



IMPACTS DES ÉTANGS ÉPURATEURS ET RÉGULATEURS SUR L'HYDROLOGIE ET LA QUALITÉ DE L'EAU

Auteur :

François Chrétien, agr., M.Sc.

Direction générale des sciences et de la technologie

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Comité réviseur :

Mikael Guillou, Patrick Gagnon, Isabelle Breune, Victor Savoie

Projets internes d'AAC :

Climate adaptation for resiliency in agriculture /

Environmental impacts of peak flows and projected mitigation measures
at the agricultural watershed scale

8 octobre 2014

Impacts des étangs épurateurs et régulateurs sur l'hydrologie et la qualité de l'eau

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire, (2014)

Version électronique disponible à l'adresse: www.publications.gc.ca

No de catalogue: A59-19/2014F-PDF

ISBN: 978-0-660-23020-7

No d'AAC: 12303F

Issued also in English under the title

Impacts of stormwater treatment and flow regulation ponds on hydrology and water quality

Pour de plus amples renseignements, rendez-vous au www.agr.gc.ca ou composez sans frais le 1-855-773-0241.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	ii
LISTE DES GRAPHIQUES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	iv
LISTE DES ÉQUATIONS	iv
LISTE DES ACRONYMES	v
INTRODUCTION	1
MÉTHODOLOGIE.....	3
Dispositif expérimental.....	3
EERE, localisation et bassins versants.....	3
Type de sols	5
Pratiques culturales	6
Mesures hydrologiques	7
Suivi des précipitations.....	7
Suivi hydrologique.....	7
Suivi de la qualité de l'eau.....	8
Traitement des données.....	9
RÉSULTATS ET DISCUSSION	11
Caractéristiques des précipitations.....	11
Réponse hydrologique	13
Impact sur les débits de pointe.....	15
Impact sur le temps de rabattement	18
Impact de la détention sur le temps de réponse	19
Impact sur la qualité de l'eau	22
Solides en suspension	23
Azote.....	27
Phosphore.....	29
CONCLUSION.....	31
RÉFÉRENCES	33
ANNEXES	36

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Capacité de stockage de l'EERE 3 en fonction de l'altitude.....	4
Graphique 2 : Précipitations mensuelles moyennes de 2009 à 2013 comparées aux moyennes historiques de la station de Drummondville.....	11
Graphique 3 : Distribution cumulative des précipitations mesurées sur le site d'étude.....	12
Graphique 4 : Fréquence des événements causant des débits entrant et sortant.....	12
Graphique 5 : Hauteur de ruissellement augmenté en fonction de la hauteur de précipitation.....	13
Graphique 6 : Réduction du débit de pointe en fonction de la hauteur de précipitation pour les 62 événements retenus.....	16
Graphique 7 : Réduction du débit de pointe en fonction de la hauteur de ruissellement augmenté pour les 62 événements retenus.....	16
Graphique 8 : Puissance spécifique en fonction de la hauteur de précipitation.....	18
Graphique 9 : Temps de rétention moyen en fonction de la hauteur de ruissellement augmenté.....	20
Graphique 10 : Représentation graphique des temps de réponse (TI) et temps de rétention (Td).....	20
Graphique 11 : Efficacité de traitement des charges pondérées de contaminants.....	22
Graphique 12 : Taux de réduction des solides en suspension totaux pour les étangs humides (d'après New Jersey, 2004).....	23
Graphique 13 : Concentrations de solides en suspension (SS) en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 20 événements retenus.....	24
Graphique 14: Concentrations d'azote total (NT) en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 11 événements retenus.....	27
Graphique 15 : Concentrations de phosphore total (PT) en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 14 événements retenus.....	29
Graphique 16 : Concentrations de phosphore particulaire (PP) et dissous (DP) dans les étangs 1, 2 et 3 ainsi qu'à la sortie du bassin versant témoin à l'automne 2008 et au printemps 2009.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des sols pour les profondeurs 0-5 cm et 5-20 cm.....	5
Tableau 2 : Temps de réponse théorique du bassin versant 3.	21
Tableau 3 : Concentrations irréductibles de l'effluent.	25
Tableau 4 : Nombre de dépassements des seuils environnementaux observés à l'entrée et à la sortie de l'étang 3.....	26

LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1 : Surface de l'étang nécessaire pour capturer les particules d'une certaine dimension.....	5
Équation 2 : Pourcentage de réduction du débit de pointe.	9
Équation 3 : Concentration moyenne événementielle (EMC).....	10
Équation 4 : Moyenne arithmétique des EMC.....	10
Équation 5 : Ratio d'efficacité (ER).	10
Équation 6 : Puissance spécifique.	17

LISTE DES ACRONYMES

- C* : Coefficient de ruissellement augmenté
- EERE : Étang épurateur et régulateur de l'eau
- EIFAC : *European Inland Fisheries Advisory Commission*
- EMC: Concentration moyenne événementielle
- EPA: *Environmental Protection Agency*
- ER: Ratio d'efficacité
- Hru*: Hauteur de ruissellement augmenté
- IPCC : *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- MDDELCC : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les changements climatiques
- MIII – Al: Aluminium extrait selon la méthode Mehlich-3
- MIII – P: Phosphore extrait selon la méthode Mehlich-3
- MIII-P/Al: Ratio phosphore sur aluminium extrait selon la méthode Mehlich-3
- M.O.: Matière organique
- NT : Azote total
- NH₃ : Ammoniac non ionisé
- NH₄⁺ : Ammonium
- PD : Phosphore dissous
- PGB : Pratique de gestion bénéfique
- Pi: Précipitation interceptée
- PP : Phosphore particulaire
- PT : Phosphore total
- Q: Débit
- SCS : *Soil Conservation Service*
- SS : Solides en suspension
- SWAMP : *Stormwater Assessment Monitoring and Performance Program*
- Td : Temps de détention
- TI : Temps de réponse
- TRCA : *Toronto and Region Conservation Authority*
- ω: Puissance spécifique



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



INTRODUCTION

Les rivières recueillent les eaux de surface qui s'écoulent des champs, mais trop souvent aussi des nutriments, des pesticides, des métaux lourds et des particules de terre qui varient en concentration selon les apports, les types de sols, les méthodes culturales utilisées et les conditions climatiques. Des technologies permettent dans certains cas de réduire ces contaminations parmi lesquelles on trouve les étangs épurateurs et régulateurs de l'eau (EERE) qui modulent l'écoulement de l'eau lors des crues.

