

ÉLABORATION D'UN CALCULATEUR D'ÉMISSIONS DE PHOSPHORE POUR LES CITOYENS

Par
Ariane Rose-Tremblay

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement
en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Madame Chantal d'Auteuil

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Octobre 2013

SOMMAIRE

Mots-clés : calculateur, phosphore, citoyen, émission, résidentiel, rétention du phosphore, sensibilisation.

Le phosphore a sans nul doute un rôle important à jouer dans le phénomène d'eutrophisation des lacs. La portion anthropique de l'apport de phosphore par l'agriculture, par le développement urbain, par les activités industrielles, par les coupes forestières etc. participe donc à accélérer ce phénomène d'eutrophisation des lacs. L'apport urbain en phosphore vers les cours d'eau et les lacs contribue pour une bonne partie des apports totaux en phosphore particulièrement pour les régions moins touchées par l'agriculture. Chaque citoyen a ainsi un rôle notable à jouer dans cette problématique d'eutrophisation. Par contre, la plupart des citoyens ne savent pas de quelle façon ils contribuent aux émissions de phosphore et ne savent pas non plus comment réduire leur impact. Ainsi, cet essai vise l'élaboration d'un calculateur d'émissions de phosphore pour les citoyens afin de leur permettre de prendre conscience de leur impact et de leur proposer des solutions dans le but de réduire les émissions de phosphore se rendant vers les lacs et les cours d'eau.

Le calculateur élaboré dans le cadre de cet essai considère dans un premier temps les différents types de surfaces d'un terrain selon leur potentiel de ruissellement de l'eau de surface transportant le phosphore. Il considère aussi l'ajout d'engrais sur une pelouse ainsi que l'utilisation extérieure de l'eau pour le lavage de voiture et pour l'arrosage de pelouse. Ensuite, la quantité de phosphore émise par personne selon le type de savons utilisé et selon le type du système de traitement des eaux usées est aussi calculée. Finalement, les différents ouvrages et techniques de rétention ou de diminution du phosphore utilisés par le citoyen sont aussi considérés. Une quantité de phosphore émise par le citoyen et le pourcentage de réduction de celle-ci grâce à l'utilisation de certaines pratiques sont donnés en résultat à l'utilisateur. Des conseils lui sont ensuite présentés en fonction du résultat qu'il obtient.

L'utilisation de ce calculateur ne permet pas d'obtenir une valeur précise et réelle des émissions de phosphore pour chaque citoyen puisqu'il se base sur des données théoriques. Cependant, cette méthode d'évaluation personnalisée permet à l'utilisateur du calculateur de réaliser d'où provient le phosphore sur sa propriété en fonction de ses usages et ce qui influence la migration de celui-ci

vers les lacs et les cours d'eau. Il peut être un outil de sensibilisation utile pour les organismes de bassins versants, les MRC et les municipalités.

Pour obtenir le calculateur sous forme Excel, veuillez écrire à l'adresse courriel suivante :
ariane.rose-tremblay@usherbrooke.ca

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice d'essai Chantal D'Auteuil qui a toujours réussi à me motiver dans la réalisation de mon essai grâce à son grand enthousiasme.

Je veux aussi remercier tous mes testeurs qui m'ont permis d'améliorer mon calculateur. En particulier, mon testeur le plus critique et qui a aussi su m'encourager dans mes moments de découragements : mon copain Gerardo. Un gros merci aussi à ma grand-maman Gilberte qui a eu la volonté de relire et corriger mon essai et ce, plusieurs fois.

Je tiens finalement à remercier toute ma famille en général, tantes, oncles, grands-parents, qui ont constamment eu confiance en moi et qui m'ont encouragée tout au long de mes études. Je remercie aussi ma sœur Anik qui était là pour m'écouter. Je veux remercier particulièrement mes parents qui m'ont toujours supportée et poussée à aller plus loin. Ils m'ont permis de me rendre jusqu'ici surtout grâce aux belles valeurs qu'ils m'ont transmises. Merci donc à mon père Yves pour son support technique et à ma mère Johanne pour son support moral.

Merci!

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1 SOURCES D'ÉMISSIONS DE PHOSPHORE	4
1.1 Dynamique du phosphore	4
1.1.1. Forme et mobilité du phosphore	4
1.1.2. Composantes du sol.....	6
1.1.3. Influence des facteurs naturels.....	7
1.1.4. Ruissellement de surface et érosion	7
1.2 Traitement des eaux usées	8
1.2.1. Installations septiques individuelles.....	8
1.2.2. Traitement des eaux usées municipales	9
1.2.3. Réseau d'égout unitaire versus séparé	11
1.3 Utilisation des engrais.....	12
1.4 Développement résidentiel autour des lacs.....	12
2 SOLUTIONS POTENTIELLES DE RÉDUCTION DU PHOSPHORE.....	14
2.1 Caractéristiques du terrain influençant la rétention du phosphore.....	14
2.1.1. Type de sols	15
2.1.2. Surface végétalisée.....	15
2.2 Solutions pour diminuer les émissions de phosphore se rendant aux lacs.....	17
2.2.1. Bande riveraine	17
2.2.2. Pratiques de gestion optimale des eaux pluviales	19
2.2.3. Puits d'infiltration et jardins d'eau.....	20
2.2.4. Techniques de fertilisation	22
2.2.5. Mise aux normes des installations septiques.....	23
2.2.6. Sensibilisation citoyenne.....	24
2.3 Conclusion	25
3 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES.....	26
3.1 Processus de recherche	26
3.2 Établissement du calculateur	27
3.3 Données utilisées dans le calculateur.....	27
3.3.1. Ruissellement	27
3.3.2. Utilisation d'engrais	31

3.3.3.	Émissions par habitant	32
3.3.4.	Rétention par les différents types de traitements des eaux usées	33
3.3.5.	Rétention	35
4	PRÉSENTATION DU CALCULATEUR	39
5	ANALYSE DES RÉSULTATS	48
6	RECOMMANDATIONS	51
	CONCLUSION	53
	LISTE DES RÉFÉRENCES	54
	BIBLIOGRAPHIE	61
	ANNEXE 1 – PERTE DE PHOSPHORE EN RUISELLEMENT D’UN SYSTÈME ENGAZONNÉ	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Pourcentages d'évapotranspiration, d'infiltration et de ruissellement selon différents types de surfaces	16
Tableau 2.2 : Largeurs de bande riveraine recommandées pour remplir certaines fonctions	18
Tableau 2.3 : Techniques de contrôle du phosphore dans les eaux de ruissellement selon différentes occupations du sol	20
Tableau 3.1 : Coefficient de ruissellement selon différents types de surfaces	28
Tableau 3.2 : Concentration moyenne par événement de phosphore total (mg/L) des eaux de ruissellement	29
Tableau 3.3 : Charges polluantes annuelles (kg/ha-an) selon différents types d'occupation du sol	30
Tableau 3.4 : Coefficients d'exportation du phosphore selon le type de traitements des eaux usées	34
Tableau 3.5 : Pourcentages d'exportation de la charge en phosphore d'une installation septique selon sa distance par rapport au réseau hydrographique	34
Tableau 3.6 : Pourcentages de réduction des volumes de ruissellement et d'enlèvement du phosphore pour différentes pratiques	36
Tableau 3.7 : Efficacité de rétention des éléments nutritifs et des sédiments par les bandes riveraines	37
Tableau 3.8 : Efficacité de rétention de la pollution diffuse par les bandes riveraines	38

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Diminution de la charge en phosphore des rejets d'eaux usées municipales entre les années 1980 et 2002	10
Figure 2.1 : Jardin pluvial	21
Figure 2.2 : Puits d'infiltration	22
Figure 4.1 : Calculateur utilisable par les citoyens. Première partie de la section 1 – Émissions.....	40
Figure 4.2 : Calculateur utilisable par les citoyens. Première partie de la section 1 – Émissions (suite).....	41
Figure 4.3 : Calculateur utilisable par les citoyens. Deuxième partie de la section 1 – Émissions...	42

Figure 4.4 : Calculateur utilisable par les citoyens. Section 2 - Réduction.....	44
Figure 4.5 : Calculateur utilisable par les citoyens. Conseils pratiques.	47

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

APGQ	Association des producteurs de gazon du Québec
BMP	<i>Best management practice</i>
FIHOQ	Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec
GRIL	Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique
L.C.M.	Loi sur les compétences municipales
MAAO	Ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture de l'Ontario
MAMROT	Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
P	Phosphore
PGO	Pratiques de gestion optimale
Ptot	Phosphore total
Q-2 r.8	Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (ancienne numérotation)
Q-2 r.17.3	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (ancienne numérotation)
Q-2 r.22	Règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées
RAPPEL	Regroupement des Associations pour la Protection de l'Environnement des Lacs et des cours d'eau de l'Estrie et du haut bassin de la rivière Saint-François

INTRODUCTION

Le Québec possède une très grande richesse en eau douce avec ses nombreuses rivières et avec plus de 750 000 lacs (Dupont, 1997). Par contre, plusieurs lacs subissent une dégradation accélérée contribuant à l'augmentation excessive de plantes aquatiques et d'algues microscopiques. Cette dégradation, que l'on nomme eutrophisation, est notamment causée par des quantités excessives de phosphore (P) rejetées dans l'environnement qui peuvent provenir, entre autres, de l'agriculture, des industries, des riverains ou des citoyens présents dans le bassin versant. En effet, dans les années soixante-dix on a eu droit à plusieurs expérimentations de grande envergure sur des lacs qui ont permis de confirmer la contribution importante du phosphore dans le phénomène d'eutrophisation des lacs (Schindler, 1974). Ainsi, en 2008, est entrée en vigueur la réglementation portant interdiction à la mise en marché des détergents à vaisselle contenant plus de 0,5 % de phosphore (Gouvernement du Québec, 2002a). D'ailleurs, c'est entre autres avec la problématique des algues bleu-vert devenue un sujet important dans l'actualité il y a quelques années que la problématique du phosphore a refait surface. La protection des lacs est ainsi d'autant plus un sujet d'actualité, puisque les gens ont recommencé à prendre conscience de l'importance de cette protection afin de pouvoir continuer de faire usage des lacs.

Selon Bennett *et al.* (2001), la quantité de phosphore emmagasinée dans les sols et dans les écosystèmes aquatiques a augmenté d'au moins 75 % depuis l'ère préindustrielle. Une cause majeure de cette augmentation est l'agriculture. En effet, l'agriculture, par l'usage intensif d'engrais minéraux, la gestion des fumiers et des lisiers, les pertes de sols, etc., contribue grandement à la contamination des cours d'eau par le phosphore. Dans certains bassins versants du Québec avec une présence agricole importante, les apports de phosphore par l'agriculture comptaient entre 52 et 75 % des apports totaux de phosphore dans le bassin versant à la fin des années 1990 (Ministère de l'Environnement, 2003). Les apports industriels et municipaux comptaient tout de même pour 17 à 35 % des apports de phosphore dans ces bassins versants. Ainsi, l'agriculture n'est pas la seule responsable de l'eutrophisation des lacs. En effet, l'industrie et le développement résidentiel contribuent aussi à ce phénomène. D'ailleurs, dans la plupart des bilans d'apport de phosphore, une distinction entre les sources de phosphore ponctuelles et diffuses est présente. Bien que les définitions peuvent parfois varier, Dorioz *et al.* (2004) donne cette définition :

« Les sources ponctuelles sont celles qui entrent dans le réseau hydrographique indépendamment de la pluviométrie, en des sites précis et relativement facilement

identifiables. [...] Les sources diffuses présentent une dynamique bien différente: elles ne se manifestent qu'en période de ruissellement ou de ressuyage des sols ».

Ainsi, les rejets d'eaux usées municipales ou d'industries sont associés aux sources ponctuelles alors que les installations septiques individuelles et l'agriculture sont plus souvent associées aux sources diffuses. Bien que dans certaines régions l'agriculture soit la cause la plus importante d'émissions de phosphore, il demeure qu'à plusieurs endroits la pression urbaine se fait de plus en plus sentir. Notamment, la ville de Québec a connu entre 1900 et 2000 une croissance de sa population de plus de 200 % et a quadruplé la taille de sa zone urbanisée (Hatvany, 2001). Ainsi, les fortes croissances urbaines viennent souligner l'importance de considérer les sources de phosphore provenant de ce secteur. De plus, l'étalement urbain peut amener de nouvelles pressions sur les cours d'eau et les lacs notamment. Selon les perspectives démographiques émises pour les années 2006 à 2031, les Laurentides, par exemple, pourraient connaître une augmentation de la population de 34 % contre 12 % pour Montréal (Ville de Montréal, 2011). Ainsi, dans le cadre de cet essai, ce seront les sources de phosphore provenant du développement résidentiel qui seront abordées.

Beaucoup de recherches sur le phosphore ont déjà été réalisées. Bien que dans certains cas on ne comprenne pas toujours les impacts et tous les facteurs influençant la rétention et la mobilisation du phosphore, plusieurs études ont été accomplies notamment au cours des dernières années afin de modéliser la provenance des différentes sources de phosphore (Behrendt *et al.*, 2003; Roberts et Stephen, 2010; Seppälä *et al.*, 2004). D'autres études tentent quant à elles de calculer la capacité de support en phosphore de certains bassins versants (Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique (GRIL), 2009; Laniel 2008). Plusieurs études énoncent aussi certaines bonnes pratiques à mettre en place afin de réduire les quantités de phosphore émises (Dietz *et al.*, 2004; Dupont, 1997; Lehman *et al.* 2009; Wu *et al.*, 2010). Par contre, jusqu'à maintenant aucun outil permettant de comptabiliser les émissions de phosphore émises par les citoyens ne semble avoir été développé. Ce genre d'outil peut aider les citoyens à prendre conscience de leur impact et leur fournir des solutions pratiques pour diminuer leurs émissions de phosphore. En effet, malgré la bonne volonté de plusieurs personnes visant la diminution de leur impact sur l'environnement, il arrive souvent qu'elles ne sachent tout simplement pas comment s'y prendre. D'ailleurs, on assiste maintenant à un accès plus facile pour les citoyens à plusieurs calculateurs visant à faire prendre conscience de notre empreinte écologique soit aux niveaux de notre consommation d'eau, d'énergie ou de nos émissions de carbone dans l'atmosphère par exemple. Entre autres, le programme Novoclimat met à la disposition des citoyens des formulaires

permettant de connaître l'efficacité énergétique d'une maison (Gouvernement du Québec, 2011). Défi Climat était aussi une façon de connaître son impact au niveau des émissions de CO₂ tout en proposant des solutions de réduction d'émissions. Hydro-Québec met aussi à la disposition des résidents des formulaires de diagnostic complet sur l'efficacité énergétique ainsi que des recommandations pour diminuer la consommation d'énergie (Hydro-Québec, 2012). L'avantage de ces calculateurs est qu'ils suggèrent en même temps des solutions concrètes et applicables pour les citoyens afin de les aider dans leur démarche de changement d'habitude. Ainsi, avec l'intérêt croissant des gens à vouloir protéger nos lacs, il devient d'autant plus utile d'aider les gens dans leur démarche de diminution d'émissions de phosphore.

Cet essai s'inscrit dans une démarche de réduction de la quantité totale de phosphore migrant jusqu'aux cours d'eau et aux lacs. Une des sources de rejets de phosphore qui se rendent jusqu'aux lacs est l'émission de ceux-ci par les citoyens résidents dans le bassin versant. Ainsi, l'objectif de cet essai est de faire prendre conscience aux citoyens de leur impact potentiel sur l'environnement au niveau de leurs rejets en phosphore par l'utilisation d'un calculateur d'émissions de phosphore afin que ceux-ci en diminuent leurs émissions dans l'environnement. Ainsi, l'élaboration du calculateur d'émissions de phosphore peut permettre de sensibiliser les citoyens aux différentes provenances du phosphore qui peuvent se jeter dans l'environnement et de proposer des solutions concrètes afin de diminuer ses émissions.

Cet essai débute par une explication des différentes sources d'émissions de phosphore en expliquant les principes de la migration du phosphore et de la rétention/exportation de celui-ci. Le deuxième chapitre élabore sur les solutions potentielles afin de diminuer l'émission de phosphore à la source ainsi qu'en améliorant la rétention de l'eau et du phosphore. Ensuite, la méthodologie de la conception du calculateur ainsi que les données utilisées dans les calculs sont expliquées. Le quatrième chapitre présente le calculateur que les citoyens peuvent utiliser. Une analyse des résultats donnés par le calculateur avec des exemples d'utilisateurs est faite dans le cinquième chapitre. Finalement, des recommandations quant à son utilisation et à son amélioration sont proposées.

Pour obtenir le calculateur sous forme Excel, veuillez écrire à l'adresse courriel suivante : ariane.rose-tremblay@usherbrooke.ca

1 SOURCES D'ÉMISSIONS DE PHOSPHORE

Dans ce chapitre, il sera question de plusieurs sources d'émissions de phosphore. En premier lieu, comment le phosphore peut migrer d'un milieu à l'autre et les différents comportements de celui-ci seront abordés, suivi par les différentes composantes du terrain qui peuvent influencer la migration ainsi que l'influence des événements climatiques extérieurs. L'émission de phosphore et l'impact du ruissellement de surface et de l'érosion suivront. Ensuite, l'émission de phosphore suite au traitement des eaux usées sera développée selon les types d'installations septiques individuelles, selon les types de traitements des eaux usées par les villes ainsi que selon les types de réseaux d'égouts. Finalement, l'utilisation des engrais et le développement résidentiel autour des lacs seront abordés.

1.1 Dynamique du phosphore

Afin de bien comprendre l'importance des apports de phosphore dans un lac ou un cours d'eau, il est primordial de connaître la dynamique du phosphore. En effet, le phosphore se retrouvant sous plusieurs formes, ce sont sa capacité de migration et sa disponibilité pour les plantes qui peuvent occasionner une différence majeure pour l'eutrophisation d'un lac. En effet, si le phosphore se rend jusqu'aux cours d'eau ou aux lacs sous une forme disponible pour les plantes aquatiques ou les algues microscopiques, un vieillissement prématuré des lacs peut survenir par l'augmentation excessive de la production biologique (Gouvernement du Québec, 2002b).

1.1.1. Forme et mobilité du phosphore

Tout d'abord, le phosphore existe sous plusieurs formes soit dans l'eau ou dans les sédiments. Dans l'eau, on le retrouve sous forme de phosphore dissous, incluant le phosphore inorganique et organique dissous, et sous forme de phosphore particulaire, c'est-à-dire adsorbé sur des particules de matière en suspension dans l'eau (McMeekin, 2009). Les phosphores organique et inorganique peuvent être utilisés entre autres par le phytoplancton, le zooplancton et les bactéries qui peuvent d'ailleurs excréter du phosphore sous forme organique (Blais et Patoine, s.d.). L'ion orthophosphate (PO_4^{3-}) est la forme la plus utilisée par les plantes aquatiques et autres végétaux (Beaudin *et al.*, 2008). Le phosphore organique présent dans l'eau peut aussi être minéralisé, c'est-à-dire être transformé sous forme inorganique, ou adsorbé sur les sédiments en suspension (Blais et Patoine, s.d.). Par contre, seulement une faible portion du phosphore particulaire peut être utilisée par les organismes vivants (Blais et Patoine, s.d.). Pour ce qui est des sédiments, le phosphore labile qui est

le plus enclin à changer d'état est la forme la plus directement utilisable par les plantes (Salvia-Castellvi *et al.*, 2002). Le phosphore peut également exister sous forme liée avec le fer ou l'aluminium et dans ce cas, la disponibilité du phosphore pour les plantes va dépendre notamment du pH des sédiments et du potentiel d'oxydoréduction. Finalement, il peut aussi être lié au calcium ainsi qu'être présent sous forme organique non labile ou inerte, soit trois formes peu bioassimilables (Salvia-Castellvi *et al.*, 2002).

