les herbacés pourront être plantés jusqu'à des pentes de 2H :1V alors que les arbres doivent être utilisés dans les pentes plus douces, soit une pente maximale de 4H :1V. Les herbacées feront une couverture qui limitera le ruissellement et l'érosion du sol, les arbustes serviront à la stabilisation du talus et les arbres procureront de l'ombre au cours d'eau (Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008).

Une végétalisation est habituellement réalisée à partir du niveau d'étiage, soit le niveau d'eau le plus bas. Il est recommandé de placer les herbacés et les arbustes en bas de pente, et les arbres en haut de pente. Les arbustes doivent être placés en quinconce. La figure ci-jointe tirée de Société de la faune et des parcs du Québec (2003), illustre bien le principe.



Source : Société de la faune et des parcs du Québec, 2003

Figure 2.1 Stabilisation des berges par végétalisation

De nombreuses publications résument les essences d'herbacées, arbustes et arbres dont la plantation est recommandée au Québec pour la restauration des berges. (Société de la faune et des parcs Québec, 2003, Corporation bassin versant baie Missisquoi, 2008, Desautels, Morin, 2003). En général, les différentes publications donnent des informations très semblables. Des végétaux indigènes sont toujours recommandés. Les végétaux recommandés diffèrent selon que le sol de la plantation est sec ou humide. Le tableau montré à l'annexe 3 illustre les essences recommandées selon Morin (2003), du bassin versant de la rivière St-Maurice, qui est une bonne synthèse des autres publications consultées. La végétalisation d'une berge doit être réalisée au printemps (après la crue) ou à l'automne.

La végétalisation seule a l'avantage d'être une technique simple qui peut être réalisée par une main d'œuvre non spécialisée. Même le concept d'une végétalisation peut être défini par un particulier sans notions spécifiques, à l'aide des diverses publications disponibles. De plus, elle ne requière pas l'utilisation de machinerie lourde, à moins que la pente doive être adoucie. Il s'agit aussi d'une méthode peu coûteuse, car contrairement au génie végétal, il n'y a pas d'autres manipulations à faire que de planter les végétaux. La végétalisation seule est toutefois réservée aux pentes douces, aux cas de faible érosion et aux cours d'eau de faible vitesse d'écoulement.

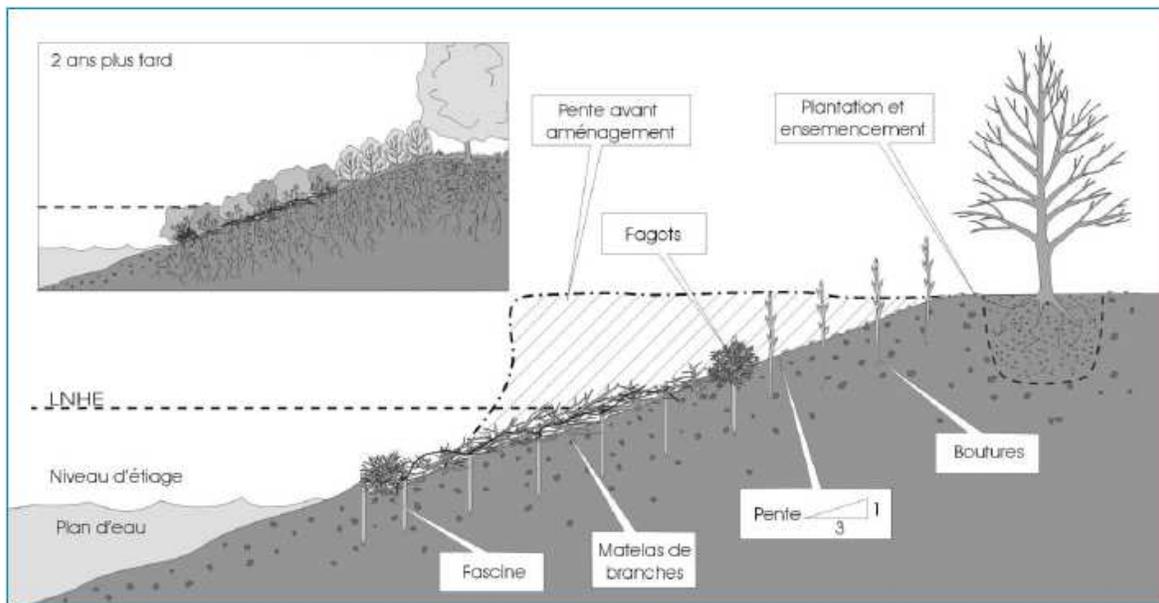
Les lignes qui suivent donnent un ordre de grandeur des coûts auxquels il faut s'attendre pour revégétaliser une berge.

Il existe sur le marché des mélanges de semences d'herbacées indigènes déjà préparés et conçus spécifiquement pour la restauration des berges. Ce type de mélange coûtera entre 12 et 35\$ / m² en fonction du nombre de kg/m² recommandé par le fabricant (Indigo, 2010). A ce prix pourra s'ajouter l'achat d'un paillis pour protéger les semences. Il est aussi possible de faire ensemencer hydrauliquement un talus. Cette technique éprouvée est recommandée lorsque de grandes superficies doivent être couvertes.

Les arbustes du type recommandé pour la restauration des berges (voir annexe 3) valent entre 8\$ et 20\$ (Horticultub, 2009). Selon l'espacement recommandé pour les plantations, il est possible de s'attendre à un coût de 6 à 15\$ / m² pour l'acquisition d'arbustes. Bref, la revégétalisation d'une portion de berge peut représenter un coût situé entre environ 20 et 50\$ / m² pour l'acquisition des végétaux de base.

2.2 Génie végétal

D'après l'office de la langue française, le génie végétal est "l'ensemble de techniques alliant les principes de l'écologie et du génie pour concevoir et mettre en œuvre des ouvrages qui utilisent des végétaux comme matériel de base et qui visent, entre autres, la stabilisation de talus, de berges et de rives, l'épuration des eaux et le contrôle de l'érosion" Cette technique est utilisée lorsque les pentes sont plus abruptes et l'écoulement plus rapide, lorsque la plantation de végétation seule ne suffit pas. Une restauration de berge peut être réalisée à l'aide des techniques du génie végétal pour des pentes allant jusqu'à 1H :1V (Société de la faune et des parcs Québec, 2003). Ces techniques peuvent remplacer avantageusement les matériaux artificiels puisque les pentes ainsi restaurées sont aussi solide et bénéficient en plus des avantages de la végétation naturelle (filtration des polluant, etc). La figure suivante, tirée de (Société de la faune et des parcs Québec, 2003) illustre une berge aménagée par génie végétal.



Source : Société de la faune et des parcs du Québec, 2003

Figure 2.2 Stabilisation des berges par génie végétal

Ces techniques requièrent la récolte de végétaux à l'état de dormance à proximité de la zone de travaux. C'est par divers agencements de branches que les talus des berges pourront être stabilisés. Il s'agit donc de la fabrication d'une armature végétale. Les branches étant conservées vivantes (on évite leur assèchement après la récolte), ceci favorisera la repousse du végétal après sa mise en place dans la pente. Des espèces à forte capacité de régénération doivent être utilisées. Il s'agit principalement de peuplier baumier, cornouiller stolonifère, spirée à larges feuilles et diverses variétés de saule (Zip Alma-Jonquière, s.d.).

Différentes techniques de génie végétal sont utilisées. Elles sont résumées brièvement dans le tableau ci-après, d'après les informations provenant du Guide de bonnes pratiques du MDDEP (2005). Afin d'améliorer la compréhension, les techniques sont illustrées à l'annexe 4.

Tableau 2.1 Résumé des techniques du génie végétal (MDDEP, 2005)

Nom	Définition	Utilisation
Bouture	Tige sectionnée sur une plante à forte capacité de régénération et enfoncée dans le sol pour produire un nouveau plant.	Pour une zone d'érosion faible ou en combinaison avec une autre méthode.
Rang de plançon	Branches ramifiées enfouies perpendiculairement à la pente de façon à laisser seulement les ramures à l'air libre. Permet de former plusieurs cordons de végétations parallèles.	Pentes fortes, pentes limono-sableuses, érosion de surface.
Fagots	Assemblage de branches pour former un boudin uniforme, puis placés dans une tranchée parallèle aux courbes de niveau et enfouis aux deux tiers. Le tout est maintenu en place par des piquets et les fagots sont attachés entre eux.	Pente forte, érosion faible à modérée, surtout pour les bas de talus.
Fascines	Arrangement de branches dans le même sens maintenu en place parallèlement aux courbes de niveau par deux rangées de pieux de bois.	Pour érosion moyenne à sévère, habituellement une seule rangée en bas de talus.
Matelas de branche	Branches placées perpendiculairement aux courbes de niveau de façon à former un matelas et retenues à l'aide de piquets et de fils métalliques puis recouvertes d'un peu de terre.	Pour les rives fortement dégradées par l'érosion.
Caissons	Structure de bois en cèdre, remplie de terre, dans laquelle sont insérées des branches de saule. Seules les branches de saule dépassent de la berge une fois le sol remis en place.	Pour érosion sévère et pente abrupte.
Source : Guide de bonnes pratiques du MDDEP, 2005		

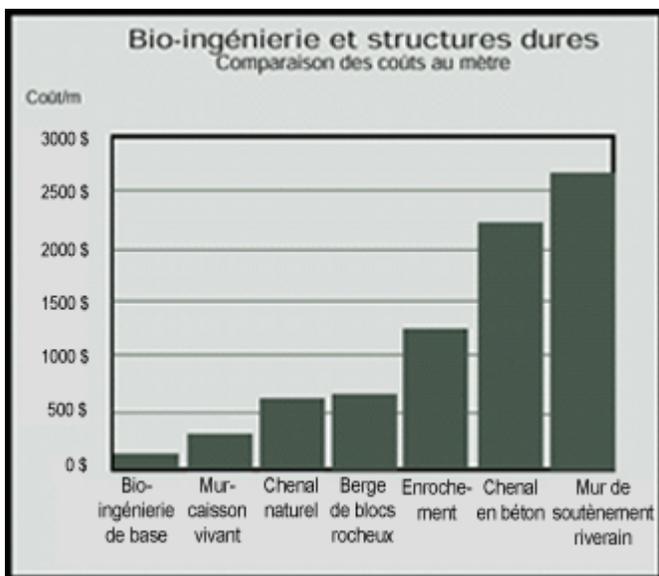
Les techniques du génie végétal ont l'avantage d'être aussi solide que la restauration avec des matériaux artificiels, tout en bénéficiant des avantages d'une berge pourvue de végétaux. La réalisation de ces techniques demande toutefois beaucoup de manipulations et de mains d'œuvre. Les travaux peuvent être réalisés seulement au printemps ou presque : les végétaux doivent être récoltés durant leur période de dormance et ils doivent être vivants lors de la pose. De l'équipement lourd peut être nécessaire à la réalisation de ces méthodes car des tranchées doivent parfois être construites. De plus,

ces méthodes doivent être conçues par des spécialistes. La réalisation peut toutefois être faite par une main d'œuvre formée pour l'occasion.

Étant donné que la principale difficulté de ces méthodes est l'agencement des branches qui serviront d'armure végétale, des fournisseurs produisent des matériaux faits de matière organique qui ont pour but de remplacer en partie les végétaux qui sont utilisés en génie végétal. Par exemple, le produit Curlex® est un matelas fait de fibre de bois qui est conçu pour être ancré dans la pente, et en prévient ainsi l'érosion, un peu à la manière du matelas de branche. Il protège aussi les semences jusqu'à ce que la végétation soit bien prise (American Excelsior Company, 2010).

En Europe, certains fournisseurs proposent mêmes des fagots et fascines déjà préparés à partir d'essence de bouleaux poussant en pépinière (AquaTerra Solutions, s.d.).

La réalisation d'une restauration de berge par le génie végétal est plus coûteuse que la végétalisation simple, car plus de manipulations sont requises. Toutefois ces techniques sont moins coûteuses que les méthodes traditionnelles en matériau rigide, tel que le montre le graphique suivant.



Source : Fond d'assainissement des grands lacs, 2004

Figure 2.3 Coûts du génie végétal comparé à d'autres méthodes de restauration

2.3 Méthodes mécaniques

Les méthodes de restauration avec des matériaux autres que des végétaux, ou méthodes mécaniques, doivent être utilisées en dernier recours, lorsque les autres méthodes ne sont pas réalisables, par exemple à cause d'un débit trop fort, d'une pente trop abrupte ou de vagues trop puissantes (Société de la faune et des parcs du Québec, 2003).

Des fournisseurs conçoivent de plus en plus des produits artificiels dans lesquels pourront s'insérer des végétaux, afin d'atténuer l'effet d'une structure artificielle au bord de l'eau. Ces structures artificielles bénéficieront alors des avantages de la résistance des matériaux d'ingénierie et de la végétation. La mise en place d'enrochement et la construction de murets de pierre ou de blocs sont des solutions plus traditionnelles dans lesquelles la végétation peut difficilement être intégrées.

2.3.1 Enrochement et murets

La mise en place d'enrochement consiste simplement à placer des blocs de roche le long de la pente, en réalisant un ancrage en bas de pente. Un géotextile doit être placé derrière l'enrochement pour éviter la perte de sol à travers l'enrochement. La grosseur des blocs de roche peut être dimensionnée selon la force attendue des vagues. L'enrochement peut difficilement être végété. Par contre, l'enrochement peut facilement être utilisé en combinaison avec une autre méthode, lorsqu'il est placé comme ancrage sous le niveau d'étiage et dans la partie basse de la pente. Le reste de la berge peut alors être végété.

Un muret est une construction verticale en bloc, béton ou pierre qui est faite immédiatement en pied de talus. L'arrière du muret doit être remblayé. Cette méthode coûteuse élimine complètement l'habitat riverain, accroît le ruissellement et participe au réchauffement de l'eau (Corporation bassin versant baie Missisiquoi, 2008).

2.3.2 Produits artificiels avec insertion possible de végétaux

Les méthodes présentées ci-après sont des méthodes artificielles ayant l'avantage d'être conçues pour que de la végétation y soit insérée.

Les gabions sont des armatures de métal en forme de cube dans lesquelles de l'enrochement est placé. Les cubes peuvent donc être agencés de façon à s'adapter à la pente de berge voulue. Les gabions ont l'avantage de pouvoir être végétés, puisque leur structure contient environ 30% de vides dans lesquelles la végétation pourra s'installer. Des boutures peuvent aussi y être placées. Le fabricant Maccaferri propose une version Green Gabion® où le gabion est de forme trapézoïdale et dans lequel l'armature est pourvue d'un matelas de fibre de noix de coco sur la face extérieure, et est remplie d'enrochement et de terre végétale (Maccaferri, 2009). Tout ceci favorise la reprise de la végétation. Les gabions, étant constitués d'enrochement, sont efficaces pour les cas d'érosion sévère et les forts courants.

Le matelas de béton consiste à un assemblage de blocs de béton qui forme un matelas d'environ 6 m x 2,5 m pouvant être mis en place à l'aide d'une pelle mécanique. L'avantage de cette méthode est que le béton est très résistant à l'érosion et particulièrement aux effets du batillage, et que de la végétation herbacée peut s'installer à partir de terre placée dans les trous de chaque bloc de béton, jusqu'à en cacher complètement la vue (Armortec, 2004). Cette technique ne peut être utilisée pour des pentes plus abruptes que 1H :1V environ. Un autre produit similaire utilise plutôt un quadrillage de polyéthylène dans lequel le sol est placé ce qui renforce la pente et permet la prise de végétation herbacée (Terrafix Geosynthetics inc., s.d.).

Il existe aussi de nombreux produits artificiels qui ont pour but de servir de paillis pour éliminer les risques d'érosion en attendant que la végétation pousse et à long terme. Les produits de type Landlok^R sont des paillis permanents faits de matière polymérique. La végétation herbacée peut s'installer et pousser à travers ce type de paillis, qui restera toutefois en place de façon permanente et procurera ainsi une résistance plus grande à l'érosion que la végétation seule ou les paillis organiques qui se décomposent à la longue (type paillis de noix de coco) (Propex Geosynthetics, 2007). Ce type de paillis peut être installé jusqu'à une pente de 1H :1V.

Les paillis faits de matières organiques, (noix de coco ou paille) sont quant à eux biodégradables et offrent moins de résistance mécaniques. Ils sont utiles pour réduire les risques d'érosion par ruissellement en attendant que la végétation pousse.

2.3.3 Régénération de plages

Les deux paragraphes suivants traitent de méthodes spécifiques pour régénérer les plages de sable.