Le cas de l'eutrophisation

L'augmentation des charges de phosphore d'origine agricole entraîne la dégradation des écosystèmes aquatiques d'eau douce. Lorsqu'une concentration maximale de phosphore total dépasse 0,030 milligramme par litre dans une rivière, il y a risque d'eutrophisation du plan d'eau (Gangbazo *et al.*, 2005). L'eutrophisation est l'enrichissement des eaux de surface en nutriments et se manifeste généralement par une production accrue d'algues et de plantes aquatiques. Des études québécoises ont démontré que 75 % de la charge totale de phosphore en provenance des terres agricoles et exporté vers les cours d'eau peut se concentrer dans des périodes correspondant à aussi peu que 6 % de la durée totale de la prise de mesure (Michaud *et al.*, 2002). Dans ces études, les exportations annuelles de phosphore étaient largement associées aux événements hydrologiques de pointe.

Le cas des crues

Les événements climatiques qui entraînent un ruissellement sont également liés au transport d'une multitude de contaminants vers les cours d'eau, incluant les nutriments, les pesticides, les métaux lourds et les solides en suspension. Les crues qui surviennent une fois à toutes les 1 à 1,5 années sont quant à elles associées aux processus de formation du chenal des cours d'eau. Selon Brookes (1987), un ajustement du chenal par érosion est susceptible de se produire lorsque la puissance spécifique, représentant le taux de dissipation de l'énergie de l'eau contre les berges et le lit par unité de largeur du cours d'eau, est supérieure à 25 W m^{-2} .

Défi des changements climatiques

Dans un contexte de changements climatiques, il est généralement admis que l'intensité et la fréquence des événements de précipitations importantes augmenteront pour les latitudes nordiques (IPCC, 2008). Selon Huard (2012), une augmentation de l'ordre de 10 % des précipitations extrêmes est à prévoir pour les régions agroclimatiques du Québec d'ici 2050. Ces modifications des régimes de précipitations sont susceptibles d'augmenter le transport de contaminants vers les écosystèmes aquatiques et d'accentuer l'intensité des processus d'érosion liée aux crues.

Les étangs épurateurs et régulateurs de l'eau

Bien que les réponses hydrologiques résultant d'événements climatiques importants, soient considérées comme une source majeure d'érosion et de transport des contaminants d'origine agricole, peu de solutions durables, appuyées sur des bases scientifiques solides, ont été développées jusqu'à présent pour résoudre ce problème. Ce projet constitue une première tentative canadienne d'analyser l'efficacité des étangs épurateurs et régulateurs de l'eau (EERE) pour atténuer les pointes de crue en milieu agricole et améliorer la qualité de l'eau de ruissellement. À cet effet, trois EERE, implantés à l'été 2008 à Saint-Samuel (Québec, Canada), ont été dotés d'instruments de mesure afin de quantifier leurs impacts sur l'hydrologie et la qualité des eaux de ruissellement. Les objectifs spécifiques de ce projet sont les suivants : 1) quantifier l'effet des EERE sur l'hydrologie ; 2) quantifier leur effet sur l'efficacité de traitement du phosphore, de l'azote et des solides en suspension ; 3) caractériser le potentiel agronomique des sédiments accumulés ; 4) quantifier l'impact de mesures d'atténuation des pointes de crue sur le régime hydrologique de petits cours d'eau agricoles. Le présent rapport traite des objectifs 1 et 2. Un mémoire de maîtrise en cours de rédaction (Étienne Dupont, Université Laval) s'attarde à l'objectif 3, soit la caractérisation du potentiel agronomique des sédiments accumulés. L'objectif 4 a été abordé en deux phases, soit le développement des critères pour la « *Conception des étangs épurateurs et régulateurs de l'eau* » (Aquapaxis, 2011) et l'évaluation de l'impact du « *Stockage intégré des eaux pluviales à l'échelle d'un petit bassin versant agricole* » (Genivar, 2011). Dans une optique plus large, ce projet vise ultimement à améliorer la biodiversité, à développer un outil d'adaptation aux changements climatiques et à accroître les biens et services aux citoyens.

MÉTHODOLOGIE

Dispositif expérimental

Étangs épurateurs et régulateurs de l'eau, localisation et bassins versants

Les étangs épurateurs et régulateurs de l'eau (EERE) sont des dépressions naturelles ou des espaces excavés servant à stocker temporairement l'eau des crues. Ces étangs permettent de moduler l'évacuation de l'eau en la retenant temporairement avant de la relâcher lentement par un chenal d'écoulement, diminuant ainsi les forces érosives de l'eau. En plus de l'atténuation des forces d'arrachement dans le cours d'eau en aval, les EERE permettent la sédimentation en amont de l'ouvrage, ce qui réduit les quantités de matières en suspension, nutriments et autres contaminants exportés vers les cours d'eau. La mise en place de ces infrastructures à des fins de protection de la qualité de l'eau en milieu agricole est rare. De façon générale, les EERE devraient être implantés en combinaison avec des pratiques culturales de conservation limitant l'érosion des sols afin de maximiser la performance environnementale.

Afin de quantifier l'impact de ces étangs, trois EERE ont été implantés au 560, 15^e rang, Saint-Samuel, dans la région administrative du Centre-du-Québec (Canada). L'image 1 présente les trois étangs mis en place dans le cadre de cette étude.

Image 1 : Étangs épurateurs et régulateurs de l'eau n^{os} 1, 2 et 3 respectivement.