Plusieurs facteurs vont influencer le relargage du phosphore à partir des sédiments. Ce relargage va grandement dépendre de la morphométrie du lac. En effet, le caractère oxiq ou anoxiq des sédiments, soit la présence ou l'absence d'oxygène, qui peut entre autres dépendre de la profondeur du lac, va influencer le relâchement du phosphore (Søndergaard *et al.*, 2003). Les sédiments d'un lac vont contribuer à retenir une certaine partie des apports de phosphore. Il est alors possible d'évaluer un coefficient de rétention du phosphore qui sera entre autres dépendant du temps de résidence de l'eau dans un lac (Søndergaard *et al.*, 2003). En effet, plus l'eau demeure longtemps dans un lac, plus le phosphore aura l'occasion de sédimenter. Par contre, plusieurs autres facteurs vont influencer la sédimentation du phosphore. Il peut entre autres co-précipiter avec le calcium. Le potentiel d'oxydoréduction, soit la capacité à capter ou donner un ou des électrons, va aussi jouer un rôle important. D'autres facteurs tels que le vent, le pH, le ratio fer : phosphore dans les sédiments, le taux de décomposition de la matière organique, la température, la diffusion chimique par gradient entre les sédiments et la colonne d'eau, l'abondance des macrophytes et même certains organismes bioperturbateurs vont influencer la rétention et le relargage du phosphore dans les sédiments (McMeekin, 2009; Søndergaard *et al.*, 2003). L'influence des macrophytes sur la rétention du phosphore a notamment été étudiée dans plusieurs lacs des Laurentides. En effet, il a été constaté lors d'études de l'impact du développement résidentiel autour des lacs sur la qualité de l'eau, que le phosphore n'augmentait pas nécessairement dans la colonne d'eau, mais s'accumulait plutôt dans les tissus des macrophytes (Greene, 2012). Par contre, ce phosphore accumulé pourra être relâché lors de la décomposition des macrophytes (Greene, 2012). Ce phénomène est d'autant plus important au Québec, puisque les plantes vont croître et accumuler du phosphore pendant l'été et vont mourir avant l'hiver.

La rétention et le relargage du phosphore dans les sédiments d'une rivière vont aussi jouer un rôle considérable dans le phénomène d'eutrophisation. En effet, plusieurs études démontrent que les rivières vont avoir tendance à accumuler le phosphore durant la période de basses eaux et qu'elles

vont le relâcher lors de périodes de crues (Dorioz *et al.*, 2004). Le phosphore accumulé peut même être relâché en totalité selon l'importance des crues et des caractéristiques de la rivière.

La rétention du phosphore par les sédiments dans les lacs peut aussi avoir un impact sur le délai de réponse des lacs à une diminution des apports de phosphore dans le bassin versant (Søndergaard *et al.*, 2003). Ceci est une considération importante lorsque des mesures de restauration des lacs sont prises pour diminuer les charges en phosphore. Il est donc primordial de considérer les effets à long terme par des mesures préventives. De plus, étant donné une vitesse de migration très lente du phosphore, il est important de considérer les effets d'accumulation à long terme. En effet, on considère généralement une vitesse de migration dans le sol de 1 mètre par année pour le phosphore (Chery et Barbier, 2000).

1.1.2. Composantes du sol

La dynamique du phosphore peut être grandement influencée par la composition du sol. En effet, d'une région à l'autre, différentes caractéristiques du bassin versant auront des impacts différents sur la migration et la rétention du phosphore. Au Québec, on retrouve dans la littérature deux grands types de modèles distincts pour l'évaluation de la capacité de support en phosphore dans un bassin versant, soit pour la région des Laurentides (impacts marqués par la villégiature) et pour la région de l'Estrie (caractérisé par un faible relief, une faible acidité de l'eau, un apport en carbone organique dissous élevé et une présence importante de l'agriculture) (GRIL, 2009).

Lorsque l'on parle de migration du phosphore selon divers types de terrain, il est important d'intégrer le concept de coefficient rétention et d'exportation du phosphore puisque cela permet de prendre en compte la quantité de phosphore qui va migrer jusqu'à un plan d'eau. La rétention du phosphore par les sols est influencée par sa nature, sa constitution et son épaisseur, mais aussi selon le régime des précipitations et le type d'utilisation du territoire (GRIL, 2009). Plusieurs coefficients selon différentes utilisations du territoire sont d'ailleurs disponibles à ce sujet et seront vus à la section 3.3.1 (Bourget, 2011; Line *et al.* 2002; Lamontagne *et al.*, 2000; Prepas *et al.*, 2001). Ainsi, les forêts auront un coefficient d'exportation moins élevé qu'un terrain de villégiature ou agricole par exemple. Une étude réalisée par Prepas *et al.* (2001) a démontré le lien entre la déforestation et l'augmentation de l'exportation du phosphore par l'accentuation de l'érosion et du ruissellement de surface.

1.1.3. Influence des facteurs naturels

Bien que les facteurs anthropiques jouent un rôle important quant aux émissions de phosphore se rendant aux lacs et cours d'eau, certains facteurs naturels peuvent aussi jouer un rôle important. D'ailleurs, certains événements naturels influençant le transport du phosphore peuvent avoir un impact encore plus important en raison de certains usages anthropiques du territoire. Ainsi, il sera tout d'abord discuté de l'importance des phénomènes météorologiques, soit des événements de grosses pluies ainsi que de la fonte des neiges qui jouent un rôle important au Québec, suivi par le rôle des changements climatiques dans la problématique du phosphore.

Dans une étude effectuée dans le bassin versant du lac Bromont en Estrie au Québec, la concentration en phosphore total (P_{tot}) des affluents était corrélée aux précipitations des trois jours avant la prise d'échantillon (McMeekin, 2009). Dans une autre étude sur la coupe forestière dans la région des Plaines boréales de l'Alberta, des effets marqués des changements de concentration de phosphore dans les lacs selon les conditions météorologiques ont été notés (Prepas *et al.*, 2001). Les effets plus ou moins importants des changements de concentrations étaient aussi grandement en lien avec la taille du bassin versant par rapport au volume du lac.

La fonte des neiges peut aussi être une période critique de transport du phosphore par le ruissellement vers les cours d'eau et les lacs étant donné le fort volume d'eau qui peut ruisseler en un court laps de temps. D'ailleurs, les changements climatiques peuvent amplifier le transport du phosphore vers les lacs avec une augmentation de pluies abondantes, mais aussi par le réchauffement de l'eau qui peut amener une augmentation des zones anoxiques dans les lacs et favoriser ainsi un relargage de phosphore par les sédiments (Komatsu *et al.*, 2007).

1.1.4. Ruissellement de surface et érosion

L'augmentation du ruissellement a un impact important concernant la problématique de l'eutrophisation des lacs. Bien que le ruissellement ne soit pas une source directe d'émissions de phosphore, il joue un rôle important dans la dynamique des sources diffuses de pollution en phosphore. En effet, les sources de pollution diffuse, contrairement aux sources ponctuelles, ne vont se manifester qu'en période de ruissellement en entraînant toutes les charges en phosphore accumulées (Dorioz *et al.*, 2004). La pollution de sources diffuses s'exprimera particulièrement lors de fortes pluies et lorsque la rétention d'un milieu est faible occasionnant ainsi un plus haut taux de ruissellement.

L'érosion des sols va donc aussi contribuer à un apport de phosphore dans les cours d'eau et les lacs puisque les particules du sol érodé contiennent du phosphore. En effet, la susceptibilité des sols à l'érosion varie selon le type de sols. Des facteurs comme une pente plus abrupte, un apport d'eau en milieu de pente par un niveau de nappe phréatique élevé et la fonte des glaces vont favoriser l'érosion et parfois même des décrochements de sol (Paquette, 2010).

L'accroissement de la population dans les zones urbaines contribue grandement à l'augmentation de l'érosion (Carpenter *et al.*, 1998). En effet, la contribution du développement urbain à l'érosion et au ruissellement est importante que ce soit au moment de la construction d'un nouveau développement ou par la suite par l'augmentation du pourcentage de surfaces imperméables. Le déboisement nécessaire au développement, la présence de routes et de fossés routiers, la présence d'égouts pluviaux, vont tous contribuer à augmenter le ruissellement de surface et l'érosion entraînant par le fait même une certaine quantité de phosphore.

1.2 Traitement des eaux usées

Le type de traitement des eaux usées varie si l'on se trouve en zone urbaine ou rurale et va aussi dépendre des types d'installations utilisés par chaque municipalité. En zone plus densément peuplée, les usines de traitement des eaux usées seront utilisées alors qu'en zone de population moins dense, ce seront les installations septiques individuelles. En 2009, au Québec, environ 83 % des ménages étaient raccordés à un réseau d'égout contre 13 % des ménages qui possédaient une fosse septique privée (Statistique Canada, 2012). Dans le cadre de l'étude d'impact réalisée pour la réglementation canadienne sur la concentration en phosphore, il a été démontré que les plus grandes sources ponctuelles de rejet de phosphore sont les effluents des égouts incluant les débordements. De plus, en milieu rural ce sont les systèmes d'installations septiques mal conçus qui sont une importante source de rejets en phosphore (Gouvernement du Canada, 2009). Ainsi, dans cette section, les différents types d'installations septiques individuelles, de traitement des eaux usées et de réseaux d'égouts seront abordés ainsi que leur contribution à l'émission de phosphore.

1.2.1. Installations septiques individuelles

Les systèmes d'installations septiques individuelles sont considérés comme des sources de phosphore. D'ailleurs, bien que les installations septiques individuelles se retrouvent au Québec en faible pourcentage par rapport aux ménages raccordés à un réseau d'égouts, celles-ci ont un rôle important à jouer dans la problématique d'eutrophisation puisque dans bien des cas les installations

se retrouvent près des lacs et des cours d'eau et peuvent contribuer de façon significative à l'augmentation du phosphore dans les plans d'eau. Plusieurs systèmes septiques peuvent être utilisés et avoir différents impacts. Au Québec, le règlement sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées (Q-2 r.22) réglemente ce type d'installations. Tout d'abord, un système d'installations septiques doit contenir un système de traitement primaire communément appelé fosse septique et un système de traitement secondaire dont il existe maintenant divers types selon les différentes contraintes du terrain. Ceux considérés par le règlement sont l'élément épurateur classique, l'élément épurateur modifié, les puits absorbants, le filtre à sable hors sol et le filtre à sable classique. Il existe aussi des systèmes de traitement secondaire avancé et des systèmes de traitement tertiaire. Dans certains cas, lorsqu'aucun système de traitement secondaire n'est possible, des fosses scellées peuvent être installées n'émettant aucun rejet à l'environnement à l'endroit où elles se trouvent si celles-ci sont vidées selon les normes prescrites. Les installations de type cabinet à fosse sèche, installation à vidange périodique, installation biologique, le cabinet à fosse sèche ou à terreau avec le puits d'évacuation et le champ de polissage peuvent aussi être présents dans certains cas. Il va sans dire que la quantité d'émissions de phosphore à l'environnement peut varier grandement selon le type d'installation septique et dépend aussi de sa conformité ainsi que de son niveau d'entretien.

1.2.2. Traitement des eaux usées municipales

Les systèmes de traitement des eaux usées municipales sont aussi une source directe de rejet de phosphore dans l'environnement importante à considérer. Il existe plusieurs types d'usines de traitement des eaux usées ayant chacune des performances de traitement différentes influençant la quantité de phosphore rejeté. Dans certains cas, les usines de traitements doivent satisfaire à une norme maximale de rejet de phosphore établie selon la sensibilité du milieu récepteur, les limitations technologiques, les contraintes économiques liées au développement du territoire municipal et les contraintes législatives (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2012). Ceci implique donc dans plusieurs cas l'obligation d'installer des procédés de déphosphatation. Malgré une diminution des rejets en phosphore par les eaux usées municipales, il demeure qu'en 2002 les rejets dépassaient toujours les 5 tonnes de phosphore total par jour (figure 1.1).

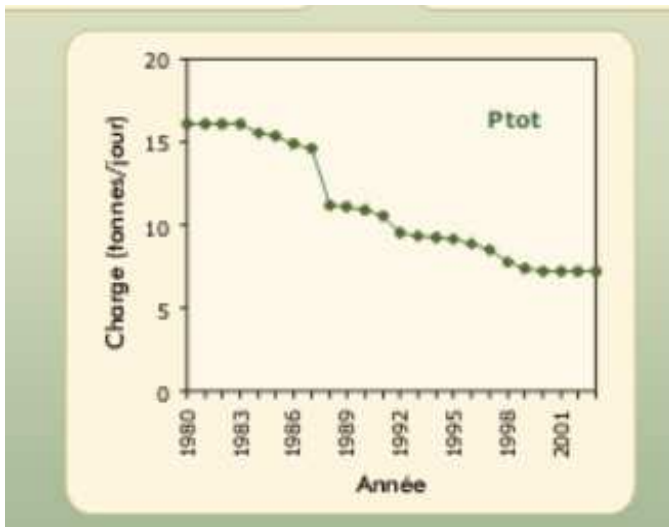


Figure 1.1 : Diminution de la charge en phosphore des rejets d’eaux usées municipales entre les années 1980 et 2002 (tiré de : Ministère du Développement durable, de l’Environnement et des Parcs, 2004).

Parmi les principaux types de traitement rencontrés au Québec on retrouve le physico-chimique, les étangs aérés, la biofiltration, les boues activées et le réacteur biologique séquentiel (Comeau *et al.*, 2005). Les étangs, qu’ils soient aérés ou non, comptent pour la majorité des systèmes utilisés et sont plus particulièrement utilisés par les petites municipalités qui ne reçoivent pas beaucoup de débit puisque ce type de traitement des eaux est peu coûteux et demande peu d’entretien. Par contre, bien qu’au Québec il y ait moins de types de traitement des eaux usées mécanisés (traitement biologique par boues activées, disques biologiques, physico-chimique, etc.), ces usines comptent pour la plus grande part du débit d’eau traité au Québec (Perron et Hébert, 2007). En effet, des villes avec une grande population telles que Montréal et Laval les utilisent. Les étangs aérés avaient en 2011 une concentration moyenne à l’effluent de 0,54 mg/l de phosphore et les traitements de type physico-chimique avaient une concentration moyenne de 0,42 mg/l de phosphore (Moreira et Boudreault, 2012). Toutefois, les résultats de l’usine physico-chimique de Montréal influencent beaucoup les résultats de moyennes puisque celle-ci à une norme de rejet de 0,50 mg/l de phosphore alors que la majorité des autres traitements ont une norme de 0,8 mg/l de phosphore. Ainsi, la moyenne de rejets de phosphore par jour pour toutes les stations d’épurations municipales pour lesquelles les données sont disponibles est de 2 114,2 kg/d (Moreira et Boudreault, 2012).

1.2.3. Réseau d'égout unitaire versus séparé

Le type de réseau d'égout retrouvé dans les différentes municipalités a aussi un rôle important à jouer dans l'émission de phosphore dans l'environnement. La plupart des réseaux déjà en place sont des réseaux d'égouts unitaires transportant en même temps les eaux usées et les eaux de pluie augmentant grandement le débit d'eau à traiter dans les usines de traitement. De plus, dans beaucoup de municipalités, des problèmes de surverses des égouts surviennent. Ainsi, l'eau non traitée se retrouve directement dans l'environnement augmentant la charge de phosphore présente dans la nature. En effet, en 2011 il a été comptabilisé pour 774 stations du Québec 4 386 surverses (Moreira et Boudreault, 2012). Bien que la plupart des débordements aient lieu lors de fortes pluies, lors de la fonte des neiges ou lors des situations d'urgence, certains débordements ont quand même lieu par temps sec souvent en raison d'une sous-capacité du réseau de traitement des eaux usées de la municipalité (Moreira et Boudreault, 2012).

Les réseaux d'égout récents, quant à eux, sont de type séparé permettant de transporter les eaux usées et les eaux de pluie séparément. Les eaux de pluie sont directement retournées à l'environnement sans être mélangées aux eaux usées diminuant le débit d'eau à traiter dans les usines de traitements. Bien que les réseaux séparés diminuent le débit ainsi que les risques de débordements, les pluies qui ont circulé dans le réseau urbain entraînant par ruissellement de surface le phosphore qui a été émis dans l'environnement vont être rejetées dans les cours d'eau sans traitement.

Il est ainsi important de considérer les émissions de phosphore en milieu urbain desservi par un réseau d'égouts même si les citoyens ne se trouvent pas directement près d'un cours d'eau ou d'un lac. Tout d'abord, étant donné les risques de débordements lors du transport des eaux usées expliqués plus haut, le phosphore présent dans les eaux usées est susceptible de se retrouver à tout moment directement dans l'environnement et ensuite de migrer jusqu'aux cours d'eau et aux lacs. De plus, comme toutes les eaux usées sont transportées à l'usine la charge totale en phosphore est élevée et parfois difficile à traiter. Ainsi, tout le phosphore non traité se retrouve dans un cours d'eau. Finalement, si le réseau d'égout municipal est de type séparé, il est aussi important de considérer les émissions de phosphore urbaines puisque toute l'eau de pluie ayant entraîné du phosphore va circuler dans le réseau d'eau pluvial pour aboutir dans un cours d'eau.

1.3 Utilisation des engrais

Au Québec, l'application, la fabrication et l'élimination des engrais sont règlementées par les municipalités (Bouchard, 2011). La réglementation et le suivi quant à la bonne gestion des engrais varient grandement d'une municipalité à l'autre. Bien que la plupart des études sur les fertilisants mentionnent l'effet de la perte en azote vers les lacs et les cours d'eau lors de l'application d'engrais en milieu résidentiel, quelques-unes ont aussi démontré la perte en phosphore. En effet, la perte en phosphore vers les milieux aquatiques résultant de l'application d'engrais est influencée notamment par les précipitations, la méthode d'application et les conditions du sol. Le volume de pluie et l'intensité de ces pluies jouent un rôle majeur dans la quantité de nutriments qui vont ruisseler incluant aussi l'humidité du sol (Shuman, 2004). D'ailleurs si plusieurs petites applications de fertilisants sont effectuées par rapport à une seule grande application, il y aura moins de perte de phosphore. D'où l'importance de bonnes méthodes d'application. Au Québec, 47 % des ménages qui possèdent une pelouse ont déclaré utiliser des engrais chimiques ou organiques en 2009 et dans 72 % des cas les engrais ont été appliqués par un membre du ménage et non par une compagnie d'entretien des pelouses (Statistique Canada, 2011).

Bien que l'application de fertilisants près des rives ou sur la rive d'un cours d'eau ou d'un lac a un effet plus direct quant à l'émission de phosphore, l'importance de l'émission de phosphore par l'application d'engrais en dehors de ces zones n'est pas à négliger. Ceci peut s'expliquer par le fait que les eaux de surface vont ruisseler d'une propriété et dans les entrées jusqu'aux voies publiques pour être acheminées dans les égouts et se retrouver directement dans les cours d'eau (Gervais, 2012).

1.4 Développement résidentiel autour des lacs

Le développement résidentiel autour des lacs peut aussi contribuer à l'eutrophisation des lacs, par la présence de bâtiments, de murets, de quais et de plages (Green, 2012). Le changement de couverture du sol, passant par exemple d'un couvert forestier à un couvert imperméable ou engazonné contribue à ce que le phosphore se rende plus directement au cours d'eau ou aux lacs en diminuant la rétention du phosphore dans le sol et par les plantes. Ce changement de couverture du sol a un effet notable sur la quantité de phosphore transportée par les eaux de ruissellement. Par exemple, un couvert forestier va laisser ruisseler seulement 10 % de l'eau. Comparativement, une surface imperméable à 75 % et plus va laisser ruisseler 55 % de l'eau (Dugué, 2010). De plus, les systèmes d'installations septiques individuelles contribuent à l'apport de phosphore. En effet, il est

considéré que 100 % de la charge émise sera exporté vers le réseau hydrographique lorsque l'installation septique se trouve à moins de 100 mètres d'un cours d'eau ou d'un lac (Paterson *et al.*, 2006).

2 SOLUTIONS POTENTIELLES DE RÉDUCTION DU PHOSPHORE

Les connaissances scientifiques concernant les sources de pollution par les nutriments notamment par le secteur urbain sont pour le plus souvent déjà bien établies. De plus, dans bien des cas les technologies pour contrer cette pollution sont déjà existantes. Par contre, la barrière la plus importante pour mettre en place ces solutions est souvent aux niveaux social, politique et institutionnel (Carpenter *et al.*, 1998). En effet, plusieurs mesures utilisables à prendre au Québec pour réduire les apports de phosphore sont notamment déjà suggérées (GRIL, 2009) : «

- réduire ou interdire l'application d'engrais domestiques et agricoles à proximité des lacs et de leurs tributaires, y compris sur les terrains de golf;
- améliorer la gestion de l'écoulement, notamment en provenance des fossés de route, du drainage agricole et des égouts pluviaux, afin de favoriser l'infiltration et réduire les apports d'eau de ruissellement vers les lacs;
- vérifier la conformité des installations septiques (fosses et champs d'épuration) à la réglementation (Q-2, r.8);
- vérifier la conformité des rives à la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* (Q-2, r.17.3)
- préparer un *Plan directeur de bassin versant*, selon les recommandations du MDDEP ».

