



Effacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives

Émilie Gagnon, M. Sc. (Sols et environnement), Direction des politiques en milieu terrestre, et Georges Gangbazo, ingénieur, Ph. D., Direction des politiques de l'eau

À l'instar d'autres gouvernements, le Québec a adopté la gestion intégrée de l'eau par bassin versant et en a fait l'une des pierres d'assise de la Politique nationale de l'eau, lancée le 26 novembre 2002 (ministère de l'Environnement, 2002). Soulignons que dans cette politique, le terme *eau* est utilisé dans un sens large, car le texte fait référence à l'eau et aux écosystèmes associés. Il s'agit donc de résoudre les problèmes liés à l'eau, mais aussi ceux qui sont liés aux écosystèmes qui dépendent de l'eau directement ou indirectement. Citons les écosystèmes aquatiques, terrestres et riverains.

Dans le but d'étendre progressivement la gestion intégrée de l'eau par bassin versant à l'ensemble du territoire québécois, le gouvernement a retenu, dans une première étape, 33 bassins versants prioritaires. La mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau dans chacun de ces bassins versants a été confiée à un *Organisme de bassin versant*, une table de concertation à laquelle siègent des représentants des acteurs de l'eau (usagers et gestionnaires de l'eau présents sur le territoire du bassin versant) et de la société civile. Les municipalités locales et chaque municipalité régionale de comté (MRC) sont représentées au conseil d'administration des organismes de bassin versant. Les représentants gouvernementaux sont membres à part entière de ces organismes, mais ils n'ont pas le droit de vote.

Le mandat principal d'un organisme de bassin versant consiste à élaborer un plan directeur de l'eau pour le bassin versant, de consulter les résidents du bassin versant sur le contenu de ce plan et d'en coordonner la mise en œuvre. Cela signifie que c'est aux acteurs de l'eau – les élus municipaux et le gouvernement, entre autres – qu'il revient de mettre en œuvre les projets qui vont permettre de corriger la plupart des problèmes diagnostiqués dans un bassin versant. La Politique nationale de l'eau prévoit d'ailleurs que « chaque municipalité et municipalité régionale de comté propose dans le plan directeur de l'eau des actions à inscrire à ses plans et règlements d'urbanisme ou à son schéma d'aménagement ».

Le plan directeur de l'eau est un document stratégique de très grande importance pour la gestion de l'eau. On y trouve, entre autres, une présentation des problèmes d'ordre hydrique et environnemental ainsi que les solutions envisagées, notamment en matière de protection, de restauration et de mise en valeur de l'eau, pour atteindre les objectifs fixés de manière concertée par les acteurs de l'eau. Les bandes riveraines font partie des solutions, étant donné qu'elles diminuent généralement les apports de contaminants (sédiments, azote, phosphore et autres) par les eaux de ruissellement. Elles constituent aussi un habitat qui favorise la présence d'une faune aquatique et terrestre diversifiée. L'encadré 1, à la page 2, explique brièvement les étapes d'élaboration d'un plan directeur de l'eau.

Au cours des dernières années, plusieurs acteurs de l'eau (citoyens, groupes environnementaux, etc.) ont profité de certaines tribunes pour exprimer leurs préoccupations quant à la protection, souvent jugée insuffisante, des rives, des lacs et des cours d'eau. Citons les travaux du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement portant sur la gestion de l'eau en 1999 et ceux portant sur le développement durable de la production porcine en 2003. Plusieurs organismes de bassin versant sont aussi préoccupés par la dégradation de l'état des bandes riveraines et proposent, dans leur plan directeur de l'eau, des mesures visant

à les protéger ou à favoriser leur restauration, selon le cas. Certains acteurs proposent même la végétalisation de bandes riveraines comme solution pour contrer les épisodes de cyanobactéries observées dans certains lacs et cours d'eau depuis quelques années. La restauration ou la protection des bandes riveraines semble donc susciter un large consensus au sein de la population. Toutefois, dans le contexte de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, dans quelle mesure les bandes riveraines peuvent-elles jouer les rôles que la documentation leur attribue?

Encadré 1 Étapes d'élaboration d'un plan directeur de l'eau

L'élaboration d'un plan directeur de l'eau est basée sur le *cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant*. Celui-ci comprend les six étapes suivantes :

1. Analyse du bassin versant (portrait et diagnostic)
2. Détermination des enjeux et des orientations
3. Détermination des objectifs et choix des indicateurs
4. Élaboration d'un plan d'action
5. Mise en œuvre du plan d'action
6. Suivi et évaluation du plan d'action

Dans le déroulement normal d'un projet de gestion intégrée de l'eau par bassin versant, les quatre premières étapes du cycle donnent lieu à un rapport, lequel est appelé, dans le contexte québécois, *plan directeur de l'eau*. Chaque génération de plan directeur de l'eau, c'est-à-dire chaque cycle de gestion, ou encore, l'élaboration du plan directeur de l'eau, la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation du plan d'action, est un processus qui dure de six à huit ans, selon les organismes de bassin versant. Décrivons brièvement les quatre étapes d'élaboration d'un plan directeur de l'eau.

Analyse de bassin versant L'analyse de bassin comporte deux parties, soit le portrait du bassin versant et le diagnostic des ressources en eau. Le portrait est une description de toutes les caractéristiques du bassin versant qui peuvent avoir un intérêt pour la gestion intégrée de l'eau. Il vise à situer le bassin versant dans son environnement physique, économique et social. Ainsi, la plupart des problèmes qui touchent les ressources en eau étant causés par certaines modalités d'aménagement du territoire, le portrait expose les causes des problèmes liés à l'eau et aux écosystèmes associés. Pour sa part, le diagnostic est une étude des problèmes liés à l'eau et aux écosystèmes associés. Ces problèmes peuvent avoir trait aux eaux de surface (quantité, qualité), aux eaux souterraines (quantité, qualité), à l'eau potable, aux habitats aquatiques et riverains, aux milieux humides, etc. Contrairement au portrait qui expose les causes des problèmes, le diagnostic expose les problèmes et leurs effets, puis il établit des relations entre les causes et les effets. L'objet du diagnostic est de développer une compréhension approfondie de chacun des problèmes pour aider à déterminer facilement les solutions susceptibles de les résoudre de la façon la plus durable possible.

Détermination des enjeux et des orientations Les enjeux peuvent être interprétés comme étant les préoccupations majeures des acteurs de l'eau ou comme les défis fondamentaux de gestion de l'eau que l'organisme de bassin versant doit relever dans le contexte de sa mission. Les enjeux, c'est aussi ce que l'on risque de perdre (si on laisse la situation actuelle se perpétuer) ou de gagner (si on effectue les corrections appropriées). Ils peuvent concerner notamment l'utilisation de la ressource, sa mise en valeur, sa protection ou sa restauration. Les orientations sont les grandes pistes d'action qui peuvent permettre de résoudre les problèmes qui touchent les enjeux.

Détermination des objectifs et choix des indicateurs Les objectifs expriment quantitativement le résultat que les actions que l'organisme de bassin versant s'apprête à prendre devraient produire à un endroit donné, dans un délai donné, pour que les conditions désirées (par exemple, l'atteinte d'une concentration de sédiments dans une rivière) se réalisent. Les indicateurs sont des mesures qui seront utilisées pour évaluer la capacité du projet à atteindre les objectifs fixés.

Élaboration d'un plan d'action Le plan d'action présente les solutions, les projets ou les activités qui permettront d'atteindre les objectifs fixés préalablement, les coûts et les échéanciers de réalisation, les maîtres d'œuvre des projets (municipalités, MRC, industriels, producteurs agricoles, ministères du gouvernement, etc.), les sources de financement, etc.