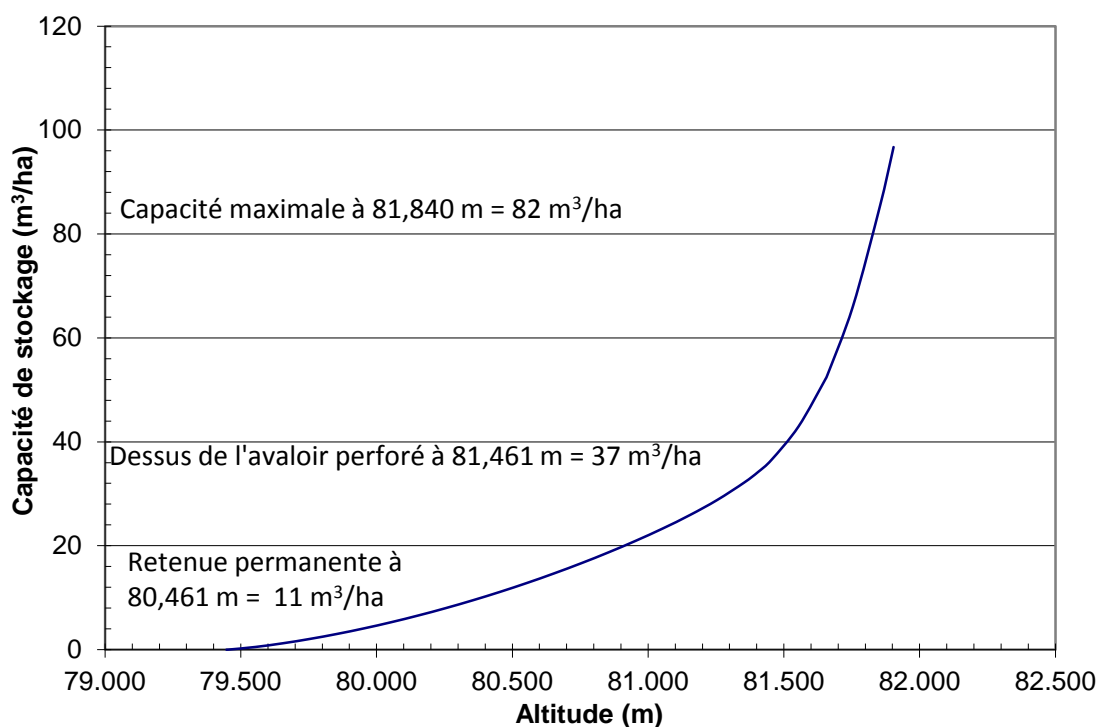
Ces trois aménagements sont des étangs humides, c'est-à-dire qu'ils présentent une mare d'eau permanente. Ils sont également entourés d'une voie d'eau engazonnée qui sert d'étang sec ayant la capacité d'entreposer temporairement l'eau de ruissellement avant de la relâcher complètement et de s'assécher.

Le site expérimental est situé sur une terre agricole de 96,8 ha subdivisée en 4 sous-bassins versants possédant chacun un exutoire unique vers la rivière Nicolet. Le ruissellement en provenance de trois bassins versants transite dans trois EERE distincts tandis que le ruissellement du quatrième bassin versant se

déverse directement dans le cours d'eau récepteur. L'annexe 1 illustre le site expérimental, les bassins versants des étangs 1, 2 et 3, ainsi que le bassin versant témoin 4. Ces bassins versants ont une surface de respectivement de 36,7, 17,5, 23,1 et 19,5 hectares.

Afin de bien caractériser le site expérimental, un arpentage GPS de la terre et des étangs a été effectué à l'automne 2008. Le post-traitement des données a été effectué à l'aide du logiciel TNTmip et permet une précision en altitude de 1,5 à 5 cm. Le modèle numérique généré permet de définir les patrons d'écoulement de l'eau et la capacité d'entreposage en fonction de l'altitude, et ce pour chacun des étangs épurateurs et régulateurs de l'eau. L'annexe 2 présente le réseau hydrographique du site d'étude qui résulte du post-traitement des données GPS, et le graphique 1 présente la capacité de stockage de l'EERE 3 en fonction de l'altitude. La capacité maximale de l'EERE 3 de 82 m³/ha est donc moindre que les volumes unitaires de référence, utilisés pour les milieux urbains et industriels, variant de 200 à 250 m³/ha pour un étang humide.

Graphique 1 : Capacité de stockage de l'EERE 3 en fonction de l'altitude.



Type de sols

Les sols du site expérimental sont constitués en majeure partie de Terre franche de St-Jude, qui correspond à un sable loameux contenant entre 55 à 65 % de sable fin à très fin dans les horizons B et C. Ce type de sol est caractérisé par un drainage externe et interne lent et un drainage effectif imparfait favorisant la battance (Choinière, 1948). La battance est le caractère d'un sol qui tend à se désagréger et à former une croûte en surface favorisant ainsi le ruissellement. Le tableau 1 présente les caractéristiques physiques des sols qui ont été échantillonnés à l'été 2009. Le taux de saturation P/Al, soit le ratio phosphore sur aluminium, extrait selon la méthode Mehlich-3 est de 5,25 % et 4,32 % respectivement pour les profondeurs 0-5 cm et 5-20 cm, ce qui est en dessous de la valeur critique environnementale pour un sol sableux. En effet, la valeur établie par Pellerin *et al.* (2006) et reprise par le *Règlement sur les exploitations agricoles* (Québec, 2002) est de 13,1 % pour les sols minéraux contenant moins de 30 % d'argile.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des sols pour les profondeurs 0-5 cm et 5-20 cm.

Profondeur	MIII – P (mg/L)	MIII – Al (mg/L)	MIII-P/Al (%)	pH	M.O. (%)	Densité (g/cm ³)
0-5 cm	5,09	118,55	5,25	7,27	4,14	1,39
5-20 cm	3,62	121,97	4,32	6,96	4,02	1,42

Selon la taille des particules de sol du site d'étude ainsi que la géométrie et la capacité de stockage (graphique 1), l'étang 3 devrait permettre une sédimentation adéquate des particules de sol et des contaminants liés. Les surfaces requises selon l'équation 1 sont de 8, 526 et 8467 m² respectivement pour les sables moyens, les silts moyens et les argiles tandis que la surface moyenne de l'étang 3 à la mi-hauteur entre la mare permanente et le dessus de l'avaloir est d'environ 530 m².

Équation 1 : Surface de l'étang nécessaire pour capturer les particules d'une certaine dimension.

$$A_s = \frac{1,2Q}{V_s}$$

Où :

A_s : surface de l'étang nécessaire

V_s : vitesse de chute pour la dimension des particules (sable moyen : 20×10^{-3} m/s; silt moyen : $0,29 \times 10^{-3}$ m/s; argile : $0,018 \times 10^{-3}$ m/s)

Q : débit associé à une pluie à récurrence de 10 ans, avec une durée de 6 heures ($0,127 \text{ m}^3/\text{s}$) (Aquapaxis, 2011)

Pratiques culturales

Le site expérimental est localisé sur une terre appartenant à la Ferme Bergeroy S.E.N.C. La partie nord du site expérimental a été défrichée et dessouchée par le producteur en 2007. Un labour a eu lieu au printemps 2007 sur cette partie de la terre, suivi de travaux de nivellement en planches en août et septembre de la même année. De l'avoine a été semée comme engrais vert à la suite des travaux en septembre 2007, alors que la première année de culture a été du soya en 2008.