Ainsi, dans ce chapitre, il sera abordé plusieurs méthodes permettant soit la rétention du phosphore, soit la diminution du transport du phosphore lors du ruissellement de surface, soit la diminution à la source de la quantité de phosphore émise. Les caractéristiques du terrain qui influencent la rétention du phosphore seront en premier lieu abordées en incluant le type de sols ainsi que le pourcentage de surface végétalisée. Ensuite suivront les solutions permettant de diminuer les émissions de phosphore se rendant aux lacs, ce qui inclura les bandes riveraines, les pratiques de gestion optimales des eaux pluviales, les puits d'infiltration et les jardins d'eau, les techniques de fertilisation, la mise aux normes des installations septiques et la sensibilisation citoyenne. Une brève conclusion sur les solutions utilisables terminera ce chapitre.

2.1 Caractéristiques du terrain influençant la rétention du phosphore

Plusieurs caractéristiques propres au terrain de résidence vont influencer la rétention du phosphore. Il est important de connaître ces caractéristiques afin d'établir les zones à plus forts risques de pertes de phosphore vers les cours d'eau et les lacs. Le type de sols sera tout d'abord abordé suivi par l'influence du type de surface des terrains.

2.1.1. Type de sols

Dans une étude réalisée par Lacasse et Fanfan (2007) trois catégories de sols en fonction de la capacité de rétention du phosphore ont été établies, soit des sols de faible capacité (1,46 gP/kg de sol), de capacité moyenne (3,04 gP/kg de sol) et de haute capacité (5,66 gP/kg de sol). Les sols sableux, par exemple, vont être beaucoup plus sujets au lessivage des nutriments qu'un sol argileux qui lui a un potentiel de rétention des minéraux beaucoup plus élevé (Martineau *et al.*, 2008). L'humidité du sol influence aussi la disponibilité des minéraux puisqu'un sol saturé en eau ou au contraire en état de sécheresse vont tous deux avoir une absorption des minéraux diminuée (Martineau *et al.*, 2008). Dans une revue de littérature effectuée par Soldat et Petrovic (2008), les éléments qui sont ressortis de différentes études comme contribuant à une importante perte en phosphore sont la fertilisation de sols avec une faible capacité du sol à absorber le phosphore, des sols avec une grande quantité de matières organiques, des sols comportant un large réseau de macropores et des sols ayant une concentration élevée en phosphore dans les premières couches de sols pouvant être causée par un ajout à long terme ou un ajout excessif de phosphore. Ainsi, il devient important de faire des analyses de sols notamment lors de l'implantation d'une installation septique ou lors de la fertilisation de son gazon afin de déterminer le type de sol et le degré de saturation du sol en phosphore. En effet, l'adsorption du phosphore aux particules de sols va dépendre de la quantité d'argile, d'oxyde d'aluminium et de fer, de la matière organique et du carbonate de calcium présents dans les sols (Vought *et al.*, 1994). L'adsorption du phosphore est un processus dynamique visant l'atteinte d'un équilibre et est donc aussi influencée par le potentiel d'oxydoréduction, le pH, la température, la quantité de phosphore déjà adsorbée et le temps de réaction. Par exemple, si le sol est en condition anoxique, le Fe^{3+} va se transformer en Fe^{2+} et le phosphore qui était lié au Fe^{3+} se retrouvera en solution (Vought *et al.*, 1994).

2.1.2. Surface végétalisée

La végétation présente sur un sol peut aussi jouer un rôle important en influençant la structure du sol et donc la capacité de rétention des nutriments. Les types de surfaces d'un terrain vont donc grandement influencer le transport du phosphore notamment lors du ruissellement de surface. En effet, selon le pourcentage d'imperméabilité d'une surface le ruissellement versus l'infiltration et l'évapotranspiration sera plus ou moins important. En général, il est considéré qu'une zone non développée a un pourcentage d'imperméabilité de 5 % contrairement à un milieu résidentiel dont le pourcentage peut varier de 22 à 44 % d'imperméabilité (Rivard, 2012). Ainsi, une surface pavée en asphalte telle une entrée d'auto va grandement augmenter le ruissellement avec des valeurs autour

de 55 % de l'eau qui va ruisseler contribuant au transport direct vers les fossés, les égouts ou au lac du phosphore se trouvant dissous dans l'eau ou attaché à des particules. Le tableau suivant montre le pourcentage de ruissellement versus le pourcentage d'évapotranspiration et d'infiltration de différents types de surfaces.

Tableau 2.1 : Pourcentages d'évapotranspiration, d'infiltration et de ruissellement selon différents types de surfaces (tiré de : Dugué, 2010, page 5).

	Couvert végétal naturel	Surfaces imperméables à 10-20 %	Surfaces imperméables à 35-50 %	Surfaces imperméables à 75-100 %
Évapotranspiration	40 %	35 %	35 %	30 %
Infiltration	50 %	45 %	35 %	15 %
Ruissellement	10 %	20 %	30 %	55 %

Plusieurs études ont été menées afin de déterminer les pertes en phosphore d'une surface engazonnée. Bien que certains résultats semblent se contredire, quelques tendances peuvent en être ressorties. D'ailleurs en annexe 1 un tableau résumé provenant d'une revue de littérature réalisée par Soldat et Petrovic (2008) présente les résultats de différentes études sur les pertes en phosphore par ruissellement des écosystèmes engazonnés. À l'échelle du terrain, les valeurs de charge en phosphore ruisselé varient de 0,6 à 2,1 kg par hectare par année dans des conditions naturelles. Les charges en phosphore peuvent par contre varier si l'étude est faite à plus grande échelle. Dans quelques études les pertes en phosphore étaient plus grandes pour un terrain non fertilisé que pour un terrain fertilisé. Certaines études relient cela à la densité des racines alors que d'autres n'y ont pas trouvé de différences. D'ailleurs, la hauteur à laquelle est coupé le gazon, soit une coupe plus haute qui favoriserait une diminution des pertes de phosphore, pourrait avoir une plus grande influence que la densité des racines. Les différentes espèces de gazon pourraient aussi jouer un rôle sur les quantités de perte en phosphore ainsi que l'humidité du sol (Soldat et Petrovic, 2008). Finalement, une étude réalisée par Kussow (2008) conclut que les caractéristiques du sol ont un plus grand impact que le type et les conditions du gazon. D'ailleurs, le volume d'eau de ruissellement jouerait le rôle le plus important par rapport aux pertes de phosphore. De plus, étant donné les conditions climatiques particulières du Québec une attention spéciale doit être accordée à la présence des sols qui sont gelés une bonne partie de l'année. En effet, il a été trouvé que 80 à 87 % du ruissellement survient lorsque le sol est gelé (Kussow, 2008).

2.2 Solutions pour diminuer les émissions de phosphore se rendant aux lacs

Lorsque l'on tente de diminuer le phosphore, on peut s'attaquer soit à la diminution à la source d'émissions de phosphore ou à la rétention de celui-ci. Les bandes riveraines, les techniques de gestion des eaux pluviales afin d'en diminuer le volume d'eau ruisselant sont des solutions limitant le transport aux cours d'eau et au lac du phosphore. La sensibilisation ou la réglementation quant à elles peuvent viser certaines façons de diminuer à la source la quantité de phosphore utilisée. Ainsi, il sera abordé dans cette section, les bandes riveraines, les techniques de gestion optimale des eaux pluviales, les jardins d'eau et puits d'infiltration, les techniques de fertilisation, la mise aux normes des installations septiques et la sensibilisation citoyenne.

2.2.1. Bande riveraine

Les bandes riveraines sont des bandes de végétation en bordure des lacs et des cours d'eau composées des trois strates de végétation, soit herbacées, arbustives et arborescentes. Les bandes riveraines peuvent avoir des effets bénéfiques en créant des habitats pour la faune et la flore, en permettant de lutter contre l'érosion des sols et des rives, en agissant comme brise-vent, en constituant un élément du paysage, en faisant office de régulateur du cycle hydrologique et par la rétention des sédiments, de l'azote et du phosphore (Gagnon et Ganbazo, 2007). La bande riveraine est en effet d'une grande importance puisqu'elle fait le lien entre le milieu terrestre, riverain et aquatique. Selon la politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, la rive à protéger doit avoir un minimum de 10 mètres à partir de la ligne des hautes eaux et un minimum de 15 mètres lorsque la pente est de plus de 30 %. Par contre, il demeure que cette largeur de bande riveraine est arbitraire et que la détermination de la largeur nécessaire peut dépendre notamment des bénéfices recherchés et d'autres composantes extérieures (tableau 2.2).

Tableau 2.2 : Largeurs de bande riveraine recommandées pour remplir certaines fonctions
(tiré de : Gagnon et Ganbazo, 2007, page 11).

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

Plusieurs études se sont attardées à la fonction d'assainissement de la bande riveraine permettant d'obtenir plusieurs résultats concernant l'efficacité de rétention des nutriments notamment selon la largeur de la bande riveraine et selon la pente (voir chapitre 3). Il est possible de constater en observant les résultats de plusieurs études que le pourcentage de rétention du phosphore total varie selon les études, mais que la fonction d'assainissement de la bande riveraine semble toujours présente. Par contre, certains résultats obtenus notamment en considérant le phosphore dissous ne semblent pas démontrer une rétention et voire même démontrer plutôt un relâchement de phosphore dissous lors de la sénescence des plantes (Duchemin et Majdou, 2004). D'autres facteurs, autres que la largeur de la bande riveraine et la pente, peuvent ainsi influencer la rétention du phosphore. En effet, bien qu'une partie du phosphore soit absorbée par les végétaux, une certaine partie va se fixer sur des sites d'adsorption du sol et selon la saturation en phosphore du sol et la composition de celui-ci le phosphore pourra se libérer et augmenter dans certains cas la concentration de phosphore dissous dans les eaux de ruissellement (Gagnon et Ganbazo, 2007).

2.2.2. Pratiques de gestion optimale des eaux pluviales

De meilleures pratiques de gestion dans le but d'avoir un développement durable s'observent déjà dans plusieurs domaines. Par exemple dans le domaine de l'agriculture certains guides sont disponibles afin d'avoir une meilleure préservation des sols et de l'eau (Ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture de l'Ontario, 2012). Les pratiques de gestion optimale (PGO) pour la gestion des eaux pluviales aussi connues sous le nom de « Best management practice (BMP) » sont une tendance à la hausse dans ce domaine. En effet, les PGO visent à avoir de meilleures pratiques lors de la conception des réseaux de drainage et de la gestion des eaux pluviales afin de diminuer les impacts du développement urbain sur le réseau hydrologique (Rivard, 2012). Plusieurs techniques ont d'ailleurs déjà été étudiées. Le *Guide de gestion des eaux pluviales* du MDDEFP donne d'ailleurs de bonnes indications pour les municipalités notamment afin de réduire la quantité d'eau qui ruisselle dans les villes. Il donne aussi quelques techniques applicables pour les citoyens à l'échelle du terrain privé (tableau 2.3). Ainsi, les toits verts, les bacs récupérateurs d'eau de pluie, le débranchement des gouttières du système d'égouts pour les diriger vers une surface perméable agissent pour la réduction du volume d'eau qui ruisselle. Alors que des pavages poreux et la biorétention (jardins de pluie) ou des puits d'infiltration vont agir pour une réduction du volume d'eau de ruissellement et contribuer à une diminution de la concentration de ces eaux en phosphore.

Tableau 2.3 : Techniques de contrôle du phosphore dans les eaux de ruissellement selon différentes occupations du sol (tiré de : Rivard, 2012, chapitre 11 page 18).

Occupation du sol	Options pour contrôle à la source
Résidentiel unifamilial	<ul style="list-style-type: none"> • Débranchement de gouttière • Baril de pluie pour réutilisation • Réaménagement du terrain pour débranchement de gouttière • Réaménagement du terrain pour ralentir l'écoulement et maximiser l'infiltration • Jardins de pluie et plantations • Réduction de l'usage des fertilisants • Débranchement du drain de fondation • Entrée d'auto perméable • Puits/tranchée d'infiltration pour eau de toit • Aménagement paysager plus absorbant
Multilogements, institutionnel et commercial	<ul style="list-style-type: none"> • Débranchement de gouttière vers zones perméables, petit bassin en surface ou souterrain • Rétention sur le toit • Rétention dans les aires de stationnement (avec restricteurs) • Rétention avec conduite ou bassin souterrain • Ré-utilisation de l'eau • Toit vert • Réaménagement du terrain pour ralentir l'écoulement et maximiser l'infiltration • Zones de biorétention avec plantations dans les aires de stationnement • Pavage poreux • Tranchée d'infiltration • Bande filtrante • Aménagement paysager plus absorbant • Séparateurs d'huiles et sédiments • Fossés aménagés • Technologies perméables (système de conduites avec exfiltration, puisards perméables)
Espaces verts /parcs	<ul style="list-style-type: none"> • Diriger le ruissellement des aires de stationnement vers les zones gazonnées ou aménagées avec des plantations • Ajouter des arbres/plantations • Réduction de l'usage des fertilisants • Fossés aménagés • Technologies perméables (système de conduites avec exfiltration, puisards perméables)
Autoroutes/boulevards/Rues	<ul style="list-style-type: none"> • Ajouter des arbres/plantations • Réduction de l'usage des fertilisants • Fossés aménagés • Technologies perméables (système de conduites avec exfiltration, puisards perméables)

2.2.3. Puits d'infiltration et jardins d'eau

Les puits d'infiltration et les jardins d'eau ou d'eaux pluviales sont utiles pour empêcher le ruissellement pouvant provenir des eaux de pluie ou des eaux des gouttières par exemple. Les jardins d'eau, aussi nommés biorétention, peuvent être divisés en trois types, soit la biorétention avec recharge complète, avec zone anaérobie ou sans recharge (Dugué, 2010). La biorétention permet d'un côté de retenir une bonne partie de l'eau de ruissellement et de l'autre côté elle permet de filtrer certains contaminants. Concernant le phosphore, les pourcentages de rétention sont très variables allant jusqu'à un relargage plutôt qu'une rétention dans certains cas. Néanmoins, un pourcentage d'enlèvement du phosphore de 70 à 85 % a été trouvé dans certains cas (Davis *et al.*, 2006). La problématique au Québec vient du fait qu'il y a présence de l'hiver. Par exemple, les techniques de biorétention permettraient de retenir 50 % des volumes de pluie en été, par contre en

hiver la rétention serait de l'ordre du 10 % (Dugué, 2010). Une diminution de l'efficacité est à considérer en période hivernale. Les techniques de biorétention sont utilisables sur de plus grands terrains ou dans des grands stationnements par exemple, alors qu'en milieu urbain fortement peuplé, pour une utilisation à l'échelle d'un terrain privé habité, l'espace peut être insuffisant (Rivard, 2012). Les puits d'infiltration sont utiles pour retenir les eaux pluviales particulièrement pour des habitations unifamiliales et contribuent à la diminution du ruissellement et à l'amélioration de la qualité de l'eau. Il s'agit en fait d'infiltrer l'eau dans une fosse munie d'un revêtement filtrant et d'un matériau de drainage comme les roches (Rivard, 2012). Voici un exemple d'un jardin d'eau et un exemple de puits d'infiltration.

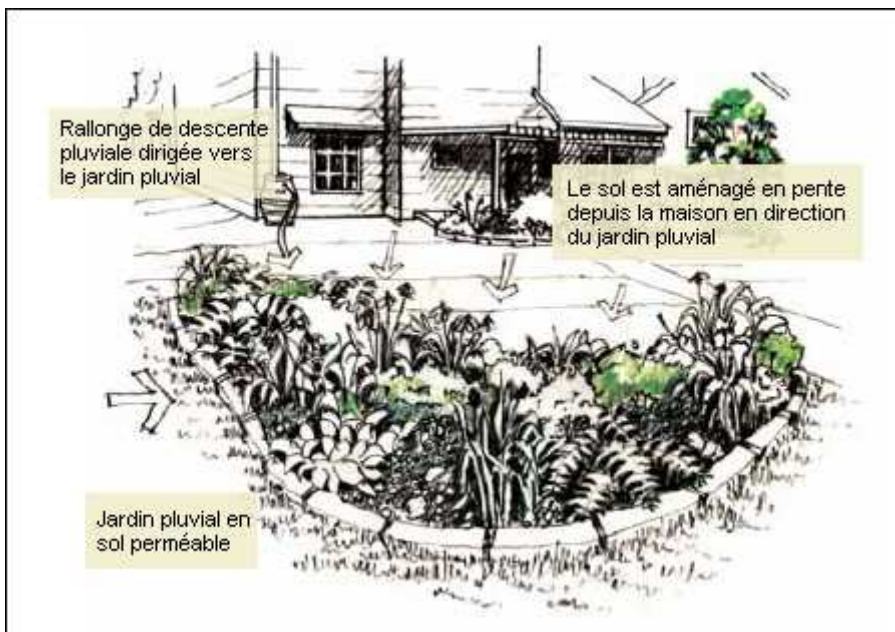


Figure 2.1 : Jardin pluvial (tiré de : Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2013).

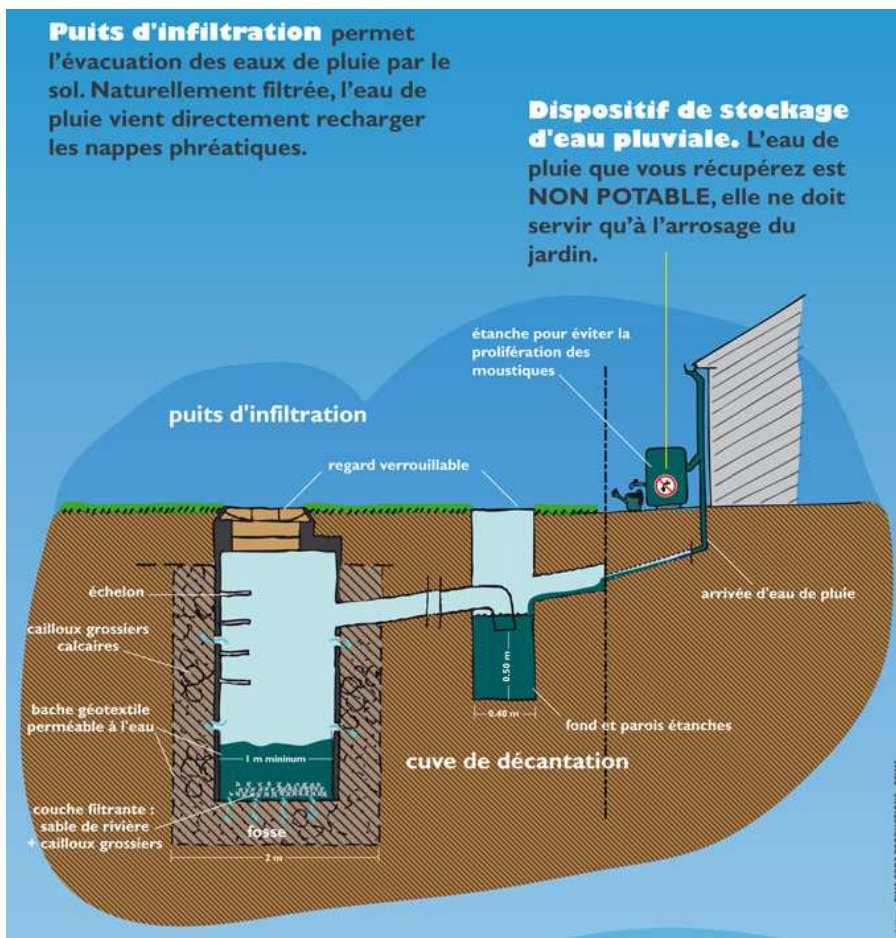


Figure 2.2 : Puits d'infiltration (tiré de : Directions de l'Eau et de l'Assainissement et des Systèmes d'Information et des Télécommunications de **Reims** Métropole, s.d).