Source : Gangbazo (2006)

La présente fiche vise trois objectifs : 1° résumer la documentation scientifique relative à l'efficacité des bandes riveraines à réduire les apports de certains contaminants dans l'eau de ruissellement (fonction d'assainissement) et à protéger les habitats aquatiques et riverains (fonction écologique); 2° déterminer dans quelle mesure on peut se fier aux bandes riveraines pour résoudre les problèmes liés à l'eau et aux écosystèmes associés; 3° faire connaître la politique et le programme existants relatifs aux bandes riveraines.

1 Considérations générales

1.1 Définition

On appelle *bande riveraine*, un couvert végétal permanent composé d'un mélange de plantes herbacées, d'arbustes et d'arbres adjacents à un cours d'eau ou à un lac. Les bandes riveraines assurent la transition entre les écosystèmes aquatiques et terrestres. Parce qu'elles font la jonction entre ces deux milieux différents et qu'elles subissent de nombreuses perturbations naturelles, les bandes riveraines sont particulièrement dynamiques et diversifiées. Cette grande diversité s'explique par la juxtaposition de trois écosystèmes (aquatique, riverain et terrestre) sur une superficie relativement restreinte, par la présence d'eau, de nourriture et d'un couvert protecteur, par la diversité de structure de la végétation, par l'importance de l'effet de lisière créé par les écotones et par la variabilité des conditions au gré des saisons. On doit toutefois noter que pour jouer pleinement ces rôles, les bandes riveraines doivent être suffisamment larges, comporter trois strates – herbacée, arbustive et arborescente – et être composées d'espèces indigènes.

Les bandes riveraines peuvent remplir plusieurs fonctions importantes que nous regroupons en deux classes, soit la prévention ou la réduction de la contamination de l'eau (fonction d'assainissement) et la protection des habitats aquatiques et riverains (fonction écologique). Les bandes riveraines représentent à la fois un habitat pour la faune et la flore, un écran contre le réchauffement excessif de l'eau, une barrière contre

les apports de sédiments dans les plans d'eau, un rempart contre l'érosion des sols et des rives, un régulateur du cycle hydrologique, un filtre contre la pollution de l'eau et un brise-vent naturel. Elles jouent également un rôle important dans la protection de la qualité esthétique du paysage.

1.2 Pourquoi faut-il contrôler les apports de contaminants dans les milieux aquatiques?

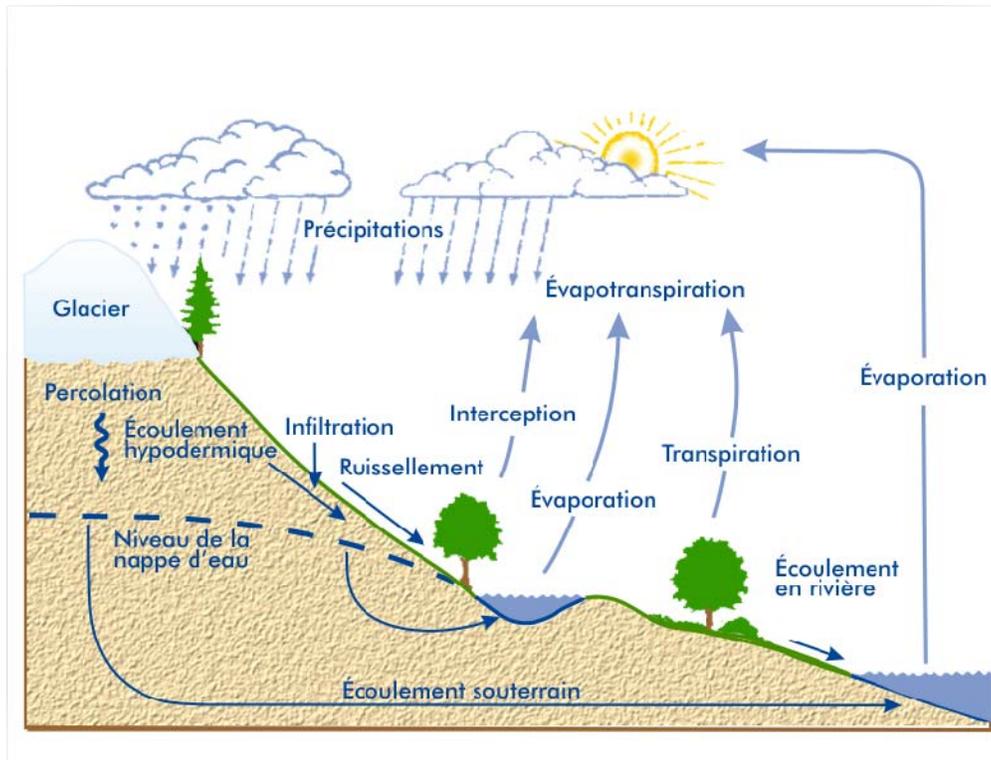
La figure 1, à la page 4, présente le cycle de l'eau (ou *cycle hydrologique*), c'est-à-dire le mouvement constant de l'eau (eau de surface et eau souterraine) de la terre à l'atmosphère, par évaporation et transpiration, et de l'atmosphère à la terre, sous différentes formes de précipitations. La chaleur du soleil fait évaporer l'eau de la surface de la végétation, du sol ou des plans d'eau (fleuves, lacs, océans, etc.); cette eau se trouve à l'état gazeux dans l'atmosphère. La vapeur d'eau se condense au contact des masses d'air froid, ce qui entraîne la formation de nuages, lesquels apportent des précipitations sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

Une précipitation qui tombe dans un bassin versant peut emprunter trois voies :

1. une partie est interceptée par la végétation et s'évapore ou transpire vers l'atmosphère;
2. une partie est emmagasinée dans la glace, l'eau souterraine ou les milieux humides pour une période de temps variable;
3. une partie ruisselle à la surface du sol ou pénètre dans le sol et s'écoule vers le réseau hydrographique (ruisseaux, rivières, etc.) pour ensuite retourner à l'océan.

L'eau de ruissellement est en contact avec une mince couche de la surface du sol (1,5 mm à 3 mm), entraînant avec elle une partie des contaminants qui s'y trouvent. Citons les sédiments, les éléments nutritifs, les bactéries, les métaux et les sels. Pour sa part, l'eau qui s'infiltré dans le sol entraîne une partie des éléments nutritifs solubles dans l'eau, en particulier les nitrates et les pesticides solubles dans l'eau.

Figure 1 Schéma du cycle de l'eau



Les apports de contaminants dans les milieux aquatiques constituent souvent un problème environnemental, car la concentration de la plupart des contaminants s'élève parfois à des niveaux qui sont toxiques pour la vie aquatique. En outre, plusieurs de ces contaminants sont persistants et bio-accumulables, ce qui signifie qu'ils peuvent entraîner des effets nuisibles sur tous les maillons de la chaîne alimentaire. D'autres contaminants, comme les substances nutritives (azote, phosphore, etc.) interfèrent avec l'équilibre naturel des écosystèmes lorsqu'ils sont présents en concentrations élevées. Certains contaminants peuvent altérer le goût, l'odeur ou la couleur de l'eau ou augmenter les coûts associés à la production de l'eau potable. Présentons brièvement le cas des sédiments, de l'azote et du phosphore.

Les sédiments sont des contaminants en soi. De plus, plusieurs contaminants chimiques toxiques peuvent se fixer aux sédiments, puis être transportés et déposés

dans un autre milieu. Les sédiments en suspension dans l'eau peuvent avoir des effets directs sur les poissons. Citons l'irritation des branchies, ce qui peut entraîner leur mort et la destruction de la muqueuse protectrice couvrant les yeux et les écailles qui rend les poissons vulnérables à l'infection et aux maladies. De plus, la sédimentation compromet la survie des invertébrés benthiques qui servent de nourriture aux poissons.