Le rechargement de plage est habituellement réalisé le long du fleuve ou de la mer. Cette méthode consiste simplement à replacer du sable sur une plage, à l'endroit où il n'y en avait plus. Ceci nécessite le transport de grandes quantités de sable provenant de l'extérieur du site. Le sable peut aussi être dragué plus loin dans le littoral. Si cette technique est utilisée, la recharge en sable doit être effectuée régulièrement, car la plage continuera à s'éroder comme elle le faisait avant la mise en place de nouveau sable. Il faut donc prévoir le rechargement à intervalle régulier (Ville de Sept-Iles, 2009).

Une technique brevetée permet aussi un rechargement naturel des plages. Il s'agit du "Undercurrent Stabilizer™" de la compagnie Holmberg Technologies, qui se spécialise dans le contrôle de l'érosion des plages. La technique consiste à mettre en place dans le littoral une structure de géotextile emplies de ciment. Ces structures placées perpendiculairement à la plage sont conçues en fonction de l'hydrodynamique du courant pour un endroit précis, et permettent de modifier le courant et diminuer la profondeur de l'eau de façon à favoriser la sédimentation et donc le rechargement de la plage. Cette technique a été utilisée avec succès à de nombreux endroits dans le monde, notamment dans les grands lacs (Holmberg Technologies inc., 2010).

2.4 Analyse des différentes techniques de restauration

Les coûts illustrés représentent un ordre de grandeur approximatif pour une restauration de berge de 100 m de longueur par 10 m de largeur donc 1000 m².

Tableau 2.2 Résumé des méthodes de restauration

Nom	Conditions d'utilisation	Pente maximale	Expertise requise	Matériaux requis - provenance	Outils et machinerie requis	Coût ordre de grandeur 100 m.l.
Végétalisation	Vitesse d'écoulement faible	Moins de 2H :1V	Non	Végétaux, prélevés sur le site ou pépinière	Outil de jardinage, pas de machinerie	5000 – 50 000 \$
Rang de plançon	Pentes fortes, pentes limono-sableuses, érosion de surface.	Jusqu'à 1H :1V	Oui planification	Végétaux prélevés à proximité	Outil de jardinage, machinerie légère	5000 – 50 000 \$
Fagots	Pente forte, érosion faible à modérée, surtout pour les bas de talus.	Jusqu'à 1H :1V	Non pose	Végétaux prélevés à proximité	Outil de jardinage, machinerie légère	5000 – 50 000 \$
Fascinés	Pour érosion moyenne à sévère, habituellement une seule rangée en bas de talus	Jusqu'à 1H :1V	Oui planification	Végétaux prélevés à proximité	Outil de jardinage, machinerie légère	5000 – 50 000 \$
Matelas de branche	Pour les rives fortement dégradées par l'érosion.	Jusqu'à 1H :1V	Non pose	Végétaux prélevés à proximité	Outil de jardinage, machinerie légère	5000 – 50 000 \$
Caissons	Érosion sévère et pente abrupte	Jusqu'à environ 1H :2V	Oui planification	Végétaux prélevés à proximité, bois	Outil de jardinage, machinerie lourde	5000 – 50 000 \$
Enrochement	Érosion sévère, battillage	Jusqu'à 1H :1V	Non pose	Enrochement, géotextile	Machinerie lourde	50 000 – 500 000 \$
Muret de bloc ou béton	Pente abrupte, érosion sévère	vertical	Oui	Béton, matériaux granulaire, géotextile	Machinerie lourde	50 000 – 500 000 \$
Gabions	Érosion forte, pente abrupte	Jusqu'à environ 1H :2V	Oui	Gabion, enrochement, géotextile	Machinerie lourde	50 000 – 500 000 \$

Nom	Conditions d'utilisation	Pente maximale	Expertise requise	Matériaux requis - provenance	Outils et machinerie requis	Coût ordre de grandeur 100 m.l.
Matelas de béton	Érosion forte, batillage, pente moyenne	Jusqu'à 1H :1V	oui	Matelas de béton, géotextile	Machinerie lourde	5000 – 50 000 \$
Pailis artificiel	Érosion forte, pente moyenne	Jusqu'à 1H :1V	Oui	Pailis artificiel	Machinerie légère	5000 – 50 000 \$
Rechargement de plage	Plage érodée	N/A	Oui	Sable	Machinerie lourde	50 000 – 500 000\$
Undercurrent Stabilizer™	Plage érodée	N/A	Oui	Géotextile, ciment	Machinerie lourde	50 000 – 500 000\$

3 ASPECT LÉGAL DE LA RESTAURATION DES BERGES

Plusieurs lois, règlements et politiques s'appliquent quand vient le temps de faire des travaux de restauration de berge, ou des travaux à proximité des rives ou sur les rives. A titre informatif, la présente section vise à faire un bref résumé de la réglementation en vigueur.

Au niveau provincial, le document principal est la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. La *Politique* découle de la *Loi sur la qualité de l'environnement*, par laquelle le Ministre a le pouvoir d'établir une telle politique selon l'article 2.1 de la loi. La *Politique* vise à favoriser la bonne santé des rives et la qualité de l'eau des cours d'eau et s'applique à tous les cours d'eau du Québec, à l'exclusion des fossés. C'est dans la *Politique* que tous les termes relatifs aux rives sont définis.

La *Politique* donne le pouvoir aux MRC (Municipalité régionale de comté) d'adopter un plan de gestion des rives. Une partie de la *Politique* (chapitre 5) consiste donc à baliser la préparation d'un plan de gestion des rives par les MRC.

Le corps principal de la *Politique* vise à déterminer quels ouvrages et travaux sont permis sur les rives. En général, toutes les constructions, ouvrages et travaux sont interdits sur une rive (largeur de bande riveraine de 10 à 15 m selon la pente, d'après la définition de rive de la *Politique*, voir le tableau 1.1). Il existe toutefois de nombreuses exceptions qui sont énumérées aux articles 3.2 alinéa a à g. En général, il s'agit d'exception concernant des ouvrages déjà existants, ou des ouvrages requis à des fins municipales ou industrielles. Il est à noter que l'exploitation agricole est permise jusqu'à une distance horizontale de 3 m de la ligne des hautes eaux. Tous les travaux qui visent à modifier l'aspect d'une rive ou du littoral doivent faire l'objet d'une autorisation préalable auprès des instances gouvernementales concernées, même s'ils font partis des exceptions de l'article 3.2.

Le même principe s'applique pour le littoral, où les travaux et ouvrages sont aussi interdits, à l'exception de quelques ouvrages qui sont énumérés à l'article 3.3.

Les travaux en plaine inondable doivent aussi être autorisés par les instances gouvernementales concernées. Les travaux dans la zone de grand courant d'une plaine inondable sont quant à eux interdits, à l'exception de quelques cas spécifiquement énumérés dans la *Politique*.

Le *Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement* spécifie en détails quels genres de travaux sur les rives ou à proximité des rives doivent faire l'objet d'une demande de certificat d'autorisation auprès du MDDEP.

Selon la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, le schéma d'aménagement des MRC doit aussi spécifier quelles sont les contraintes concernant les rives et le littoral sur son territoire, autant du point de vue sécurité publique que environnemental. Ces contraintes doivent se refléter dans le plan de zonage. C'est la loi sur l'aménagement et l'urbanisme qui donne donc le pouvoir aux MRC de légiférer dans le domaine des rives. Les règlements adoptés doivent être en accord avec la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. Les règlements des MRC sont donc les premières règles à suivre concernant les rives d'un secteur en particulier.

La *Loi sur la sécurité civile* a un certain lien avec les rives car c'est par cette loi que les municipalités doivent recenser les risques existants sur leur territoire, et l'instabilité des rives, ou les risques d'inondation, peuvent en faire partie. Encore là, les restrictions qui pourraient découler de ces risques se traduiront en règlements municipaux.

La *loi sur les forêts* spécifie qu'il est interdit de faire circuler la machinerie d'exploitation forestière dans une bande riveraine de 20 m des cours d'eau sauf pour la construction de pont ou infrastructures reliés à l'eau.

La *loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* peut avoir un impact sur la gestion des rives car le Ministère des ressources naturelles peut établir un refuge faunique sur les terres de l'état ou sur des terres privées dans le but d'y conserver une faune spécifique. Ceci peut donc s'appliquer à un habitat riverain de valeur.

La *loi sur les pêches* (gouvernement fédéral) spécifie que toute intervention sur le milieu qui est susceptible de nuire à l'habitat du poisson est interdite et que tout travaux prévus susceptible de nuire à l'habitat du poisson doit être préalablement autorisé par le ministre. Les travaux ayant un impact sur la rive et le littoral, ou les rejets de substances vers les

cours d'eau font donc parti de cette catégorie. La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, définit de façon plus générale l'interdiction de nuire aux habitats de poisson suite au déversement de substances nocives.

Le tableau suivant résume les points saillants de l'encadrement législatif concernant les rives.

Tableau 3.1 Résumé de l'encadrement législatif relatif à la protection des rives

Cas	Règle	Loi, politique ou règlement applicable
Général	Interdiction de perturber la rive sur une bande riveraine de 10 à 15 m selon la pente.	<i>Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables</i>
Général	Cas où une demande de certificat d'autorisation est requise pour des travaux sur ou à proximité des rives	<i>Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement</i>
Général	Possibilité de devoir conserver un habitat riverain de valeur.	<i>Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune</i>
Général	Interdiction de nuire à l'habitat du poisson.	<i>Loi sur les pêches</i>
Secteur spécifique	Règles spécifiques à chaque secteur.	Règlements des MRC <i>Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondable</i> <i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i> <i>Loi sur la sécurité civile</i>
Foresterie	Interdiction de circuler avec la machinerie sur une bande riveraine de 20 m.	<i>Loi sur les forêts</i>
Agriculture	Obligation de conserver une bande riveraine de 3 m.	<i>Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables</i>

4 INDICATEURS POUR LA RESTAURATION DES BERGES

4.1 Utilité des indicateurs à la prise de décision

Les indicateurs fournissent une aide appréciable en permettant l'utilisation de données concrètes pour statuer sur les impacts de la détérioration des berges. Les indicateurs peuvent également fournir un excellent support afin de faciliter la prise de décision pour justifier des travaux, ou valider l'efficacité des travaux quelques années après leur réalisation. La mesure d'indicateur peut faciliter les démarches de demande de permis lorsqu'ils sont requis pour des travaux sur les berges. La mesure d'indicateurs peut aussi servir à valider de manière quantitative une simple impression. C'est pour toutes ces raisons que cet essai propose l'élaboration des indicateurs de performance pour faciliter la prise de décision reliée à la restauration des berges.

Les indicateurs sont de plus en plus utilisés dans l'industrie. Des indicateurs doivent être mis au point dans le cadre du système ISO 14000, afin de caractériser les aspects environnementaux reliés à une industrie. Les entreprises incluent des indicateurs environnementaux dans leur rapport annuel. Le GRI (Global Reporting Initiative) présente plusieurs suggestions d'indicateurs dans différents domaines sur lesquels les professionnels peuvent se baser pour établir des indicateurs selon leur propre besoin. Cette liste a été consultée dans le cadre de cet essai.

Au niveau de la restauration des berges, certains indicateurs ont déjà été mis au point. Le plus élaboré est l'indice de la qualité de la bande riveraine (St-Jacques et Richard, 1998) mis au point par des professionnels du MDDEP. Cet indicateur se base sur le recouvrement de la bande riveraine en fait d'arbuste, arbres, herbacés, friche, etc. afin d'établir un indice de qualité. Il en sera question à la section 4.3.1.

Le MDDEP et le Conseil régional de l'environnement des Laurentides (2007), ont aussi produit un document appelé Protocole de caractérisation de la bande riveraine, qui ne parle pas directement du calcul d'un indicateur mais qui explique comment évaluer l'utilisation du sol et les types d'utilisation autour d'un lac afin de statuer sur la qualité des aménagements de la bande riveraine. Ce processus permet d'en arriver à des pourcentages d'occupation du territoire par différentes zones (agriculture, forêt, infrastructure, etc.) et ainsi pouvoir juger de l'homogénéité d'une bande riveraine. Ce

protocole de caractérisation pourrait être utilisé dans la mesure des indicateurs élaborés à la section 4.3.1.

Les paragraphes suivants résument donc la méthodologie utilisée pour l'élaboration d'indicateurs, puis présentent chacun des indicateurs retenus avec leur justification et explication.

4.2 Méthodologie d'analyse

La méthodologie d'analyse développée consiste à élaborer deux grilles d'analyses distinctes, soit une grille d'état des berges et une grille sur la performance des méthodes de restauration.

La grille d'état a pour but de statuer sur l'état d'une berge, soit avant une restauration, soit après, afin de juger si la problématique observée justifie une restauration, ou si la restauration a eu un bon effet. La grille d'état liste les paramètres à mesurer concernant l'environnement (qualité de l'eau, biodiversité, etc.), l'économie (activités économiques perturbées, etc.) et l'aspect social (perte d'usage, etc.). Les paramètres ont été déterminés d'après les impacts causés par la détérioration des berges discutés au chapitre 1 de ce rapport.

Pour chaque indicateur présenté dans la grille, une plage de valeur est donnée et renvoie à une des trois possibilités suivantes : aucune action à envisager, actions préventives peuvent être nécessaires, restauration des berges à envisager. Une fois la grille remplie, il est donc possible de visualiser concrètement pourquoi une restauration pourrait être nécessaire ou si une restauration a été efficace.

La grille des méthodes liste les techniques analysées et leur donne une cote concernant leur performance environnementale, économique et sociale. Les performances techniques des différentes méthodes sont suggérées à titre indicatif mais ne sont pas intégrées au calcul de la performance globale, car les différentes performances recherchées (par exemple en ce qui concerne la pente maximale à laquelle une technique peut être utilisée) ne doivent pas nécessairement être à l'optimum dépendant des projets. Par exemple, il est inutile de viser une technique permettant de restaurer avec une pente de 1H :1V si la berge est en pente douce. Par contre, il est toujours intéressant de choisir

la technique la moins dispendieuse et celle qui rencontre le plus de critères du développement durable, quelle que soit la morphologie du site.

4.3 Élaboration des indicateurs - grille d'état

La grille d'état est présentée à l'annexe 5, ainsi qu'à l'onglet 'grille d'état' du fichier Excel disponible auprès de l'auteure. Cette section présente donc chacun des indicateurs choisis, leur description et la façon de les évaluer, de même que les plages de valeurs possibles et les actions suggérées dépendamment des valeurs.

Selon la plage de valeur mesurée pour chacun des indicateurs, trois types d'actions sont suggérés. Tout d'abord 'aucune action à envisager' est proposé lorsque les valeurs mesurées ne laissent présager aucune problématique. Ensuite, 'actions préventives peuvent être nécessaires' est proposé lorsque les valeurs mesurées pourraient être causées par une détérioration de berge, toutefois d'autres facteurs pourraient aussi être en cause et il y a lieu de considérer la détérioration des berges comme une partie de la problématique. Les actions préventives pourraient consister à localiser les zones détériorées, à effectuer de légers travaux comme de l'ensemencement, et aussi à se questionner sur les autres sources possibles de la problématique. Aussi, cette action peut être suggérée lorsque plus d'investigations sont nécessaires avant d'investir dans une restauration. Finalement, 'restauration des berges à envisager' est proposé lorsqu'il est certain qu'une restauration des berges est l'action correctrice principale à réaliser pour permettre de retrouver des valeurs acceptables des indicateurs ciblés.

4.3.1 Aspect environnemental

La qualité de l'eau est le premier paramètre mesurable en ce qui a trait aux impacts environnementaux de la détérioration des berges. L'analyse des aspects chimiques et physiques de l'eau permet de bien la caractériser, et de comparer ces caractéristiques avec des normes et limites établies. Sept indicateurs ont été choisis pour déterminer la qualité de l'eau. Ces indicateurs ont été choisis en fonction des principaux impacts de la détérioration des berges sur la qualité de l'eau. Il s'agit des MES, de la température, du taux d'oxygène dissous, de la concentration de pesticides, de la concentration de phosphore dissous, de la concentration de nitrate, et de la présence de cyanobactéries. Il est certain que la liste de tous les contaminants susceptibles de se retrouver dans les

cours d'eau est beaucoup plus grande que ceux énoncés ici, toutefois la liste des paramètres concernant la qualité de l'eau se limite à ces sept éléments car il s'agit des plus pertinents selon la revue des impacts de la détérioration des berges sur la qualité de l'eau effectuée dans le cadre de cette étude. Pour certains cas précis, la présence d'autres contaminants pourraient devoir être évaluée.