2.2.4. Techniques de fertilisation

Selon la revue de littérature effectuée par Soldat et Petrovic (2008), une analyse sur l'utilisation d'engrais auprès des compagnies de fertilisation et auprès des propriétaires a permis d'établir que la population utilisait entre 2 et 10 kg de phosphore par hectare par année. Par contre, plusieurs pratiques peuvent influencer la quantité de phosphore ajoutée et la quantité de phosphore qui ruissellera directement dans l'environnement. Concernant les bonnes pratiques de fertilisation de son gazon, le guide *Implantation et entretien d'une pelouse durable* réalisé par l'association des producteurs de gazon du Québec (APGQ) et la fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec (FIHOQ) (Martineau *et al.*, 2008) est particulièrement utile. En effet, parmi les moyens suggérés dans le guide, on retrouve le respect d'une zone tampon de 10 mètres à partir de la ligne des hautes eaux sans utilisation d'engrais ou de pesticides, au-delà de ces 10 mètres,

favoriser des engrais sans phosphore, pratiquer l'herbicyclage, faire une analyse chimique du sol pour déterminer les besoins en engrais afin d'éviter la sur-fertilisation et laisser la pelouse à une hauteur de 8 cm (Martineau *et al.*, 2008). De plus, lors de l'utilisation d'engrais, plusieurs pratiques limitant le transport de phosphore par le ruissellement peuvent être utilisées. L'application doit tenir compte des conditions climatiques, soit ne pas appliquer d'engrais en période de canicule ou lors de printemps froid et pluvieux afin d'éviter le ruissellement des nutriments. Elle doit aussi tenir compte des propriétés du sol qui vont influencer la rétention du phosphore (voir chapitre 1). Il faut aussi éviter de fertiliser lorsque la végétation est en arrêt de croissance à l'automne. Le type d'engrais selon le type de sol est aussi à considérer ainsi que l'application en plusieurs doses selon le cycle de croissance plutôt qu'en une seule application (Martineau *et al.*, 2008). La pratique de l'herbicyclage, soit de laisser les rognures de gazon sur place suite à la tonte peut permettre la réduction de 25 % à 35 % de l'utilisation de phosphore lors de l'application d'engrais, puisque le phosphore contenu dans les rognures sera réutilisé par la pelouse en place (Martineau *et al.*, 2008). De plus, le fait d'arroser avec une petite quantité d'eau le gazon après l'application d'engrais permettrait de diminuer la quantité de phosphore qui va ruisseler par la suite puisque cela permet notamment aux engrais présents sur les feuilles de se retrouver dans le sol plutôt que d'être lessivés (Shuman, 2004). La réduction de la concentration de phosphore présente dans les eaux de ruissellement est passée de 13,8 % à 3,4 % lors de cette expérience avec et sans petit arrosage pour l'application d'engrais à un taux de 11 kgP/ha. Ainsi, le volume de pluie tombée et l'intensité de la pluie suite à l'application d'engrais ainsi que l'humidité du sol vont influencer les pertes en phosphore. Il est suggéré d'éviter l'application d'engrais lorsque de fortes pluies sont attendues, lorsque le sol a un niveau d'humidité élevé et d'éviter l'application en une seule dose (Shuman, 2004). Le fait d'appliquer l'engrais en plusieurs petites doses permet de réduire la quantité perdue en phosphore dans les eaux de ruissellement après chaque application (Soldat et Petrovic, 2008).

2.2.5. Mise aux normes des installations septiques

Les installations septiques très âgées ou déficientes peuvent être une source de rejet considérable de phosphore dans l'environnement. Malgré cela, la tâche de faire la démonstration qu'une installation précise est une source de contamination de l'environnement peut parfois être très ardue sans avoir recours à des moyens élevés. C'est d'ailleurs dans cette optique que l'entrée en vigueur de la Loi sur les compétences municipales (L.C.M) article 25,1 permet à toute municipalité d'obliger l'entretien et la conformité d'une installation septique au Q-2 r.22 aux frais des propriétaires sans avoir à faire la démonstration de pollution (Girard, 2013). Quoiqu'il en soit, il revient tout d'abord

aux municipalités de faire respecter le règlement sur les installations septiques bien que les moyens peuvent être parfois très limités. Ainsi, certaines municipalités ont commencé à prendre en charge la vidange de toutes les installations septiques, d'autres ont fait caractériser certaines ou toutes les installations septiques présentes sur leur territoire en obligeant parfois les propriétaires à changer leur installation alors que d'autres en sont seulement au stade de l'avis. Les résultats face au niveau d'entretien des installations septiques sur un territoire par le suivi des vidanges et à la vérification de la conformité des installations dépend en bonne partie des moyens pris et de la pression effectuée sur les propriétaires par les municipalités. D'ailleurs, au Québec, le programme d'aide à la protection des algues bleu-vert (PAPA) a été mis en place par le MAMROT en juin 2007 jusqu'en mars 2010 afin d'aider financièrement les MRC à caractériser les installations septiques présentes autour des lacs et des cours d'eau (Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAAO), 2011). Ce programme a servi à inventorier et classer les installations septiques selon leur niveau d'impact sur l'environnement ainsi qu'à établir un plan correcteur. Ce programme a permis la participation de 48 MRC pour un total de 220 lacs pour lesquels des travaux de caractérisation des installations septiques ont été réalisés.

2.2.6. Sensibilisation citoyenne

Dans une étude réalisée par Dietz *et al.* (2004) sur les changements des sources de pollutions diffuses résidentielles par l'éducation, bien qu'aucun effet sur la qualité de l'eau pour le critère du phosphore n'a pu être observé dans le laps de temps accordé pour l'étude, il y a eu une augmentation de 11 % des gens sondés qui ont commencé à fertiliser leurs terrains selon les résultats des tests de sol, une augmentation de 20 % des gens pour un total de 82 % des gens qui ont commencé à laisser les rognures de gazons au sol et 35 % des propriétaires ont adopté de bonnes pratiques de gestion. Dans une revue de littérature sur différentes techniques d'éducation effectuée par Swann (2000), les méthodes de sensibilisation qui ont été les plus efficaces sont les campagnes médiatiques incluant la radio, la télévision, des courriels directs et des panneaux publicitaires et les sessions de formation intensives incluant des ateliers, des consultations et des guides. La sensibilisation citoyenne peut se faire notamment au niveau de l'utilisation de savons, détergents et nettoyants sans phosphates. Il est aussi possible de recommander l'utilisation d'engrais sans phosphore pour le gazon, particulièrement pour les gens dont le terrain est près d'un cours d'eau. D'autres bonnes pratiques pour la gestion de sa pelouse, telles que présentées à la section 2.2.4, peuvent être utilisées pour diminuer la quantité nécessaire d'engrais. Plusieurs méthodes de rétention de l'eau, soit au moment de la construction d'une résidence ou installable par la suite,

peuvent aussi faire partie des campagnes d'éducation citoyenne. Pour les riverains particulièrement, les bienfaits des bandes riveraines ainsi que d'avoir une installation septique conforme doivent faire partie des points abordés.

2.3 Conclusion

Finalement, plusieurs solutions sont possibles pour diminuer le phosphore se rendant dans les cours d'eau et les lacs. Les solutions présentées ici ont des efficacités variables selon les cas et sont aussi plus ou moins faciles d'application. La combinaison de plusieurs solutions peut s'avérer plus efficace. Ainsi, les bandes riveraines sont une solution importante pour empêcher le phosphore de se rendre aux lacs, mais ne peuvent pas être considérées seules. D'autres mesures de diminution à la source doivent aussi être prises en parallèle. L'obligation de rendre son installation septique conforme peut être efficace, mais dépend beaucoup des moyens entrepris par la municipalité ou de ceux des propriétaires. La biorétention peut s'avérer moins efficace dans l'enlèvement du phosphore en raison de la période hivernale, mais permet sans doute une diminution de la quantité d'eau ruisselée. La sensibilisation quant à elle peut être utile pour changer les habitudes des gens et permettre une diminution des émissions de phosphore. Malgré le fait qu'il est très difficile de vérifier l'efficacité de la sensibilisation, il faut mettre en place des indicateurs et faire des sondages périodiques.

3 MÉTHODOLOGIE ET DONNÉES

L'objectif de cet essai est de créer un calculateur d'émissions de phosphore qui soit utilisable par les citoyens afin que ceux-ci puissent prendre conscience de leur impact sur les cours d'eau et les lacs et de leur donner quelques solutions pour diminuer leurs émissions de phosphore. Dans ce chapitre, il sera abordé en premier lieu la méthodologie utilisée pour l'élaboration du calculateur. Ensuite, les valeurs utilisées pour les calculs dans le calculateur seront présentées.

3.1 Processus de recherche

Pour mener la réalisation du calculateur, une revue de littérature sur les différentes sources possibles d'émissions de phosphore dans l'environnement a tout d'abord été effectuée. Ceci a inclus les émissions par les installations septiques ou autres traitements des eaux usées, les émissions par les engrais, les émissions par le développement résidentiel riverain d'un lac, mais aussi par l'effet du transport par les eaux de ruissellement de surface et par l'érosion. La migration du phosphore ainsi que les formes disponibles de ce nutriment ont été explorées afin de trouver les différentes caractéristiques qui vont influencer la rétention et l'exportation du phosphore. Des recherches sur différents types de calculateurs déjà existants, par exemple pour calculer la consommation d'eau ou l'émission de CO₂, ont été effectuées afin de trouver une mise en forme pour l'élaboration du calculateur ainsi que différentes composantes pouvant être intéressantes et nécessaires à intégrer dans le calculateur. Ensuite, la recherche de plusieurs articles scientifiques a été utile pour avoir des données à jour quant aux sources d'émissions de phosphore et aux caractéristiques propres aux terrains permettant d'éviter une migration jusqu'aux lacs. C'est aussi par ces articles que les données utilisées pour calculer les émissions ont été prises. D'un autre côté, une revue de la littérature présente a aussi été effectuée afin d'apporter des solutions pour la diminution de l'émission de phosphore et augmenter la rétention de ce nutriment avant qu'il ne se rende dans les cours d'eau ou les lacs. Cette recherche a permis de ressortir plusieurs astuces utilisables par les citoyens afin que ceux-ci diminuent leurs émissions de phosphore.

Ensuite, une analyse de l'information et des données récoltées a été effectuée afin d'établir des catégories d'émissions de phosphore avec des valeurs calculables et utilisables pour le calculateur. Ces catégories permettront aussi de déterminer quand des recommandations seront nécessaires, soit selon chaque problème d'émissions majeur rencontré par les utilisateurs. Cette analyse a permis d'établir des priorités face aux différentes problématiques rencontrées reliées aux rejets de

phosphore dans l'environnement. Ainsi, les éléments les plus significatifs, soit quant à la possibilité de rejets de phosphore dans l'environnement et de la diminution de ceux-ci, et pour lesquels l'information est disponible et crédible ont été retenus. Certaines sources négligeables de phosphore ou pour lesquelles une quantification est impossible ont pu être rejetées à cette étape et ne pas être tenues en compte dans les calculateurs. Les calculateurs ont ensuite été effectués sous forme de formulaires Excel.

Les sources ont été validées afin d'assurer la crédibilité du travail. En ce qui concerne les articles scientifiques, une plus grande crédibilité a été accordée aux articles plus récents et à ceux ayant subi une révision par les pairs. Bien que des articles plus anciens aient été consultés pour l'utilisation des données, une priorité a été accordée aux articles les plus récents ayant des données à jour. Ainsi, plusieurs sources ont été consultées afin de permettre de croiser l'information et d'avoir un meilleur portrait de la situation.

3.2 Établissement du calculateur

Le calculateur est divisé en deux sections, soit la section émission et la section réduction. Dans la première section, on retrouve les questions de ruissellement de l'eau sur le terrain et d'émissions de phosphore par famille incluant l'utilisation de savons et d'engrais avec phosphore. La deuxième section, aborde plutôt les efforts de réduction de la part du citoyen en incluant les techniques et aménagements visant à réduire ou à retenir les eaux de ruissellement et à diminuer la concentration de phosphore. À la toute fin du calculateur, quelques trucs et conseils pour améliorer le résultat du citoyen sont présentés ainsi que des références consultables en ligne. Le calculateur a été réalisé dans le logiciel Excel et est utilisable par toute personne possédant une version Excel 97 et plus.

3.3 Données utilisées dans le calculateur

Dans cette section, les données et les critères qui sont utilisés dans le calculateur sont énumérés. Ils sont regroupés selon le ruissellement, l'utilisation d'engrais, les émissions par habitat, la rétention par le système de traitement des eaux usées puis la rétention incluant différents aménagements visant à contrôler les eaux de ruissellement ainsi que les bandes riveraines.

3.3.1. Ruissellement

Concernant les valeurs de ruissellement, plusieurs données peuvent être utilisées dépendamment notamment de la quantité d'information disponible par l'utilisateur. Ainsi, lorsqu'aucune donnée

n'est disponible quant aux types de surfaces présents sur le terrain du citoyen et de la superficie qu'ils représentent, des charges polluantes annuelles générales sont disponibles pour les secteurs résidentiels basse densité, haute densité ou multifamilial. Alors que lorsque les données de superficie approximative du terrain sont disponibles il est possible de calculer une charge polluante plus personnalisée selon les différents types de surfaces (équation 1).

Pour le coefficient de ruissellement, il est possible d'utiliser des valeurs par type de surfaces si l'utilisateur connaît environ le pourcentage de la superficie totale que représente chaque type de surfaces ce qui permettra d'obtenir une valeur plus spécifique à l'utilisateur. Les données de coefficient correspondant au pourcentage d'eau qui ruisselle pour chaque type de surfaces sont celles retrouvées dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* (tableau 3.1). Une valeur moyenne est utilisée pour les surfaces pavées, les toits et les pelouses en sols sablonneux avec pente faible, moyenne ou forte et en sol argileux avec pente faible, moyenne ou forte. La catégorie piscine a été ajoutée en considérant un coefficient de ruissellement de 0 puisque l'eau de pluie est retenue dans la piscine.

Tableau 3.1 : Coefficient de ruissellement selon différents types de surfaces (tiré de : Rivard, 2012 chapitre 6 page 26).

Type de surfaces	Coefficient de ruissellement*
Pavage	0,70 à 0,95
Toits	0,70 à 0,95
Pelouses, sols sablonneux	
Faible pente (2%)	0,05 à 0,10
Pente moyenne (2 à 7 %)	0,10 à 0,15
Pente forte (7% et plus)	0,15 à 0,20
Pelouses, sols argileux	
Faible pente (2%)	0,13 à 0,17
Pente moyenne (2 à 7 %)	0,18 à 0,22
Pente forte (7% et plus)	0,25 à 0,35

*Valeurs typiques pour des périodes de retour de 2-10 ans. Des valeurs plus élevées sont appropriées pour des événements plus rares.

Les données de pluies moyennes sont celles des statistiques du gouvernement du Québec (2010) provenant des données de pluies de différentes stations météorologiques de 1971 à 2010. La valeur qui est utilisée est de 1 036 L/m²/an. Pour la concentration de l'eau de ruissellement, les valeurs

sont celles du tableau suivant tiré du *Guide de gestion des eaux pluviales* (tableau 3.2). Ainsi, une concentration de 0,15 mg/L pour la forêt est utilisée ainsi qu'une concentration de 0,13 pour les toits, et de 0,46 pour les surfaces pavées. Pour la pelouse, c'est une concentration de 0,4 pour les pelouses non fertilisées et de 2,22 pour les pelouses fertilisées (voir section 3.3.4 pour plus de détails). Ainsi, il est possible de calculer la charge polluante totale en appliquant l'équation 1 pour chaque type de surface et en additionnant chaque résultat.

$$(éq. 1) CP = C*[P]*Q*\%*S$$

CP= Charge polluante en g/an

[P]= Concentration en phosphore (g/L)

%= Pourcentage entré par l'utilisateur pour un type de surface

C= Coefficient de ruissellement

Q= Quantité de pluie annuelle (L/m²/an)

S= Superficie du terrain entrée par l'utilisateur (m²)

Tableau 3.2 : Concentration moyenne par événement de phosphore total (mg/L) des eaux de ruissellement (tiré de Rivard, 2012, chapitre 8 page 24).

		Polluant	
Type de surface		CME pour MES (mg/L)	CME pour phosphore total (mg/L)
Surfaces perméables	Forêt	39	0,15
	Champs	47	0,19
	Aire de plantation fertilisée	55	1,34
	Aire de plantation naturelle	55	0,4
	Pelouse – secteur faible densité	180	0,4
	Pelouse – apport élevé	180	2,22
	Terrains de golf	305	1,07
	Terrains de sport	200	1,07
Surfaces imperméables	Toit	21	0,13
	Rues à circulation élevée / autoroute	261	0,4
	Rues à circulation moyenne	113	0,33
	Rues à circulation basse / résidentiel	86	0,36
	Entrée résidentielle pavée, terrains de jeux	60	0,46
	Aire de stationnement – volume de circulation élevé	120	0,39
	Aire de stationnement – volume de circulation bas	58	0,15

Lorsque l'information concernant la superficie du terrain n'est pas disponible, ce sont les valeurs de charges polluantes annuelles tirées du tableau du *Guide de gestion des eaux pluviales* (tableau 3.3) qui sont directement utilisées, soit la valeur médiane pour le résidentiel basse densité, haute densité

ou multifamilial. Ainsi, les valeurs correspondantes sont de 55, 65 et 70 mg/m²/an respectivement. Ces valeurs sont ensuite rapportées en gramme pour 100 m² lors du résultat partiel donné à l'utilisateur.

Tableau 3.3 : Charges polluantes annuelles (kg/ha-an) selon différents types d'occupation du sol (tiré de Rivard, 2012, chapitre 8 page 25).

Occupation du sol		MES	P Total	Azote total	Pb	Zn	Cu	Coliformes fécaux
Rue	Minimum	281	0,59	1,3	0,49	0,18	0,03	7,1E+07
	Maximum	723	1,50	3,5	1,10	0,45	0,09	2,8E+08
	Médiane	502	1,10	2,4	0,78	0,31	0,06	1,8E+08
Commercial	Minimum	242	0,69	1,6	1,60	1,70	1,10	1,7E+09
	Maximum	1 369	0,91	8,8	4,70	4,90	3,20	9,5E+09
	Médiane	805	0,80	5,2	3,10	3,30	2,10	5,6E+09
Résidentiel basse densité	Minimum	60	0,46	3,3	0,03	0,07	0,09	2,8E+09
	Maximum	340	0,64	4,7	0,09	0,20	0,27	1,6E+10
	Médiane	200	0,55	4,0	0,06	0,13	0,18	9,3E+09
Résidentiel haute densité	Minimum	97	0,54	4,0	0,05	0,11	0,15	4,5E+09
	Maximum	547	0,76	5,6	0,15	0,33	0,45	2,6E+10
	Médiane	322	0,65	5,8	0,10	0,22	0,30	1,5E+10
Résidentiel multi-familial	Minimum	133	0,59	4,7	0,35	0,17	0,17	6,3E+09
	Maximum	755	0,81	6,6	1,05	0,51	0,34	3,6E+10
	Médiane	444	0,70	5,6	0,70	0,34	0,51	2,1E+10
Forêt	Minimum	26	0,10	1,1	0,01	0,01	0,02	1,2E+09
	Maximum	146	0,13	2,8	0,03	0,03	0,03	6,8E+09
	Médiane	86	0,11	2,0	0,02	0,02	0,03	4,0E+09
Gazon	Minimum	80	0,01	1,2	0,03	0,02	0,02	4,8E+09
	Maximum	588	0,25	7,1	0,10	0,17	0,04	2,7E+10
	Médiane	346	0,13	4,2	0,07	0,10	0,03	1,6E+10
Champs	Minimum	103	0,01	1,2	0,004	0,02	0,02	4,8E+09
	Maximum	583	0,25	7,1	0,015	0,17	0,04	2,7E+10
	Médiane	343	0,13	4,2	0,010	0,10	0,03	1,6E+10

La quantité d'eau qui ruisselle est aussi à ajuster si l'utilisateur lave son auto sur son terrain et arrose sa pelouse. Pour le lavage d'autos, si le citoyen lave sa voiture avec un boyau d'arrosage, une valeur de 400 litres par lavage est additionnée, alors que s'il utilise un seau avec un boyau d'arrosage muni d'un pistolet à arrêt automatique, des économies de 300 litres peuvent être effectuées par lavage, soit une valeur de 100 litres qui est ajoutée. Ces valeurs sont tirées de la campagne de sensibilisation *Chaque goutte compte* de la Ville de Mont-Saint-Hilaire (s.d.). La surface, soit pavée ou sur la pelouse, sur laquelle est effectué le lavage est aussi considérée afin d'ajuster la quantité d'eau selon le bon coefficient de ruissellement et la bonne concentration en

phosphore. Ainsi, la quantité d'eau est multipliée par le coefficient de ruissellement puis par la concentration correspondante. Cette valeur en gramme est ajoutée à la valeur obtenue plus haut pour chaque type de surfaces du terrain. Pour ce qui est de l'arrosage de la pelouse, le nombre d'arrosages par an, le temps d'arrosage ainsi que la consommation d'eau du système d'arrosage sont pris en compte afin d'estimer l'utilisation d'eau annuelle sur la pelouse. Si les utilisateurs ne savent pas la consommation de leur système d'arrosage, une valeur moyenne de 50 L/minute est utilisée. Bien que la consommation d'eau par minute puisse varier selon le type de système d'arrosage, en général, les gicleurs consomment entre 12 et 15 gallons d'eau par minute (Superior Township, 2013). Une valeur de 15 gallons est aussi utilisée dans un calculateur de consommation d'eau de *Southwest Florida Water Management District* (s.d.). C'est une valeur moyenne de 13,5 gallons par minute (50 L/min) qui est utilisée dans le calculateur. Ainsi, cette quantité d'eau est multipliée par le coefficient de ruissellement correspondant puis par la concentration correspondante toujours en tenant compte si la pelouse est à apport élevé ou faible selon que le citoyen utilise des engrais ou non. Cette valeur en gramme est donc ajoutée à la valeur obtenue plus haut pour chaque type de surfaces du terrain lorsque le citoyen arrose. Ces ajouts ne se font que pour les utilisateurs ayant entré une superficie de terrain.