Les sédiments ont aussi des effets hydrauliques importants en rehaussant le lit des cours d'eau et en formant des dépôts d'alluvions sur les rives convexes et à l'embouchure. Pendant les crues, le rehaussement du lit et les dépôts d'alluvions peuvent nuire à l'écoulement de l'eau, empêcher l'évacuation normale des glaces pendant la débâcle et même provoquer des inondations en amont. À moyen terme, c'est tout le régime hydraulique du cours d'eau qui risque d'être modifié. Lorsque l'eau est prélevée dans les cours d'eau et les lacs à

des fins domestiques, industrielles ou agricoles, les sédiments peuvent user les pompes et les turbines, ce qui accroît les coûts d'entretien de ces équipements.

L'azote est présent dans les plans d'eau sous plusieurs formes, à savoir l'azote organique, l'azote ammoniacal (N-NH₃), les nitrites (N-NO₂) et les nitrates (N-NO₃). La somme de ces quatre formes donne l'azote total.

L'azote est, pour l'essentiel, transporté dans les rivières sous la forme la plus oxydée – les nitrates. L'azote ammoniacal se trouve surtout dans les eaux de surface qu'il atteint par ruissellement. Par contre, les nitrates se trouvent surtout dans les nappes d'eau souterraines qu'ils atteignent par infiltration dans les sols.

La problématique que soulève la présence d'azote dans l'eau dépend de la forme sous laquelle il se trouve (ammoniacale ou nitrates). L'azote ammoniacal peut être toxique pour les poissons, à une certaine concentration. Les hausses imprévues de la concentration d'azote ammoniacal dans l'eau brute d'alimentation humaine augmentent les risques pour la santé publique, car pendant le traitement de l'eau, l'azote ammoniacal réagit avec le chlore pour former des chloramines, lesquelles diminuent l'efficacité du chlore comme désinfectant et donnent un mauvais goût à l'eau.

Les nitrates sont toxiques à de fortes concentrations (> 10 mg N/l). Ils peuvent provoquer des effets toxiques chez les animaux de ferme et chez les nourrissons (enfants de moins de six mois), car ils causent la méthémoglobinémie, communément appelée *syndrome du bébé bleu*. Les nourrissons sont particulièrement sensibles aux nitrates, car les bactéries que l'on trouve dans leur tube digestif peuvent réduire les nitrates en nitrites, lesquels oxydent l'hémoglobine et interfèrent avec la capacité du sang à transporter l'oxygène.

Comme l'azote, le phosphore est aussi présent dans les plans d'eau sous diverses formes, mais les plus importantes sont le phosphore soluble, encore appelé *phosphore dissous*, et le phosphore particulaire.

La somme du phosphore soluble et du phosphore particulaire dans l'eau donne le phosphore total.

Lorsque les activités humaines entraînent le déversement de quantités importantes d'azote et de phosphore dans les plans d'eau, ces éléments stimulent la croissance des algues et des plantes aquatiques, laquelle peut devenir excessive et mener à l'envahissement des milieux aquatiques. Cependant, dans des conditions naturelles, le phosphore est le premier élément nutritif à faire défaut dans la synthèse de nouveaux tissus, ce qui lui vaut le titre de « facteur limitant ». L'envahissement des milieux aquatiques par les algues et les plantes a plusieurs effets négatifs sur les usages de l'eau. Signalons la diminution de la transparence de l'eau, les problèmes de goût, d'odeur et de traitement de l'eau, la diminution de la concentration d'oxygène dans l'eau, la mort des poissons et la diminution de la valeur esthétique des plans d'eau.

On appelle *critères de qualité de l'eau de surface*, les concentrations de contaminants au-delà desquelles des effets nuisibles peuvent être observés. Vous trouverez sur le site Internet du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, à l'adresse http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/index.htm, les critères relatifs à différents paramètres de qualité d'eau. Soulignons que les critères sont utilisés à plusieurs étapes de l'élaboration d'un plan directeur de l'eau. Par exemple, dans le diagnostic des ressources en eau, les critères sont nécessaires pour déterminer les usages de l'eau qui sont compromis ou qui risquent de l'être.

De plus, selon les problèmes qui auront été déterminés dans l'analyse de bassin versant (par exemple, la prolifération d'algues en période d'étiage), l'utilisation des critères permet de calculer la réduction nécessaire des charges du contaminant en cause. Cette information peut être utilisée ensuite pour fixer les objectifs d'assainissement de l'eau et pour déterminer, dans un plan d'action crédible, les solutions qui permettront de résoudre le problème à court ou à long terme. Il peut s'agir de la réduction des charges du contaminant à la source, de la construction d'une station de traitement des eaux usées, du retrait des animaux des

cours d'eau, de certaines pratiques de conservation des sols et d'aménagement forestier, de l'entreposage étanche des fumiers, de la végétalisation de bandes riveraines, de la stabilisation des berges, de l'aménagement de marais filtrants et de bassins de laminage ou d'une combinaison judicieuse de quelques-unes des solutions précédentes. Ainsi, la décision de recommander une solution dans un plan d'action doit être basée sur l'analyse du bassin versant, les enjeux et les objectifs poursuivis.

1.3 Comment les bandes riveraines interagissent-elles avec les contaminants présents dans l'eau de ruissellement?

Le cycle hydrologique a une grande influence sur les bandes riveraines, étant donné qu'il contrôle le mouvement de l'eau dans un bassin versant et sa répartition entre le ruissellement, d'une part, et l'écoulement souterrain, d'autre part. Il contrôle donc en partie les apports d'eau et de contaminants vers les bandes riveraines. Le tableau 1, à la page 7, montre les mécanismes de transport des contaminants, les contaminants transportés et le moment où ces derniers sont transportés vers les lacs et les cours d'eau.

Les bandes riveraines bien constituées freinent le ruissellement de l'eau en augmentant la rugosité de la surface du sol. Cela force l'eau chargée de sédiments et d'autres contaminants, dont les éléments nutritifs (azote et phosphore), les pesticides et les microorganismes pathogènes, à s'infiltrer dans le sol. La végétation riveraine joue ainsi le rôle d'une barrière contre l'apport excessif de sédiments, en assurant leur rétention en milieu terrestre. Les sédiments, le phosphore et l'azote associé à la matière organique ont tendance à se déposer sur la bande riveraine alors que les contaminants solubles dans l'eau ont tendance à s'infiltrer dans le sol, sous la bande riveraine. Avec le temps, une partie des nitrates est assimilée par la végétation de la bande riveraine, une autre partie est dénitrifiée et perdue dans l'atmosphère alors que le reste est entraîné vers les rivières ou vers la nappe phréatique. De la même façon que pour les nitrates, une partie du phosphore est assimilée

par la végétation de la bande riveraine. Cependant, selon la composition du sol, l'autre partie peut se fixer sur les sites d'adsorption du phosphore, ce qui provoque à long terme l'accumulation de phosphore sous la bande riveraine, suivie d'une désorption. La désorption du phosphore diminue l'efficacité de la bande riveraine, car elle provoque l'augmentation de la concentration de phosphore dans l'eau de ruissellement.

2 Analyse de la documentation relative à l'efficacité des bandes riveraines

2.1 Fonction d'assainissement

Plusieurs auteurs ont étudié récemment la documentation scientifique relative à l'efficacité des bandes riveraines. Parmi les études les plus exhaustives, citons celles réalisées par Wenger (1999; plus de 140 articles scientifiques et rapports), Mayer et autres (2005; plus de 80), Polyakov et autres (2005; plus de 90) et Vermont Agency of Natural Resources (2005; plus de 150). Nous avons analysé ces documents ainsi que de nombreux autres articles scientifiques que nous citerons au fur et à mesure. Voici les principaux éléments que nous avons retenus.