Sur la partie sud de la terre, les cultures précédant la mise en place des EERE en 2008 sont les suivantes : 2005 : maïs; 2006 : avoine; 2007 : soya. Depuis le début du projet, les cultures suivantes se sont succédé : 2008 : soya; 2009 : avoine; 2010 : soya; 2011 : avoine et soya dans la partie ouest du sous-bassin 1; 2012 : soya et maïs dans la partie ouest du sous-bassin 1 2013 : maïs.

Des boues de papetières ayant été importées en 2004 ont été épandues à l'automne 2007 sur l'ensemble de la terre. La Ferme Bergeroy S.E.N.C. pratique le travail réduit du sol et le semis direct; ainsi, seul un passage annuel de herse a eu lieu comme travail du sol sur cette terre entre 2007 et 2011. Des travaux de nivellement du sol ont été entrepris à l'automne 2011 et poursuivis au printemps 2012 (image 2). Ces travaux visaient l'uniformisation des planches en faîte existantes.

Image 2 : Travaux de nivellement effectués à l'automne 2011 et au printemps 2012.



Mesures hydrologiques

Suivi des précipitations

Le suivi des précipitations a été effectué grâce à un pluviomètre à auget basculant de type Texas Electronic TR-525M ayant une résolution de 0,1 mm par bascule, localisé sur le site d'étude. Le pas de temps utilisé pour l'enregistrement des données était de 5 minutes. Les données de précipitation ont été analysées afin de distinguer les événements pluviométriques selon les caractéristiques suivantes : 1) dépendamment des analyses, un événement de pluie devait produire une hauteur d'eau de 1 ou 10 mm et plus; 2) un événement se distingue d'un autre si la période inter-événements est de 6 h ou plus.

Suivi hydrologique

De façon théorique, les étangs épurateurs et régulateurs sont conçus afin de diminuer les débits de pointe, d'atténuer les forces d'arrachement et de moduler l'évacuation de l'eau. Un suivi des débits/volumes entrants et sortants de chacun des étangs ainsi qu'à l'exutoire du sous-bassin versant témoin a été réalisé afin de quantifier l'impact des EERE sur ces processus hydrologiques.

Le suivi hydrologique a été effectué durant les saisons de croissance de septembre 2009 à octobre 2013. Les débits/volumes entrants de chacun des étangs ont été obtenus par routage inverse, soit l'obtention des débits entrants à partir des valeurs de débits sortants et de variation de volume des étangs. Cette procédure a été utilisée car il existe une multitude de points d'entrée d'eau dans chacun des étangs, les débits entrants ne pouvaient donc pas être mesurés directement. De façon plus détaillée, la méthodologie utilisée comporte un volet hydraulique et un volet hydrologique.

Le volet hydraulique s'attarde aux caractéristiques des structures d'évacuation de l'eau et permet de définir les débits sortants en fonction du niveau d'eau. Les structures d'évacuation de chacun des trois étangs sont constituées d'une conduite verticale perforée de 0,611 m de diamètre connectée à une conduite de sortie horizontale de 0,457 m de diamètre. Les débits sortants des structures suivent trois phases distinctes d'évacuation, soit les débits sortant par les trous de la colonne montante perforée, le débit contrôlé par l'hydraulique de l'écoulement dans la colonne montante et l'hydraulique de l'écoulement dans la conduite horizontale. Ces processus d'écoulement dans une conduite de sortie sont décrits de façon plus approfondie dans Haid (1999). Le volet hydrologique permet d'établir les relations hauteur d'eau-aire-volume d'entreposage. En suivant l'évolution de la hauteur d'eau dans le temps, ces courbes permettent de définir la variation du volume d'eau entreposé dans chacun des trois étangs épurateurs et régulateurs de l'eau. Le suivi des hauteurs d'eau de chaque étang a été effectué à l'aide d'enregistreurs de niveau d'eau Hobo (Onset U20-001-01) selon un pas de temps de 15 minutes. Une fois les débits sortants et la variation de volume établis, il est possible de déduire les débits entrants par ruissellement, écoulement hypodermique et apports par la nappe phréatique, et ce pour chacun

des étangs par un processus de routage inverse. Un déversoir de type 2.5H a également été installé à l'exutoire de l'étang 3 afin de valider les données de routage. Le suivi des hauteurs d'eau à l'intérieur du déversoir a été réalisé à l'aide de deux enregistreurs de niveau d'eau de type Hobo (Onset U20-001-01) à un pas de temps respectif de 1 et 5 minutes. Le suivi des débits du bassin versant témoin a été effectué par un instrument de mesure de marque Stingray installé à l'intérieur d'un ponceau situé à l'exutoire de ce bassin versant. Cet instrument inclut une sonde à effet Doppler de type Greyline QZ02 permettant d'enregistrer les niveaux d'eau et les vitesses selon un intervalle de temps défini. L'intervalle de temps retenu pour l'enregistrement des niveaux d'eau et des vitesses était de 15 minutes.

Suivi de la qualité de l'eau

L'objectif premier de ce projet de recherche appliquée est de quantifier l'impact des étangs épurateurs et régulateurs sur la qualité de l'eau. Puisque les exportations de phosphore et autres contaminants en provenance des terres agricoles vers les cours d'eau sont largement liées aux événements hydrologiques intenses, la méthodologie d'échantillonnage cible les périodes de pluies fortes et la fonte des neiges. Entre 2008 et 2010, un échantillonnage événementiel a été réalisé lorsque qu'une pluie de plus de 20 mm survenait en moins de 24 heures. Ces échantillons étaient récoltés de façon manuelle dans chacun des trois étangs et au point de sortie de l'eau des EERE, ainsi qu'à l'exutoire du bassin versant témoin. Les paramètres physico-chimiques analysés dans ces échantillons d'eau étaient : la matière en suspension; la conductivité électrique; le pH; l'azote total et les nitrites/nitrates ainsi que les différentes formes de phosphore incluant le phosphore total, le phosphore particulaire et dissous, le phosphore réactif au molybdate et le phosphore réactif dissous. Lors de la fonte des neiges des printemps 2009 et 2010, un échantillonnage d'eau hebdomadaire a été effectué et les paramètres précédemment mentionnés ont été analysés. Afin de bien comprendre la dynamique du phosphore à l'interface eau-sédiment, une caractérisation de la biodisponibilité du phosphore particulaire a été effectuée sur des échantillons de sédiments. Ces échantillons de sédiments étaient récoltés au fond de chacun des trois étangs sur une base bihebdomadaire tout au long de la période exempte de neige.