Ainsi, la valeur obtenue en considérant les différents types de surfaces du terrain du citoyen ainsi que les ajustements selon l'utilisation d'engrais ou non et selon l'utilisation de l'eau extérieur ou non est donnée en résultat partiel en gramme de phosphore total par an pour la superficie du terrain entrée par l'utilisateur. Pour ceux n'ayant pas donné de superficie, c'est une valeur en gramme de phosphore total par an pour 100 m² qui est donnée.

3.3.2. Utilisation d'engrais

Pour les citoyens qui fertilisent leur pelouse ou leur jardin, la quantité de phosphore qui est ajoutée est considérée par la catégorie de pelouse à apport élevée du tableau 3.2. Ainsi, la concentration utilisée dans le calcul de ruissellement sur une surface gazonnée sera plutôt de 2,22 mg/L au lieu du 0,4 mg/L pour les citoyens qui ne fertilisent pas leur pelouse. C'est aussi cette valeur qui sera prise en considération lorsque la quantité d'eau sera ajustée selon l'arrosage de la pelouse et le lavage de l'auto lorsque le citoyen utilise aussi des engrais.

Ensuite, il faut aussi tenir compte des méthodes d'application. Les méthodes d'application sont considérées dans la section rétention du calculateur. Tout d'abord, si le citoyen porte attention aux conditions météorologiques avant l'application, une réduction de 18 % de la quantité de phosphore

qui ruisselle suite à l'ajout d'engrais sera considérée. En effet, si une forte pluie ou un arrosage causant du ruissellement suit directement une application, c'est 18 % du phosphore appliqué qui est directement perdu (Soldat et Petrovic, 2008). Si l'utilisateur, laisse les rognures de gazon sur le terrain suite à la tonte, un 25 % de moins d'émissions de phosphore est considéré, puisque les rognures permettent une récupération des nutriments et donc de diminuer de 25 % l'apport en engrais phosphoré (Martineau *et al.*, 2008). De plus, le fait d'arroser légèrement suite à l'application d'engrais permet une meilleure rétention de l'engrais (Soldat et Petrovic, 2008). Le fractionnement des doses sera aussi pris en considération, mais ces deux derniers ne se verront pas attribuer une valeur quantitative. Il en va de même pour les analyses de sol permettant d'ajouter seulement la quantité nécessaire d'engrais.

3.3.3. Émissions par habitant

En ce qui concerne le phosphore émis par personne, une étude de Paterson *et al.* (2006) a calculé une émission de 2 g de phosphore total par personne par jour. Selon l'étude de Schmoll (Schreiber *et al.*, 2003), une personne émettrait par jour 1,62 g de phosphore si aucun détergent, savon à vaisselle, etc. contenant du phosphore n'était utilisé. C'est donc la valeur de 1,62 g de phosphore par personne par jour qui est utilisée comme base pour les calculs lorsque le répondant utilise seulement des savons sans phosphates. Cette valeur est multipliée par le nombre de personnes habitant le logement et est transférée sur une année.

Pour la quantité émise en savon avec phosphates, la réglementation canadienne stipule que :

« la concentration admissible de phosphore dans les détergents à lessive domestiques est d'au plus 1,1 % en poids, exprimée en pentoxide de phosphore, ou d'au plus 0,5 % en poids, exprimée en phosphore élémentaire. » (Gouvernement du Canada, 2009).

Il en va de même pour les détergents à vaisselle et les produits d'entretien ou de nettoyage domestique. Par contre, puisqu'il y a une grande variabilité de types de savons (savon en poudre, savon liquide, en pastilles, etc.) et de marques, ce qui fait varier la quantité en terme de poids de savon utilisée à chaque lavage, il devient difficile de savoir quelle quantité en poids les gens utilisent avec un nombre restreint de questions. Ainsi, pour les citoyens n'utilisant pas de savon sans phosphates, c'est plutôt la valeur de 2 g de phosphore total par personne par jour, telle que vu précédemment, qui est considérée.

3.3.4. Rétention par les différents types de traitements des eaux usées

Concernant la rétention du phosphore par les différents types de traitement des eaux usées, les réseaux d'égout municipaux ainsi que les installations septiques individuelles seront traités de manière différente dans le calculateur.

Ainsi, pour les citoyens qui sont branchés directement au réseau d'égout municipal, c'est la valeur obtenue pour les émissions par personne qui sera directement utilisée. En effet, comme la charge en phosphore émise sera traitée seulement à l'usine d'épuration de la municipalité, une quantité plus élevée de phosphore peut augmenter les coûts de traitements de la ville et la charge polluante qui sera émise dans l'environnement en fin de compte dépendra grandement de l'efficacité des installations municipales. De plus, lorsque le phosphore circule dans les égouts, il peut y avoir un risque de débordement, ce qui entrainera le phosphore présent dans les égouts directement dans l'environnement. C'est ainsi une diminution en phosphore de la part du citoyen avant le rejet aux égouts qui pourra améliorer l'efficacité de traitement et ainsi diminuer la charge émise dans l'environnement.

Ensuite, concernant les citoyens qui possèdent une installation septique individuelle, le type d'installation est considéré selon son efficacité de rétention du phosphore afin de déterminer la charge polluante qui risque de se rendre vers les cours d'eau et les lacs. Dans le même ordre d'idée, la distance par rapport au réseau hydrographique est aussi considérée. Les deux tableaux suivants tirés de Bourget (2011) sont utilisés pour les calculs. Dans le tableau 3.4, les coefficients d'exportation correspondent à la charge en phosphore qui est émise suite au passage dans les différents types d'installations. Ce qui veut dire par exemple, qu'il est considéré qu'une fosse septique retient 30 % du phosphore et que la charge qui sera émise dans l'environnement correspondra à 70 % de ce que les occupants du logement ont émis. Ensuite, pour le tableau 3.5, selon la distance entre l'installation septique du citoyen et le cours d'eau ou le lac le plus près, la charge sur le réseau hydrographique est considérée différemment. Par exemple, si l'installation se trouve à moins de 100 mètres, 100 % de ce qui a été calculé suite au passage dans le type d'installation septique est considéré. Alors que seulement 66 % de la charge émise est considérée en fin de compte si l'installation septique se trouve entre 100 et 200 mètres et ainsi de suite. Cette dernière valeur considérant la distance au réseau hydrographique est utilisée uniquement pour le résultat partiel présenté dans le calculateur. Pour le résultat final, c'est la charge suite au passage

dans l'installation septique qui est considéré avec l'addition de la partie sur le ruissellement de surface.

Tableau 3.4 : Coefficients d'exportation du phosphore selon le type de traitements des eaux usées (tiré de Bourget, 2011, page 138).

Type d'installations	Coefficient d'exportation
Égout	0
Fosse septique	0,7
Puisard	0,85
Autres	1

Tableau 3.5 : Pourcentages d'exportation de la charge en phosphore d'une installation septique selon sa distance par rapport au réseau hydrographique (inspiré de Paterson *et al.*, 2006, page 13).

Distance du réseau hydrographique	% de charge
0-100 m	100
100-200 m	66
200-300 m	33
> 300 m	0

Selon un document produit par le Regroupement des Associations pour la Protection de l'Environnement des Lacs et des cours d'eau de l'Estrie et du haut bassin de la rivière Saint-François (RAPPEL) (Martel, 2010), l'efficacité de rétention du phosphore des fosses septiques et des champs d'épuration est de 25 à 40 %. Aussi, la durée de vie d'une installation septique est de 15 à 20 ans (Vézina, 2010). C'est pourquoi lorsque l'installation septique sera âgée de plus de 15 ans il sera suggéré dans les conseils à la fin de remplacer l'installation septique. Le type d'élément épurateur joue aussi un rôle dans la diminution du phosphore pouvant se rendre aux cours d'eau et aux lacs. En effet, selon si les gens possèdent un élément épurateur classique, un système secondaire avancé avec champ de polissage ou un système avec déphosphatation, la concentration en phosphore circulant dans le sol sera différente. Par contre, étant donnée la variabilité des types de traitements ainsi que de leur état de fonctionnement, cet élément ne sera pas pris en compte dans le calculateur. Néanmoins, une note sera indiquée suite au résultat partiel de la partie concernant les installations septiques que la valeur pourrait être moindre si l'utilisateur possède un élément épurateur conforme et en bon état ou s'il possède un traitement secondaire avancé qui diminue la concentration de phosphore.

3.3.5. Rétention

Plusieurs aménagements peuvent permettre la rétention de l'eau de ruissellement de surface et certains vont même permettre un certain pourcentage d'enlèvement du phosphore. Ainsi dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* (Rivard, 2012) plusieurs techniques de contrôle à la source pour les terrains privés sont suggérées : les toits verts, la collecte et la réutilisation de l'eau de pluie, les jardins de pluie (biorétention), les pavages poreux, des aménagements absorbants et des puits d'infiltration. D'autres moyens sont aussi suggérés pour les gens en secteur résidentiel unifamilial : le débranchement de gouttières, des barils de pluie pour la réutilisation, le réaménagement du terrain pour le débranchement de gouttières, le réaménagement du terrain pour ralentir l'écoulement et maximiser l'infiltration, les jardins de pluie et les plantations, la réduction de l'usage des fertilisants, le débranchement du drain de fondation, les entrées d'auto perméables, les puits/tranchées d'infiltration pour l'eau du toit et des aménagements paysagers plus absorbants. Dans le tableau suivant tiré du *Guide de gestion des eaux pluviales* (tableau 3.6) des valeurs de réduction du ruissellement ainsi que d'enlèvement du phosphore sont données pour chaque aménagement utilisé dans le calculateur. Les aménagements qui sont pris en compte dans le calculateur sont les jardins d'eau (biorétention), le captage et la réutilisation de l'eau de pluie (bac récupérateur d'eau de pluie), le débranchement de gouttières, aménagement absorbant (pavage poreux) et les toits verts.

Tableau 3.6 : Pourcentages de réduction des volumes de ruissellement et d'enlèvement du phosphore pour différentes pratiques (tiré de Rivard, 2012, chapitre 8, page 32).

Pratique	% de réduction du volume de ruissellement (RV)	% d'enlèvement du phosphore total (EP)	% global (Volume et polluant) ¹ ET	Base de données CWP (2007) – Médiane au 3 ^e quartile (Q3)
Toit vert	45 à 60	0	45 à 60	N/D
Débranchement de toit	25 à 50	0	25 à 50	N/D
Réservoir de pluie	40	0	40	N/D
Pavage poreux	45 à 75	25	59 à 81	N/D
Fossé engazonné	10 à 20	15	23 à 32	24 à 46 ²
Biorétention	40 à 80	25 à 50	55 à 90	5 à 30
Noue sèche	40 à 60	20 à 40	52 à 76	N/D
Noue avec retenue permanente	0	20 à 40	20 à 40	N/D
Infiltration	50 à 90	25	63 à 93	65 à 96
Bassin sec avec retenue à durée allongée	0 à 15	15	15 à 28	20 à 25
Écoulement en nappe dirigé vers un espace vert	50 à 75	0	50 à 75	N/D
Filtration	0	60 à 65	60 à 65	59 à 66
Marais artificiel	0	50 à 75	50 à 75	48 à 76
Bassin avec retenue permanente	0	50 à 75	50 à 75	52 à 76

¹ Enlèvement total ET = RV + ((100-RV) x EP)

² Catégorie qui comprend les fossés engazonnés sans aménagement, les noues sèches (dry swale) et les noues avec retenue permanente (wet swale).

Pour la rétention dans le cas des citoyens dont le terrain est riverain d'un lac, les bandes riveraines doivent aussi être prises en considération. Les facteurs qui seront pris en considération pour les calculs sont les suivants : la largeur de la bande riveraine et la présence des trois strates végétales soit les arbres, les arbustes et les herbacées. Les deux tableaux suivants rapportent plusieurs études ainsi que leurs résultats face à la rétention de l'eau et du phosphore selon différents types de bandes riveraines. Pour le tableau 3.7 tiré de Gagnon et Ganbazo (2007), les données de réduction du phosphore total en fonction de la largeur pour celles qui ne sont pas à l'échelle du bassin versant sont utilisées. Étant donné la grande variabilité des données, des valeurs minimales sont utilisées bien que des valeurs plus élevées soient possibles. Ainsi, lorsque la bande riveraine sera de 5 mètres, ce sera 30 % de rétention du phosphore total qui sera soustrait, alors que pour une bande riveraine de 10 mètres ce sera plutôt 50 % de rétention. Ces valeurs sont tirées de Magette *et al.* (1989) présentées dans le tableau 3.7.

Tableau 3.7 : Efficacité de rétention des éléments nutritifs et des sédiments par les bandes riveraines (tiré de Gagnon et Ganbazo, 2007, page 7).

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

Les données de rétention de l'eau en fonction de différentes largeurs de bande riveraine du tableau 3.8 tiré de Duchemin et Majdou (2004) seront utilisées. Ainsi, pour une bande riveraine de 5 mètres une réduction du ruissellement de 48 % est considérée, alors que pour 10 mètres c'est une réduction de 56 %. Ces valeurs sont tirées de Duchemin *et al.* (2002) du tableau 3.8.

Tableau 3.8 : Efficacité de rétention de la pollution diffuse par les bandes riveraines (tiré de Duchemin et Majdou, 2004, page 40).

Référence	Localisation	Largeur de bande (m)	Pente (%)	Texture de sol	Paramètres	Réduction (%)
Arora <i>et al.</i> , 1996	USA, IA	20.1	2	Argile limoneuse	Sédiment Atrazine Métolachlore Cyanazine Eau	40-100 11-100 16-100 8-100 9-98
Robinson <i>et al.</i> , 1996	USA, IA	3.0-9.1	12	Loam limoneux	Sédiment	70-85*
Lowrance <i>et al.</i> , 1997	USA, GA	8	2-3	Sable loameux	Atrazine	79
Patty <i>et al.</i> , 1997	France	6-18	7-15	Loam limoneux	Sédiment Nitrate N P dissous Atrazine eau	87-100 47-100 22-89 44-100 43-100
Sheridan <i>et al.</i> , 1999	USA, GA	8.0	3.5	Sable loameux	Sédiment Eau	78-83 56-72
Uusi-Kämpä <i>et al.</i> , 2000	Finlande	10	10	Argile	P total P dissous Eau	27-38 (-64) ¹ -14 0-15
Duchemin <i>et al.</i> , 2002	Canada, QC	3.0-9.0	2-3	Loam sableux	Eau Sédiment P total P dissous P bio N-NO ₃ N-NH ₄ N total Atrazine Métolachlore	48-56 87-90 85-87 (-41) ¹ -(-57) ¹ 78-81 85-96 38-44 69-76 50-99 55-98

* concentration ¹Les données entre parenthèses sont des augmentations, en %

4 PRÉSENTATION DU CALCULATEUR

Dans ce chapitre, le calculateur est présenté tel qu'utilisable et des explications sur le fonctionnement du calculateur sont données. Le calculateur est fait pour être utilisé dans le logiciel Excel de version 97 ou plus récente. Le calculateur est divisé en deux sections, soit les sections émission et rétention. De plus, des conseils pratiques pour les citoyens sont ajoutés à la fin du calculateur.

La première section débute avec les émissions de phosphore qui peuvent se rendre jusqu'aux cours d'eau ou aux lacs en raison du ruissellement de l'eau sur le terrain du citoyen (figure 4.1). Le citoyen doit d'abord inscrire la superficie de son terrain en mètres carrés. Pour les citoyens ne possédant pas d'information sur la superficie de leur terrain une valeur moyenne en $g/m^2/an$ peut être utilisée. Ils doivent donc choisir la catégorie qui correspond à leur situation parmi les suivantes : résidentiel basse densité (maison unifamiliale isolée), résidentiel haute densité (maison unifamiliale rapprochée) ou résidentiel multi-familial (immeuble à plusieurs logements), puis passer à la question 7. Pour ceux connaissant leur superficie de terrain, une valeur plus spécifique est donnée pour leur terrain. Après avoir inscrit la superficie de son terrain, le citoyen doit inscrire le pourcentage de la superficie de son terrain qui correspond à chaque type de surfaces suivants : asphalté (surface pavée, ciment), toits (maison, cabanon, garage, galerie), pelouses, sols sablonneux (incluant potager et plates-bandes) : soit en pente faible ou nulle (2 % et moins), pente moyenne (2 à 7 %) ou pente forte (7 % et plus), pelouses, sols argileux (incluant potager et plates-bandes) : soit en pente faible ou nulle (2 % et moins), pente moyenne (2 à 7 %) ou pente forte (7 % et plus), forêt : soit avec un sol sablonneux bien drainé et gravier ou en sols argileux avec un bon drainage de surface et piscine. Le total doit correspondre à 100 % de la superficie du terrain de l'utilisateur. À chaque type de surfaces correspond un coefficient de ruissellement ainsi qu'une concentration moyenne en phosphore tel que vu à la section 3.3.3.

Calculateur d'émissions de phosphore résidentiel

INSTRUCTIONS : Répondez aux questions en remplissant les **cases avec une bordure bleue**. Les résultats apparaîtront dans les cases avec une bordure double verte. Le calculateur est divisé en deux sections, soit la quantité de phosphore émise par propriété et la deuxième considère les efforts de réductions et de rétention. À la fin, certains conseils sont émis selon vos résultats.

Section 1 - Émissions

1. Inscrivez la superficie de votre terrain en mètres². m²
 (Multipliez votre superficie en pied² par 0,0929 pour obtenir des mètres²) (Si vous ne connaissez pas la superficie de votre terrain ne rien inscrire dans la case et répondez plutôt ci-dessous)

Si vous ne connaissez pas votre superficie de terrain, inscrire la valeur qui représente le mieux votre situation parmi les choix du tableau suivant et passez à la question 7. (Si vous avez déjà inscrit une superficie, ne rien inscrire dans cette case)

Charges polluantes (Ptotal en mg/m ² /an)	Occupation du sol
55	Résidentiel basse densité (maison unifamiliale isolée)
65	Résidentiel haute densité (maison unifamiliale rapprochée)
70	Résidentiel multi-familial (immeuble à plusieurs logements)

2. Pour chaque type de surfaces, inscrire le pourcentage correspondant de la superficie totale de votre terrain.
 (S'assurer d'obtenir un total de 100%)

(Note: si vous voulez modifier une valeur, entrer directement la nouvelle valeur ou inscrire "0")

Pourcentage	Type de surfaces
	Asphalte (surface pavée, ciment)
	Toits (maison, cabanon, garage, galerie)
	Pelouses, sols sablonneux (incluant potager et plates-bandes)
	Pente faible ou nulle (2% et moins)
	Pente moyenne (2 à 7%)
	Pente forte (7% et plus)
	Pelouses, sols argileux (incluant potager et plates-bandes)
	Faible pente (2%)
	Pente moyenne (2 à 7%)
	Pente forte (7% et plus)
	Forêt
	Sols sablonneux bien drainés et
	Sols argileux, bon drainage de surface
	Piscine
Total	0%

Figure 4.1 : Calculateur utilisable par les citoyens. Première partie de la section 1 – Émissions.