Les bandes riveraines d'une largeur appropriée retiennent généralement une importante fraction des charges de sédiments, d'azote et de phosphore dans l'eau de ruissellement. Le tableau 2, à la page 7, présente quelques-uns des résultats des travaux de recherche, à titre d'information seulement. L'efficacité à retenir les sédiments et le phosphore augmente en fonction de la largeur de la bande riveraine et diminue selon la pente du terrain (voir le tableau 3, à la page 8). Dans le cas de l'azote, l'efficacité augmente aussi en fonction de la largeur de la bande riveraine, bien que la dénitrification soit le facteur déterminant. L'efficacité d'une bande riveraine diminue lorsque l'écoulement de l'eau se concentre à certains endroits, ce qui crée des voies préférentielles pour le transport de l'eau et des contaminants (Dillaha et autres, 1989; Fabis et autres, 1993; Dosskey et autres, 2002).

Certains auteurs ont noté une diminution des charges de phosphore soluble en même

temps que les charges de phosphore total (Patty et autres, 1997; Daniels et Gilliam, 1996). Par contre, d'autres auteurs (Dillaha et autres, 1989; Duchemin et autres, 2002, McKergow et autres, 2003) ont rapporté des résultats contraires dans certains cas. Bien que les charges de phosphore total aient diminué, les charges de phosphore soluble ont augmenté. Dans le cas du projet réalisé par Dillaha et autres (1989), l'augmentation

de la charge de phosphore soluble est due, en partie, à la désorption du phosphore qui avait été préalablement retenu dans la bande riveraine. Par contre, dans le cas du projet réalisé par McKergow et autres (2003), elle est due, d'une part, à des conditions particulières de sol qui ont favorisé l'écoulement souterrain au détriment du ruissellement et, d'autre part, au fait que les sols soient saturés en phosphore.

Tableau 1 Processus de transport des contaminants vers les eaux de surface, les contaminants transportés et le moment du transport

Processus de transport	Contaminants transportés	Moment du transport
Ruissellement	<ul style="list-style-type: none"> • Formes solubles d'éléments nutritifs et d'autres substances chimiques • Sédiments • Pesticides (liés aux sédiments) • Phosphore particulaire (lié aux sédiments et à la matière organique) • Azote organique (lié aux sédiments) 	Survient lors d'évènements pluviaux au cours desquels l'intensité de la précipitation excède le coefficient d'infiltration ou pendant la fonte des neiges sur un sol gelé.
Écoulement souterrain	<ul style="list-style-type: none"> • Formes solubles d'éléments nutritifs et de substances chimiques (nitrates, phosphore et autres substances) • Pesticides 	Survient lors d'évènements pluviaux au cours desquels l'intensité de la précipitation est inférieure au coefficient d'infiltration. Les nitrates sont transportés surtout à l'automne après les récoltes.

Source : adapté de Muscutt et autres (1993)

Tableau 2 Efficacité de rétention des éléments nutritifs et des sédiments par les bandes riveraines

Auteurs	Lieu	Largeur de la bande riveraine (m)†	Efficacité de rétention (%)			Type d'expérience
			Sédiments	Azote total	Phosphore total	
Dillaha et autres (1989)	États-Unis	4,5	70	54	61	Parcelles expérimentales
		9,1	84	73	79	
Magette et autres (1989)	États-Unis	4,6	66	0	27	Parcelles expérimentales
		9,2	82	48	46	
Dosskey et autres (2002)	États-Unis	35	43	n. d.‡	n. d.	Bassin versant
		12	15	n. d.	n. d.	
		10	23	n. d.	n. d.	
		9	34	n. d.	n. d.	
Daniels et Gilliam (1996)	États-Unis	3-27	80	50	50	Bassin versant
McKergow et autres (2003)	Australie	Variable	90	n. d.	Aucun changement	Bassin versant
Duchemin et autres (2002)	Canada	3-9	87-90	69-96	30-78	Parcelles expérimentales

† Les largeurs de bande indiquées correspondent à un côté du cours d'eau, mesuré à partir de la berge.

‡ Donnée non disponible

Tableau 3 Efficacité de rétention des sédiments par les bandes riveraines en fonction de la pente

Auteurs	Largeur de la bande riveraine (m)†	Pente du terrain (%)	Efficacité de rétention (%)
Dillaha et autres (1988)	4,6	11	87
	4,6	16	76
	9,1	11	95
	9,1	16	88
Dillaha et autres (1989)	4,6	11	86
	4,6	16	53
	9,1	11	98
	9,1	16	70
Magette et autres (1989)	4,6	3,5	66
	9,1	3,5	82
Peterjohn et Correl (1984)	19	5	90
	60	5	94
Young et autres (1980)	21,3	4	75-81
	21,3	4	66-93

† Les largeurs de bande indiquées correspondent à un côté du cours d'eau, mesuré à partir de la berge.

2.2 Fonction écologique

Les bandes riveraines remplissent plusieurs fonctions écologiques. Elles constituent un habitat pour la faune et la flore, un rempart contre l'érosion des sols et des rives et agissent comme brise-vent. De plus, les bandes riveraines assurent une fonction paysagère et agissent comme régulateur du cycle hydrologique.

2.2.1 Habitat pour la faune et la flore

Les bandes riveraines constituent un habitat particulier pour la faune et la flore. Au Québec, on associe au milieu riverain environ 271 espèces de vertébrés, dont 30 espèces de mammifères, plus de la moitié des oiseaux et les trois quarts des amphibiens et des reptiles. Et plus de la moitié des 375 plantes menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être ainsi désignées sont associées aux milieux humides ou riverains.

En raison de la présence de l'eau, la faune de la rive présente une extraordinaire diversité par comparaison avec celle des milieux strictement terrestres. Par exemple, la rive abrite pratiquement toutes les espèces de petits mammifères présents dans les habitats voisins, mais l'inverse n'est pas vrai. Les oiseaux y trouvent un meilleur couvert de nidification, d'abri et de nourriture, tout

comme les autres représentants de la petite faune en général. La faune terrestre utilise la bande riveraine comme corridor de déplacement et de fuite. La perte de bande riveraine limite l'accès sécuritaire des animaux à l'eau et met donc en péril la survie de plusieurs espèces.

La végétation riveraine sert aussi d'habitat de reproduction à certaines espèces de poissons, en plus de fournir à la faune aquatique de la nourriture et des zones d'abri contre les prédateurs. Les plantes aquatiques, les racines, les souches, les troncs tombés à l'eau et l'ombrage créé par la végétation dissimulent la faune, assurent des zones de repos et d'abri, tant aux poissons qu'aux tortues, aux salamandres et aux insectes aquatiques. Les feuilles procurent de la nourriture aux insectes aquatiques, qui sont à la base de la chaîne alimentaire des poissons et des autres animaux.

En créant de l'ombrage au-dessus des plans d'eau, la végétation riveraine diminue l'impact du rayonnement solaire et prévient le réchauffement excessif de l'eau. Ce rôle de la végétation riveraine devient plus important encore pour les petits cours d'eau, vu leur masse thermique plus faible. La chaleur emmagasinée dans les petits cours d'eau est ensuite transportée vers les rivières situées en aval et celles-ci sont tou-

chées à leur tour. Parce qu'il entraîne un réchauffement des lacs et des cours d'eau, l'enlèvement du couvert végétal des rives a aussi des effets importants sur leur équilibre écologique.

2.2.2 Rempart contre l'érosion des sols et des rives

Grâce à son réseau de racines, la végétation riveraine augmente la capacité de la rive à résister aux forces de cisaillement et d'arrachement produites par le courant. En formant un coussin végétal, elle protège aussi la rive en amortissant l'impact mécanique des pluies, en freinant l'eau de ruissellement issue des terrains voisins. Toutefois, pour être pleinement efficace, la bande riveraine doit comporter trois strates de végétation, diversifiées en âges et en espèces et constituées par les herbacées, les arbustes et les arbres. Les herbacées protègent surtout la surface du sol, alors que les arbres et les arbustes assurent une protection plus étendue et plus en profondeur. Les parties aériennes des végétaux sont en effet très efficaces pour diminuer la vitesse du courant et la puissance érosive de l'eau lors des crues. Par ailleurs, la flexibilité des espèces arbustives riveraines leur permet de survivre dans des conditions difficiles, notamment en s'ajustant aux dommages causés par la neige, les glaces ou les matériaux charriés par l'eau.