En plus de la campagne d'échantillonnage manuelle, une analyse plus approfondie de l'étang 3 a été réalisée au cours des saisons de croissance de 2010 à 2013. La station d'échantillonnage de cet EERE était constituée de deux auto-échantillonneurs (Isco6712) qui étaient déclenchés automatiquement lorsque le niveau d'eau augmentait de 0,40 m par rapport au niveau de la retenue permanente. Le suivi de la qualité de l'eau a été effectué à deux points d'échantillonnage, soit à l'entrée et à la sortie de l'étang. L'échantillonnage était réalisé sur une période de 24 heures à raison de 6 échantillons par point d'échantillonnage. Chacun des 12 échantillons de 1 litre correspondait à un échantillon composite de 8 sous-échantillons de 125 ml récoltés à toutes les 30 minutes sur une période de 4 heures. Suite à la collecte des échantillons, ceux-ci étaient placés sur de la glace et envoyés pour analyses au Centre

d'expertise en analyse environnementale du Québec entre 2010 et 2012 et au Laboratoire de la qualité de l'eau d'AAC en 2013. Les échantillons ont été analysés pour déterminer les concentrations en phosphore total persulfate, phosphore dissous (< 0,45 µm), azote total, nitrite-nitrate, azote ammoniacal et solides en suspension (< 0,45 µm), selon les méthodes d'analyse approuvées suivantes : MA. 303 - P 5.0, MA. 303 – N tot 1.0, MA. 104 – S.S. 1.1.

Traitement des données

Les données de précipitations, de débits et de qualité de l'eau ont par la suite été combinées afin de réaliser les différentes analyses hydrologiques.

Afin de bien caractériser le lien entre les précipitations et le ruissellement, les pluies ont été analysées afin de déterminer la hauteur d'eau, l'intensité moyenne et maximale sur 5 minutes ainsi que la période inter-événements. Les ruissellements augmentés¹ entrants dans l'étang 3 ont quant à eux été analysés afin de déterminer les débits de pointe et les volumes totaux de ruissellement augmenté. Les données combinées de hauteurs de précipitation et de ruissellement augmenté ont été utilisées afin de déterminer les coefficients de ruissellement augmenté.

Une analyse comparative entre les débits et volumes entrants et sortants a par la suite été effectuée afin de caractériser l'impact de l'étang 3 sur les débits de pointe, les temps de rabattement des volumes ruisselés et le temps de réponse (lié à la capacité de détention de l'étang). Le pourcentage de réduction du débit de pointe a été calculé selon l'équation 2 pour chacun des événements sélectionnés.

Équation 2 : Pourcentage de réduction du débit de pointe.

$$\% \text{ de réduction du } Q = \frac{(Q \text{ affluent} - Q \text{ effluent})}{Q \text{ affluent}} \times 100$$

Où :

Q = débit de pointe

Les temps de rabattement des hydrogrammes de sortie ont été analysés en fonction des volumes sortants, et calculés en effectuant la différence entre le moment du volume maximal et le moment où le volume de sortie correspondait à 50, 75, 90 et 100 % du volume total de l'hydrogramme de sortie. L'impact sur le temps de réponse a été déterminé en analysant la capacité de détention de l'étang. Le temps de détention, représentant le temps moyen de retard de l'onde de crue provoqué par l'étang par rapport à l'évacuation de l'eau du champ, a été déterminé sur chacun des hydrogrammes en calculant la différence entre le centre de gravité de l'hydrogramme d'entrée et le centre de gravité de l'hydrogramme de sortie.

¹ Le terme « ruissellement augmenté » est utilisé étant donné qu'une partie du volume d'eau entrant dans l'étang 3 provient des apports souterrains.

Finalement, les données de débits ont été combinées aux données de concentrations afin d'établir les charges entrantes et sortantes de l'étang 3. Ces charges ont été divisées par les volumes correspondant afin d'obtenir les concentrations moyennes événementielles (EMC). Ces EMC représentent ainsi les charges événementielles pondérées par le volume de l'événement.

Afin d'établir le ratio d'efficacité, les EMC ont été calculées pour chacun des événements à l'entrée et à la sortie de l'étang 3, selon l'équation 3 :

Équation 3 : Concentration moyenne événementielle (EMC).

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n V_i * C_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

où :

EMC = concentration moyenne événementielle

V_i = volume de ruissellement pour la période i

C_i = concentration moyenne de la période i

n = nombre total de mesures durant l'événement

Les moyennes des EMC à l'entrée et à la sortie de l'étang 3 ont par la suite été calculées, selon l'équation 4 :

Équation 4 : Moyenne arithmétique des EMC.

$$EMC \text{ moyenne} = \frac{\sum_{j=1}^m EMC_j}{m}$$

où m est le nombre d'événements

Finalement, le ratio d'efficacité a été déterminé pour chacun des contaminants et pour l'ensemble des événements sélectionnés, selon l'équation 5 :

Équation 5 : Ratio d'efficacité (ER).

$$ER = \frac{EMC \text{ moyenne entrée} - EMC \text{ moyenne sortie}}{EMC \text{ moyenne entrée}}$$

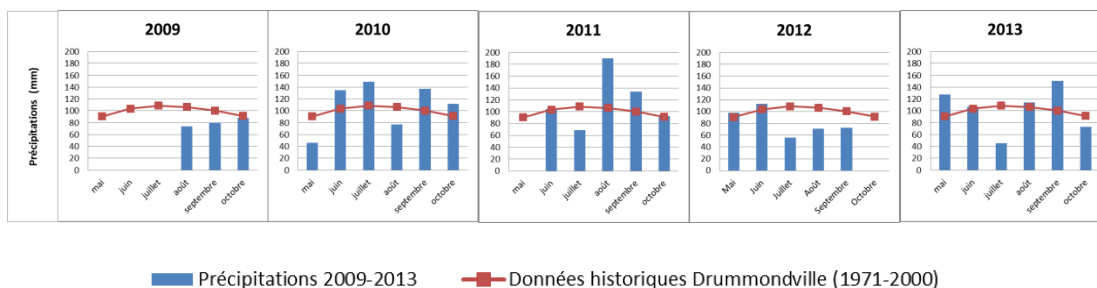
Il est important de mentionner que la méthodologie présentée ci-dessus respecte les recommandations de l'*Environmental Protection Agency* des États-Unis pour déterminer le ratio d'efficacité des pratiques de gestion des eaux pluviales (EPA, 2002). Cette méthodologie attribue un poids égal à tous les événements et permet ainsi d'éviter qu'un faible nombre d'événements dominant l'évaluation de la performance. Le ratio d'efficacité (ER) est la technique d'évaluation de la performance la plus fréquemment utilisée (EPA, 2002).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Caractéristiques des précipitations