Le citoyen doit ensuite cocher s'il utilise des engrais phosphorés pour la pelouse ou les plates-bandes (figure 4.2). Ceci modifie la concentration moyenne en phosphore pour le type de surface pelouse. Ainsi, chaque type de surfaces est multiplié par la superficie correspondante (selon le pourcentage et la superficie totale entrée par l'utilisateur), par le coefficient de ruissellement et la concentration correspondante puis par la quantité de pluie annuelle moyenne tombée au Québec. Ensuite, le citoyen doit cocher s'il lave sa voiture sur son terrain ou non. Si oui, il doit indiquer le nombre de fois qu'il lave sa voiture. Ensuite, l'utilisateur coche s'il arrose sa pelouse ou non. Si oui, il doit entrer le nombre de fois qu'il arrose, le temps d'arrosage à chaque fois et la consommation d'eau en litres par minute du système d'arrosage si elle est connue. Ces deux dernières questions

permettent d'ajouter une quantité de phosphore selon l'eau de surplus qui ruisselle. Finalement, un résultat partiel de charge polluante en grammes de phosphore pour l'occupation du sol du terrain de l'utilisateur est produit.

3. Est-ce que vous fertilisez votre pelouse avec des engrais contenant du phosphore? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)
- Oui
 Non
4. Est-ce que vous ajoutez des engrais contenant du phosphore dans votre potager et ou vos plates-bandes? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)
- Oui
 Non
5. Est-ce que vous lavez votre voiture sur votre propriété? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)
- Oui, sur une surface pavée avec un boyau d'arrosage
 Oui, sur une surface pavée avec un sceau et un boyau avec pistolet à arrêt automatique
 Oui, sur le gazon avec un boyau d'arrosage
 Oui, sur le gazon avec un sceau et un boyau avec pistolet à arrêt
 Non (passez à la question 6)
- 5.1 Combien de fois lavez-vous votre voiture par année?
- fois/an
6. Est-ce que vous arrosez votre pelouse? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)
- Oui
 Non (passez à la question 7)
- 6.1 En moyenne, combien de fois par année arrosez-vous votre pelouse?
- fois/an
- 6.2 En moyenne, pendant combien de temps, en minutes, arrosez-vous votre pelouse par arrosage?
- minutes
- 6.3 Si vous connaissez la consommation d'eau en litre par minute de votre système d'arrosage, l'inscrire dans la case, sinon ne rien inscrire.
- l/min

Résultats partiels: total en g par an par 100m² si vous n'aviez pas indiqué de superficie)

Figure 4.2 : Calculateur utilisable par les citoyens. Première partie de la section 1 – Émissions (suite).

Dans un deuxième temps, la charge en phosphore émise par tous les occupants est calculée (figure 4.3). Le citoyen doit indiquer le nombre de personnes habitant le logement puis indiquer s'il utilise des détergents à lessive, savon à vaisselle, savon à lave-vaisselle etc. sans phosphates. Ensuite, le citoyen coche le type d'installation septique qu'il possède (égout municipal, fosse septique, puisard, fosse scellée, je ne sais pas). Les utilisateurs qui sont reliés au système d'égout municipal passent à la question 10 alors que les autres répondent aux sous-questions. Ces derniers doivent cocher si l'installation septique à moins de 15 ans (question servant uniquement pour les conseils à la fin) et

la distance de l'installation septique par rapport au cours d'eau ou au lac le plus près. Ainsi, de la charge polluante émise selon le nombre d'habitant est soustraite la quantité de phosphore retenue par l'installation septique selon le type d'installation que possède le citoyen. Ainsi, la charge polluante qui se rend au lac par l'installation septique et selon la distance au réseau hydrographique est calculée en g et est donnée en résultat partiel à l'utilisateur. La charge qui est utilisée dans le résultat final, contrairement au résultat partiel, est la valeur suite à la sortie de l'installation septique sans tenir compte de la distance par rapport au réseau hydrographique.

7. Inscire le nombre de personnes habitant le logement. personne(s)

8. Est-ce que vous utilisez des détergents à lessive, savon à vaisselle, savon pour lave-vaisselle, etc. sans phosphate?
 Oui
 Non

9. Quel type d'installation septique possédez-vous?
 Égout municipal (passez à la question 10)
 Fosse septique
 Puisard
 Fosse scellée
 Je ne sais pas

9.1 Est-ce que votre installation septique a moins de 15 ans?
 Oui
 Non

9.2 Quelle est la distance de votre installation septique par rapport au lac ou au cours d'eau le plus près? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)
 Entre 0 et 99 mètres
 Entre 100 et 199 mètres
 Entre 200 et 299 mètres
 Plus de 300 mètres

Résultats partiels: Charge polluante annuelle se rendant au lac suite au passage dans l'installation septique (phosphore total en g)

À noter que la valeur pourrait être moindre si vous possédez un élément épurateur conforme et en bon état ou si vous possédez un traitement secondaire avancé qui diminue la concentration de phosphore.

Figure 4.3 : Calculateur utilisable par les citoyens. Deuxième partie de la section 1 – Émissions.

Pour la deuxième section concernant la réduction de la charge polluante en phosphore, les efforts de réduction faits par le citoyen sont mis en évidence (figure 4.4). Ainsi, les aménagements qui sont présents sur le terrain qui visent à réduire le ruissellement et parfois même un enlèvement du phosphore, sont pris en considération. Le citoyen doit cocher tous les aménagements ou techniques de rétention utilisés parmi ceux-ci : jardin d'eau/biorétention, captage et réutilisation d'eau pluvie (bac récupérateur d'eau de pluie), débranchement des gouttières au réseau d'égouts pour les diriger vers une surface perméable, aménagement absorbant/pavage poreux ou toit vert. Certaines bonnes

pratiques lors de l'application d'engrais qui aident à diminuer la quantité de phosphore qui va circuler dans l'environnement sont aussi prises en considération. L'utilisateur qui utilise des engrais phosphoré coche alors parmi les bonnes pratiques suivantes : j'applique mon engrais en plusieurs petites doses plutôt qu'en une seule dose, je vérifie le taux de phosphore du sol et j'applique seulement la quantité de phosphore nécessaire, je laisse les rognures de gazon au sol suite à la tonte, je vérifie les conditions météo avant de faire l'application d'engrais afin d'éviter une grosse pluie après l'application ou j'effectue un léger arrosage suite à l'application afin de permettre à l'engrais de pénétrer dans le sol. Finalement, si le terrain du citoyen est riverain d'un cours d'eau ou d'un lac celui coche s'il possède une bande riveraine. Si oui, il coche si elle comprend les trois strates de végétations afin que la bande riveraine soit considérée comme efficace ou non puis il coche la largeur de celle-ci pour se voir attribuer un pourcentage de réduction du ruissellement et du phosphore si elle comporte les trois strates de végétations. Ainsi à la fin de cette section, la valeur maximale de diminution du ruissellement parmi les trois sections (aménagement, bonnes pratiques d'application d'engrais et bande riveraine) est donnée au citoyen sous forme de pourcentage de réduction du ruissellement transportant du phosphore. Il en va de même pour le pourcentage d'enlèvement du phosphore. Le résultat final est aussi affiché en additionnant les émissions concernant l'occupation du sol et celles concernant les eaux usées suite au passage dans l'installation septique ou celles se rendant dans le système d'égout municipal.

Section 2 - Réduction

10. Cochez parmi les ouvrages et techniques de rétention d'eau suivants tous ceux que vous possédez ou effectuez.

- Jardin d'eau / Biorétention
- Captage et réutilisation d'eau pluie (bac récupérateur d'eau de pluie)
- Débranchement des gouttières au réseau d'égouts pour les diriger vers une surface perméable
- Aménagement absorbant / pavage poreux
- Toit vert
- Aucun

11. Cochez les méthodes utilisées concernant la fertilisation de votre gazon. (Si vous ne fertilisez pas, passez à la question 12)

- J'applique mon engrais en plusieurs petites doses plutôt qu'en une seule dose
- Je vérifie le taux de phosphore du sol et j'applique seulement la quantité de phosphore nécessaire
- Je laisse les rognures de gazon au sol suite à la tonte
- Je vérifie les conditions météo avant de faire l'application d'engrais afin d'éviter une grosse pluie
- J'effectue un léger arrosage suite à l'application afin de permettre à l'engrais de pénétrer dans le sol
- Aucune

12. Est-ce que votre terrain possède une bande riveraine? (Si votre propriété n'est pas en bordure d'un lac ou d'une rivière, passez aux résultats)

- Oui
- Non

12.1 La bande riveraine est-elle composée des trois strates de végétation? (herbacée, arbustive et arborescente)

- Oui
- Non

12.2 Quelle est la largeur de la bande riveraine? (Ajouter un "x" dans la case qui correspond à votre situation)

- 4 mètres et moins
- Entre 5 et 9 mètres
- 10 mètres et plus

Résultats
finaux:

Charge polluante de phosphore annuelle

Cette valeur correspond à la quantité nécessaire pour faire croître environ...

g de phosphore par année
0 kg de plantes aquatiques

Par contre, vos efforts de réduction permettent de:

Réduire le ruissellement d'eau transportant du phosphore de votre terrain d'au moins
Et une réduction du phosphore se dirigeant vers les cours d'eau et les lacs d'au moins

%
 %

Figure 4.4 : Calculateur utilisable par les citoyens. Section 2 - Réduction.

À la toute fin du calculateur, des conseils sont émis au citoyen (figure 4.5). Ces conseils tiennent compte des réponses du citoyen et sont formulés selon six catégories. Par exemple, si le citoyen a coché qu'il ajoutait des engrais, le conseil pour la catégorie « Fertilisation de la pelouse » sera différent de celui qui a coché qu'il n'en utilise pas. Les différents conseils qui peuvent apparaître à la fin du calculateur sont présentés ici.

Pour la catégorie « Type de surface du terrain » le conseil est le suivant peu importe le résultat du citoyen :

- En favorisant un type de surfaces plus absorbant avec de la végétation telle que le gazon et de la forêt, vous contribuez à ce que le phosphore soit en grande partie absorbée avant qu'il ne rejoigne les lacs et les cours d'eau.

Pour la catégorie « Fertilisation de la pelouse » les conseils possibles selon si le citoyen fertilise avec du phosphore ou non sont les suivants :

- Il est important de vérifier la quantité de phosphore déjà présente dans le sol afin d'y ajouter seulement le nécessaire puisqu'en général les sols du Québec ont déjà suffisamment de phosphore. De plus, laisser les coupures de gazon suite à la tonte permet une économie de 25 % en ajout de phosphore!
- En n'ajoutant pas de phosphore à votre pelouse, vous contribuez déjà à diminuer la quantité de phosphore dans l'environnement. Bravo!

Pour la catégorie « Lavage de voiture » les conseils possibles selon si le citoyen lave sa voiture sur son terrain ou non sont les suivants :

- En lavant votre voiture avec un sceau et un pistolet à eau avec arrêt automatique, vous contribuez à économiser environ 300 litres d'eau à chaque fois évitant ainsi que l'eau ne ruisselle sur votre terrain en entraînant du phosphore. En effectuant le lavage sur une surface qui absorbe l'eau, vous évitez aussi qu'une partie de l'eau ne ruisselle. N'oubliez pas d'utiliser un savon sans phosphore!
- Vous évitez déjà qu'un surplus d'eau ne ruisselle et emporte du phosphore. Bravo!

Pour la catégorie « Arrosage de la pelouse » les conseils possibles selon si le citoyen arrose sa pelouse ou non sont les suivants :

- Une pelouse nécessite entre 2 et 3 cm d'eau par semaine. En utilisant un pluviomètre ou simplement une boîte de thon en conserve placée dans votre pelouse, vous allez éviter un arrosage excessif et ainsi éviter que l'eau ne ruisselle sur votre terrain emportant par le fait même du phosphore. Si vous possédez un système d'arrosage automatique, il est possible d'ajouter une sonde d'humidité du sol ou un capteur de pluie afin d'éviter des arrosages inutiles.
- En évitant d'arroser votre pelouse, vous évitez d'ajouter un surplus d'eau qui pourrait ruisseler et emporter par le fait même du phosphore vers les cours d'eau et les lacs. Bravo!

Pour la catégorie « Eaux usées » les conseils possibles selon si le citoyen possède une installation septique et qu'elle a plus ou moins de 15 ans ou selon s'il est relié au système d'égout de la municipalité sont les suivants :

- Une fosse septique avec un champ d'épuration en bon état permet de retenir la très grande majorité du phosphore lorsqu'elle est combinée avec de bonnes pratiques. Par exemple, il faut éviter d'utiliser trop d'eau en même temps pour permettre à l'installation de bien faire son travail. Malheureusement, les installations septiques ne sont pas éternelles si votre installation a plus de 15 ans, il est temps de songer à la changer!
- Une fosse septique avec un champ d'épuration en bon état permet de retenir la très grande partie du phosphore lorsqu'elle est combinée avec de bonnes pratiques. Par exemple, il faut éviter d'utiliser trop d'eau en même temps pour permettre à l'installation de bien faire son travail.
- Tout ce qui se retrouve dans l'évier, la toilette, la laveuse ou le lave-vaisselle risque de finir directement dans un cours d'eau. Lorsque nous évitons d'utiliser ou de jeter inutilement des savons, déchets ou autres, nous contribuons à ce que tout le phosphore ou autres polluants présents ne se rendent pas dans nos rivières et nos lacs.

Conseils pratiques	
<p><i>La réduction de la charge polluante de phosphore se rendant dans les lacs et les cours d'eau peut se faire soit par la réduction à la source d'émissions de phosphore ou soit par la réduction d'utilisation d'eau pour éviter le ruissellement transportant du phosphore. Voici donc quelques conseils pratiques relatifs à vos résultats.</i></p>	
Type de surface du terrain	En favorisant un type de surfaces plus absorbant avec de la végétation telle que le gazon et de la forêt, vous contribuez à ce que le phosphore soit en grande partie absorbée avant qu'il ne rejoigne les lacs et les cours d'eau.
Fertilisation de la pelouse	Il est important de vérifier la quantité de phosphore déjà présente dans le sol afin d'y ajouter seulement le nécessaire puisqu'en général les sols du Québec ont déjà suffisamment de phosphore. De plus, laisser les coupures de gazon suite à la tonte permet une économie de 25% en ajout de phosphore!
Lavage d'auto	En lavant votre voiture avec un seau et un pistolet à eau avec arrêt automatique, vous contribuez à économiser environ 300 litres d'eau à chaque fois évitant ainsi que l'eau ne ruisselle sur votre terrain en entraînant du phosphore. En effectuant le lavage sur une surface qui absorbe l'eau, vous évitez aussi qu'une partie de l'eau ne ruisselle. N'oubliez pas d'utiliser un savon sans phosphore!
Arrosage de la pelouse	Une pelouse nécessite entre 2 et 3 cm d'eau par semaine. En utilisant un pluviomètre ou simplement une boîte de thon en conserve placée dans votre pelouse, vous allez éviter un arrosage excessif et ainsi éviter que l'eau ne ruisselle sur votre terrain emportant par le fait même du phosphore. Si vous possédez un système d'arrosage automatique, il est possible d'ajouter une sonde d'humidité du sol ou un capteur de pluie afin d'éviter des arrosages inutiles.
Eaux usées	Une fosse septique avec un champ d'épuration en bon état permet de retenir la très grande partie du phosphore lorsqu'elle est combinée avec de bonnes pratiques. Par exemple, il faut éviter d'utiliser trop d'eau en même temps pour permettre à l'installation de bien faire son travail. Malheureusement, les installations septiques ne sont pas éternelles si votre installation a plus de 15 ans, il est temps de songer à la changer!
Bande riveraine	

Si vous désirez de plus amples informations sur certains sujets en particulier, voici une liste de références disponible en ligne.

Fertilisation de votre pelouse

Implantation et entretien d'une pelouse durable. Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec et Association des producteurs de gazon du Québec, 2008.

Ruissellement et mesures de réductions

Guide de gestion des eaux pluviales. Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain, 2012

Installations septiques

Traitement des eaux usées des résidences isolées. Faits saillants. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 2009

Plantes à utiliser pour la bande riveraine

Répertoire des végétaux recommandés pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec. Fédération interdisciplinaire de l'horticulture ornementale du Québec, 2008.

Pour des informations concernant le calculateur, veuillez vous référer au document :

Rose-Tremblay A., 2013. *Élaboration d'un calculateur d'émissions de phosphore pour les citoyens*. Essai de maîtrise en environnement. Université de Sherbrooke, Longueuil, Québec.

Figure 4.5 : Calculateur utilisable par les citoyens. Conseils pratiques.

Pour obtenir le calculateur sous forme Excel, veuillez écrire à l'adresse courriel suivante : ariane.rose-tremblay@usherbrooke.ca

5 ANALYSE DES RÉSULTATS

Ce chapitre discute des résultats apportés par le calculateur avec quelques exemples. Les résultats sont aussi comparés avec ceux que l'on retrouve dans la littérature.

Lorsque l'on regarde l'impact du changement d'utilisation du sol, on peut constater une différence entre les différents usages. Pour la pelouse, on peut constater que l'impact de l'ajout d'engrais est plus important que celui de l'arrosage (tableau 5.1). Par contre, lorsque le gazon est fertilisé, l'impact de l'arrosage devient plus notable. La pente du terrain y joue aussi un rôle. Le type de sols est aussi important, car lorsque le sol est de type argileux il y a une plus grande quantité de phosphore qui ruisselle. Le lavage de la voiture ne fait pas varier beaucoup les résultats à l'échelle du gramme, les différentes options pouvant faire varier de quelques grammes. L'ordre de grandeur de la quantité de phosphore pour cette section dépend en grande partie de la grandeur totale du terrain.

La plus grande part du phosphore concerne dans la plupart des cas les émissions par personne variant dans les milliers de grammes plutôt que dans les dizaines ou les centaines pour la première partie. Des quantités plus élevées sont constatées lorsque les eaux usées se dirigent vers les égouts puisqu'il n'y a pas de réduction due à l'installation septique. L'impact peut aussi être important si l'utilisateur possède encore un puisard plutôt qu'une fosse septique. L'utilisation de savons avec ou sans phosphates peut aussi faire varier le résultat de quelques centaines de grammes. Les résultats obtenus pour plusieurs paramètres sont compilés dans le tableau 5.1. Celui-ci inclut aussi un exemple avec ce que pourrait être un terrain type qui possède 10 % de sa superficie en surface pavée, 30 % en toits, 30 % de pelouse sur sols sablonneux et 30 % de forêt sur sol sablonneux, et ce, pour une superficie totale de 100 m².

Tableau 5.1 : Résultats donnés par le calculateur d'émissions de phosphore.