Le tableau suivant résume les indicateurs choisis pour mesurer la qualité de l'eau.

Tableau 4.1 Indicateurs environnementaux pour mesurer la qualité de l'eau en lien avec la bande riveraine

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Qualité de l'eau	Taux de MES	mg/l	échantillon et analyse de laboratoire
	Température de l'eau	degré celcius	mesure sur le terrain
	taux d'oxygène dissous dans l'eau	mg/l	mesure sur le terrain
	concentration de pesticides	µg/l	échantillon et analyse de laboratoire
	concentration phosphore dissous	mg/l	échantillon et analyse de laboratoire
	concentration nitrate	mg/l	échantillon et analyse de laboratoire
	cyanobactéries	cellule/ml et microcystine µg/l	échantillon et analyse de laboratoire

Les matières en suspension (MES) dans l'eau peuvent être présentes en plus grande quantité à cause de l'érosion des berges, car les particules de sol érodé des berges sont entraînées dans l'eau. Pour l'homme, la concentration de MES dans l'eau de surface présente surtout une problématique esthétique, puisque l'eau avec une concentration importante de MES ne sera pas claire mais plutôt brune. Au Québec, il n'existe aucune norme concernant les MES dans l'eau de surface relativement à l'esthétisme ou aux activités récréatives. Un fort taux de MES pourrait apporter des coûts de traitement de l'eau supplémentaire, lorsque l'eau de surface est utilisée pour consommation humaine. Toutefois, avant d'avoir un impact sur le traitement de l'eau, à partir d'un certain seuil de MES il y aura plutôt un impact négatif sur la vie aquatique. Ce critère est donc utilisé ici.

Pour prévenir un effet aigu sur la vie aquatique, une augmentation maximale de 25 mg/l en période de temps sec par rapport à la concentration habituelle est la limite à ne pas dépasser. Pour contrer un effet chronique des MES sur la vie aquatique, les recommandations sont de ne pas dépasser une augmentation de 5 mg/l par rapport à la teneur de fond en période sèche (MDDEP, 2002). Pour contrer les effets chroniques en période de crue, la limite est une augmentation de 25 mg/l lorsque la teneur de fond est de 25 à 250 mg/l et une augmentation de 10% lorsque la teneur de fond est supérieure à 250 mg/l. Le taux de MES peut être mesuré par la prise d'échantillon et un essai de laboratoire.

Dans le cas de la dégradation des berges, les effets se feront sentir lors de crues et d'averses, puisque c'est à ce moment que le sol mis à nu sera entraîné dans l'eau. La grille d'état propose donc d'effectuer des actions préventives lorsque la variation du taux de MES est supérieure à 25 mg/l lors de crue, puisque à long terme ceci a un effet nuisible sur la faune aquatique. De plus, la grille d'état propose des actions préventives si la teneur en MES naturelle est supérieure à 250 mg/l, car il s'agit d'un taux important de MES et il faudrait investiguer si ce taux a vraiment une cause naturelle.

En aucun cas on ne recommande spécifiquement d'effectuer une restauration des berges car un taux de MES élevé peut avoir d'autres causes, comme des travaux à l'amont, un rejet industriel, etc. Ces possibilités peuvent être évaluées avant de procéder à une restauration. Toutefois, si après investigations l'érosion des berges est bien la cause du taux de MES élevé, il est recommandé de procéder à une restauration.

Le second indicateur de la qualité de l'eau est la température de l'eau. Une température trop élevée favorise la prolifération des algues. Une température trop chaude lors de la fraie de certaines espèces de poisson peut aussi limiter leur reproduction. La température de fraie des différentes espèces de poisson est variable, et même la période de fraie peut avoir lieu au printemps ou à l'automne, dépendant des espèces. Il est donc difficile de développer un indicateur valable pour tous ces cas. Toutefois, pour la plupart des espèces du Québec, la température de fraie ne dépassera jamais 15 degrés. A titre d'exemple, le tableau suivant résume la température de fraie de quelques espèces.

Tableau 4.2 Température de l'eau pour la fraie de quelques espèces de poisson

Espèce de poisson	Température et période de fraie	Référence
Touladi	6 – 14 degrés Celcius (mai)	Fondation de la faune du Québec, 2005
Éperlan	4 – 12 degrés Celcius (septembre à novembre)	Zip du sud de l'estuaire, 2005
Omble de fontaine	3 – 13 degrés Celcius (septembre à octobre)	Gagnon et Furois, 2009
Truite arc-en-ciel	10 – 15 degrés Celcius (avril à juin)	Morissette, s.d.

La grille d'état propose donc des actions préventives si la température de l'eau à l'automne ou au printemps est supérieure à 15 degrés celcius et s'il est démontré que l'état des berges est le facteur responsable de la température trop élevée. Les actions préventives pourront consister à investiguer sur les espèces de poissons présentes à cet endroit et leur condition précise de fraie. Une berge bien végétée avec des arbres et arbustes procurera de l'ombre et de la fraîcheur au cours d'eau, et c'est pourquoi une restauration aura des effets positifs sur la température de l'eau. Lorsqu'une espèce de poisson en particulier est présente dans un écosystème et que sa température et saison de fraie sont connus, il devient à ce moment possible d'ajuster précisément la valeur de l'indicateur à partir de laquelle des actions doivent être prises.

Le taux d'oxygène dissous dans l'eau est un autre indicateur de la qualité de l'eau. La façon la plus commune de mesurer le taux d'oxygène dissous est à l'aide d'une sonde (Pêche et océan Canada, 2009). Pour la protection de la vie aquatique, le taux d'oxygène dissous ne doit pas être inférieur à une certaine valeur en fonction de la température. Plus la température est élevée, moindre est le taux d'oxygène dissous. Ceci constitue le lien avec la qualité des berges, puisque la température de l'eau est plus élevée lorsque la berge n'est pas bien végétée. Pour la protection de la vie aquatique, il est recommandé que le taux d'oxygène dissous ne soit pas inférieur aux valeurs suivantes, aussi montrées dans la grille d'état (MDDEP, 2002).

Tableau 4.3 Taux minimal d'oxygène dissous pour la protection de la vie aquatique (MDDEP, 2002)

taux = 4 mg/l à 25 degrés C
taux = 4 mg/l à 20 degrés C
taux = 5 mg/l à 15 degrés C
taux = 5 mg/l à 10 degrés C
taux = 6 mg/l à 5 degrés C

Lorsque le taux d'oxygène dissous est inférieur aux valeurs montrées dans la grille d'état, il est recommandé de procéder à des actions préventives, comme répertorier les zones où les berges ne sont pas végétées, répertorier les espèces aquatiques présentes et observer si des problèmes d'algues sont notables.

La concentration de pesticides dans l'eau est un critère de qualité de l'eau directement relié à la détérioration des berges en milieu agricole, car comme il a été discuté dans les chapitres précédents, les végétaux en place sur une berge en bon état ont un pouvoir filtrant sur les pesticides. La concentration de pesticides dans l'eau peut être mesurée en laboratoire. La grille d'état propose de procéder à des travaux de restauration de berge dès que des concentrations de pesticide supérieures aux critères de qualité de l'eau de surface sont mesurées. En effet, mis à part la réduction de l'utilisation des pesticides à la source, la restauration des berges est une façon prouvée de réduire la concentration de pesticides dans les cours d'eau. Comme il existe une très grande quantité de pesticides, il est suggéré de mesurer ceux couramment utilisés dans un secteur concerné, dépendant des cultures qui s'y trouvent.

Tout comme les pesticides, les concentrations en phosphore et en nitrate dans l'eau sont reliées à la fertilisation des cultures dans l'industrie agricole, de même qu'aux rejets d'eau usée. Ces paramètres peuvent être mesurés par une mesure en laboratoire. La grille d'état suggère de procéder à une restauration des berges dès que les concentrations sont supérieures aux critères de qualité de l'eau de surface. Tout comme pour les pesticides, il est prouvé qu'une bande riveraine en bon état permet de filtrer ces éléments.

La présence de cyanobactéries dans l'eau est le dernier indicateur de la qualité de l'eau de la grille d'état. Encore là, le lien entre les berges et les cyanobactéries passe par la température de l'eau et au pouvoir filtrant des berges. La présence des cyanobactéries peut être observée visuellement sur un plan d'eau. Elle peut aussi se mesurer de deux façons. Il peut y avoir un comptage de cellules au microscope en laboratoire, et la concentration de microcystine peut être évaluée, aussi en laboratoire. La microcystine est la substance toxique reliée aux cyanobactéries. C'est lorsqu'elle est détectée en quantité suffisante (plus de 25 mg/l) que les activités et la consommation de l'eau doivent être restreintes sur un plan d'eau (Conseil supérieur d'hygiène public de France, 2003). La grille d'état suggère de procéder à des actions préventives lorsque des cyanobactéries sont observées sur un plan d'eau. Les actions préventives pourront consister entre autre à chercher les autres causes de la présence de cyanobactéries (rejets d'égoût, etc), à ensemercer les berges, etc. Lorsqu'il est possible de dénombrer plus de 100 000 cellules/ml et /ou que la concentration en microcystine dépasse 25 mg/l, il est suggéré de procéder à la restauration des berges, et d'autres mesures de gestion du plan d'eau seront sans doute nécessaires pour en améliorer l'état.

L'observation des habitats pour la faune et la flore est le second paramètre mesurable en ce qui a trait aux impacts environnementaux de la détérioration des berges. La faune et la flore sont les premiers touchés par une détérioration des berges, car il s'agit de leur milieu de vie. La présence ou l'absence de la faune et la flore est donc un bon indicateur de l'état des berges. Le tableau suivant résume les indicateurs choisis pour évaluer les habitats en lien avec les berges.

Tableau 4.4 Indicateurs environnementaux pour évaluer les habitats en lien avec la bande riveraine

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Habitat pour la faune	Inventaire des frayères	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain
	Inventaire des sites de nidification	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain
	Inventaire des espèces menacées et vulnérables	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain
Habitat pour la flore	Inventaire des habitats	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain
	Inventaire des espèces menacées et vulnérables	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain

Tous les indicateurs reliés aux habitats sont des inventaires. En réalisant des inventaires du nombre de frayères, du nombre de sites de nidification, d'espèces menacées et vulnérables (faune et flore) et surtout en le comparant dans le temps, il est possible de juger si ces habitats sont en progression ou régression. Un inventaire peut être réalisé par une inspection sur le terrain par un biologiste. Si un habitat (frayère, site de nidification) ou une espèce menacée ou vulnérable est présent dans le secteur à l'étude, la grille d'état suggère des actions préventives. En effet, la présence d'un habitat justifie de le protéger, et les rives sujettes à la détérioration devraient être identifiées et suivies. S'il n'y a pas d'habitat particulier dans le secteur à l'étude, aucune action n'est suggérée. Si le nombre d'habitats et d'espèces menacées ou vulnérable est à la baisse, la grille d'état suggère de restaurer les berges.

L'aspect visuel et la végétation de la rive est un autre paramètre mesurable relatif aux impacts environnementaux de la détérioration des berges. Le tableau suivant indique les indicateurs retenus pour statuer sur l'aspect visuel et la végétation.

Tableau 4.5 Indicateurs environnementaux pour évaluer la végétation et l'aspect visuel de la bande riveraine

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Érosion des sols et végétation	Qualité générale de la rive	Indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR)	Inventaire et calcul de l'indice
	proportion de sol à nu sur la rive	% de sol nu / km de rive	observation sur le terrain

Le premier indicateur de cette catégorie est l'indice de qualité de la bande riveraine (IQBR) développé par St-Jacques et Richard (1998). Cet indice consiste à relever sur un tronçon de rive le pourcentage d'espace occupé par chacun des 9 types de recouvrements étudiés. Les recouvrements retenus pour le calcul de l'indice sont : la strate arborescente, la strate arbustive, les herbacées, les coupes forestières, les cultures, le sol nu, les friches, le socle rocheux, les infrastructures anthropiques. Pour le calcul détaillé de l'indice, il faudra se référer à St-Jacques et Richard (1998). La grille d'état suggère de procéder à des travaux de restauration des berges pour des indices calculés inférieurs à 30. D'après l'analyse de St-Jacques et Richard sur la rivière Chaudière, des indices inférieurs à 30 ont été calculés dans des zones perturbées, et c'est pourquoi cette limite a été choisie pour l'élaboration de la grille d'état. La grille propose de procéder à des actions préventives pour des indices calculés entre 30 et 60. Pour de tels indices, il est possible qu'une restauration de berge soit avantageuse, mais il est aussi possible que la situation soit acceptable. Des indices supérieurs à 60 ont été mesurés dans les secteurs les plus naturels de la rivière Chaudière, et c'est pourquoi il a été choisi de considérer qu'il n'y a aucune question à se poser concernant la restauration de berge pour de tels indices mesurés dans la grille d'État.

Le second indicateur de la catégorie de l'aspect visuel est le pourcentage de sol à nu sur une rive. Ce paramètre est déjà pris en compte dans l'IQBR, toutefois, le sol nu est vraiment une source d'érosion de sol importante et le fait de le faire ressortir seul est un paramètre qui permet de juger de façon claire si une berge doit être restaurée. La grille d'état suggère de procéder à la restauration si plus de 20% des berges sont à nu sur un tronçon de cours d'eau. Toutefois, dès qu'il y a présence de sol à nu, cette situation devrait être corrigée. L'évaluation de la proportion de sol à nu sur les berges de même que l'évaluation du l'IQBR peuvent être faits avec la méthodologie expliquée dans le

Protocole de caractérisation de la bande riveraine (MDDEP et le Conseil régional de l'environnement des Laurentides, 2007).

La morphologie d'un cours d'eau est un autre paramètre mesurable en rapport avec les berges. En fait, la morphologie du cours d'eau et des berges est le facteur le plus visible lorsqu'il y a détérioration. Le tableau suivant résume les indicateurs mesurables choisis en lien avec la morphologie du cours d'eau.

Tableau 4.6 Indicateurs environnementaux pour évaluer la morphologie du cours d'eau en lien avec la bande riveraine

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Morphologie	Recul de la position de la rive	m ou cm / an	piquet sur le terrain ou photo aérienne
	Envasement du fond	perte de profondeur en cm/an	bathymétrie

Le recul de la rive est le premier paramètre mesurable relatif à la morphologie des berges. Le recul de la position de la rive peut être mesuré en plaçant des piquets sur le terrain et en mesurant d'une année à l'autre s'il y a eu recul du sommet de la berge. Il peut aussi être possible d'analyser les photos aériennes pour reculer dans le passé et évaluer l'évolution de la position de la berge à un endroit donné. Si un recul de la rive de plus de 10 cm par année survient, la grille d'état propose de restaurer la berge. La limite de 10 cm par année a été établie arbitrairement, en jugeant qu'une perte cumulative de cette ampleur sur plusieurs années justifie une restauration.

L'envasement du fond du cours d'eau survient par l'accumulation de matières en suspension. Ce paramètre est mesurable au moyen d'une bathymétrie (relevé de l'élévation du fond d'un cours d'eau). Si l'envasement du fond est de plus de 5 cm par année, la grille d'état propose de procéder à des travaux de restauration de berges. La limite de 5 cm a été établie arbitrairement, en jugeant qu'une perte cumulative de cette ampleur sur plusieurs années justifie une restauration.

4.3.2 Aspect financier

La détérioration des berges a beaucoup de conséquences économiques, et cette section présente donc des indicateurs qui permettront de mettre un coût à quelques impacts de la

détérioration des berges. Le tableau suivant résume les paramètres à mesurer et les indicateurs choisis dans la grille d'état.

Tableau 4.7 Indicateurs retenus pour l'évaluation des impacts économiques de la détérioration des berges

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Perte de terrain	Perte de valeur foncière	\$ perdu selon valeur du terrain au m ²	mesure sur le terrain et évaluation municipale
Entretien des cours d'eau	coût annuel de dragage d'entretien voie maritime	\$ / an	donnée voie maritime du St-Laurent
	entretien fossé agricole	Fréquence requise des entretiens	donnée entrepreneur agricole
	Entretien des quais et marinas	\$ / an	Donnée de l'exploitant des quais et marinas
Activité économique	Diminution des succès de pêche commerciale	revenu pêcheur / saison	statistique Canada, MAPAQ
	Diminution du tourisme	entrée sur un site ou nuitée / année	statistique Canada
	Diminution du tonnage des bateaux	Variation du tonnage maximal permissible	voie maritime du St-Laurent

Le premier paramètre relié à l'aspect financier de la détérioration des berges est la perte de terrain, qui en est sa conséquence la plus directe. L'indicateur choisi sera donc la perte de valeur foncière. La façon de mesurer cet indicateur est la même que pour le recul de la position de la rive (voir section 4.3.1 Aspect environnementaux) sauf que cette fois il sera nécessaire de calculer une surface perdue, et d'y rattacher la valeur du terrain en \$/m². La valeur peut être tirée directement de l'évaluation municipale. Cet indicateur permet donc de mettre une valeur monétaire à la perte de terrain. Dans la grille d'état, une restauration des berges est arbitrairement suggérée à partir d'une perte de valeur foncière de plus de 1000 \$.