L'activité humaine peut accélérer ou amplifier ces phénomènes d'érosion ou encore créer des foyers d'érosion là où ils n'auraient pas existé naturellement. Aussi, il est important de contrôler de tels phénomènes en raison de leur incidence sur le milieu aquatique, notamment sur le colmatage des frayères.

2.2.3 Brise-vent

Les bandes riveraines composées d'arbres et d'arbustes ont aussi un effet de brise-vent. En réduisant la vitesse des vents dominants, les brise-vent contribuent également à la création d'un microclimat dans la zone de leur champ d'action; ce microclimat

créé à son tour un milieu favorable à la faune et à la flore. L'implantation d'une haie brise-vent sur la rive d'un cours d'eau procure donc plusieurs avantages : elle protège les rives contre l'érosion, elle diminue les dommages causés par le vent aux sols, aux cultures et aux autres infrastructures et, finalement, elle crée un microclimat favorable à la faune et la flore.

2.2.4 Fonction paysagère

Les cultures intensives et la modification des berges en milieu urbain ont apporté une certaine monotonie dans le paysage. Tout en conservant le caractère naturel des lacs et des cours d'eau, la présence d'une bande riveraine introduit une diversité d'essences végétales, de formes et de couleurs dans les paysages, permettant de rompre cette monotonie. En créant une zone de transition, de contact physique et visuel entre l'eau et les terres adjacentes, la végétation riveraine constitue par ailleurs un élément structurel essentiel du paysage. La végétation riveraine est en outre garante de la beauté naturelle des paysages et contribue à augmenter la valeur des propriétés.

2.2.5 Régulateur du cycle hydrologique

Les bandes riveraines agissent aussi comme des régulateurs de débits. Ce faisant, elles réduisent les risques d'inondation et de sécheresse. Durant les inondations, les surfaces naturelles qui longent les cours d'eau agissent comme une éponge en absorbant les surplus d'eau de la rivière et des précipitations. Les plantes indigènes que l'on trouve dans ces endroits naturels aident à ralentir la vitesse de l'eau, conservent une partie de cette eau pour des usages futurs et libèrent lentement l'eau durant une certaine période de temps.

L'enlèvement du couvert végétal dans un bassin versant, y compris sur les rives des lacs et des cours d'eau, n'est donc pas sans conséquence sur l'environnement. Ces changements augmentent la fréquence et l'ampleur des inondations : crues plus importantes et plus soudaines. Des inondations peuvent même survenir à des endroits où il n'y en avait pas auparavant. Il se pro-

duit aussi toutes sortes d'ajustements dans le cours d'eau, en réponse à l'augmentation des débits et des vitesses d'écoulement. L'érosion, l'élargissement du canal d'écoulement et la sédimentation dans les fosses ne sont que quelques exemples.

2.3 Discussion

À la suite de leurs travaux, plusieurs auteurs ont recommandé les largeurs de bandes riveraines nécessaires pour remplir l'une ou l'autre de leurs fonctions ou pour remplir plusieurs de ces fonctions à la fois (voir le tableau 4, à la page 11). Notons que les largeurs recommandées pour remplir une fonction donnée varient beaucoup selon les auteurs. De plus, elles ont été établies surtout pour faciliter leur utilisation dans des politiques gouvernementales ou dans des réglementations municipales (Fischer et Fischenich, 2000). La Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables présentée dans la section 3, à la page 12, en est un exemple. Toutefois, dans le contexte de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, où il faut élaborer un plan d'action crédible permettant de résoudre les problèmes que l'analyse de bassin versant a permis de mettre en lumière, ces recommandations devraient être utilisées avec prudence, et ce, pour les raisons suivantes :

1. Il n'y a pas de largeur unique pour remplir une fonction donnée (Fischer et Fischenich, 2000; District of Muskoka, 2003; Berkshire Regional Planning Commission, 2003). La largeur de bande riveraine nécessaire pour remplir une fonction donnée dépend de plusieurs facteurs. Citons, la sensibilité du lac, l'utilisation du territoire, les caractéristiques hydrologiques du bassin versant, le type de végétation et de sol de la bande riveraine, la topographie et l'objectif visé. Pour le moment, les critères permettant de déterminer la largeur de bande riveraine adéquate pour remplir une fonction donnée ne sont pas bien établis (Fischer et autres, 1999).
2. Dans plusieurs cas, les largeurs recommandées sont des extrapolations

qui ont été faites à partir des résultats d'expériences où l'on n'a évalué qu'une ou deux largeurs de bande riveraine seulement (Wenger, 1999).

3. La plupart des expériences sont à court terme. Les expériences à long terme ont montré que des bandes riveraines beaucoup plus larges que celles qui ont été évaluées dans des expériences à court terme seraient nécessaires pour obtenir une efficacité équivalente (Wenger, 1999).
4. La plupart des expériences touchant la fonction d'assainissement ont été réalisées dans des conditions « contrôlées », c'est-à-dire en utilisant des parcelles expérimentales et même, parfois, en faisant des simulations de pluie. Très peu d'expériences ont été réalisées dans des conditions « naturelles », c'est-à-dire en utilisant des petits bassins versants, par exemple. Comme c'est le cas pour la plupart des pratiques de gestion bénéfiques, il est probable que les degrés d'efficacité qui seraient obtenus dans des conditions naturelles avec les largeurs évaluées soient plus faibles que ceux qui ont été obtenus dans des conditions contrôlées, en raison de l'infrastructure de drainage de surface dont s'est doté le Québec.

L'analyse de la documentation scientifique nous amène à dire que les bandes riveraines ne sont pas une solution « miracle », c'est-à-dire capable à elle seule de résoudre les problèmes liés à la pollution des eaux de surface. Quelques auteurs tendent d'ailleurs à nous donner raison. Par exemple, après avoir analysé plus de 140 articles et rapports scientifiques, Wenger (1999) a reconnu que les bandes riveraines constituent une composante essentielle d'un plan d'action visant à réduire les apports de sédiments dans les plans d'eau. Toutefois, dans le cas où elles constituent la principale solution mise en œuvre dans un bassin versant, il recommande de prendre deux précautions importantes, à savoir :

Tableau 4 Largeurs de bande riveraine recommandées pour remplir certaines fonctions

Auteur	Fonctions	Largeur recommandée (m)†	
		Minimum - Maximum	Moyenne
Budd et autres (1987)	Qualité de l'eau, contrôle de la température, habitat aquatique, corridors riverains	7,5-15	11
Swift (1986)	Qualité de l'eau (sédiment)	9,5-19	15
Castelle et autres (1994)	Qualité de l'eau, contrôle de la température	15-30	22
Wong et McCuen (1981)	Qualité de l'eau (sédiment)	45	45
Palmstrom (1991)	Qualité de l'eau (sédiment)	7,5-90	50
Roman et Good (1985)	Fonctions diverses	15-90	53
Nieswand et autres (1990)	Qualité de l'eau	14-90	56
Brown et autres (1990)	Qualité de l'eau (sédiment)	23-114	68
Mayer et autres (2005)	Qualité de l'eau (azote)	7-100	n. d. ‡
Wenger (1999)	Qualité de l'eau (azote)	15	n. d.
	Qualité de l'eau (sédiments)	30	n. d.
Rudolph et Dickson (1990)	Amphibiens et reptiles	30-100	n. d.
Newbold et autres (1980)	Macro-invertébrés benthiques	30	n. d.