Paramètres	Quantité de phosphore émise en gramme par an pour 100 m ²			
	Base	Avec fertilisation	Avec fertilisation et arrosage ¹	Avec arrosage ¹
100% Forêt sols sablonneux	1	-	-	-
100% Forêt sols argileux	6	-	-	-
80% Toits et 20% surface pavée	17	-	-	-
50% Toits et 50% surface pavée	25	-	-	-
100% Pelouse sols sablonneux faible pente	1	17	25	4
100% Pelouse sols sablonneux pente moyenne	5	29	36	7
100% Pelouse sols sablonneux pente forte	7	40	48	9
100% Pelouse sols argileux faible pente	6	34	42	8
100% Pelouse sols argileux pente forte	12	69	76	14
Terrain type ²	8	13	20	10
Terrain type ² avec lavage voiture (surface pavée et boyau) 5 fois	-	-	21	-
Terrain type ² avec lavage voiture (surface pavée et boyau) 10 fois	-	-	22	-
Terrain type ² avec lavage voiture (surface pavée et boyau) 20 fois	-	-	23	-
Terrain type ² avec lavage voiture (pelouse et sceau) 10 fois	-	-	20	-
Terrain type ² avec égouts pour 4 personnes et utilisation savon avec phosphore	2 920	-	2 932	-
Terrain type ² avec égouts pour 4 personnes et utilisation savon sans phosphore	2 367	-	2 379	-
Terrain type ² avec fosse septique pour 4 personnes et utilisation savon sans phosphore	1 660	-	1 671	-
Terrain type ² avec puisard pour 4 personnes et utilisation savon sans phosphore	2 013	-	2 025	-

¹ Paramètre d'arrosage: 40 fois 15 minutes

² 10% surface pavée 30% toit 30% pelouse sols sablonneux pente faible 30% forêt sols sablonneux

Si on compare les résultats de charge polluante moyenne par occupation du sol utilisé pour les répondants qui ne connaissent pas la superficie de terrain et qui proviennent du *Guide de gestion des eaux pluviales* (Rivard, 2012), on peut constater qu'il est possible en entrant des données de type de surfaces dans le calculateur d'obtenir la valeur de 6,5 g de phosphore par 100 m² d'une habitation unifamiliale haute densité par exemple. En effet, si on suppose un terrain de 100 m² avec 5 % de surface pavée, 25 % de toits, 50 % de pelouses en sols sablonneux à pente faible et 20 % de forêt sans utilisation de fertilisants ni d'arrosage, on obtient la valeur de 6,5 g de phosphore. Ainsi, dès que l'on ajoute de l'arrosage, de la fertilisation ou que l'on enlève de la forêt ou de la pelouse

pour l'ajouter en surface pavée ou en toits, la valeur obtenue sera plus élevée que les valeurs présentées dans le tableau de charge polluante moyenne par utilisation du territoire.

Plusieurs valeurs de coefficients d'exportation sont disponibles dans la littérature. Par exemple, dans une étude réalisée sur la relation entre les précipitations et les pertes en phosphore des forêts du Midwest des États-Unis, les pertes annuelles en phosphore obtenues variaient entre 3,1 et 5,5 g par 100 m² (Udawatta *et al.*, 2011). Ces valeurs peuvent se comparer à celles obtenues par le calculateur pour 100 % de forêt en sols sablonneux et 100 % de forêt en sols argileux correspondant respectivement à 1 et 6 g par 100 m². Dans le *Guide de gestion des eaux pluviales*, ce sont des valeurs annuelles entre 1,0 et 1,3 g par 100 m² qui sont prises en compte alors que pour le gazon ce sont des valeurs variant entre 0,1 et 2,5 g par 100 m² (Rivard, 2012). Alors que pour une surface uniquement de pelouse dans le calculateur, on obtient des valeurs sans utilisation d'engrais et sans arrosage allant de 1 à 12g par 100 m² selon le type de sol et la pente. Dans une étude de Line *et al.* (2002) réalisée en Caroline du Nord sur différents types d'occupation du sol, le résultat obtenu pour l'exportation annuelle en phosphore de la forêt est de 10 g par 100 m² alors que pour une utilisation résidentielle (maisons unifamiliales) les pertes en phosphore sont de 23 g par 100 m². Si l'on prend l'exemple du terrain type utilisé dans le calculateur, les valeurs varient de 8 à 20 g par 100 m² selon s'il n'y a pas de fertilisation et/ou d'arrosage ou s'il y en a. D'ailleurs, dans cette même étude, les valeurs d'exportation du phosphore pour un secteur résidentiel sont comparées à des valeurs de plusieurs autres études qui elles varient entre 4 et 13 g par 100 m² (Line *et al.*, 2002).

Finalement, si l'on regarde une situation réelle d'un riverain ayant rempli le calculateur, un résultat total de 1 367 g a été obtenu. Ce citoyen habite dans une maison se trouvant à moins de 100 mètres d'un lac et possède une fosse septique avec une superficie de terrain de 2 043,8 m². Des résultats partiels de 128 g de phosphore pour la première section et de 1 238 g concernant la charge se rendant au lac ont été obtenus. De plus, un pourcentage de réduction de 56 % du ruissellement et de 50 % du phosphore a été obtenu grâce aux efforts de réduction. Un autre exemple rempli cette fois-ci par un citoyen étant relié au système d'égout de la municipalité donne un résultat total de 642 g. Ce citoyen possède un terrain de 465 m² et a obtenu un résultat partiel de 52 g de phosphore pour la première section. Puisque les eaux usées du citoyen sont envoyées dans les égouts, aucun second résultat partiel concernant la charge se rendant au lac suite au passage dans l'installation septique n'est donné. De plus, un pourcentage de réduction de 37,5 % du ruissellement et de 25 % du phosphore a été obtenu grâce aux efforts de réduction.

6 RECOMMANDATIONS

Ce dernier chapitre présente des recommandations sur l'utilisation et la diffusion des calculateurs. Des recommandations plus particulières s'adressant aux municipalités, aux organismes de bassin versant ou aux MRC voulant utiliser cet outil sont aussi expliquées.

Ce calculateur a pour but de faire réaliser aux gens l'impact qu'ils peuvent avoir sur la santé des lacs en leur montrant la quantité de phosphore qu'ils émettent dans l'environnement et d'où viennent les principales émissions de phosphore. Les effets du développement urbain et plus particulièrement du développement riverain, sont à prendre avec précaution. Effectivement, étant donné un taux de migration très lent du phosphore dans le sol (environ 1 m/an) les effets sur les cours d'eau et les lacs peuvent avoir un effet cumulatif seulement plusieurs années plus tard (Paterson *et al.* 2006). Il devient ainsi important de considérer les quantités de phosphore émises par une population dès aujourd'hui, si nous voulons laisser des lacs et des cours d'eau que nos petits enfants pourront encore utiliser.

En ce qui concerne l'utilisation du calculateur, il est à noter que les valeurs obtenues avec celui-ci ne devraient en aucun cas être considérées comme des valeurs réelles. En effet, étant donné que ce calculateur se base sur des données moyennes pour plusieurs calculs, la valeur obtenue pour une seule personne ne peut être qu'une approximation. Il donne néanmoins une estimation pour aider les citoyens à savoir à quoi ils devraient faire attention pour réduire leurs émissions de phosphore. D'ailleurs, lorsque des données plus précises sont disponibles, le calculateur aura tout intérêt à être bonifié. En effet, d'autres facteurs peuvent être ajoutés afin d'améliorer la précision du calculateur. Tout d'abord, une catégorie concernant l'élément épurateur du citoyen possédant une installation septique individuelle serait pertinente à ajouter si les données sont suffisantes. En effet, certaines compagnies de système de traitement secondaire avancé telles qu'Enviroseptic, Écophyltre ou Écoflo ont déjà des valeurs de réduction de la concentration des eaux usées en phosphore suite au passage dans leur système par rapport à l'effluent de la fosse septique. Par contre, il est difficile de savoir quelles sont les concentrations de phosphore suite au champ de polissage suivant le passage dans les différents systèmes. Il en va de même pour les diminutions de la concentration lorsque les eaux usées sont directement infiltrées dans le sol par l'élément épurateur suite au passage dans la fosse septique. Ensuite, d'autres composantes relatives aux citoyens riverains pourraient aussi être ajoutées. Par exemple, la présence ou non d'un muret ou d'une plage, l'utilisation sur le lac d'un

bateau contribuant à l'érosion des berges, l'ajout de caractéristiques concernant la bande riveraine tel que la pente et le type du sol, etc. D'ailleurs, en ajoutant plus d'information concernant les riverains, il peut être pertinent de créer deux calculateurs, soit un pour les citoyens riverains d'un cours d'eau ou d'un lac et un pour les citoyens non riverains. Finalement, des informations plus précises concernant l'ajout d'engrais pourraient aussi être demandées telles que la quantité précise d'engrais ajoutée pour chaque citoyen. Certains aménagements ou techniques de réduction décrits dont aucune valeur n'avait été obtenue pourraient se voir attribuer une valeur quantitative afin d'améliorer les résultats de réduction de la part du citoyen.

Cet outil peut s'avérer un outil de sensibilisation intéressant pour les citoyens. En effet, il leur fait réaliser quels facteurs peuvent influencer les quantités de phosphore émises qui circulent dans l'environnement et leur donne quelques conseils afin de s'améliorer. Il pourrait donc être utilisé comme outil de sensibilisation par des organismes de bassin versant ou des MRC par exemple. Ce calculateur peut aussi être un outil utile pour les municipalités qui veulent avoir une idée des émissions de phosphore sur leur territoire. Le calculateur a d'ailleurs tout intérêt à être bonifié en ajoutant des données plus précises de la région, par exemple les précipitations annuelles, les différents types de sols, la pente, etc. Aussi, pour faciliter la visualisation pour l'utilisateur de ce à quoi correspond sa charge, une comparaison pourrait être faite ou une échelle de grandeur pourrait être affichée afin que le citoyen puisse se situer selon qu'il émet peu ou beaucoup de phosphore. Finalement, ce calculateur pourrait être utilisé à plus grande échelle et avec un aspect plus attrayant pour le public s'il était converti sur une page web.

CONCLUSION

L'objectif de cet essai était de créer un calculateur d'émissions de phosphore utilisable par les citoyens et dans le but de permettre une réduction de certaines émissions de phosphore. Pour y arriver, une recherche a d'abord été effectuée sur les différentes sources de phosphore ainsi que sur sa dynamique dans l'environnement. Ensuite, le deuxième chapitre se concentre sur les solutions possibles de diminution et de rétention du phosphore. Le troisième chapitre aborde la méthodologie qui a été utilisée ainsi que les données qui sont utilisées pour les calculs présents dans le calculateur. Ensuite, le calculateur en version utilisable par les citoyens est présenté selon ses deux sections, soit la première regroupant les émissions, ce qui inclut les types de surfaces qui occasionnent du ruissellement de surface transportant du phosphore, l'utilisation d'engrais et d'eau à l'extérieur par le lavage de voiture et l'arrosage des pelouses puis les émissions par personne tenant compte de l'utilisation des savons et des différents systèmes d'installations septiques. La deuxième section vise plutôt les réductions faites par l'utilisateur et la présentation de quelques conseils. Le cinquième chapitre inclut une discussion sur les résultats donnés par le calculateur pour finalement terminer avec des recommandations sur l'utilisation et l'amélioration du calculateur.

Finalement, ce processus d'élaboration d'un calculateur d'émissions de phosphore pour les citoyens a permis d'élaborer un outil de sensibilisation qui peut permettre de réaliser d'où provient le phosphore et comment il se transporte vers les cours d'eau et les lacs et de donner des solutions concrètes aux citoyens. Cet outil peut être utile pour les municipalités, organismes de bassins versants et MRC qui veulent conscientiser les gens à la problématique du phosphore et peut même servir de base pour une diffusion à plus grande échelle s'il est converti en page web.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Beaudin I., Michaud A., Beaudet P. et Giroux M. (2008). *La mobilité du phosphore : du sol au cours d'eau*. Fiche technique n°1. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec. 12 pages
- Behrendt H., Bach M., Kunkel R., Optiz D., Pagenkopf W-G., Scholz G.G. et Wendland F. (2003). Nutrient Emissions into River Basins of Germany on the Basis of a Harmonized Procedure. *Environmental research of the federal ministry of the environment, nature conservation and nuclear safety*. 191 pages.
- Bennett E.M., Carpenter S.R. et Caraco N.F. (2001). Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: a global perspective. *BioScience*, vol. 51, n° 3, p. 227-234
- Blais S. et Patoine M. (s.d.) *Le phosphore en milieu aquatique dans les agroécosystèmes*. Colloque sur le phosphore – Une gestion éclairée! Ordre des agronomes du Québec. 19 pages
- Bouchard K. (2011). *Gestion des pesticides et des engrais en milieu urbain au Québec, étude de cas et perspectives*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 79 pages.
- Bourget S. (2011). *Limnologie et charge en phosphore d'un réservoir d'eau potable sujet à des fleurs d'eau de cyanobactéries : le lac Saint-Charles, Québec*. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Québec, 159 pages.
- Carpenter S.R., Caraco N.F., Correll D.L., Howarth R.W., Sharpley A.N. et Smith V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, vol.8, n°3, p.559-568.
- Chambers P.A., E. Roberts M. Guy, Charlton M.N., Kent R., Gagnon C., Grove G., Foster N., DeKimpe C. et Giddings M. (2008). Éléments nutritifs – Azote et phosphore. *Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes aquatiques au Canada*. In Sciences de l'eau. <http://www.ec.gc.ca/inre-nwri/default.asp?lang=Fr&n=235D11EB-1&offset=7&toc> (Page consultée le 24 août 2013)
- Chery L. et Barbier J. (2000) *Le phosphore dans les eaux souterraines de France*. État des connaissances. Année 1. BRGM. 63 pages.
- Comeau Y., Gehr R., Brown H. et Meunier C. (2005). Contribution des boues d'alun d'usines de traitement d'eau potable à la déphosphatation chimique des eaux résiduaires au Québec. *Vecteur environnement*, vol. 38, n° 2, p. 53-57
- Davis A.P., Shokouhian M., Sharma H. et Minami C. (2006). Water Quality Improvement through Bioretention Media: Nitrogen and Phosphorus Removal. *Water Environment Research*, vol. 78, n°3, p. 284-293
- Dietz M.E., Clausen J.C. et Filchak K.K. (2004). Education and changes in residential nonpoint source pollution. *Environmental Management*, vol. 34, n° 5, p. 684-690.

- Directions de l'Eau et de l'Assainissement et des Systèmes d'Information et des Télécommunications de Reims Métropole (s.d.). In Site internet de l'eau de la communauté d'agglomération de REIMS. <http://eau.reimsmetropole.fr/L-eau-du-ciel.html> (Page consultée le 26 août 2013).
- Dorioz J. M., Quetin P., Lazzarotto J. A., Bosse J. P. et Moille J. P. (2004). Bilan du phosphore dans un bassin versant du lac Léman : Conséquences pour la détermination de l'origine des flux exportés. *Revue des sciences de l'eau*, vol.17, n°3, p.329-354.
- Duchemin et Majdou (2004). Les bandes végétales filtrantes : de la parcelle au bassin versant. *Vecteur environnement*, vol. 37, no 2, pages 36-50.
- Dugué M. (2010). *Conception d'un jardin de pluie : théories et étude de cas*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, 126 pages.
- Dupont J. (1997). La restauration des lacs au Québec : un défi face aux problèmes environnementaux actuels. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 10, n° 1, p. 41-61.
- Gagnon E. et Ganbazo G. (2007). *Efficacité des bandes riveraines : analyse de la documentation scientifique et perspectives*. Ministère du Développement durable de l'Environnement et des Parcs du Québec, Direction des politiques de l'eau. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant fiche n° 7, Québec, 17 pages
- Gervais A. (2012). *La réglementation municipale quant à l'utilisation de fertilisants : perspectives pour la ville de Sherbrooke*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 89 pages.
- Girard J-F. (2013). Nos lacs, une question de droit. Aspects juridiques de la gestion des lacs. Dans le cadre de la Journée lac de la CARA, 30 mars 2013, Rawdon
- Greene M. (2012). *Effet du développement résidentiel sur l'habitat et la distribution des macrophytes dans les lacs des Laurentides*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, 166 pages.
- GRIL (2009). *Calcul de la capacité de support en phosphore des lacs : où en sommes-nous?* Groupe de recherche interuniversitaire en limnologie et en environnement aquatique, 11 pages.
- Gouvernement du Canada (2009). Résumé de l'étude d'impact de la réglementation modifiant le règlement sur la concentration en phosphore. *Gazette du Canada Partie II*, vol.143, n°13, p.1062-1083.
- Gouvernement du Québec (2002a). Règlement portant interdiction à la mise en marché de certains détergents à vaisselle. In Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP). Eau. <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/vaisselle/index.htm> (Page consultée le 7 décembre 2012).

- Gouvernement du Québec (2002b). Le Réseau de surveillance volontaire des lacs. *Les méthodes*. In Ministère du Développement durable de l'Environnement de la Faune et des Parcs, <http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm> (Page consultée le 24 août 2013)
- Gouvernement du Québec (2010). Données relatives aux températures et aux précipitations enregistrées dans 40 stations météorologiques, par région administrative et MRC ou territoire équivalent, Québec, 1971-2000. Institut de la statistique du Québec. http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/referenc/quebec_stat/ter_ter/ter_ter_7.htm (Page consultée le 7 décembre 2012)
- Gouvernement du Québec (2011). Novoclimat. Exigez une habitation de qualité certifiée. In Ministère des Ressources naturelles. *Efficacité énergétique*. <http://www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca/mon-habitation/novoclimat/> (Page consultée le 7 décembre 2012).
- Hatvany M. (2001). *L'expansion urbaine*. Extrait de : Québec, ville et capitale. Collection Atlas historique du Québec, Les Presses de l'Université Laval, p.256-259
- Hydro-Québec (2012). Le diagnostic résidentiel. In Hydro-Québec. *Clients résidentiels*. <http://www.hydroquebec.com/residentiel/diagnostic/index.html> (Page consultée le 7 décembre 2012)
- Jeppesen E., Sondergaard M., Jensen P., Havens K.E., Anneville O., Carvalho L., Coveney M.F., Deneke R., Dokulil M.T., Foy B., Gerdeaux D., Hampton S. E., Hilt S., Kangur K. L., Hler J. K., Lammens E. H.H.R., Lauridsen T. L., Manca M., Miracle M. R., Moss B., Ges P. N., Persson G., Phillips G., Portielje R., Romo S., Schelske C. L., Straile D., Tartrai I., Wille E. et Winder M. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading -an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology*, vol. 50, p. 1747-1771.
- Komatsu E., Fukushima T., Harasawa H. (2007). A modeling approach to forecast the effect of long-term climate change on lake water quality. *Ecological modelling*, vol.209, p.351-366.
- Kussow W.R. (2008). Management practices affecting nitrogen and soluble phosphorus losses from an upper Midwest lawn. *American Chemical Society*, vol 997, p 1-18.
- Lacasse R. et Fanfan N. (2007). Évaluation de l'efficacité de la zone d'infiltration sous le Biofiltre Ecoflo. Sommaire de la conférence présentée par M.Roger Lacasse dans le cadre du 30 E symposium sur le traitement des eaux usées. Premier Tech Environnement. 8 pages.
- Lamontagne S., Carignan R., D'Arcy P., Prairie Y.T. et Pare D. (2000). Element export in runoff from eastern Canadian Boreal Shield drainage basins following harvesting and wildfire. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 57, p.118-128.
- Laniel M. (2008). *Intégration du concept de capacité de support d'un plan d'eau aux apports en phosphore à l'aménagement du territoire au Québec : Réalité ou utopie?* Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Québec, 274 pages.

- Lehman J.T., Douglas W.B. et Kahli E.M. (2009). Reduced river phosphorus following implementation of a lawn fertilizer ordinance. *Lake and Reservoir Management*, vol. 25, n°3, p.307-312,
- Line D.E., White N.M., Osmond D.L., Jennings G.D. et Mojonnier C.B. (2002) Pollutant Export from Various Land Uses in the Upper Neuse River Basin. *Water Environment Research*, vol. 74, n°1, p. 100-108.
- Martel J-F (2010). *Augmentation des apports en phosphore relié à un nouveau développement résidentiel dans un bassin versant de lac*. Regroupement des Associations Pour la Protection de l'Environnement des Lacs et des cours d'eau de l'Estrée et du haut bassin de la rivière Saint-François. 9 pages.
- Martineau C., Mongeau B. et Rochefort S. (2008). Implantation et entretien d'une pelouse durable. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 212 pages.
- McMeekin (2009). *Le bilan de phosphore du lac Bromont : vers l'identification des activités humaines causant les blooms de cyanobactéries*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec, Montréal, Québec, 96 pages.
- Ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture de l'Ontario (2012). La série de fascicules « Les pratiques de gestion optimales ». In Gouvernement de l'Ontario. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/environnement/bmp/series.htm> (Page consultée le 26 août 2013)
- Ministère de l'Environnement (2003). *Synthèse des informations environnementales disponibles en matière agricole au Québec*. Gouvernement du Québec. Direction des politiques du secteur agricole, Québec, Environnement Canada ENV/2003/0025, 143 pages.
- Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (2011). Bilan du programme d'aide à la prévention d'algues bleu-vert. In Gouvernement du Québec. *Programme d'aide à la prévention d'algues bleu-vert*. <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/amenagement-du-territoire/algues-bleu-vert/programme-daide-a-la-prevention-dalgues-bleu-vert-papa/> (Page consultée le 26 août 2013)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2004). Influence des activités humaines sur la qualité de l'eau et actions d'assainissement. In Gouvernement du Québec. *Portrait global de la qualité de l'eau des principales rivières du Québec*. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/global-2004/Influence2004.htm> (Page consultée le 24 août, 2013)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (2012). Exigences de rejets. *Réduction du phosphore dans les rejets d'eaux usées d'origine domestique*. In Gouvernement du Québec. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/reduc-phosphore/index.htm#exigences> (Page consultée le 14 mars, 2013).