Les coûts engendrés par l'entretien des cours d'eau sont les seconds paramètres mesurables analysés dans la grille d'état. L'entretien des cours d'eau est principalement nécessaire pour les cours d'eau où une activité économique est effectuée, ou pour les cours d'eau servant au drainage. Ainsi, le premier indicateur choisi est le coût d'entretien annuel de la voie maritime du St-Laurent. Ce coût peut être connu de l'organisation de la

voie maritime du St-Laurent, pour différents secteurs. Ce coût est relié à la détérioration des berges puisque c'est le sol érodé en partie sur les berges qui contribue à l'envasement du fond de la voie maritime. La grille d'état suggère de procéder à des travaux de restauration des berges lorsque ce coût d'entretien annuel est en croissance année après année.

Le second indicateur d'entretien est le coût d'entretien des fossés agricoles. Sur les terres agricoles où il y a une certaine érosion des berges des fossés agricoles et des cours d'eau agricoles, les agriculteurs doivent régulièrement approfondir les fossés où des sédiments s'accumulent afin de conserver la même capacité hydraulique. La grille d'état suggère de procéder à des travaux de restauration des berges si la fréquence d'entretien des cours d'eau est annuelle ou moindre. Si la fréquence d'entretien est au deux ans, des mesures préventives pourraient être requises. Si la fréquence est supérieure à deux ans, aucune action n'est à réaliser.

Le troisième indicateur d'entretien est le coût d'entretien des quais et marinas, qui peuvent être victimes d'envasement à cause de l'apport de sédiments dus à l'érosion des berges. La grille d'état suggère de procéder à des travaux de restauration des berges lorsque ce coût d'entretien annuel est en croissance année après année.

Le dernier paramètre mesuré est directement relié aux activités économiques. La diminution des succès de pêche commerciale est un indicateur qui peut être mesuré en comptabilisant les revenus annuels des pêcheurs commerciaux. Ces données peuvent être obtenues de statistiques Canada ou du Mapaq. La grille d'état suggère de procéder à des actions préventives si les revenus de pêche sont à la baisse. En effet, il serait exagéré de recommander immédiatement des travaux de restauration des berges pour des revenus de pêche à la baisse, car une baisse de revenu peut avoir plusieurs causes autres que la détérioration des berges. Ceci peut être causé par exemple par la surpêche, le prix du marché, etc. Les actions préventives recommandées consisteront donc à essayer d'isoler la cause de la baisse de revenu, et de voir si la détérioration des berges en est en partie responsable. Si la détérioration des berges est responsable de la situation, il serait alors recommander de procéder à des travaux de restauration.

L'indicateur de la diminution du tourisme peut être évalué en comptabilisant les entrées sur un site ou les nuitées à l'hôtel ou l'auberge dans une région. Ces données peuvent

être obtenues de statistiques Canada ou des sites touristiques eux-mêmes. Tout comme la baisse de revenu de pêche, la baisse de fréquentation des lieux touristiques n'est pas nécessairement due entièrement à la détérioration des berges. C'est pourquoi la grille d'état suggère des actions préventives en cas de baisse de fréquentation touristique. Ces actions préventives consisteront à isoler le facteur des berges parmi d'autres facteurs qui peuvent engendrer une baisse de fréquentation touristique. Si la détérioration des berges est responsable de la situation, il serait alors recommander de procéder à des travaux de restauration.

Le dernier indicateur concerne le tonnage maximal pouvant être transporté par les bateaux sur la voie maritime. En effet, si la profondeur de la voie maritime diminue, les bateaux doivent transporter des plus faibles tonnages pour pouvoir naviguer de façon sécuritaire. Ceci constitue une perte économique pour les armateurs. Si les tonnages admissibles sont à la baisse année après année, il est recommandé de procéder à des travaux de restauration des berges.

4.3.3 Aspect humain

La détérioration des berges a plusieurs conséquences au niveau social. En effet, la majorité de la population du Québec vit au bord de l'eau, du fleuve notamment, et les comportements de l'homme et sa qualité de vie sont liés à la qualité des berges. Le tableau suivant illustre les indicateurs retenus au niveau social.

Tableau 4.8 Indicateurs retenus pour l'évaluation des impacts sociaux de la détérioration des berges

Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer
Perte d'usage	Restriction d'activités sur les plans d'eau	jour / année de restriction sur un plan d'eau	MDDEP et municipalité
	Fermeture de plage	jour / année de fermeture de plage	MDDEP et municipalité
	Perte d'accès à l'eau	dénombrement des pertes d'accès	municipalité
	Diminution des succès de pêche sportive	nombre de prise / an	MRNF
	Perte d'usage d'une propriété privée	dénombrement pour un secteur	municipalité

Le principal paramètre mesurable relatif à la détérioration des berges est la perte d'usage. Cinq indicateurs sont choisis pour mesurer cette perte d'usage.

Tout d'abord, la détérioration des berges peut être un facteur qui entraîne une restriction des activités sur les plans d'eau et des fermetures de plage. Ces indicateurs peuvent être mesurés en comptabilisant le nombre de jours par année où il y a eu des restrictions d'usage et des fermetures de plage sur un plan d'eau. Ces données peuvent être obtenues du MDDEP ou des municipalités concernées. La grille d'état suggère d'effectuer des mesures préventives s'il y a eu entre 1 et 5 jours de restriction au cours d'une année et à restaurer les berges s'il y a plus de 5 jours de restriction par année. En effet, il est prouvé qu'il y a un lien entre les problèmes d'algues dans les plans d'eau, qui sont la plupart du temps une cause de restriction, et la détérioration des berges (voir section 1.4.2). Il est tout de même important de noter qu'il convient de vérifier si les restrictions d'usage ne sont pas dues à un problème sans lien avec les berges comme les rejets à l'égout dans le plan d'eau.

L'indicateur suivant pour mesurer l'impact social de la détérioration des berges est la perte d'accès à l'eau, qui peut être une cause directe de la détérioration. Dès qu'une perte d'accès est notée, la grille d'état suggère de procéder à de la restauration. En effet, les accès à l'eau sont importants pour les gens habitant à proximité des cours d'eau, car ils s'y sont souvent établis en raison de l'accès qu'ils pouvaient y avoir.

L'indicateur suivant est la mesure des succès de pêche sportive, qui peut être comptabilisé en nombre de prises par année pour un secteur. Ces données peuvent être obtenues du Ministère des ressources naturelles et de la faune (MNRNF). La grille d'état suggère de procéder à des actions préventives si les succès de pêche sont à la baisse. En effet, tout comme pour la pêche commerciale, il serait exagéré de recommander immédiatement des travaux de restauration des berges pour une baisse des prises, car une diminution peut avoir plusieurs causes autres que la détérioration des berges. Les actions préventives recommandées consisteront donc à essayer d'isoler la cause de la baisse de revenu, et de voir si la détérioration des berges en est en partie responsable.

Le dernier indicateur est la perte d'usage d'une propriété. La grille d'état suggère de procéder à de la restauration dès qu'une perte d'usage de propriété est notée. En effet, une perte d'usage d'une propriété est l'aboutissement d'une longue période de

détérioration des berges où aucune action n'avait été entreprise. Si l'usage d'une propriété a déjà été perdu, d'autres suivront certainement et il est important de procéder à des travaux de restauration car la perte d'une propriété est un impact important au niveau social. Il est à noter que cet indicateur aurait aussi pu être placé dans la section économique, où la valeur d'une propriété, ou d'une expropriation, aurait pu être comptabilisée car cette perte d'usage a aussi un coût économique important.

4.4 Élaboration de la grille des techniques

La première grille présentée dans le cadre de cet essai permet de statuer sur l'état d'une berge à l'aide d'indicateurs. La seconde grille évalue maintenant diverses techniques de restauration des berges dans le but de les classer selon leur performance technique et leur performance dans les sphères environnementales, économiques et sociales, soit les sphères du développement durable. Les techniques analysées sont les mêmes que celles présentées à la section 2.0.

Les paragraphes qui suivent décrivent donc quels sont les paramètres utilisés pour évaluer les différentes méthodes de restauration. La grille d'analyse remplie pour chacune des méthodes est présentée à l'annexe 6 et dans le fichier Excel disponible auprès de l'auteure.

4.4.1 Performance technique

Suite à leur évaluation, deux pointages distincts sont donnés pour chaque technique. Le premier pointage concerne la performance technique et le second pointage concerne la performance selon les sphères du développement durable. Le tableau suivant illustre les deux paramètres utilisés pour l'évaluation de la performance technique et le pointage accordé.

Tableau 4.9 Paramètres pour l'évaluation technique d'une méthode de restauration

Sphère du DD	Paramètre	Définition de l'évaluation et pointage						
Technique	conditions d'utilisation	Pour érosion sévère	2	Pour érosion moyenne	1	Pour érosion faible	0	
	pente maximale	peut atteindre la verticale	2	peut atteindre 1H:1V	1	peut atteindre 2H:1V	0	
	total Technique							/4

Les conditions d'utilisation réfèrent à la sévérité de l'action érosive du cours d'eau. Plus la méthode de restauration peut supporter une érosion sévère, plus son pointage est élevé. La pente maximale réfère à la pente maximale à laquelle peut être construit l'ouvrage de restauration. Plus la pente est élevée, plus le pointage est élevé. Le pointage total maximal est de 4.

Il est important de noter que la performance technique telle que décrite dans ce tableau n'est pas nécessairement recherchée pour tous les projets de restauration des berges. En effet, pour restaurer une berge en pente douce sur un plan d'eau avec peu de courant, une technique ayant obtenu 0/4 selon cette évaluation serait adéquate. Le pointage obtenu avec cette méthodologie fait donc ressortir les méthodes les plus versatiles, soient celles qui peuvent être utilisées dans les circonstances les plus extrêmes.

Puisque la performance technique telle qu'évaluée n'est pas toujours recherchée selon les projets, le pointage de la performance technique n'est pas additionné avec le pointage de la performance selon les sphères du développement durable.

Les méthodes ayant la note la plus élevée du point de vue technique sont les méthodes utilisant des matériaux artificiels résistant ou du bois, soit le muret de béton, les caissons et les gabions. L'enrochement, les matelas de béton et les paillis artificiels se comparent bien aux matelas de branches et aux fascines, deux techniques du génie végétal, avec une cote de 3/4. Les fagots et les rangs de plançons sont moyens avec une note de 2/4 et finalement, la végétalisation seule obtient 0/4, ce qui ne veut pas dire que c'est une mauvaise méthode, tel qu'énoncé plus haut.

Les deux méthodes de rechargement de plage n'ont pas été évaluées pour la performance technique car pour le cas de plage, la pente n'est pas un enjeu, ni la résistance à l'érosion de divers matériaux puisqu'il s'agit uniquement de sable.

4.4.2 Performance environnementale

Le tableau suivant illustre les paramètres analysés pour statuer sur la performance environnementale d'une méthode de restauration.

Tableau 4.10 Paramètres pour l'analyse de la performance environnementale

Paramètre	Définition de l'évaluation et pointage						
Provenance du matériel	sur le site ou à proximité	2	sur le site + du manufacturier	1	manufacturier	0	
Utilisation machinerie (combustible fossile)	pas du tout	2	un peu	1	en continu	0	
Génération de déchets	pas du tout	2	un peu	1	beaucoup	0	
Conservation des écosystèmes	favorable	2	défavorable	0			
Préservation de la qualité de l'eau	favorable	2	défavorable	0			
total environnement /10							/10

La performance est analysée selon son impact sur l'environnement (pollution générée par l'utilisation de combustibles fossiles, déchets) et sa capacité à favoriser la qualité de l'environnement suite à la restauration. Le pointage total est sur 10. Les paramètres analysés sont donc les suivants.

Un pointage favorable est accordé si le matériel requis pour la restauration provient du site lui-même ou à proximité. Le pointage est moyen si le matériel provient en partie du site et en partie du manufacturier, et le pointage sera minimal si la provenance du matériel est le manufacturier exclusivement. Ceci permet donc de favoriser les méthodes où le transport et la pollution ainsi engendrée par la combustion est minimale. Les méthodes

gagnantes dans ce cas sont donc les méthodes du génie végétal, puisque habituellement, les végétaux utilisés sont recueillis à proximité. L'ensemencement, tout comme les caissons et les gabions obtiennent une note moyenne car une partie du matériel utilisé peut provenir du site, et une autre du manufacturier (ou de la pépinière). L'enrochement, les murets de béton, les matelas de béton et les paillis artificiels utilisent du matériel provenant entièrement de l'extérieur et obtiennent donc une note minimale. Pour ce qui est du rechargement de plage, le rechargement de plage traditionnel est avantage par rapport au système du Undercurrent Stabilizer™ puisque ce dernier utilise quelques matériaux du manufacturier comme des membranes géotextiles et du béton.

Le second paramètre analysé est l'utilisation de machinerie lourde et donc de combustible fossile polluant durant les travaux de restauration. Le pointage sera maximal pour une méthode n'utilisant aucune machinerie lourde. Il sera moyen pour une méthode utilisant partiellement la machinerie lourde et minimal pour une méthode utilisant constamment la machinerie lourde lors des travaux. Avec cette échelle, la végétalisation et les matelas de branche obtiendront donc un pointage maximal, car ces méthodes ne requièrent peu ou pas de machinerie lourde pour être réalisées. Les méthodes du génie végétal qui sont les fagots, fascines, rang de plançon, obtiennent un pointage moyen car de la machinerie lourde sera nécessaire pour notamment creuser des tranchées pour installer les végétaux. La mise en place de paillis artificiel nécessite aussi l'utilisation de machinerie pour creuser une tranchée pour ancrer le matériel et obtient donc un pointage moyen. Les autres méthodes, caissons, murets, enrochement, gabion, matelas de béton, rechargement de plage et Undercurrent Stabilizer™, obtiennent un pointage minimal car de la machinerie lourde doit fonctionner quasiment en continu pour la réalisation des travaux.

Le paramètre suivant analysé est la génération de déchet. Une méthode ne générant aucun déchet obtient le pointage maximal, une méthode générant un peu de déchet obtient le pointage moyen et une méthode générant beaucoup de déchet obtient un pointage minimal. Les deux méthodes ne générant aucun déchet sont la végétalisation et les matelas de branche. Tous les matériaux de base sont utilisés, et puisqu'aucun matériel artificiel n'est utilisé non plus, il n'y a pas de retaille ou de déchets générés. Le rechargement de plage ne génère aussi aucun déchet. Toutes les autres méthodes analysées génèrent un peu de déchet. Dans les méthodes du génie végétal : fagots, fascines, rangs de plançon, caisson, il convient d'utiliser seulement les parties adéquate

des végétaux, et il y aura forcément des retailles et des déchets organiques générés. Dans les méthodes des gabions, enrochement, muret, matelas de béton, paillis artificiels et Undercurrent StabilizerTM, il y aura des retailles de matériel à rejeter tel du géotextile, des parties d'armature de gabion, retaille de paillis et de matelas de béton. Aucune des méthodes analysées n'obtient le pointage minimal car aucune ne génère une quantité importante de déchet.

La conservation des écosystèmes suite à la restauration est le prochain paramètre analysé. Dans ce cas, seuls deux choix de pointages sont utilisés : soit la méthode est favorable à la conservation des écosystèmes et obtient le pointage maximal, soit elle est défavorable et obtient le pointage minimal. Toutes les méthodes intégrant la végétation obtiennent donc évidemment le pointage maximal. Il s'agit donc de la végétalisation, de toutes les méthodes du génie végétal, des gabions, car ils peuvent être végétés, des matelas de béton et des paillis artificiels, car la végétation peut aussi y être intégrée, de même que les deux méthodes de rechargement de plage, car elles ramènent la plage à son état initial et naturel. Seuls l'enrochement et les murs de béton sont donc défavorables à la conservation des écosystèmes, car ils n'offrent aucune possibilité de végétation, d'ombre, et de filtration des contaminants.