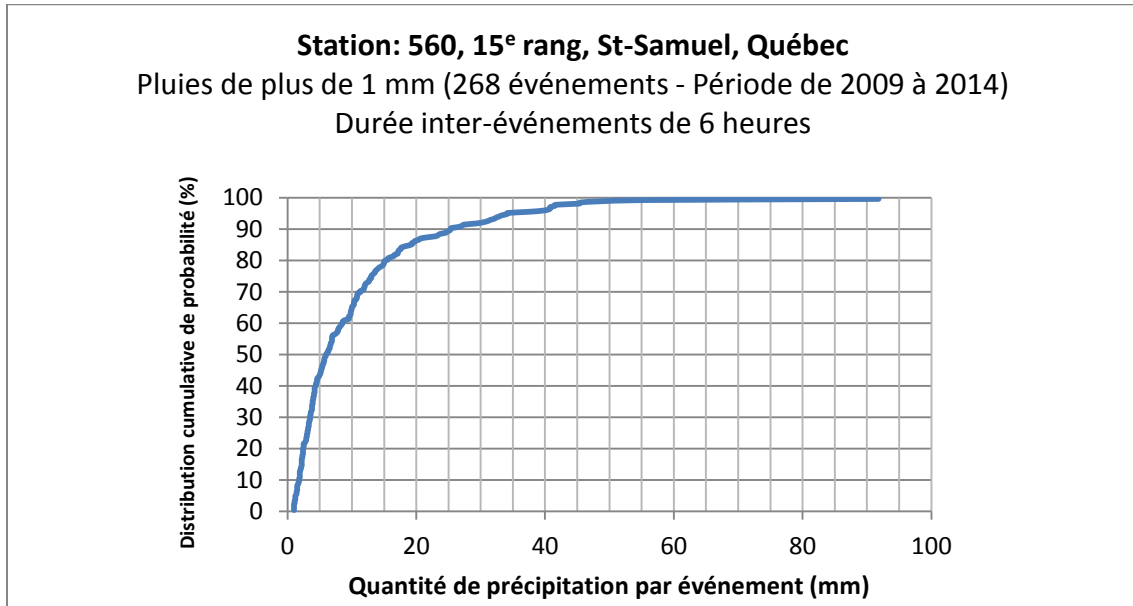
Lors de l'analyse de systèmes hydrologiques, les caractéristiques des précipitations présentent un intérêt particulier. La période inter-événements, la hauteur d'eau produite et la durée et l'intensité de la précipitation peuvent influencer les réponses hydrologiques observées. L'annexe 3 présente les caractéristiques des événements pluvieux sélectionnés ainsi que les réponses hydrologiques mesurées à l'étang 3 à compter du mois de septembre 2009. Le graphique 2 présente les précipitations mensuelles de 2009 à 2013 ainsi que les moyennes historiques pour la station de Drummondville (station d'Environnement Canada n° 7022160 :). L'année 2012 représente l'année la plus sèche de la période de suivi, avec des valeurs légèrement inférieures aux valeurs historiques, tandis que le mois d'août 2011 a été le plus pluvieux et présente une différence importante par rapport à la moyenne de ce mois. Cette différence s'explique principalement par l'événement du 28 août 2011 qui représente l'événement le plus important de la période de mesure, avec une hauteur d'eau de 91,8 mm.

Graphique 2 : Précipitations mensuelles moyennes de 2009 à 2013 comparées aux moyennes historiques de la station de Drummondville.