† Les largeurs de bande indiquées correspondent à un côté du cours d'eau, mesuré à partir de la berge.

‡ Donnée non disponible

1. Restaurer et végétaliser les bandes riveraines le long de tous les cours d'eau, qu'ils soient à écoulement permanent ou intermittent.
2. Effectuer un suivi en mesurant périodiquement la turbidité de l'eau pour s'assurer de leur efficacité. Cela suggère qu'il est inapproprié de se fier uniquement à la végétalisation des bandes riveraines pour résoudre des problèmes de qualité d'eau de surface. Pour leur part, Mayer et autres (2005) ont conclu que pour élaborer un plan crédible visant le contrôle de la pollution de l'eau, les bandes riveraines devraient être combinées à d'autres mesures de réduction des charges de contaminants de sources ponctuelles et diffuses d'azote. À ce sujet, ils expliquent que la végétalisation d'une bande riveraine ne réussira pas à stabiliser les berges d'un cours d'eau si les causes de l'érosion des berges ne sont pas résolues. Une municipalité ne devrait donc pas se fier uniquement à la restauration des bandes riveraines

pour prévenir les impacts hydrologiques et écologiques du développement résidentiel, commercial et industriel. Elle devrait également veiller à aménager son territoire de manière à respecter un pourcentage d'imperméabilité de < 10 % ou de > 10 % et de < 25 % (voir Gangbazo et autres, 2006a).

Cela dit, on peut comprendre pourquoi plusieurs acteurs attribuent de nombreux mérites aux bandes riveraines, s'ils se basent seulement sur les degrés élevés d'efficacité qui sont souvent rapportés dans la documentation scientifique. Soulignons par exemple qu'il n'y a pas de relation directe entre l'efficacité d'une solution et le critère de qualité de l'eau de surface qui permet de protéger ou de récupérer un usage de l'eau. C'est plutôt la charge d'un contaminant qui est finalement rejetée dans le milieu aquatique, peu importe l'efficacité de la solution mise en œuvre, qui détermine si la solution en question est adéquate ou non. Par exemple, pour prévenir la prolifération d'algues et de plantes aquatiques dans un cours d'eau, il faut mettre en œuvre une solution (ou un ensemble de solutions) dont

l'efficacité est telle que la charge de phosphore total qui est rejetée dans le cours d'eau permet de respecter le critère pour la protection des activités récréatives et des aspects esthétiques (0,030 mg P/l). Les travaux de Michaud et autres (2006) sur la modélisation de l'hydrologie et des dynamiques de pollution diffuse dans le bassin versant de la rivière aux Brochets le démontrent bien (voir aussi Gangbazo et autres, 2006b).

Dans le secteur agricole, rappelons que le Québec s'est doté d'une infrastructure de drainage de surface des sols cultivés dans la première moitié du XX^e siècle, avant l'avènement du drainage souterrain. L'ensemble des terres cultivées a été façonné en planches rondes avec un réseau complexe de raies de curage, de rigoles et de fossés servant à accélérer le transit de l'eau de ruissellement à la surface du sol. Le « labour Richard » a permis de pratiquer une agriculture vivrière sur des sols souffrant d'excès d'eau et de mauvais drainage interne. L'industrie laitière a pu se développer à la suite de l'adoption de ces techniques d'égouttement qui permettent de produire du foin et des céréales à petits grains avec des rendements satisfaisants.

Lorsqu'une bande riveraine est conservée en bordure d'un plan d'eau, on ne peut prétendre qu'elle puisse servir de filtre aux sédiments et aux nutriments si, comme c'est le cas actuellement au Québec, elle est court-circuitée par tout un ensemble de rigoles et de fossés qui constituent des points bas par où l'eau de surface parvient aux cours d'eau en masses concentrées. L'effet de filtration ne peut se manifester que lorsque l'eau s'écoule lentement, en nappe mince et uniforme sur le couvert végétal de la bande riveraine pour s'y débarrasser de sa charge en éléments solides et nutritifs. La largeur de la bande riveraine n'est donc pas en soi un gage d'efficacité de filtration, puisqu'en pratique, l'eau ne peut y transiter et se purifier comme le prédisent les nombreuses sources documentaires étrangères existant sur le sujet de même que les modélisations simplistes qui font abstraction des conditions réelles d'écoulement du ruissellement au champ.

3 Politique et programme existants relatifs aux bandes riveraines

Actuellement, c'est par la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables que le gouvernement tente de protéger les rives des lacs et des cours d'eau à débit régulier et intermittent. L'élaboration, la mise en œuvre et la coordination de cette politique incombent au ministère de l'Environnement et des Parcs en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, tandis que son application est dévolue aux municipalités locales et régionales dans le cadre de leurs prérogatives en matière d'urbanisme. En vertu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, les MRC ont la charge d'établir, dans leur schéma d'aménagement et de développement, des règles minimales visant à régir et à prohiber les usages, les constructions ou les ouvrages pour des raisons de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Les municipalités, quant à elles, se doivent d'adopter ces règles minimales dans leur règlement d'urbanisme. L'encadré 2, à la page 13, rappelle les objectifs de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables et la largeur minimale de bande riveraine suggérée. On y lit par exemple que « les différentes autorités gouvernementales et municipales concernées peuvent, dans le cadre de leurs compétences respectives, adopter des mesures de protection supplémentaires pour répondre à des situations particulières ».

Dans le cas où une municipalité n'aurait pas encore adopté un règlement pour protéger les rives d'un plan d'eau, le Règlement sur les exploitations agricoles prévoit certaines contraintes minimales, qui s'appliquent jusqu'à ce que la municipalité ajoute à ses règlements d'urbanisme les règles de protection des cours d'eau prévues dans le schéma d'aménagement de la MRC. Il convient de signaler que le Règlement sur les exploitations agricoles (Q-2. r. 11.1) ne vise nullement l'aménagement de bandes riveraines, contrairement à ce que certains auteurs affirment. Les contraintes qu'on y trouve sont de deux ordres :

1. Il est interdit d'ériger, d'aménager ou d'agrandir un bâtiment servant à

- l'élevage des animaux ou un ouvrage de stockage des déjections animales à moins de quinze mètres d'un cours d'eau, d'un lac, d'un marécage, d'un marais naturel ou d'un étang (article 6).
2. L'épandage des matières fertilisantes (fumier, purin, lisier, composts, engrais minéraux, matières résiduelles fertilisantes, etc.) est interdit à l'intérieur de la bande riveraine dont les limites sont définies par règlement municipal. En l'absence de bandes riveraines définies par règlement municipal, l'épandage de ces matières fertilisantes est interdit à moins de trois mètres d'un cours d'eau, d'un lac, d'un marécage de plus de 10 000 mètres carrés ou d'un étang. En bordure d'un fossé, l'épandage de ces matières fertilisantes est interdit à moins d'un mètre (article 30).

Selon les résultats d'une enquête menée conjointement par le ministère de l'Environnement et le ministère des Affaires municipales, du Sport et du Loisir en 2003 (Sager, 2004), la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables est très peu appliquée. À ce moment, seulement 14,2 % des municipalités interrogées avaient adopté un règlement de zonage reprenant les dispositions de la version 1996 de la Politique. De plus, les prescriptions de la Politique sont peu appliquées en milieu agricole. En 2005, cette politique a été modifiée afin d'améliorer son contenu en vue de protéger davantage les zones de grand courant des plaines inondables, en resserrant les dispositions relatives aux zones inondables. À ce jour, plus de 75 % des MRC ont adopté ce nouveau cadre normatif et les règles de protection sont actuellement en vigueur partout au Québec, exception faite de quelques MRC.