Le dernier paramètre analysé est la préservation de la qualité de l'eau. Encore là, ce sont les méthodes intégrant de la végétation qui sont les plus favorables, car la végétation filtre l'eau, tel qu'il a été démontré plus tôt dans ce rapport. Donc le clivage entre les méthodes est le même que pour le paramètre de conservation des écosystèmes, et seuls les murs et l'enrochement sont défavorables à la préservation de la qualité de l'eau.

Le pointage maximal pouvant être obtenu pour tous les paramètres environnementaux pour chaque méthode est de 10. La méthode qui obtient le pointage maximal est les matelas de branche avec 10, suivie de la végétalisation avec 9. Les fagots, fascines et rangs de plançons obtiennent 8 car ils ont perdu quelques points avec l'utilisation de machinerie lourde et la génération d'un peu de déchets. Le rechargement de plage obtient aussi 8 et le Undercurrent StabilizerTM 6. Le rechargement de plage a plus de points que son vis-à-vis car il ne génère pas du tout de déchets et tous les matériaux proviennent de la proximité du site. Les gabions, paillis artificiels et caissons obtiennent 6. Ils ont surtout perdu des points à cause de l'utilisation de machinerie lourde et la génération d'un peu de déchets. Le matelas de béton obtient 5. L'enrochement et les murs de béton obtiennent

respectivement 2 et 1, car presque tous les paramètres environnementaux leurs sont défavorables, notamment tout ce qui concerne la capacité à favoriser l'environnement après la restauration.

4.4.3 Performance sociale

Le tableau suivant illustre les paramètres analysés pour statuer sur la performance sociale d'une méthode de restauration.

Tableau 4.11 Paramètres pour l'analyse de la performance sociale

Paramètre	Définition de l'évaluation et pointage						
	aucun risque lors des travaux	2	un peu de risque lors des travaux	1	beaucoup de risque lors des travaux	0	
Sécurité lors des travaux	aucun risque lors des travaux	2	un peu de risque lors des travaux	1	beaucoup de risque lors des travaux	0	
Nuisance lors des travaux	peu	2	beaucoup	0			
total social / 4							/ 4

Le premier paramètre analysé est la sécurité des employés lors des travaux. Une méthode ne présentant aucun risque ou presque lors des travaux obtiendra le pointage maximal, s'il y a un peu de risque le pointage sera moyen et s'il y a beaucoup de risque lors des travaux, le pointage sera minimal.

Aucune méthode n'a été jugée comme présentant beaucoup de risques. En effet, les travaux de restauration de berge ne comportent pas de travaux en hauteur, ni d'excavations profondes, etc. En gros, les méthodes nécessitant l'utilisation de machinerie lourde en continu ont obtenu le pointage moyen représentant un peu de risque. En effet, il y a plus de risque pour un employé travaillant à proximité d'une grosse pelle que pour celui qui travaille simplement à agencer des branches. C'est pourquoi toutes les autres méthodes qui ne demandent pas l'utilisation en continu de machinerie lourde ont été jugées sans risque.

Le second paramètre analysé est la nuisance lors des travaux. Dès qu'il y a des travaux quelque part, il y a une certaine nuisance. C'est pourquoi seuls deux niveaux d'évaluation

sont possibles pour ce paramètre : soit une méthode présente peu de nuisances et a le maximum de points, soit elle a beaucoup de nuisance et a le minimum de points.

Encore là, les nuisances sont surtout causées par le bruit de la machinerie. Toutes les méthodes du génie végétal de même que la végétalisation sont donc jugées comme ayant une faible nuisance. Les murets, enrochements et gabions qui nécessitent l'utilisation de machinerie en continu obtiennent le pointage minimal. Le matelas de béton nécessite de la machinerie en continu mais les travaux peuvent être exécutés beaucoup plus rapidement que des murets ou enrochement, donc cette méthode cause peu de nuisance. Il en est de même pour le paillis artificiel. Pour les deux méthodes de rechargement de plage, le Undercurrent Stabilizer™ cause moins de nuisance, car le sable viendra se déposer naturellement suite à la mise en place d'une infrastructure sous-marine faite de béton et de géotextile. Le rechargement de plage simple nécessitera quand à lui le transport et la mise en place de tout le volume de sable requis par de la machinerie.

En résumé, la végétalisation, toutes les techniques du génie végétal (à l'exception des caissons) et les paillis artificiels obtiennent une note parfaite au niveau humain. Les caissons, les matelas de béton et le Undercurrent Stabilizer™ obtiennent 3 / 4. Le rechargement de plage, les gabions, l'enrochement et les murets sont les méthodes les moins intéressantes au niveau humain.

4.4.4 Performance économique

Le tableau suivant illustre les paramètres analysés pour statuer sur la performance économique d'une méthode de restauration.

Tableau 4.12 Paramètres pour l'analyse de la performance économique

Paramètre	Définition de l'évaluation et pointage						
	500 - 5000 \$	2	5000 - 50 000 \$	1	50 000 - 500 000 \$	0	
Coût	500 - 5000 \$	2	5000 - 50 000 \$	1	50 000 - 500 000 \$	0	
Entretien anticipé	pas du tout	2	un peu	1	beaucoup	0	
Expertise requise	pas du tout	2	un peu	1	beaucoup	0	
total économique / 6							/ 6

Le coût est le premier paramètre analysé. Les coûts illustrés représentent un ordre de grandeur approximatif pour une restauration de berge de 100 m de longueur par 10 m de largeur donc 1000 m². Le coût le moins élevé obtient évidemment le pointage le plus élevé. Les méthodes de murets de béton, de gabions et d'enrochement se retrouvent dans la catégorie la plus coûteuse. Toutes les autres techniques sont dans la catégorie moyenne, aucune technique n'étant vraiment économique.

Le second paramètre analysé est l'entretien anticipé de la restauration de berge. Une méthode demandant beaucoup d'entretien à long terme se verra attribuer le pointage minimal, une méthode demandant un peu d'entretien obtiendra un pointage moyen et les méthodes ne demandant pas du tout d'entretien obtiennent le pointage maximal.

La végétalisation, les méthodes du génie végétal (à l'exception des caissons), les gabions, le paillis artificiel, les matelas de béton et le Undercurrent Stabilizer™ ne demandent pas du tout d'entretien et obtiennent le pointage maximal. En effet, pour la plupart de ces méthodes, une fois la végétation bien installée, l'aspect naturel reprendra sa place et aucun entretien ne sera requis. Pour le Undercurrent Stabilizer™, la recharge de sable se fera naturellement et demeurera en place à long terme. Les caissons, l'enrochement et les murets demandent un peu d'entretien. Le bois des caissons peut pourrir, l'enrochement peu décrocher et les murets se fissurent à long terme. Ces méthodes obtiennent un pointage moyen. Le rechargement de plage obtient un pointage minimal. En effet, il est connu que le rechargement de plage doit être effectué de nouveau tous les 5 à 7 ans (Ville de Sept-Iles, 2009).

L'expertise requise est le dernier paramètre économique analysé. Plus des experts sont requis pour mettre de l'avant une méthode de restauration, plus il en coûte cher au promoteur et moins cela est avantageux du point de vue économique. Le pointage va donc en décroissant à partir des méthodes ne demandant pas du tout d'expertise jusqu'à celles demandant beaucoup d'expertise.

Seule la végétalisation ne demande pas du tout d'expertise et obtient le pointage maximal. En effet, un citoyen qui s'informe minimalement peut réussir à faire une végétalisation tout à fait correcte de sa berge sans avoir recours à aucun expert. Toutes les méthodes du génie végétal (sauf les caissons) et le paillis artificiel demandent un peu d'expertise. En effet, la planification de ces méthodes doit être effectuée par des experts

mais la mise en œuvre peut être effectuée par du personnel formé pour l'occasion. Les caissons, l'enrochement, les murets, les gabions, le matelas de béton et les deux méthodes de rechargement de plage demandent beaucoup d'expertise et obtiennent le pointage minimal. En effet, ces méthodes doivent être planifiées par des experts, et doivent aussi être réalisées par des ouvriers spécialisés.

En résumé, la végétalisation est la méthode qui obtient la note la plus élevée pour la performance économique. Les méthodes du génie végétal (sauf les caissons) et le paillis artificiel viennent ensuite, suivi du Undercurrent Stabilizer™ et du matelas de béton. Les gabions et les caissons suivent et les murets, l'enrochement et le rechargement de plage ferment la marche, principalement à cause de l'entretien anticipé.

4.4.5 Sommaire de la performance

Après avoir été évaluées séparément, les cotes pour les performances environnementales, sociales et économiques sont ramenées sur une note de 100. Pour ce faire, une pondération est établie. En effet, les performances environnementales et économiques sont ramenées sur 40 points chacune, et la performance sociale est ramenée sur 20 points, le tout donnant un total de 100 points. Une pondération en faveur des performances environnementales et économiques est donc effectuée, de façon à ce que ces sphères du développement durable valent deux fois plus que la sphère sociale. Ceci est justifié car la restauration des berges, n'étant pas des travaux d'une très grande envergure, engendre peu d'impact et de contraintes sociales.

Tel que mentionnée précédemment, la performance technique n'est pas ajoutée aux sphères du développement durable en raison des besoins techniques qui peuvent différer selon les projets.

Le tableau suivant présente en ordre de cote toutes les techniques analysées selon leur résultat obtenu après analyse de la performance selon les trois sphères du développement durable. La dernière colonne présente les résultats de la performance technique.

Tableau 4.13 Résultat de l'analyse de performance selon le développement durable

Méthode	Performance en développement durable sur 100	Performance technique sur 4
Végétalisation	89	0 / 4
Matelas de branche	87	3 / 4
Rang de plançon	79	2 / 4
Fagots	79	2 / 4
Fascines	79	3 / 4
Paillis artificiel	71	3 / 4
Undercurrent Stabilizer™	59	N/A
Matelas de béton	55	3 / 4
Caissons	52	3.5 / 4
Rechargement de plage	44	N/A
Gabions	42	3.5 / 4
Enrochement	20	3 / 4
Muret de bloc ou béton	16	4 / 4

Suite à cette analyse, il est donc possible de constater que les méthodes dites naturelles, qui sont la végétalisation et les techniques du génie végétal, ont les meilleures performances lorsque toutes les sphères du développement durable sont considérées. Les paillis artificiels suivent de près. Les matelas de béton, les caissons et les gabions obtiennent toutes un pointage moyen, et l'enrochement et les murets ferment la marche. Cette analyse démontre donc que les méthodes les plus naturelles sont non seulement préférables du point de vue environnemental, mais aussi lorsque toutes les sphères du développement durable sont considérées. Il est intéressant de noter que la méthode du Undercurrent Stabilizer™ obtient un meilleur pointage que le rechargement de plage standard, principalement à cause des nuisances et de l'entretien anticipé.

Lorsque la performance technique est mise vis-à-vis de la performance selon le développement durable, on constate que la végétalisation et certaines méthodes du génie

végétal sont moins performantes et doivent donc être réservées pour les cas de faible débit et pente. Toutefois, certaines méthodes du génie végétal ont un bon pointage au niveau du développement durable et de la performance technique, comme les matelas de branche et les fascines. Les caissons, qui sont une méthode de génie végétal, ont un pointage moyen au niveau du développement durable mais un excellent pointage technique, et sont donc une solution avantageuse pour les contraintes techniques élevées.

Les murets et l'enrochement, qui ont une performance technique excellente, ont une si piètre performance au niveau du développement durable que ces méthodes doivent être employées en dernier recours ou simultanément avec d'autres méthodes. Les gabions, avec une excellente performance technique, sont à favoriser par rapport aux murets dans les cas de contraintes techniques importantes.

5 ANALYSE DES TECHNIQUES EN FONCTION DES BESOINS DÉTERMINÉS PAR LA GRILLE D'ÉTAT ET DISCUSSION

Les sections précédentes ont permis de statuer sur l'état d'une berge et des besoins en restauration qui y sont rattachés, et deuxièmement d'analyser diverses techniques existantes de restauration en fonction de leur performance technique et leur performance selon les principes du développement durable. En fonction des analyses réalisées dans les sections précédentes, cette section traitera donc de la capacité des différentes méthodes de restauration à remplir les besoins exprimés par la grille d'état.

Afin d'améliorer les indicateurs relatifs à la qualité de l'eau, les méthodes ayant la meilleure performance environnementale, et plus spécifiquement la meilleure performance pour améliorer la qualité de l'eau sont à privilégier. C'est la végétation qui permet de filtrer les polluants et faire de l'ombre aux cours d'eau et permettra ainsi d'améliorer la qualité de l'eau. Donc de ce point de vue strict, toutes les méthodes sont favorables à l'exception de l'enrochement et des murets, tel que démontré à la section 4.4.2. Il est à noter que si le problème de qualité de l'eau se situe surtout au niveau de la température, les matelas de béton et paillis artificiel seront moins efficaces car les seuls types de végétation pouvant s'y intégrer sont les herbacés, qui ne produisent pas vraiment d'ombre.

Les indicateurs relatifs aux habitats pour la faune et la flore seront aussi améliorés par l'utilisation des méthodes ayant une bonne performance environnementale et plus spécifiquement celles permettant de préserver les écosystèmes. Donc, toutes les méthodes incluant la végétation sont favorables aux habitats pour la faune et la flore. Tout comme au paragraphe précédent, il s'agit donc de toutes les méthodes à l'exception de l'enrochement et des murets.

Les indicateurs relatifs à la végétation seront favorisés évidemment par les mêmes méthodes que celles énoncées aux deux paragraphes précédents.

L'indicateur relatif à l'érosion des sols pourrait être plus favorisé par les méthodes ayant une bonne performance technique. En effet, s'il y a érosion sévère des sols, des méthodes résistantes devront être employées pour que la restauration demeure à long

terme. Les murets et l'enrochement ne seraient quand même pas à favoriser à cause de leur mauvaise performance à l'analyse de développement durable. Les gabions, caissons, matelas de branches et fascines sont à favoriser pour ces cas. Les mêmes conclusions s'appliquent à l'indicateur économique relatif à la perte de terrain car lorsqu'il y a une perte significative de terrain, c'est que l'érosion est sévère.

Les indicateurs relatifs à l'entretien des cours d'eau seront favorisés par des méthodes incluant la végétation, de façon à filtrer les sédiments, de même que par des méthodes ne nécessitant pas d'entretien. En effet, si un entretien est requis, c'est que la berge a commencé à se détériorer à nouveau ce qui entraînera des sédiments dans l'eau. Toutes les méthodes peuvent donc être recommandées à l'exception de l'enrochement, des murets et des caissons, à cause de l'entretien. Le rechargement de plage, qui doit être refait périodiquement, n'est pas à recommander car le sable mis en place finit par s'éroder et repartir dans le lit du cours d'eau. La méthode du Undercurrent Stabilizer™ est à recommander pour ce cas.

L'activité et le tourisme sont souvent liés à plusieurs paramètres distincts comme la pêche, les activités nautiques et la baignade, l'accès, la beauté du paysage. Les méthodes favorisant les écosystèmes et la qualité de l'eau sont donc à favoriser, de même que les méthodes permettant de contrer des érosions sévères, selon les cas. Les méthodes favorisant la végétation et les méthodes ayant une bonne performance technique seront donc toujours avantageuses dans ces cas. Les méthodes ayant une mauvaise performance pour l'ensemble des critères du développement durable sont à éviter. Les mêmes conclusions s'appliquent aux indicateurs relatifs à la perte d'usage.

En résumé, en analysant la grille d'état, il est possible de constater que les méthodes les plus souhaitables sont toujours celles favorisant l'utilisation de végétation, car la végétation est la clé pour résoudre plusieurs problématiques. Que ce soit au niveau de la qualité de l'eau, de la préservation de la faune et la flore, de l'entretien des cours d'eau et de tout l'aspect social concernant les usages, la végétation est toujours requise. Ensuite, les choix doivent se porter sur les méthodes offrant une meilleure résistance à l'érosion selon la sévérité des problématiques érosives rencontrées. Entre deux méthodes, les méthodes ayant une meilleure performance au niveau du développement durable dans son ensemble sont à favoriser.

Il est possible de constater que les méthodes de l'enrochement et des murets n'ont pas beaucoup d'avantage pour répondre aux besoins de la grille d'état, et ont une piètre performance au niveau du développement durable. Ces méthodes devraient donc être utilisées en dernier recours.

Il est intéressant de noter que les méthodes utilisant des matériaux artificiels, qui ont des performances bonnes à moyennes au niveau du développement durable, et très bonnes au niveau techniques, constituent aussi des choix qui valent la peine d'être considérés. En effet, ce type de méthode pourra être exécuté plus rapidement et à n'importe qu'elle saison (sauf l'hiver) que les méthodes du génie végétal.