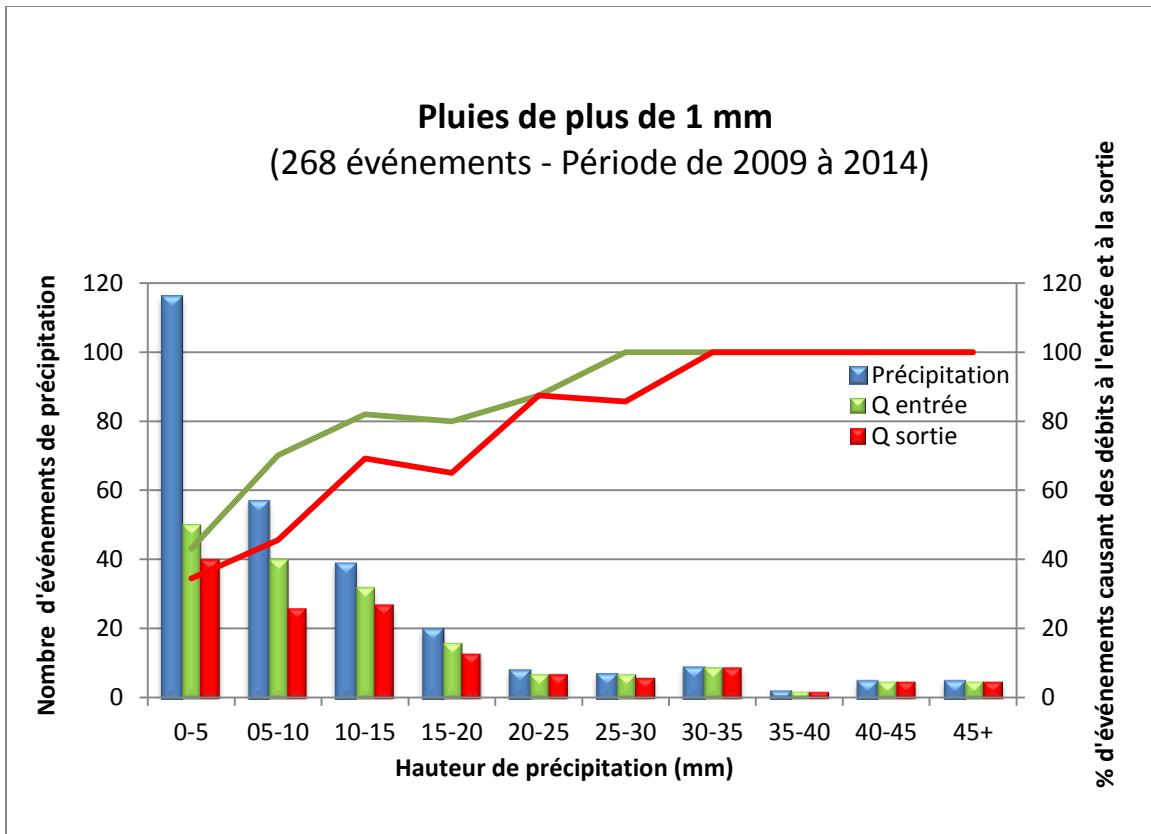


Les critères de conception, définis dans le Guide de gestion des eaux pluviales du Québec (MDDELCC, 2011), spécifient que les aménagements doivent viser le traitement de 90 % des précipitations s'abattant en moyenne sur le territoire. Selon Aquapraxis (2011), la hauteur de pluie correspondant à 90 % des événements annuels comprend les pluies de 23 mm et moins sur une base annuelle pour la station de Drummondville, et ce pour 1341 événements mesurés entre 1967 et 2000. Au cours de la période de suivi de ce projet, 90 % des 268 événements pluvieux ont produit moins de 25 mm de pluie (graphique 3). Cette observation indique que la période d'étude est représentative des conditions climatiques historiques.

Graphique 3 : Distribution cumulative des précipitations mesurées sur le site d'étude.



Graphique 4 : Fréquence des événements causant des débits entrant et sortant.



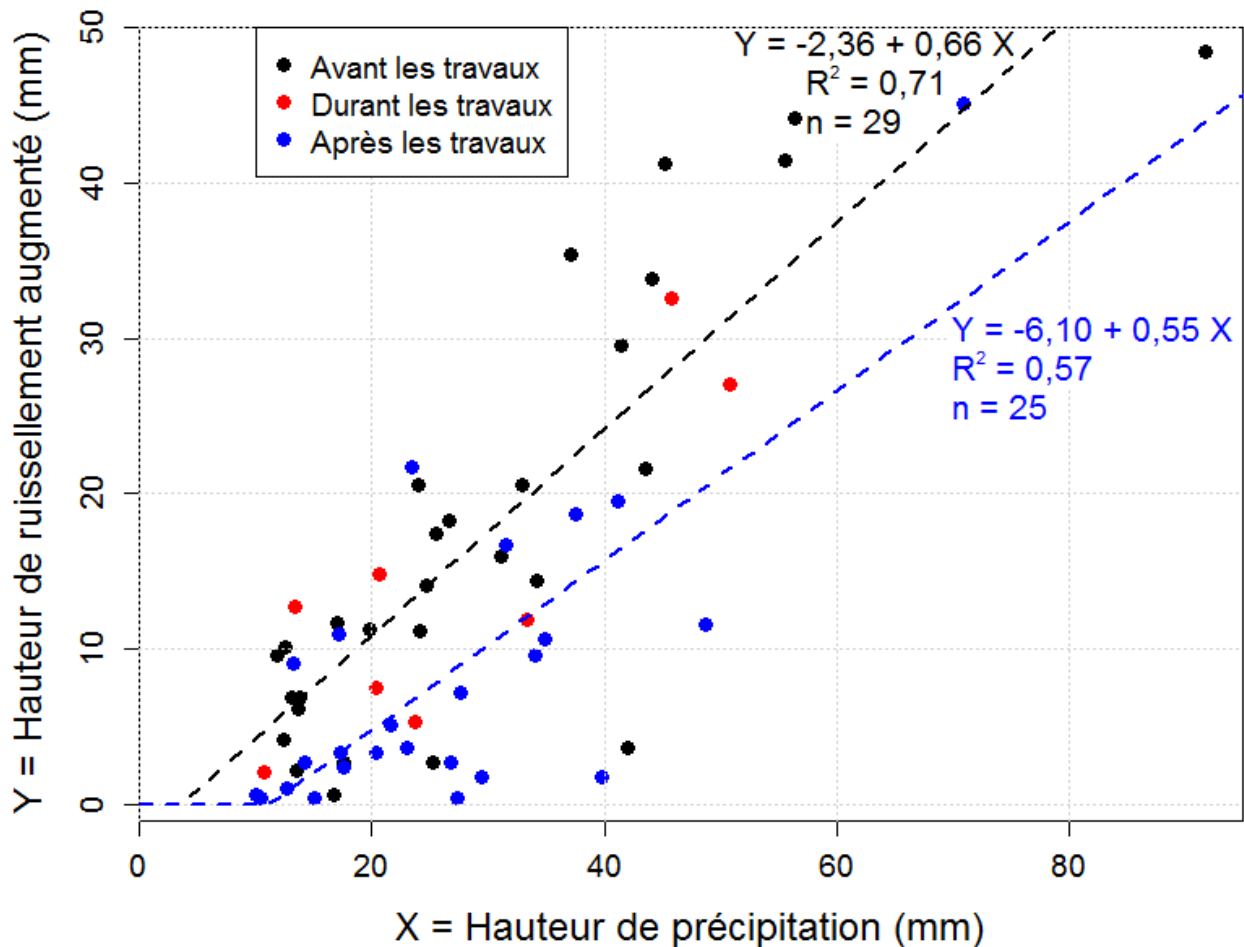
Réponse hydrologique

Le graphique 4 illustre les relations entre les précipitations, le débit entrant et le déversement à l'exutoire de l'étang 3. On peut y voir que les petits événements (1 à 5 mm) ayant une fréquence élevée produisent des débits à l'entrée et à la sortie dans environ 40 % des cas, tandis que toutes les précipitations de 25 mm et plus produisent du débit à l'entrée et toutes les précipitations de 30 mm et plus génèrent du déversement.

Le site expérimental ne permet pas de mesurer directement le ruissellement de surface, car il existe une multitude de points d'entrée d'eau dans l'étang 3. Tel que décrit à la section « Méthodologie », les débits entrants sont obtenus par routage inverse à partir des données de hauteur d'eau dans l'étang. Ainsi, les écoulements hypodermiques et les apports par la nappe phréatique contribuent à l'augmentation de la hauteur d'eau dans le système et, par le fait même, aux coefficients de ruissellement mesurés. Puisque les coefficients estimés au site d'étude intègrent une fraction de l'écoulement souterrain, le terme coefficient de ruissellement augmenté (C^*) est utilisé dans ce rapport. En plus de l'apport par écoulement souterrain, il est important de noter que les valeurs de C^* et de précipitation interceptée, soit la précipitation minimale nécessaire pour produire du ruissellement (P_i), sont influencées par la procédure de sélection des événements analysés. En effet, seuls les événements de 10 mm et plus ont été intégrés à l'analyse de la réponse hydrologique.