Encadré 2 Objectifs de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables et largeur de bande riveraine prévue pour protéger les rives des lacs et des cours d'eau

La Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables donne un cadre normatif minimal; elle n'exclut pas la possibilité pour les différentes instances gouvernementales et municipales concernées, dans les limites de leurs compétences respectives, d'adopter des mesures de protection supplémentaires pour répondre à des situations particulières. Les objectifs de la Politique et la largeur de bande riveraine qu'elle prévoit pour les rives sont présentés ci-après :

Objectifs

- Assurer la pérennité des plans d'eau et des cours d'eau; maintenir et améliorer leur qualité en accordant une protection minimale adéquate aux rives, au littoral et aux plaines inondables.
- Prévenir la dégradation et l'érosion des rives, du littoral et des plaines inondables en favorisant la conservation de leur caractère naturel.
- Assurer la conservation, la qualité et la diversité biologique du milieu en limitant les interventions pouvant permettre l'accessibilité et la mise en valeur des rives, du littoral et des plaines inondables.
- Dans la plaine inondable, assurer la sécurité des personnes et des biens.
- Protéger la flore et la faune typique de la plaine inondable en tenant compte des caractéristiques biologiques de ces milieux et y assurer l'écoulement naturel des eaux.
- Promouvoir la restauration des milieux riverains dégradés en privilégiant l'usage de techniques les plus naturelles possible.

Largeur de bande riveraine prévue pour les rives

Aux fins de la Politique, la rive est une bande de terre qui borde les lacs et les cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux. La largeur de la rive à protéger se mesure horizontalement.

La rive a un minimum de 10 mètres :

- lorsque la pente est inférieure à 30 %, ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30 % et présente un talus de moins de 5 mètres de hauteur.

La rive a un minimum de 15 mètres :

- lorsque la pente est continue et supérieure à 30 %, ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30 % et présente un talus de plus de 5 mètres de hauteur.

Notons que dans le cadre de l'application de la Loi sur les forêts (L.R.Q., c. F-4.1) et de sa réglementation se rapportant aux normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État, des mesures particulières de protection sont prévues pour la rive.

Source : Éditeur officiel du Québec (2005)

L'aménagement des bandes riveraines, tout comme l'utilisation d'autres pratiques de gestion bénéfique par les producteurs agricoles, est financé en partie par le gouvernement du Québec, par l'entremise du programme Prime-Vert du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

Conclusion

Les bandes riveraines peuvent jouer un rôle important dans la prévention de la contamination de l'eau ainsi que dans la protection des habitats pour la faune et la flore. Leur efficacité dépend cependant de plusieurs facteurs. Citons la largeur de la bande riveraine, la topographie du terrain, le type de végétation qui la compose, la présence d'une infrastructure de drainage agricole de surface, le type de sol, les conditions climatiques et son emplacement dans le bassin versant.

La recommandation de l'utilisation des bandes riveraines pour résoudre les problèmes qui touchent les ressources en eau d'un bassin versant doit être mûrement réfléchie, étant donné qu'elle dépend de l'analyse de bassin versant, des enjeux et des objectifs poursuivis. Cela dit, il nous semble que l'information disponible ne permette pas de déterminer objectivement la largeur de bande riveraine nécessaire pour remplir une fonction précise. Ainsi, s'il s'agit de prévenir la contamination de l'eau ou de récupérer un de ses usages liés à des contaminants physicochimiques (fonction d'assainissement), la végétalisation de bandes riveraines ne peut être qu'une des composantes d'un plan d'action crédible, lequel doit comprendre d'autres mesures de réduction des charges

de contaminants de sources ponctuelles et diffuses, s'il y a lieu. Citons la modification de l'aménagement du territoire, la réduction des charges de certains contaminants à la source, la construction de stations d'épuration des eaux usées municipales, l'adoption de certaines pratiques de conservation des sols et d'aménagement forestier, l'entreposage étanche des fumiers, etc. Toutefois, s'il s'agit de protéger l'environnement naturel, c'est-à-dire protéger les habitats aquatiques et riverains, par exemple (fonction écologique), les bandes riveraines bien constituées et d'une largeur appropriée représentent certainement une solution à privilégier.

Les largeurs de bande riveraine recommandées dans la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables ne doivent pas être interprétées comme des critères suffisants pour protéger ou restaurer les écosystèmes aquatiques et riverains. Elles visent seulement à assurer une protection minimale aux rives des lacs et des cours d'eau.

Remerciements

Les auteurs remercient les collègues qui ont effectué la révision scientifique de la présente fiche. Il s'agit de Richard Laroche, ingénieur, Direction de l'environnement et du développement durable, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, de Claire Michaud, agente de recherche, et de Mireille Sager, M. Sc. (environnement), Direction des politiques de l'eau, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

Bibliographie

- Brown, M. T., J. M. Schaefer et K. H. Brandt (1990). *Buffer Zones for Water, Wetlands, and Wildlife*, CFW Pub. N° 89-0, Florida Agricultural Experiment Stations Journal Series N° T-00061, East Central Florida Regional Planning Council, FL, USA.
- Budd, W.W., P. L. Cohen, P. R. Saunders et F. R. Steiner (1987). « Stream Corridor Management in the Pacific Northwest: Determination of Stream Corridor Widths », *Environmental Management*, vol. 11, n° 5, p. 587-597.
- Burkshire Regional Planning Commission (2003). *The Massachusetts Buffer Manual*, Prepared for The Massachusetts Department of Environmental Protection, [En ligne]. <http://www.nae.usace.army.mil/reg/MABufferManalMADEP.pdf> (28 novembre 2006).

- Castelle, A. J., A. W. Johnson, et C. Conolly (1994). « Wetland and Stream Buffer Requirement in Forest Operations: A Review », *Journal of Environmental Quality*, vol. 23, n° 5, p. 878-882.
- Daniels, R. B., et J. W. Gilliam (1996). « Sediment and Chemical Load Reduction by Grass and Riparian Filters », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 60, n° 1, p. 246-251.
- Dillaha, T. A., J. H. Sherrard, D. Lee, S. Mostaghimi et V. O. Shanholtz (1988). « Evaluation of Vegetative Filter Strips as a Best Management Practice for Feed Lots », *Journal of the Water Pollution Control Federation*, vol. 60, n° 7, p. 1231-1238.
- Dillaha, T. A., R. B. Reneau, S. Mostaghimi et D. Lee (1989). « Vegetative Filter Strips for Agricultural Nonpoint Source Pollution Control », *Transactions of the ASAE*, vol. 32, n° 2, p. 513-519.
- District of Muskoka (2003). *Shoreline Vegetative Buffers*, Planning and Economic Development Department, [En ligne].
<http://www.muskoka.on.ca/planningeconomic/Buffers.pdf> (28 novembre 2006).
- Dosskey, M. G., M. Helmers, D. E. Eisenhauer, T. G. Franti et K. D. Hoagland (2002). « Assessment of Concentrated Flow through Riparian Buffers », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 57, n° 6, p. 336-343.
- Duchemin, M., P. Lafrance et C. Bernard (2002). *Les bandes enherbées : une pratique de conservation efficace pour réduire la pollution diffuse*, Fiche technique N° FT040905Fb, Québec, Institut de recherche et développement en agroenvironnement, [En ligne].
<http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/53.html> (29 novembre 2006).
- Éditeur officiel du Québec (2005). *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2, a. 2.1)*, Québec, Gazette officielle du Québec, 1^{er} juin 2005, 137^e année, n° 22, [En ligne].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/politique.pdf> (22 novembre 2006).
- Fabis, J., M. Bach, et H.-G. Frede (1993). « Vegetative Filter Strips in Hilly Areas of Germany », p.81-88, dans American Society of Agricultural Engineers (ed), *Integrated Resource Management & Landscape Modification for Environmental Protection: Proceedings of the International Symposium*, Dec., 13th-14th 1993, Chicago, IL, ASAE, St. Joseph, MI.
- Fischer, R. A., et J. C. Fisichenich (2000). *Design Recommendations for Riparian Corridors and Vegetated Buffer Strips*, EMRRP Technical Notes Collection, ERDC TN-EMRRP-SR-24, US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, [En ligne].
<http://el.erc.usace.army.mil/elpubs/pdf/sr24.pdf> (28 novembre 2006).
- Fischer, R. A., C. O. Martin, D. Q. Barry, K. Hoffman, K. L. Dickson, E. G. Zimmerman et D. A. Elrod (1999). *Corridors and Vegetated Buffer Zones : A Preliminary Assessment and Study Design*, Technical Report EL-99-3, US Army Engineer Waterways Experimental Station, Vicksburg, MS, [En ligne].
<http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA369970&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf> (28 novembre 2006).
- Gangbazo, G., Y. Richard et L. Pelletier (2006a). *L'analyse de bassin versant*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau, ISBN-13 : 978-2-550-48424-0, ISBN-10 : 2-550-48424-X, [En ligne].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/analyse-bv.pdf> (24 novembre 2006).
- Gangbazo, G., P. Vallée, C. Émond, J. Roy, R. Beaulieu et E. Gagnon (2006b). *Contrôle de la pollution diffuse d'origine agricole : quelques réflexions basées sur la modélisation de scénarios de pratiques agricoles pour atteindre le critère du phosphore pour la prévention de l'eutrophisation dans la rivière aux Brochets*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau, ISBN-13 : 978-2-550-48209-3, ISBN-10 : 2-550-48209-3, [En ligne].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/contrôle-rivbrochets.pdf> (24 novembre 2006).
- Gangbazo, G. (2006). *Guide pour l'élaboration d'un plan directeur de l'eau : sommaire*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau, ISBN-13 : 978-2-550-47821-8, ISBN-10 : 2-550-47821-5, [En ligne].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/fiches/sommaire.pdf> (22 novembre 2006).