Concernant le rechargement de plage, la méthode du Undercurrent Stabilizer™ semble mieux répondre aux besoins de la grille d'état pour la simple raison qu'une plage traitée de cette façon n'est plus supposée montrer d'autres problèmes de perte de sable par la suite. Il s'agit d'une solution permanente.

Il ne faut pas oublier que la plupart des méthodes analysées peuvent être utilisées simultanément. Par exemple, l'enrochement, qui a une piètre performance au niveau du développement durable mais une bonne performance technique, pourrait être utilisé en bas de pente uniquement, sur la surface minimale pour contrer l'effet des vagues par exemple, et un matelas de branche pourrait compléter la protection de la pente. Donc les méthodes les plus efficaces techniquement peuvent être utilisées seulement dans la zone la plus critique d'une pente et complétée par une meilleure méthode au point de vue environnemental.

De plus, puisque l'enrochement et les murets ont une mauvaise performance environnementale principalement à cause de l'absence de végétation dans ces méthodes, il est important de noter qu'il peut être possible dans certains cas d'intégrer des végétaux à ces infrastructures. Si l'enrochement est constitué de très gros blocs, des végétaux peuvent être plantés dans les cavités entre les blocs (MDDEP, 2005). De la végétation de type vigne vierge peut aussi être mise en place sur les murets existants afin de rendre leur aspect plus naturel et bénéficier de certains des avantages de la végétation.

5.1 Méthodologie

L'élaboration d'une grille d'indicateurs qui permet de quantifier l'état d'une berge avant ou après restauration peut évidemment être reproduite pour diverses problématiques. Le fait d'élaborer des indicateurs pour les aspects non seulement environnementaux mais aussi sociaux et économique permet de faire vraiment le tour de la question. Une méthodologie semblable pourrait être utilisée pour statuer sur l'état d'un site industriel pollué par exemple.

L'élaboration de la grille pour comparer les différentes méthodes de restauration selon des critères techniques et selon des critères du développement durable peut aussi s'appliquer à diverses problématiques. Dans l'exemple précédent, après avoir statué sur l'état d'un site pollué, des méthodes de décontamination pourraient être évaluées selon leur performance, et il serait ensuite possible de revenir à la grille initiale afin de confirmer le choix de la méthode la plus judicieuse pour ce cas particulier.

La grille élaborée pour l'évaluation des méthodes de restauration des berges a permis de les coter de façon générale. Avec un projet en particulier, il serait possible d'amener plus de nuances aux cotes qui sont données, car à ce moment, la performance technique serait vraiment analysée en détail pour un site précis. Les coûts seraient aussi plus précis car des propositions pourraient être obtenues. Les quantités de matériaux requis seraient connues, ce qui permettrait par exemple de statuer de façon plus certaine sur la production de déchets anticipés, etc. En bref, cette grille gagnerait à être utilisée pour l'analyse comparative de quelques méthodes pour un cas particulier. Il est possible que l'ordre de cote des différentes méthodes serait légèrement différent. Toutefois, l'analyse effectuée dans le cadre de cet essai donne une bonne idée sur la performance générale de chacune des méthodes.

Concernant la grille d'état, il est évident que si un cas réel était analysé à l'aide de cette grille, certains raffinements pourraient être nécessaires. Par exemple, pour une rivière hébergeant un type particulier de poisson, la température et la saison de fraie seraient connues, et la température pour laquelle il faudrait considérer prendre des actions pourrait être légèrement différente de celle indiquée dans la grille. Pour l'indicateur de la concentration en pesticides, les pesticides analysés seraient ceux utilisés dans les cultures avoisinantes, etc. Plusieurs indicateurs pourraient ainsi être raffinés. De plus, il

est certain que pour un cas particulier, ce ne sont pas tous les indicateurs qui devraient être suivis lors de la vérification de l'efficacité d'une restauration. Par exemple, pour un cas où c'est la présence de pesticides dans l'eau qui est en cause, seuls l'indicateur de concentration en pesticide et les indicateurs d'habitat pourraient être suivis à moyen et long terme.

La grille d'état pourrait aussi permettre de réaliser qu'une restauration de berge n'est peut-être pas essentielle. En effet, à la section 1 de ce rapport, il a déjà été mentionné que les berges ne sont naturellement pas dans un état statique. Donc, si par exemple l'indicateur de recul de position de la rive montre qu'une restauration est requise, mais que les indicateurs économiques et sociaux montrent tous qu'aucune action n'est requise, il n'y a donc peu ou pas de conséquence à la détérioration de la berge et elle ne requière donc peut être pas de restauration. L'état des berges plus à l'aval doit toutefois être vérifié, car il se pourrait que les conséquences soient plutôt en aval (envasement du fond, etc). La grille d'état gagnerait donc à être remplie pour plusieurs tronçons d'un même cours d'eau de façon à avoir un portrait global de la situation.

CONCLUSION

Cet essai a permis de faire une revue sur les causes de la détérioration des berges au Québec, et a permis de dresser la liste d'une série d'impacts causés par cette détérioration. Différentes méthodes de restauration des berges ont aussi été revues.

Le but de l'essai était de passer en revue les fonctions d'une berge et les impacts associés avec leur détérioration, puis d'élaborer une grille d'indicateurs servant à statuer sur l'état d'une berge.

Cette grille a été élaborée, et permet de statuer sur l'état d'une berge en recommandant certaines actions selon la valeur des indicateurs mesurés. En proposant des indicateurs dans les domaines non seulement environnementaux mais aussi économiques et sociaux, la grille permet de bien visualiser l'ensemble des impacts possibles qu'une berge détériorée peut engendrer.

Les méthodes de restauration ont aussi été évaluées selon leurs performances techniques et leur respect des principes du développement durable. Cette analyse a permis de coter les différentes méthodes et de juger lesquelles étaient les plus adéquates selon les impacts de la détérioration des berges mis au jour dans la grille d'état.

Les résultats de toute cette démarche permettent de conclure que les méthodes dites naturelles doivent être favorisées, non seulement parce qu'elles permettent de mieux répondre aux besoins environnementaux, mais la mise en œuvre de ces méthodes elles-mêmes a aussi une meilleure performance environnementale, sociale et économique. En général, les méthodes naturelles ont toutefois une moins bonne performance technique. Pour les cas où une excellente performance technique est requise, certaines méthodes du génie végétal sont adéquates, de même que certaines méthodes utilisant des matériaux artificiels. Il est important de noter que diverses méthodes peuvent être utilisées simultanément, de manière à tirer le meilleur de chaque méthode. Les méthodes ayant une piètre performance environnementale devraient donc être si possible utilisées en conjonction avec une autre méthode plus naturelle.

Toute la méthodologie développée dans le cadre de cet essai peut être utilisée pour analyser d'autres problématiques environnementales. Les grilles développées peuvent aussi être raffinées pour évaluer des cas particuliers de restauration de berge. En bref, les conclusions de cet essai s'appliquent en général, mais il ne faut pas oublier que les cas particuliers doivent être analysés en détail, et il est possible que la situation pour des cas particuliers soit légèrement différente. L'utilisation des grilles pour les cas particuliers permettra toutefois de faire un survol complet d'une problématique de détérioration de berge. De plus, l'utilisation de la grille d'état sur plusieurs tronçons d'un même cours d'eau pourra permettre d'avoir un portrait global des influences d'une zone détériorée sur le reste du cours d'eau.

Finalement, les outils développés dans le cadre de cet essai permettent d'avoir en main une première idée générale de la situation dans les projets de restauration de berge.

RÉFÉRENCES

- Agriculture et agroalimentaire Canada (2008), Fiche technique : diagnostic et solutions des problèmes d'érosion des berges de cours d'eau, mise à jour août 2008, 14p.
- American Excelsior Company (2010), Curlex ® CL Blanket *in* American Excelsior Company, [en ligne]. <http://www.americanexcelsior.com/erosioncontrol/products/clblankets.php> page consultée le 29 janvier 2010.
- Anonyme (2006), *Le petit Larousse illustré*, Paris, Larousse, 1855 p.
- AquaTerra Solutions (s.d.), Les solutions génie végétal *in* AquaTerra Solutions, [en ligne]. http://www.aquaterra-solutions.fr/pdf/depliant/dep_gen_8_9.pdf page consultée le 29 janvier 2010.
- Armortec (2004), Armorflex® Articulating Concrete Block Revetment System *in* Armortec Erosion Control Solution, [en ligne]. <http://www.armortec.co.uk/downloads/Armorflex.pdf> page consultée le 29 janvier 2010.
- Beaulieu. R., (2008), Historique de l'aménagement des cours d'eau agricoles *in* Agriculture, pêcheries et alimentation Québec, [en ligne]. http://www.mapaq.gouv.qc.ca/NR/rdonlyres/4EB9CD92-9F71-47C0-B311-6991FD176866/0/BV08_Historiqueamenagement.pdf (page consultée le 12 janvier 2010).
- Bernatchez, P., Dubois J.-M., (2004), Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime Laurentien, *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 58, no. 1, p. 45-71.
- Boissonneault, Y. (s.d.), Indicateur de l'état des berges *in* Boissonneault suivi hydrologique des cours d'eau, [en ligne]. <http://www.boissonneault.ca/medias/2iqbr.pdf> (page consultée le 6 janvier 2010).
- Bouchard, J., D., (2009), L'érosion des berges et l'aménagement du territoire, *in* Sécurité publique Québec, [en ligne]. http://www.msp.gouv.qc.ca/secivile/colloques/regionaux/bas_st_laurent_gaspesie/bouchard.pdf page consultée le 21 janvier 2010.
- Centre de conservation de l'eau et des sols de l'est du Canada (1997), Les bandes riveraines et la qualité de l'eau : une revue de littérature *in* Centre de conservation de l'eau et des sols de l'est du Canada, [en ligne]. <http://www.umce.ca/ccse-swcc/publications/francais/bandes.pdf> page consultée le 19 janvier 2010.

- Chaire de recherche du Canada en éducation relative à l'environnement (2006), Le carnet du pêcheur *in* Université du Québec à Montréal, [en ligne]. <http://www.unites.uqam.ca/ERE-UQAM/carnetdupecheurintegral.pdf> page consultée le 15 janvier 2010.
- Chapdeleine, D., Duchesne, I., (2009), On étouffe le Lac Saint-Pierre *in* A babord !, [en ligne]. <http://www.ababord.org/spip.php?article869> page consultée le 18 janvier 2010.
- Chow, V., T., Maidment, D., R., Mays, L., W., (1988), *Applied hydrology*, États-Unis, McGraw-Hill inc., 572 p. (Collection Water resources and environmental engineering).
- Comité de concertation suivi de l'état du St-Laurent (2008), Portrait global de l'état du St-Laurent 2008 *in* Plan St-Laurent, [en ligne]. http://www.planstlaurent.qc.ca/sl_obs/sesl/publications/portrait/2008/Portrait_global_2008_f.pdf page consultée le 15 janvier 2010).
- Comité Zip Côte-nord du golfe (2007), L'érosion des berges au Québec maritime *in* Comité zip côte-nord du golfe, [en ligne]. http://www.zipcng.org/documentation/Doc_rosion_des_berges.pdf (page consultée le 6 janvier 2010).
- Comité Zip Côte Nord du golfe (s.d.), Fiche no. 6 Embouchure de la rivière Brochu *in* Comité zip côte-nord du golfe, [en ligne]. http://www.zipcng.org/documentation/Caracterisation/MRC_de_SeptRivieres/6Embochure_Brochu.pdf page consultée le 15 janvier 2010.
- Comité Zip du sud de l'estuaire (2004), Plan de protection et/ou d'aménagement de la frayère à éperlan de la rivière du Loup *in* Comité zip du sud de l'estuaire, [en ligne]. http://www.zipsud.org/files/plan_protection_eperlan_rdl.pdf (page consultée le 12 janvier 2010).
- Commission de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation (1996), Rapport sur le mandat d'initiative concernant la commercialisation des produits de la pêche sportive en eau douce, principalement dans la région du lac Saint-Pierre *in* Assemblée nationale du Québec, [en ligne]. <http://www.assnat.qc.ca/archives-35leq2se/eng/Publications/rapcapa.html> page consultée le 18 janvier 2010.
- Conseil supérieur d'hygiène public de France, (2003), Recommandations pour la gestion des situations de contamination d'eaux de baignade et de zones de loisirs nautiques par la prolifération de cyanobactéries *in* Ministère de la santé, des sports et de la vie associative (France) [en ligne]. http://pays-de-la-loire.sante.gouv.fr/envir/sebgcyano_fichiers/av060503.pdf page consultée le 25 février 2010.
- Corporation bassin versant baie Missisiquoi (2008), Guide de mise en valeur riveraine *in* Ville de Dunham, [en ligne]. <http://www.ville.dunham.qc.ca/document/doc7.pdf> (page consultée le 6 janvier 2010).

- Corporation de gestion de la voie maritime du St-Laurent (2010), L'historique de la voie maritime *in* Corporation de gestion de la voie maritime du St-Laurent, [en ligne]. <http://www.greatlakes-seaway.com/fr/voie-maritime/histoire/index.html> page consultée le 18 janvier 2010.
- Correll, D. L. (1996), Buffer zones and water quality protection: general principles, *in* Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T. and PinayLa G., (éd.), *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*, (p.7-20), The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones September 1996, Quest Environmental, Harpenden, Hertfordshire, UK.
- Desautels, M. (s.d.), La renaturalisation des bandes riveraines *in* MRC de Memphrémagog, [en ligne]. http://www.mrcmemphremagog.com/documents/Atelierrenaturalisation2009_000.pdf (page consultée le 6 janvier 2010).
- Environnement Canada (2009), Des pesticides voyagent jusqu'au fleuve Saint-Laurent par ses tributaires *in* Environnement Canada, [en ligne]. <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=45B1191F-1> page consultée le 21 janvier 2010.
- Environnement Canada (2008), Les deux tiers des rives entre Montréal et l'archipel de Berthier-Sorel sont en érosion *in* La voie verte, [en ligne]. http://www.qc.ec.gc.ca/CSL/inf/inf023_f.html page consultée le 18 janvier 2010.
- Environnement Canada (2002), Les modifications anthropiques du Saint-Laurent : les pertes de milieux humides *in* La voie verte, [en ligne]. http://www.qc.ec.gc.ca/faune/biodiv/fr/anthropique/pertes_mil_hum.html page consultée le 14 janvier 2010).
- Environnement Canada (2001), Les changements climatiques et le temps violent *in* La voie verte, [en ligne]. http://www.ec.gc.ca/TKEI/cc_weather/s_weather_f.cfm (page consultée le 12 janvier 2010).
- Fondation de la faune du Québec, (2005), Habitat du poisson – Guide de planification et de réalisation d'aménagement – le touladi *in* Fondation de la faune du Québec [en ligne]. http://www.fondationdelafaune.qc.ca/documents/x_guides/800_touladi.pdf page consultée le 25 février 2010.
- Fond d'assainissement des grands lacs (2004), La bio-ingénierie des sols une solution de rechange au béton *in* Le fond de la durabilité des grands lacs, [en ligne]. <http://sustainabilityfund.qc.ca/default.asp?lang=Fr&n=321CF8C5-1> page consultée le 29 janvier 2010.
- France, R., L., (1997), Potential for soil erosion from decreased litterfall due to riparian clearcutting: Implication for boreal forestry and warm- and cool – water fisheries, *Journal of Soil and Water Conservation*, nov/dec 1997, vol. 52, no. 6, Sciences Module p. 452.

Gagnon, E., Gangbazo, G., (2007), Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives, Québec, Ministère du Développement durable, de l'environnement et des parcs, Direction des politiques de l'eau, 17p.

Gagnon, F., Furois, V., (2009), Caractérisation des cours d'eau pour l'omble de fontaine dans le bassin versant de la rivière Fouquette *in* Comité de bassin de la rivière Fouquette [en ligne]. http://fouquette.gc.ca/uploads/media/Rapport_caracterisation_2008.pdf page consultée le 25 février 2010.

Garand, G., (2009), CRE Laval, Communication personnelle, 2 décembre 2009.

Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique (2008), Les cyanobactéries dans les lacs québécois : un portrait de la situation selon les chercheurs du GRIL *in* bureau d'audience publiques du Québec, [en ligne]. http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Trois_Lacs/documents/DB19.pdf page consultée le 20 janvier 2010.