- Moreira J. F. V. et Boudreault M-C. (2012). *Évaluation de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux pour l'année 2011*. Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, Québec, 225 pages.
- Paquette M-H. (2010). *La restauration des berges - l'utilisation d'indicateurs de performance comme outil d'aide à la décision*. Essai de maîtrise en environnement, Université de Sherbrooke, Longueuil, Québec, 99 pages.
- Paterson A. M., Dillon P. J., Hutchinson N. J., Futter M. N., Clark B. J., Mills R. B., Reid R. A. et Scheider W. A. (2006). A review of the components, coefficients and technical assumptions of Ontario's lakeshore capacity model. *Lake and Reservoir Management*, vol.22, n°1, p.7-18.
- Perron V. et Hébert M. (2007). Caractérisation des boues d'épuration municipales. Partie 1 : Paramètres agronomiques. *Vecteur environnement*, septembre 2007, p.48-52.
- Prepas E.E., Pinel-Alloul B., Planas D., Méthot G., Paquet S. et Reedyk S. (2001). Forest harvest impacts on water quality and aquatic biota on the Boreal Plain: introduction to the TROLS lake program. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, vol.58, p.421-436.
- Roberts A.D. et Stephen D. (2010). Effects of urban and non-urban land cover on nitrogen and phosphorus runoff to Chesapeake Bay. *Prince Ecological Indicators*, vol. 10, p.459-474.
- Rivard G. (2012). *Guide de gestion des eaux pluviales*. Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. Chapitre 1 à 5, chapitre 6, chapitre 8 et chapitre 11.
- Salvia-Castellvi M., Scholer C. et Hoffmann L. (2002). Comparaison de différents protocoles de spéciation séquentielle du phosphore dans des sédiments de rivière. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 15, n° 1, p. 223-233.
- Schindler D.W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: implications for lake. *Management. Science*, vol. 184, no 4139, pages 897-899.
- Schreiber H., Constantinescu L.T., Cvitanic I., Drumea D., Jabucar D., Juran S., Pataki B., Snishko S., Zessner M. et Behrendt H. (2003). *Harmonised Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorus for a Transboundary River Basin*. Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Water Research Project. 187 pages.
- Seppälä J., Knuutila S. et Silvo K. (2004). Eutrophication of aquatic ecosystems. A new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus. *Eutrophication of Aquatic Ecosystems*, vol. 9, n°2, p.90 -100.
- Shuman L.M. (2004). Runoff of nitrate nitrogen and phosphorus from turfgrass after watering-in. *Communication in soil science and plant analysis*, vol.35, n°1 et 2, p.9-24.

- Société canadienne d'hypothèques et de logement (2013). Un jardin pluvial pour mieux gérer les eaux de ruissellement dans votre cour. *In* Votre maison. http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/ampa/ampa_005.cfm (Page consultée le 26 août 2013)
- Soldat D.J. et Petrovic A.M. (2008). The Fate and Transport of Phosphorus in Turfgrass Ecosystems. *Crop Science*, vol 48, p.2051-2065.
- Søndergaard M., Jens Peder Jensen J.P. et Jeppesen E. (2003). Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, vol. 506–509, p. 135–145.
- Southwest Florida Water Management District (s.d.). Water use calculator. *In* Southwest Florida Water Management District . <http://www.swfwmd.state.fl.us/conservation/thepowerof10/> (Page consultée le 26 août 2013)
- Statistique Canada (2011). Tableau 153-0064 - L'Enquête sur les ménages et l'environnement, utilisation d'engrais et de pesticides, Canada et les provinces, aux 2 ans (pourcentage). *In* CANSIM (base de données). <http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&retrLang=eng&id=1530064&paSer=&pattern=&stByVal=1&p1=1&p2=-1&tabMode=dataTable&csid=> (Page consultée le 14 mars 2013).
- Statistique Canada (2012). Tableau 10 : Raccordement à un système d'égout ou à une fosse septique selon la province. *Enquête sur les ménages et l'environnement, 2009* (no d'enquête 3881). Division des comptes et de la statistique de l'environnement. <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-526-x/2011001/t059-fra.htm> (Page consultée le 14 mars 2013).
- Superior Township (2013). *Sprinkler Meters General Information*. Michigan. *In* Superior Township http://twp-superior.org/departments/sprinkler_information.html (Page consultée le 26 août 2013)
- Swann C. P. 2000. A survey of nutrient behavior among residents in the Chesapeake Bay watershed. in *Proceedings of the National Conference on Tools for Urban Water Resource Management and Protection*, Chicago, Illinois, p. 230-237.
- Udawatta R.P., Henderson G.S., Jones J.R. et Hammer D. (2011). Phosphorus and nitrogen losses in relation to forest, pasture and row-crop land use and precipitation distribution in the midwest usa. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 24, n° 3, p. 269-281.
- Vézina R. (2010). *Rapport d'expertise. Installations septiques dans les bassins versants de la rivière Saint-Charles et de la rivière Montmorency*. Roy Vézina associés, 28 pages.
- Ville de Mont-Saint-Hilaire (s.d.). *Chaque goutte compte*. Dépliant de sensibilisation, 4 pages.
- Ville de Montréal (2011). *Bilan et perspectives démographiques - Agglomération de Montréal*. Montréal en statistiques, division du soutien au développement économique, direction du développement économique et urbain, 64 pages.

Vought L.B-M., Dahl J., Pedersen C.L. et Lacoursière J.O. (1994.) Nutrient Retention in Riparian Ecotones. *Ambio*, vol. 23, n° 6, p. 342-348.

Wu Y., Kerr P.G., Hu Z. et Yang L. (2010). Eco-restoration: Simultaneous nutrient removal from soil and water in a complex residential–cropland area. *Environmental Pollution*, vol. 158, n° 7, p.2472-2477

BIBLIOGRAPHIE

- Duguet F. (2005). *Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du sud-ouest du Québec*. Mémoire de maîtrise. Université Laval, Québec, Québec, 105 pages.
- Erickson J E, Cisar J L, Snyder G H et Volin J C (2005). Phosphorus and potassium leaching under contrasting residential landscape models established on sandy soil. *Crop Science*, vol. 45, no 2; p.546-552.
- Hasnaoui M., Kassila J., Loudiki M., Droussi M., Balvay G. et Barrouin G. (2001). Relargage du phosphore à l'interface eau-sédiment dans des étangs de pisciculture de la station Deroua (Béni Mellal, Maroc). *Revue des sciences de l'eau*, vol. 14, n° 3, p. 307-322.
- Jordan-Meille L., Dorioz J.-M., Mathieu N. (1998). Approche expérimentale par crue artificielle de la participation du réseau hydrographique à l'exportation de phosphore par un petit bassin versant rural. *Water Research*, vol. 32, no 6, p. 1801-1810
- Olivier M. (2012). *Chimie de l'environnement*, 6e édition, Productions Jacques Bernier, Lévis, 444 pages.
- Prasuhn V. (2011). Soil erosion in the Swiss midlands: Results of a 10-year field survey. *Geomorphology*, vol. 126, p. 32-41.
- You Y.Y., Jina W.B., Xionga Q.X., Xueb L., Aib T.C. et Lia B.L. (2012). Simulation and Validation of Non-point Source Nitrogen and Phosphorus Loads under Different Land Uses in Sihuan Basin, Hubei Province, China. *Procedia Environmental Sciences*, vol.13 p.1781-1797

**ANNEXE 1 – PERTE DE PHOSPHORE EN RUISELLEMENT D'UN SYSTÈME
ENGAZONNÉ**

Tiré de Soldat et Petrovic, 2008

Ground cover	Soil type	Slope	Runoff generation process and study scale	P source (N-P-K)	P application rate	P load	P conc. in runoff	Loss of applied P [†]	Reference (form [‡] of P measured)			
Cool season lawns in Wisconsin	Heavily disturbed silt loam	4-8	Simulated plot-scale 120 mm h ⁻¹ , 1.5 h	NR [§] (10-4.4-8.3)	0	0.9 event ⁻¹	0.4	7.2	Kelling and Peterson, 1975 (DRP)			
					43	4.0 event ⁻¹	0.5	11.6				
					99	12.4 event ⁻¹	8.4					
<i>F. arundinacea</i> + <i>P. pratensis</i>	Undisturbed silt loam over sandy loam	4-8	Simulated plot-scale 120 mm h ⁻¹ , 1.5 h	NR (10-4.4-8.3)	0	0.05 event ⁻¹	0.05	2.1	Gross et al., 1990 (TP)			
					21	0.5 event ⁻¹	0.5	0.3				
					43	0.2 event ⁻¹	0.1					
<i>Cynodon. dactylon</i> L.	Westphalia fine sandy loam (Typic Hapludult)	5-7	Natural plot-scale 295 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	N/A [§]	0	0.01-0.04	NR	N/A	Cole et al., 1997 (DRP)			
					6	Simulated plot-scale 51-64 mm h ⁻¹ , 1.3-2.3 h With buffer (2.4-4.9 m)	Superphosphate (0-8.8-0)	49		0.04-0.53 event ⁻¹	0.78-2.36	Less than control- 1.0
<i>L. perenne</i> or <i>A. stolonifera</i> var. <i>palustris</i>	Hagerstown clay, depth to bedrock 5- 60 cm (Typic Hapludulf)	9- 11	Natural plot-scale 210 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	MAP [§] (19-1.3-15)	6 (year 1) 11 (year 2)	0.0- 0.2 yr ⁻¹	1.6-6.6	No control	Linde and Watschke, 1997 (MRP)			
					6 (year 1) 11 (year 2)	0.0-0.6 event ⁻¹	NR	No control				
					6 (year 1) 11 (year 2)	0.0-0.6 event ⁻¹	NR	No control				
<i>Chamaecyparis obtuse</i> (Japanese Cyprus)	NR	NR	Natural watershed-scale 1947 mm ⁻¹ in 1989 2054 mm ⁻¹ in 1990	Unfertilized	0	0.049 yr ⁻¹	0.004	N/A	Kunimatsu et al., 1999 (DRP)			
<i>Zoysia matrella</i> MERR.	NR	NR		NR	21	2.05 yr ⁻¹	0.081	N/A				
<i>MCHH.</i>												
<i>C. dactylon</i> and <i>L. perenne</i>	Several, primarily gravelly loamy sand and silty clay loam	N/A	Natural watershed-scale 738 mm 13 mo. ⁻¹	738 mm 13 mo. ⁻¹	50 kg ha ⁻¹ over 13 mo	0.33 yr ⁻¹	0.10-0.13	No control	King et al., 2001 (MRP)			
<i>C. dactylon</i>	Boonville fine sandy loam (Vertic Albaqualf)	8.5	Natural plot-scale 143 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	N/A	0	4.6 yr ⁻¹	1.1-2.6	Gaudreau et al., 2002 (TDP)				
					Inorganic P	25	8.0 yr ⁻¹		1.1-16.6	13.6		
						50	11.8 yr ⁻¹		1.1-30.0	14.4		
					Dairy manure	50	7.7 yr ⁻¹		2.4- 5.5	6.2		
<i>C. dactylon</i>	Cecil sandy loam (Typic Kanhapludult)	5	Simulated plot-scale 27 mm h ⁻¹ , 2 h 4, 24 HAT ^{††}	N/A	0			N/A	Shuman, 2002 (DRP)			
					4 HAT	0.12 event ⁻¹	1.0					
					24 HAT	0.09 event ⁻¹	0.5					
					72 HAT	0.04 event ⁻¹	1.1					
					168 HAT	0.04 event ⁻¹	1.0					
					MAP (10-4.4-8.3)	5						
					4 HAT	0.66 event ⁻¹	4.0	10.9				
					24 HAT	0.20 event ⁻¹	1.1	3.8				
					72 HAT	0.08 event ⁻¹	0.8	0.8				
					168 HAT	0.05 event ⁻¹	1.0	0.2				
					MAP (10-4.4-8.3)	11						
					4 HAT	1.19 event ⁻¹	7.0	9.7				
24 HAT	0.44 event ⁻¹	1.8	3.2									
72 HAT	0.12 event ⁻¹	1.2	0.7									
168 HAT	0.06 event ⁻¹	0.8	0.2									

Ground Cover	Soil type	Slope	Runoff generation process and study scale	P source	P application rate	P load	P conc. in runoff	Loss of applied P	Reference (form of P measured)
		%			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg L ⁻¹	%	
<i>P. pratensis</i> + <i>L. perenne</i>	Arkport sandy loam (Lamelllic Hapludalf)	7-9	Natural plot-scale 268 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	N/A	0.0	0.8 yr ⁻¹	0.4	N/A	Easton and Petrovic, 2004 (MRP)
				Swine compost (4.25-0.9-0)	42	1.1 yr ⁻¹	1.2	0.3	
				Dairy compost (0.8-13-0)	33	0.6 yr ⁻¹	0.8	Less than control	
				Biosolids (6-0.9-0)	29	0.6 yr ⁻¹	0.6	Less than control	
				MAP (35-1.3-4)	7.5	0.4 yr ⁻¹	0.4	Less than control	
<i>C. dactylon</i> sprigged and sodded	Booneville fine sandy loam (Pachic Agricryoll)	8.5	Natural plot-scale 247 mm ⁻¹ fall 2000 98 mm ⁻¹ spring 2001	Sprigged plots topdressed with composted dairy manure	184	19.1 yr ⁻¹	3.4-11.9	8.2	Vietor et al., 2004 (TDP)
				Sprigged plots topdressed with TSP ^{††}	92	15.0 yr ⁻¹	2.3-10.7	11.8	
				Sprigged plots topdressed with TSP ^{††}	100	10.6 yr ⁻¹	0.9-20.5	6.5	
				Sodded with grass grown on dairy manure	392	10.8 yr ⁻¹	4.9-14.9	1.7	
				Sodded with grass grown on dairy manure	191	6.5 yr ⁻¹	2.1-8.5	1.3	
				Sodded with inorganically fertilized	70	7.2 yr ⁻¹	0.5-9.6	4.4	
				Established control	0	4.1 yr ⁻¹	0.5-5.5	N/A	
Cool season lawn turf in New York	Silt loam	7-11	Natural plot-scale 1268 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	N/A	0	0.57 yr ⁻¹	0.10-1.30	N/A	Easton and Petrovic, 2008 (MRP)
				MAP	28 yr ⁻¹	0.51 yr ⁻¹	0.98-1.36	Less than control	
				N/A	0	0.42 yr ⁻¹	0.15-0.48	N/A	
Wooded land in suburban New York	Silt loam	7-11		N/A	0	0.42 yr ⁻¹	0.15-0.48	N/A	

Ground Cover	Soil type	Slope	Runoff generation process and study scale	P source	P application rate	P load	P conc. in runoff	Loss of applied P	Reference (form of P measured)
		%			kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	mg L ⁻¹	%	
Cool season golf turf in Ontario	Dominantly podzolic or brunisolic	N/A	Natural watershed-scale, Precipitation not reported	Primarily MAP and organic	5–10 yr ⁻¹	0.02–0.08 yr ⁻¹ mean 0.03	0.07–0.23 mean 0.13	No control	Winter and Dillon, 2006 (TP)
<i>A. palustris</i>	Hagerstown clay (Typic Hapludalf)	9–11	Simulated plot-scale 152 mm h ⁻¹ , 0.25 h ⁻¹	DAP + aeration	42	0.025–0.065 event ⁻¹	0.27–5.13	N/A	Kauffman and Watschke, 2007 (MRP)
<i>L. perenne</i>			Simulated plot-scale 152 mm h ⁻¹ , 0.20 h ⁻¹	DAP + aeration	42	0.08–0.105 event ⁻¹	0.30–4.21	N/A	
<i>C. dactylon</i> and <i>L. perenne</i>	Several, primarily gravelly loamy sand and silty clay loam	N/A	Natural watershed-scale 631 mm ⁻¹ Apr–Dec 1998, 510 mm ⁻¹ in 1999, 877 mm ⁻¹ in 2000, 965 mm ⁻¹ in 2001 692 mm ⁻¹ in 2002 154 mm ⁻¹ Jan–Mar 2003	Several	8.2 yr ⁻¹	0.51 yr ⁻¹	Inflow median = 0.10 Outflow median = 0.13	No control	King et al., 2007 (DRP)
<i>C. dactylon</i>	Norge silt loam (Udic Paleustoll)	5	Simulated plot-scale 51 mm h ⁻¹ , 0.12 h	Unfertilized with aeration	0	0.028 event ⁻¹	1.2–1.5	N/A	Moss et al., 2007 (DRP)
				Unfertilized without aeration	0	0.023 event ⁻¹	1.0–1.8	N/A	
<i>P. pratensis</i>	Batavia silt loam (Fluvaquentic Endoaquoll) FROZEN	6	Natural plot-scale 817.4 mm yr ⁻¹ , over 2 yr with approx. 80% of runoff occurring during frozen soil conditions	MAP (21–1.3–10)	9.2 yr ⁻¹	2.11 yr ⁻¹	NR	No control	Steinke et al., 2007 (TP)
	Batavia silt loam NON-FROZEN	6		MAP (21–1.3–10)	9.2 yr ⁻¹	0.01 yr ⁻¹	NR	No control	
Prairie mixture of legumes, grasses and forbs	Batavia silt loam FROZEN	6		N/A	0	1.92 yr ⁻¹ (DP)	NR	N/A	
	Batavia silt loam NON-FROZEN	6		N/A	0	0.04 yr ⁻¹ (DP)	NR	N/A	
<i>P. annua</i> with	Silt to sandy loam NON-FROZEN	1–4	Natural plot-scale	N/A	0	0.08 yr ⁻¹ (TP)	0.33–0.58 (DP)	N/A	Stier and Kussow, 2006 (TP/DP)
<i>P. annua</i> with no buffer strip	Silt to sandy loam	1–4	Natural plot-scale 908 mm in 2004 822 mm in 2005	N/A	0	0.08 yr ⁻¹ (TP)	0.33–0.58 (DP)	N/A	Stier and Kussow, 2006 (TP/DP)
<i>P. annua</i> with prairie buffer strip				N/A	0	0.09 yr ⁻¹ (TP)	0.13–0.56 (DP)	N/A	
<i>P. annua</i> with fescue buffer strip				N/A	0	0.11 yr ⁻¹ (TP)	0.07–0.49 (DP)	N/A	
<i>A. palustris</i> , <i>P. annua</i> and <i>P. pratensis</i>	Clayey, lacustrine, non-calcareous soils	N/A	Natural watershed-scale 353 mm ⁻¹ in 2003 482 mm ⁻¹ in 2004 533 mm ⁻¹ in 2005 418 mm ⁻¹ in 2006	Several	13.6 yr ⁻¹	0.14 yr ⁻¹ (DRP) 0.24 yr ⁻¹ (TP)	Inflow median = 0.01 Outflow median = 0.015 (DP)	N/A	King and Balogh, 2008 (TP/DRP)
<i>P. pratensis</i>	Troxel silt loam (Pachic Agriudoll)	6	Natural plot-scale 798 mm yr ⁻¹ , over 2 yr	Biosolids (6–0.9–0)	0.6	0.37 yr ⁻¹	NR	Less than control	Kussow, 2008 (MRP)
		6		Synthetic (29–1.3–3.5)	0.2	0.34 yr ⁻¹	NR	Less than control	
		6		Unfertilized	0	0.54 yr ⁻¹	NR	N/A	

¹Loss of applied P calculated as P runoff load in fertilized plot – P runoff load in unfertilized plot/P fertilizer applied, if no control was used applied P loss cannot be calculated.

²DP, dissolved phosphorus; DRP, dissolved reactive phosphorus; MRP, molybdate reactive phosphorus; TP, total phosphorus.

³NR, not reported.

⁴N/A, not applicable.

⁵MAP, monoammonium phosphate.

⁶HAT, hours after treatment.

⁷TSF, triple super phosphate (0–46–0).