- Magette, W. L., R. B. Brinsfield, R. E. Palmer et J. D. Wood (1989). « Nutrient and Sediment Removal by Vegetated Filter Strips », *Transactions of the ASAE*, vol. 32, n° 2, p. 663-667.
- Mayer, P. M., S. K. Reynolds, M. D. McCutchen et T. J. Canfield (2005). *Riparian Buffer Width, Vegetative Cover, and Nitrogen Removal Effectiveness: A Review of Current Science and Regulations*, US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA/600/R-05/118, [En ligne].
<http://www.epa.gov/ada/download/reports/600R05118/600R05118.pdf#search=%22riparian%20buffers%22> (28 septembre 2006).
- McKergow, L. A., D. M. Weaver, I. P. Prosser, R. B. Grayson et A. E. G. Reed (2003). « Before and After Riparian Management: Sediment and Nutrient Exports from a Small Agricultural Catchment, Western Australia », *Journal of Hydrology*, vol. 270, n° 3-4, p. 253-272.
- Michaud, A., J. Deslandes et I. Beaudin (2006). *Modélisation de l'hydrologie et des dynamiques de pollution diffuse dans le bassin versant de la rivière aux Brochets à l'aide du modèle SWAT – Rapport final*, Sainte-Foy, Institut de recherche et développement en agroenvironnement, [En ligne].
<http://www.irda.qc.ca/documents/Results/18.pdf> (5 octobre 2006).
- Ministère de l'Environnement (2002). *Politique nationale de l'eau*, Québec, Envirodoq n° ENV/2002/0310, [En ligne].
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/politique-integral.pdf> (22 novembre 2006).
- Muscutt, A. D., G. L. Harris, Bailey, S. W., et D. B. Davies (1993). « Buffer Zones to Improve Water Quality: A Review of their Potential Use in UK Agriculture », *Agricultural Ecosystems and Environment*, vol. 45, n° 1-2, p. 59-77.
- Newbold, J. D., D. C. Erman et K. B. Roby (1980). « Effect of Logging on Macroinvertebrates in Streams with and without Buffer Strips », *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, vol. 37, n° 7, p. 1076-1085.
- Nieswand, G. H., R. M. Hordon, T. B. Shelton, B. B. Chavooshian et S. Blarr (1990). « Buffer Strips to Protect Water Supply Reservoirs: A Model and Recommendations », *Water Resources Bulletin*, vol. 26, n° 6, p. 959-966.
- Palmstrom, N. (1991). *Vegetated Buffer Strip Designation Method Guidance Manual*, I.E.P., Inc., Consulting Environmental Scientists.
- Patty, L., B. Réal et J. J. Gril (1997). « The Use of Grassed Buffer Strips to Remove Pesticides, Nitrate and Soluble Phosphorus Compounds from Runoff Water », *Pesticide Science*, vol. 49, n° 3, p. 243-251.
- Peterjohn, W. T., et D. L. Correll (1984). « Nutrient Dynamics in an Agricultural Watershed: Observations on the Role of a Riparian Forest », *Ecology*, vol. 65, n° 5, p. 1466-1475.
- Polyakov, V., A. Fares, et M. H. Ryder (2005). « Precision Riparian Buffer for the Control of Non-point Source Pollutant Loading into Surface Water: A Review », *Environmental Review*, vol. 13, n° 3, p. 129-144.
- Roman, C. T., et R. E. Good (1985). *Buffer Delineation Method for New Jersey Pineland Wetlands*, Rutgers State University of New Jersey, New Brunswick, NJ, USA.
- Rudolph, D. C., et J. G. Dickson (1990). « Streamside Zone Width and Amphibian and Reptile Abundance », *The Southern Naturalist*, vol. 35, n° 4, p. 472-476.
- Sager, M. (2004). *Enquête sur l'application de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables par les municipalités*, Québec, ministère de l'Environnement (Direction des politiques de l'eau) et ministère des Affaires municipales, du Sport et du Loisir, 30 pages.
- Swift, L. W. Jr (1986). « Filter Strips Width for Forest Roads in the Southern Appalachians », *Southern Journal of Applied Forestry*, vol. 10, n° 1, p. 27-34.
- Vermont Agency of Natural Resources (2005). *Riparian Buffers and Corridors: Technical Papers*, Waterbury, VT, USA, [En ligne].
<http://www.anr.state.vt.us/site/html/buff/buffer-tech-final.pdf> (28 septembre 2006).
- Wenger, S. (1999). *A Review of the Scientific Literature on Riparian Buffer Width, Extent and Vegetation*, Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, USA, [En ligne].
http://outreach.ecology.uga.edu/tools/buffers/lit_review.pdf (28 septembre 2006).

- Wong, S. L., et R. H. McCuen (1981). *Design of Vegetative Buffer Strips for Runoff and Sediment Control*, Research Paper, Dept. of Civil Engineering, University of Maryland, College Park, MD, USA.
- Young, R. A., T. Huntrods et W. Anderson (1980). « Effectiveness of Vegetative Buffer Strips in Controlling Pollution from Feedlot Runoff », *Journal of Environmental Quality*, vol. 9, n° 3, p. 483-487.

Référence bibliographique à utiliser pour citer le présent document : Gagnon, E., et G. Gangbazo (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, ISBN : 978-2-550-49213-9, 17 p.

Pour plus de renseignements, vous pouvez communiquer sans frais avec le Centre d'information du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs :

Région de Québec : 418 521-3830
Ailleurs : 1 800 561-1616
Courriel : info@mddep.gouv.qc.ca
Site Internet : <http://www.mddep.gouv.qc.ca>

Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2007
ISBN : 978-2-550-49213-9
© Gouvernement du Québec, 2007

Photos en-tête : Denis Chabot, Paul Grant, Hélène S. Dubois, © *Le Québec en images*, CCDMD et Roch Thérioux