Holmberg Technologies inc., (2010), Frequently asked questions *in* Holmberg Technologies inc., [en ligne]. <http://www.erosion.com/faq.asp> page consultée le 2 février 2010.

HortiClub, (2010), Catalogue printemps 2010 *in* HortiClub, [en ligne]. <http://www.horticlub.com/fr-CA/> page consultée le 28 janvier 2010.

Indigo, (2010), 15 ans déjà *in* Indigo, [en ligne]. <http://www.horticulture-indigo.com/index.php> page consultée le 27 janvier 2010.

Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999, ch. 33

Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, L.R.Q., chapitre C-61.1

Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, L.R.Q., chapitre A-19.1

Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q., chapitre Q-2

Loi sur la sécurité civile, L.R.Q., chapitre S-2.3

Loi sur les forêts, L.R.Q., chapitre F-4.1

Loi sur les pêches, L.R., 1985, ch. F-14

Maccaferri (2009), Green Gabions® *in* Maccaferri a company of Maccaferri Group, [en ligne]. http://www.maccaferri-northamerica.com/Green_Gabions_ca.aspx page consultée le 29 janvier 2010.

- Maguire, R., J., Tkacz, R., J., (1993), Occurrence of pesticides in the Yamaska river, Québec, *Archives of environmental contamination and toxicology*, vol. 25, no. 2, p. 220 - 226.
- Ministère des transports du Québec (2007), Niveau d'eau du St-Laurent *in* Transport Québec, [en ligne]. http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/environnement/changes/climatiques/adapter_transports_impacts_changes_climatiques/niveaux_eau_saint-laurent#activites page consultée le 18 janvier 2010.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (2009), Bilan provisoire des plans d'eau touchés par une fleur d'eau d'algues bleu-vert au 15 septembre 2009 *in* Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, [en ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/algues-bv/bilan/saison2009/Bilan-alguesBV-150909.pdf> page consultée le 20 janvier 2010.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs et Conseil régional de l'environnement des Laurentides (2007), Protocole de caractérisation de la bande riveraine *in* Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs [en ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rsv-lacs/bande_riveraine.pdf , page consultée le 25 janvier 2010.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs (2005), Extrait - Guide des bonnes pratiques chapitre 7 - Protection des rives, du littoral et des plaines inondables *in* Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, [en ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/stabilisation_rives.pdf page consultée le 28 janvier 2010.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, (2002), Critères de qualité de l'eau de surface *in* Développement durable, environnement et parcs Québec, [en ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.asp page consultée le 25 février 2010.
- Morin, E., (2003), Restauration des berges et sensibilisation de la population à de bonnes pratiques en milieu riverain *in* Bassin versant St-Maurice, [en ligne]. http://bvsm.ca/fichiers%20PDF/restauration_berges_sensibilisation_milieu_riverain.pdf page consultée le 27 janvier 2010.
- Morissette, S., (s.d.), Les poissons du Québec *in* Forum d'aquariophilie [en ligne]. <http://www.poissons.org/poissons/poissonsduquebec/index.html> page consultée le 25 février 2010.
- Municipalité de Ragueneau (2005), Protection des berges par des enrochements à Ragueneau – avis de projet *in* Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, [en ligne]. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Ragueneau-berges/documents/PR1.pdf> page consultée le 20 janvier 2010.
- Municipalité des Iles de la Madeleine (2008), Magazine les iles *in* Iles de la Madeleine, [en ligne]. http://www.ilesdelamadeleine.com/magazine/magazine_11_07_08.pdf (page consultée le 13 janvier 2010).

- Olewiler, N., (2004), La valeur du capital naturel dans les régions peuplées du Canada, Canard Illimité Canada et Conservation de la nature Canada, 37 p.
- Patty, L., Réal, B., Gril, J., J., (1997), The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water, *Pesticide Science*, vol. 49, no. 3, p. 243 - 251.
- Pêche et océan Canada (2010), L'habitat du poisson et les pratiques agricoles *in* Pêche et océan Canada, [en ligne]. <http://www.nfl.dfo-mpo.gc.ca/f0004434> (page consultée le 12 janvier 2010).
- Pêche et océan Canada, (2009), Oxygène dissous *in* Pêche et océan Canada région du Québec [en ligne]. <http://www.gc.dfo-mpo.gc.ca/iml-mli/science/innovation/bio/oxygene-oxygen/index-fra.asp> page consultée le 25 février 2010.
- Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, L.R.Q., c. Q-2, a. 2.1
- Propex Geosynthetics, (2007), Landlok^R Turf Reinforcement Mat *in* Propex Geosynthetics, [en ligne]. <http://www.geotextile.com/downloads/Landlok%20TRM%20Products%20Brochure.pdf> page consultée le 2 février 2010.
- Radio-Canada (2006), Érosion des berges de la côte nord : des citoyens abandonnés *in* Radio-Canada, [en ligne]. http://www.radio-canada.ca/actualite/v2/lafacture/niveau2_11200.shtml page consultée le 19 janvier 2010.
- Ressources naturelles et faune Québec (2009), Éléments retenus par les spécialistes pour attribuer aux espèces le statut menacé ou vulnérable *in* Ressources naturelles et faune Québec, [en ligne]. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/faune/especes/menacees/definitions.asp> page consultée le 19 janvier 2010.
- Rondeau, B., Cossa, D., Gagnon, P., Bilodeau, L., (2000), Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence river, *Hydrological processes*, vol. 1, p. 21-36.
- Santé et services sociaux Québec (2010), Pesticides, *in* Santé et services sociaux Québec, [en ligne]. <http://www.santesociete.net/sujets/santepub/environnement/index.php?pesticides#question2> page consultée le 21 janvier 2010.
- Service canadien de la faune (2010), Fiches d'information sur les oiseaux *in* Faune et flore du pays, [en ligne]. http://www.hww.ca/hww2_f.asp?id=75&cid=7 (page consultée le 12 janvier 2010).

- Service Canadien de la faune (s.d.), Priorisation des sites d'intervention ou comment mettre nos sous au bon endroit *in* Comité Zip de la rive nord de l'estuaire, [en ligne]. [http://www.zipnord.qc.ca/pdf/projets/colloque99/texte%2010%20\(D.%20Lehoux%20&%20C.%20Grenier\).pdf](http://www.zipnord.qc.ca/pdf/projets/colloque99/texte%2010%20(D.%20Lehoux%20&%20C.%20Grenier).pdf) (page consultée le 7 janvier 2010).
- Société de la faune et des parcs Québec (2003), Fiche technique sur la protection de l'habitat du poisson – stabilisation du milieu riverain *in* Ressources naturelles et faune Québec, [en ligne]. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/faune/stabilisation.pdf> (page consultée le 7 janvier 2010).
- Statistiques Canada (2009), Parti à la pêche : profil de la pêche récréative au Canada *in* Statistique Canada, [en ligne]. <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-002-x/2008002/article/10622-fra.htm> page consultée le 20 janvier 2010.
- St-Jacques, N., Richard, Y., (1998), Développement d'un indice de la qualité de la bande riveraine application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité du milieu aquatique *in* Ministère de l'environnement et de la faune, (réd.), *Le bassin de la rivière Chaudière – l'état de l'écosystème aquatique*, (p.6.1 à 6.41), Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no. EN980022.
- St-Laurent Vision 2000 (2004), Stratégie de navigation durable pour le St-Laurent *in* St-Laurent vision 2000, [en ligne]. http://www.slv2000.qc.ca/plan_action/phase3/navigation/SND/images/SND_longue_f.pdf (page consultée le 14 janvier 2010).
- Terrafix Geosynthetics inc., (s.d.), Terraweb^R cellular confinement system *in* Solmax- Texel, [en ligne]. <http://www.sol-tex.qc.ca/viewer.php?doc=produits-geosynthetiques/controle-erosion/guide-application/guide-application-terraweb.pdf> page consultée le 2 février 2010.
- Ville de Sept-Iles (2009), Analyse coûts-avantages des solutions à l'érosion côtière de la ville de Sept-Iles *in* Association des aménagistes régionaux du Québec, [en ligne]. <http://www.aarq.qc.ca/admin/Fichiers/gparenteau.pdf> page consultée le 19 janvier 2010.
- Zaimes, G., N., Richard, C., S., Thomas, M., I., (2008), Streambank soil and phosphorus losses under different riparian land-uses in Iowa, *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 44, no. 4, p. 935 – 947.
- Zip Alma-Jonquière, (s.d.), Techniques de stabilisation végétale *in* Zip Alma-Jonquière, [en ligne]. http://www.zipalma-jonquiere.com/pdf/documentation_pdf/Manuel2.PDF page consultée le 28 janvier 2010.
- Zip du sud de l'estuaire, (2005), Caractérisation de la frayère à éperlans arc-en-ciel et du bassin versant de la rivière Trois-Pistoles *in* Zip du sud de l'estuaire, [en ligne]. http://www.zipsud.org/files/rapport_final_eperlan.pdf page consultée le 25 février 2010.

ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Global Reporting Initiative (2006), Indicateurs et protocoles : environnement (EN) version 3.0 *in* Global Reporting Initiative, [en ligne]. http://www.globalreporting.org/NR/rdonlyres/C5E61A92-7CE0-403C-B9EC-7BABC182FDA8/2665/G3_FR_IP_EN_Final_with_cover.pdf (page consultée le 7 janvier 2010).
- Golder Associés (s.d.), Outils d'analyse de développement durable pour les projets de réhabilitation, notes de cours pour le cours Application du développement durable, mai 2009, Université de Sherbrooke.
- Office québécois de la langue française (2010), Le grand dictionnaire terminologique *in* Office québécois de la langue française, [en ligne]. <http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/gdt.html> (page consultée le 20 janvier 2010).
- Syndicat mixte du bassin versant de la Touques (s.d.), Suivi et évaluation de l'effet des travaux sur les cours d'eau *in* Syndicat mixte du bassin versant de la Touques, [en ligne]. http://www.smbvt.fr/media/suivieteval_098795400_1218_19032009.pdf (page consultée le 7 janvier 2010).

ANNEXE 2 : EXEMPLES DE TAUX D'ÉROSION MESURÉ DU ST-LAURENT

(Source : BERNATCHEZ et DUBOIS , 2004)

Taux d'érosion du littoral de l'estuaire moyen du Saint-Laurent

Secteurs	Érosion annuelle moyenne (m)	Type de milieu	Période	Technique utilisée ¹	Références
Côte nord					
Anse aux Canards	4,9	Schorre inférieur	1963-1972	Photographies	Allard, 1981
Anse aux Canards	2,7	Schorre inférieur	1972-1978	Photographies	Allard, 1981
Sainte-Anne-de-Beaupré	1	Schorre supérieur	1992-1998	Piquets	Dionne, 2000
Sainte-Anne-de-Beaupré	0,7 à 2,3	Schorre supérieur	1992-1996	Piquets	Dionne, 2001a
Cap-Tourmente	Maximum : 2 <3 à >5	Schorre supérieur Schorre supérieur	1964-1981 1981-1983	Photographies Piquets	Troude et Sérodes, 1985
Cap-Tourmente	1,8	Schorre supérieur	1964-1981	Photographies	Dionne, 1986
Petite-Rivière	0,4 à 0,9	Basse falaise	Inconnu	Mesures directes	Dionne, 1996c
Petite-Rivière	1 à 1,25	Basse falaise	env. 1800-2000	Données historiques et mesures directes	Dionne, 1996c
Petite-Rivière	0,8 à 1,5	Basse falaise	1982-1995	Mesures directes	Dionne, 1996c
Petite-Rivière	0 à 1,1 (moyenne : 0,45)	Basse falaise	1986-1987	Piquets	Dionne, 1996c
Saint-Joseph-de-la-Rive	1,15	Schorre supérieur	1964-1985	Photographies	Quilliam et Allard, 1989
Pointe aux Alouettes	0,5 à 1,5	Basse falaise	1984-1986	Photographies et mesures directes	Dionne, 1996a
Pointe aux Alouettes	4,5	Basse falaise	1966-1987	Photographies et mesures directes	Dionne, 1996a
Pointe aux Alouettes	0,9	Basse falaise	1988-1991	Photographies et mesures directes	Dionne, 1996a
Pointe aux Alouettes	1	Basse falaise	1960-1990	Photographies et mesures directes	Dionne, 1996a
Côte sud					
Montmagny—Cap-Saint-Ignace	1	Schorre supérieur	1984-1986	Piquets	Dionne, 1986
Montmagny	1,5 à 3,5	Schorre supérieur	10 ans	Piquets	Dionne, 1985a
Montmagny	1,3	Schorre supérieur	1984-1986	Piquets	Dionne, 1986
Montmagny	1,7	Schorre supérieur	1996-1999	Piquets	Dionne et Bouchard, 2000
Montmagny	1,4 à 3,8	Schorre supérieur	1996-1999	Piquets	Dionne, 2001a
Aéroport Montmagny	2	Falaise	1984-1999	Mesures directes	Dionne, 1999
Rivière-du-Loup	2 à 4	Schorre supérieur	1984-1986	Piquets	Dionne, 1986
Rivière-du-Loup	1,25 à 5,2 (moyenne : 1,9)	Schorre supérieur	1982-1984	Piquets	Denis, 1987
Estuaire moyen	0,1 à 1,7	Milieus variés	Inconnu	Inconnu	Argus, 1989

1. Photographies : photographies aériennes multidates.

Source : BERNATCHEZ et DUBOIS , 2004

**ANNEXE 3 : ESSENCES DE VÉGÉTAUX RECOMMANDÉES POUR LA
VÉGÉTALISATION**

(Source : Morin, 2003)

Essences de végétaux recommandées pour la végétalisation

Strate	Nom commun	Nom latin	Sol	
Herbacée	Pâturin du Canada 25%	<i>Poa compressa</i>	Sec	
	Fétuque rouge traçante 20%	<i>Festuca rubra</i>		
	Phléole des prés (Mil) 20%	<i>Phleum pratense</i>		
	Agropyre de Sibérie 15%	<i>Agropyron cristatum</i>		
	Trèfle blanc 10%	<i>Trifolium repens</i>		
	Mélicot blanc 10 %	<i>Melilotus alba</i>		
	Pâturin du Canada 25%	<i>Poa compressa</i>	Humide	
	Agrostide blanche 20%	<i>Agrostis alba</i>		
	Phléole des prés (Mil) 20%	<i>Phleum pratense</i>		
	Phalaris roseau 15%	<i>Phalaris arundinacea</i>		
	Trèfle blanc 10%	<i>Trifolium repens</i>		
	Mélicot blanc 10 %	<i>Melilotus alba</i>		
	Arbustive	Amélanchier du Canada	<i>Amelanchier canadensis</i>	Sec
		Amélanchier glabre	<i>Amelanchier laevis</i>	Sec
Aulne crispé		<i>Alnus crispa</i>	Sec	
Aulne rugueux		<i>Alnus rugosa</i>	Humide	
Cerisier de Virginie		<i>Prunus virginiana</i>	Sec	
Chalef argenté (Chalef changeant)		<i>Elaeagnus commutata</i>	Sec	
Cornouiller stolonifère		<i>Comus stolonifera</i>	Humide	
Myrique baumier		<i>Myrica gale</i>	Humide	
Parthénocisse à cinq folioles		<i>Pathenocissus quinquefolia</i>	Sec	
Physocarpe à feuilles d'obier		<i>Physocarpus opulifolius</i>	Sec	
Potentille frutescente		<i>Potentilla fruticosa</i>	Sec	
Saules arbustifs (plusieurs espèces)		<i>Salix sp.</i>	Humide	
Shepherdie du Canada		<i>Shepherdia canadensis</i>	Sec	
Spirée à larges feuilles		<i>Spiraea latifolia</i>	Humide	
Sumac vinaigrier		<i>Rhus typhina</i>	Sec	
Sureau du Canada	<i>Sambucus canadensis</i>	Humide		
Arborescente	Chêne rouge	<i>Quercus rubra</i>	Sec	
	Épinette blanche	<i>Picea glauca</i>	Sec	
	Érable à Giguère	<i>Acer negundo</i>	Humide	
	Érable argenté	<i>Acer saccharinum</i>	Humide	
	Érable rouge	<i>Acer rubrum</i>	Humide	
	Frêne noir	<i>Fraxinus nigra</i>	Humide	
	Frêne rouge	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Humide	
	Thuja occidental	<i>Thuja occidentalis</i>	Humide	
	Tilleul d'Amérique	<i>Tilia americana</i>	Sec	

Source : Morin, E., (2003)

**ANNEXE 4 : ILLUSTRATIONS DE DIVERSES MÉTHODES DE RESTAURATION
DES BERGES**

(Source : MDDEP, 2005)

Figure A.1 : Illustration de la méthode des rangs de plançon

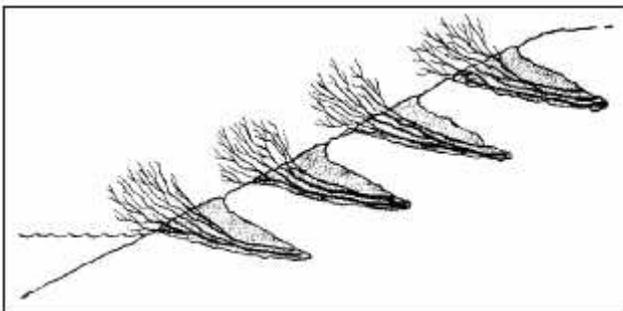
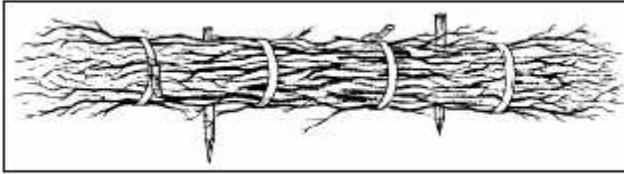


Photo : Argus

Après avoir été enfouis dans le sol, les plançons sont taillés.

Source : MDDEP (2005)

Figure A.2 : Illustration de la méthode des fagots



Les fagots sont déposés dans une tranchée et fixés au sol à l'aide de tiges métalliques.

Source : MDDEP (2005)

Figure A.3 : Illustration de la méthode des fascines

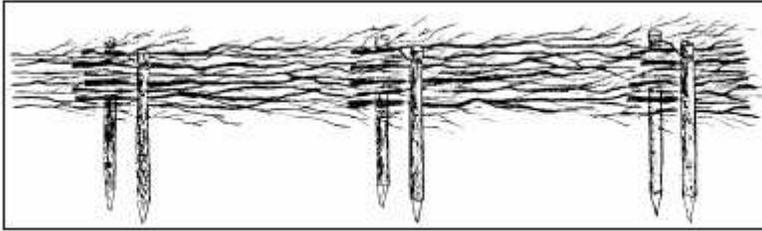
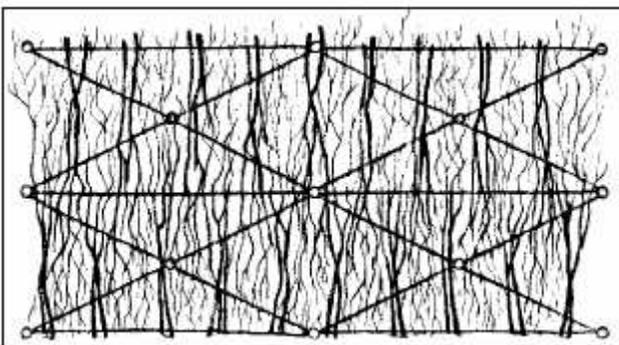
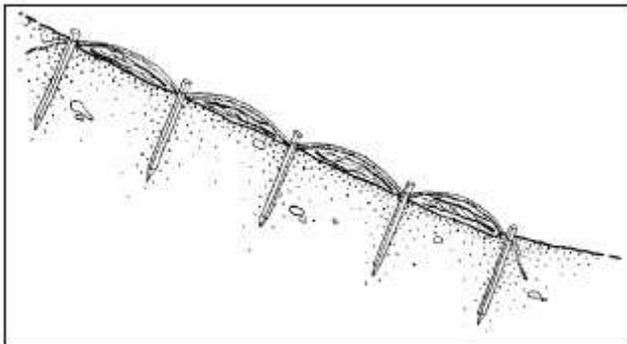


Photo : Argus

Généralement, une seule rangée de fascines est appliquée dans le bas d'un talus

Source : MDDEP (2005)

Figure A.4 : Illustration de la méthode des matelas de branches



Source : MDDEP (2005)

Figure A.5 : Illustration de la méthode des caissons



Source : MDDEP (2005)

ANNEXE 5 : GRILLE D'ÉTAT

(aussi sous forme de chiffrier Excel disponible auprès de l'auteure
mahepa667@hotmail.com)

Grille d'état

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation
État environnemental et physique	Qualité de l'eau	Taux de MES	mg/l	échantillon et analyse de laboratoire	N/A	taux naturel inférieur à 250 mg/l	N/A
						taux naturel supérieur à 250 mg/l	aucune action à envisager actions préventives peuvent être nécessaires
						variation inférieure à 25 mg/l (crue) variation supérieure à 25 mg/l (crue)	aucune action à envisager actions préventives peuvent être nécessaires
	Température de l'eau	degré celcius	mesure sur le terrain	N/A	Température printemps et automne < 15 Température printemps et automne > 15	aucune action à envisager actions préventives peuvent être nécessaires	
	taux d'oxygène dissous dans l'eau	mg/l	échantillon et analyse de laboratoire	N/A	taux < 4 mg/l à 25 degrés C taux < 4 mg/l à 20 degrés C taux < 5 mg/l à 15 degrés C taux < 5 mg/l à 10 degrés C taux < 6 mg/l à 5 degrés C	actions préventives peuvent être nécessaires actions préventives peuvent être nécessaires actions préventives peuvent être nécessaires actions préventives peuvent être nécessaires actions préventives peuvent être nécessaires	
	concentration de pesticides	µg/l	échantillon et analyse de laboratoire	concentration < critère qualité de l'eau de surface pour les pesticides concentration > critère qualité de l'eau de surface pour les pesticides	aucune action à envisager restauration des berges à envisager	N/A	

Grille d'état (suite)

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation
État environnemental et physique	concentration phosphore dissous		mg/l	échantillon et analyse de laboratoire		concentration < 0,02 mg/l	aucune action à envisager
						concentration > 0,02 mg/l	restauration des berges à envisager
						N/A	N/A
	concentration nitrate		mg/l	échantillon et analyse de laboratoire		concentration < 2,9 mg/l	aucune action à envisager
						concentration > 2,9 mg/l	restauration des berges à envisager
						N/A	N/A
	cyanobactéries	cellule/ml et microcystine µg/l	échantillon et analyse de laboratoire		comptage cyanobactéries > 100 000 cellules / ml	restauration des berges à envisager	
					concentration microcystine > 25 µg/l	restauration des berges à envisager	
						N/A	N/A
							actions préventives peuvent être nécessaires
Habitat pour la faune	Inventaire des frayères		dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain	Absence de frayère	aucune action à envisager	
					Augmentation ou stabilité du nombre de frayères	aucune action à envisager	
					Diminution du nombre de frayères	restauration des berges à envisager	
					N/A	N/A	
					Présence de frayères	actions préventives peuvent être nécessaires	
Inventaire des sites de nidification	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain		Absence de site de nidification	aucune action à envisager		
				Augmentation ou stabilité du nombre de sites de nidification	aucune action à envisager		
				Diminution du nombre de sites de nidification	restauration des berges à envisager		
					N/A	N/A	
					Présence de sites de nidification	actions préventives peuvent être nécessaires	

Grille d'état (suite)

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation
État environnemental et physique	Habitat pour la faune	Inventaire des espèces menacées et vulnérables	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain	Absence d'espèces menacées ou vulnérables	Aucune action à envisager	aucune action à envisager
					Augmentation ou stabilité du nombre d'espèces menacées ou vulnérables	restauration des berges à envisager	
					N/A		N/A
					Présence d'espèces menacées ou vulnérables	actions préventives peuvent être nécessaires	
État environnemental et physique	Habitat pour la flore	Inventaire des habitats menacés et vulnérables	dénombrement par un biologiste	observation sur le terrain	diminution du nombre d'habitat floristique	restauration des berges à envisager	restauration des berges à envisager
					stabilité du nombre d'habitat floristique	N/A	
					Présence d'espèces menacées ou vulnérables	actions préventives peuvent être nécessaires	
					Présence d'espèces menacées ou vulnérables	actions préventives peuvent être nécessaires	
État environnemental et physique	Érosion des sols et végétation	Indice de la qualité de la bande riveraine (IQBR)	Indice	Inventaire et calcul de l'indice	indice < 30	restauration des berges à envisager	restauration des berges à envisager
					indice > 60	aucune action à envisager	
					indice entre 30 et 60	actions préventives peuvent être nécessaires	
					N/A		N/A

Grille d'état (suite)

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation
État environnemental et physique	Érosion des sols et végétation	proposition de sol à nu sur la rive	% de sol nu / km de rive	observation sur le terrain	0 - 10%	aucune action à envisager	aucune action à envisager
					10 - 20%	actions préventives peuvent être nécessaires	
					20% et plus	restauration des berges à envisager	
					N/A	N/A	
État économique	Perte de terrain	Recul de la position de la rive	m ou cm / an	piquet sur le terrain ou photo aérienne	aucune variation	aucune action à envisager	aucune action à envisager
					N/A	N/A	
					perte de 10 cm par année et moins	actions préventives peuvent être nécessaires	
					perte de plus de 10 cm par année	restauration des berges à envisager	
					aucune variation	aucune action à envisager	
					N/A	N/A	
État économique	Perte de valeur foncière	Perte de valeur foncière	\$ perdu selon valeur du terrain au m ²	mesure sur le terrain et évaluation municipale	aucune perte	aucune action à envisager	aucune action à envisager
					entre 0 et 1000\$	actions préventives peuvent être nécessaires	
					plus de 1000\$	restauration des berges à envisager	
					N/A	N/A	

Grille d'état (suite)

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation	
État économique	Entretien des cours d'eau	coût annuel de dragage d'entretien voie maritime	\$ / an	donnée voie maritime du St-Laurent		coût d'entretien en croissance	restauration des berges à envisager	
						coût d'entretien en diminution	aucune action à envisager	
				N/A			N/A	
		entretien des quais et marina		\$ / an	donnée exploitant quai et marina		coût d'entretien en croissance	restauration des berges à envisager
						coût d'entretien en diminution	aucune action à envisager	
						N/A		N/A
		entretien fossé agricole		Fréquence requise des entretiens	donnée entrepreneur agricole		Fréquence d'entretien annuelle ou moindre requise	restauration des berges à envisager
						Fréquence d'entretien aux 2 ans requise	actions préventives peuvent être nécessaires	
						Fréquence d'entretien supérieure aux 2 ans requise	aucune action à envisager	
						N/A		N/A
Activité économique	Diminution des succès de pêche commerciale		revenu pêcheur / saison	statistique Canada, MAPAQ		Diminution des revenus	actions préventives peuvent être nécessaires	
							N/A	
		Diminution du tourisme		entrée sur un site ou nuitée / année	statistique Canada		Revenus stables ou à la hausse	aucune action à envisager
							Diminution des entrées ou nuitées	actions préventives peuvent être nécessaires
							N/A	N/A
	Diminution du tonnage des bateaux sur la voie		Variation du tonnage maximal permis	donnée voie maritime du St-Laurent		Nuités et entrées stables ou à la hausse	aucune action à envisager	
						N/A	N/A	
						Tonnage permis à la baisse	restauration des berges à envisager	
						Tonnage permis stable ou à la hausse	aucune action à envisager	

Grille d'état (suite)

Sphère du DD	Paramètre	Indicateur	Unité ou moyen de mesure	Façon de mesurer	Valeur exacte	Plage de valeur	Niveau de perturbation
État social	Perte d'usage	Restriction d'activités sur les plans d'eau	jour / année de restriction sur un plan	MDDEP et municipalité		Aucune restriction	aucune action à envisager
						Entre 1 et 5 jours / an	actions préventives peuvent être nécessaires
						N/A	N/A
	Fermeture de plage		jour / année de fermeture de plage	MDDEP et municipalité		Plus de 5 jours / an	restauration des berges à envisager
						Aucune restriction	aucune action à envisager
						Entre 1 et 5 jours / an	actions préventives peuvent être nécessaires
						N/A	N/A
	Perte d'accès à l'eau	dénombrement des pertes d'accès	municipalité			Plus de 5 jours / an	restauration des berges à envisager
						1 perte d'accès ou plus	restauration des berges à envisager
						aucune perte d'accès	aucune action à envisager
					N/A	N/A	
Diminution des succès de pêche sportive	nombre de prise / an	MRNF			Aucune diminution	aucune action à envisager	
					Diminution	actions préventives peuvent être nécessaires	
					N/A	N/A	
Perte d'usage d'une propriété privée	dénombrement pour un secteur	municipalité			1 perte d'habitation ou plus	restauration des berges à envisager	
					aucune perte d'habitation	aucune action à envisager	
					N/A	N/A	

ANNEXE 6 : GRILLE DES MÉTHODES

(aussi sous forme de chiffrier Excel disponible auprès de l'auteure
mahepa667@hotmail.com)

Grille des méthodes

Sphère du DD	Paramètre	Végétalisation	Rang de plançon	Fagots	Fascines	Matelas de branche	Caissons	Enrochement
Technique	conditions d'utilisation	Pour érosion faible peut atteindre 2H:1V	Pour érosion moyenne peut atteindre 1H:1V	Pour érosion moyenne peut atteindre 1H:1V	Pour érosion sévère peut atteindre 1H:1V	Pour érosion sévère peut atteindre 1H:1V	Pour érosion sévère peut atteindre 1H:2V	Pour érosion sévère peut atteindre 1H:1V
	pente maximale	0	1	1	2	1	1.5	1
Ressources et environnement	total Technique	0	2	2	3	3	3.5	3
	total Technique / 4	0	2	2	3	3	3.5	3
	Provenance du matériel	sur le site + du manufacturier	sur le site ou à proximité	sur le site ou à proximité	sur le site ou à proximité	sur le site ou à proximité	sur le site + du manufacturier	1 manufacturier
	Utilisation machinerie (combustible fossile)	pas du tout	un peu	un peu	un peu	pas du tout	en continu	0 en continu
	Génération de déchets	pas du tout	un peu	un peu	un peu	pas du tout	un peu	2 pas du tout
	Conservation des écosystèmes	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	2 défavorable
	Préservation de la qualité de l'eau	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	favorable	2 défavorable
	total environnement /10	9	8	8	8	8	10	6
Social	total environnement pondéré / 40	36	32	32	32	40	24	8
	Sécurité lors des travaux	aucun risque lors des travaux	aucun risque lors des travaux	aucun risque lors des travaux	aucun risque lors des travaux	aucun risque lors des travaux	un peu de risque lors des travaux	un peu de risque lors des travaux
	Nuisance lors des travaux	peu	peu	peu	peu	peu	peu	beaucoup
	total social / 4	4	4	4	4	4	3	1
Économie	total social pondéré / 20	20	20	20	20	20	15	5
	Coût	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	50 000 - 500 000 \$
	Entretien anticipé	pas du tout	pas du tout	pas du tout	pas du tout	pas du tout	un peu	un peu
	Expertise requise	pas du tout	un peu	un peu	un peu	un peu	beaucoup	beaucoup
total économique / 6	5	4	4	4	4	4	2	1
total économique pondéré / 40	33	27	27	27	27	27	13	7
TOTAL 3 sphères du DD / 100	89	79	79	79	79	87	52	20

Sphère du DD	Paramètre	Muret de bloc ou béton	Gabions	Matelas de béton	Pailis artificiel	Rechargement de plage	Undercurrent Stabilizer™
Technique	conditions d'utilisation	2	2	2	2	N/A	N/A
	pente maximale	2	1.5	1	1	N/A	N/A
Ressources et environnement	total Technique / 4	4	3.5	3	3		/ 4
	total Technique / 4	4	3.5	3	3		
	Provenance du matériel	0	1	0	0	sur le site ou à proximité	1
	Utilisation machinerie (combustible fossile)	0	0	0	1	en continu	0
	Génération de déchets	1	1	1	1	pas du tout	1
	Conservation des écosystèmes	0	2	2	2	favorable	2
	Préservation de la qualité de l'eau	0	2	2	2	favorable	2
	total environnement / 10	1	6	5	6		8
	total environnement pondéré / 40	4	24	20	24		32
	Sécurité lors des travaux	1	1	1	2	aucun risque lors des travaux	1
Nuisance lors des travaux	0	0	2	2	peu	2	
Social	total social / 4	1	1	3	4		3
	total social pondéré / 20	5	5	15	20		15
Économie	Coût	50 000 - 500 000 \$	50 000 - 500 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$	5000 - 50 000 \$
	Entretien anticipé	1	2	2	2	beaucoup	2
Expertise requise	total économique / 6	1	2	3	4		3
	total économique pondéré / 40	7	13	20	27		20
	TOTAL 3 sphères du DD / 100	16	42	55	71		59