Le graphique 5 illustre les valeurs de ruissellements augmentés (H_{ru}^*) et de précipitations observées entre 2009 et 2013 et permet d'observer l'impact des travaux de nivellement effectués à l'automne 2011 et au printemps 2012 sur C^* et P_i . Ces travaux ont eu pour effet d'augmenter la valeur seuil de P_i , de 3,6 à 11,2 mm en moyenne. De même, la valeur moyenne de C^* estimée au site expérimental a diminué de moitié, passant de 55 % avant les travaux de nivellement à 28 % après. Il est à noter que cette diminution pourrait être causée par le fait que les événements de pluies sont légèrement plus forts avant les travaux; la précipitation moyenne des événements retenus est passée de 29,9 à 26,6 mm. Cette différence entre les précipitations pré-nivellement et post-nivellement n'est toutefois pas statistiquement significative. Il est réaliste de croire que le remaniement de la couche supérieure du sol lors des travaux a eu comme impact de diminuer la masse volumique apparente du sol, favorisant ainsi l'infiltration, l'augmentation de la précipitation interceptée et la diminution du coefficient de ruissellement augmenté. Il est important de mentionner que ces travaux de nivellement ont toutefois eu pour effet d'augmenter de façon significative les concentrations de contaminants mesurées à l'entrée et à la sortie de l'étang 3. Plus de détails à ce sujet sont présentés à la section « Impact sur la qualité de l'eau ».

Graphique 5 : Hauteur de ruissellement augmenté en fonction de la hauteur de précipitation.



Les valeurs de P_i observées (3,6 et 11,2 mm) dans cette étude sont inférieures à la valeur de P_i de 13 mm rapportée par Madramootoo (1988) pour un petit bassin versant des basses-terres du Saint-Laurent de 8,1 km². Les valeurs de C^* estimées pour l'étang 3 (28 et 55 %) sont quant à elles supérieures aux valeurs de coefficients de ruissellement observées dans l'étude de Madramootoo (1988), et par Guillou (2013) pour un micro-bassin versant agricole de 445 ha situé dans la région de la Montérégie (Québec). Dans ces études, les coefficients de ruissellement moyen étaient de 23 et 14 % respectivement. Ces différences entre les valeurs observées et rapportées dans la littérature s'expliquent en partie par la taille des bassins versants. En effet, plusieurs études ont démontré que les coefficients de ruissellement diminuent avec l'augmentation de la taille des bassins versants. Les différences entre les valeurs de C^* estimées pour l'étang 3 et celles observées par Madramootoo (1988) et Guillou (2013) peuvent également être expliquées par les disparités entre la physiographie des bassins

versants, la nature des sols, les caractéristiques des événements et les apports souterrains, lesquels contribuent de façon significative aux volumes transitant dans l'étang 3. Lors de la conception d'EERE connectés hydrauliquement aux écoulements souterrains, il est donc recommandé d'utiliser un coefficient de ruissellement augmenté (C^*) reflétant davantage les volumes réels associés aux événements de précipitations.

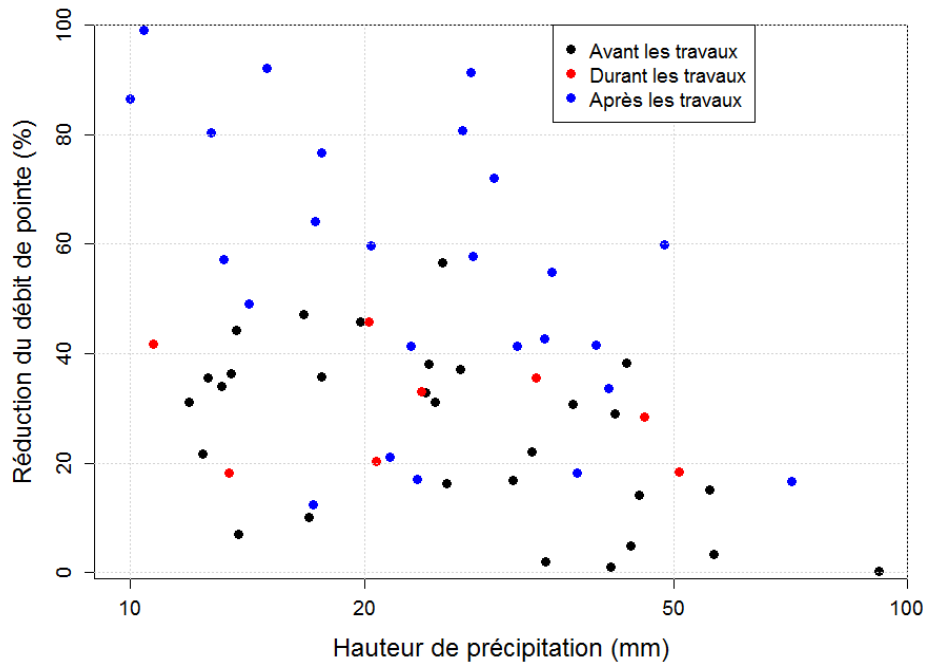
Impact sur les débits de pointe

Les débits de pointe sont associés aux problèmes d'érosion des berges et du lit des cours d'eau. Les débits morphogènes ou débits de plein bord sont généralement considérés comme étant les débits ayant la plus grande influence sur la morphologie du cours d'eau et les processus d'érosion. Ces débits présentent une récurrence de 1 à 1,5 an. Puisque l'un des objectifs premiers des EERE est d'écrêter les crues afin de diminuer le débit de pointe et ainsi minimiser l'impact sur les cours d'eau récepteurs, le critère de conception pour le contrôle de l'érosion par les EERE est établi en fonction du ruissellement produit par un événement à récurrence de 1 an. Ce débit est associé à une précipitation correspondant à 75 % d'une pluie SCS de type II d'une durée de 24 h à récurrence de 2 ans, et est de 36 mm pour le site d'étude (Aquap Praxis, 2011).

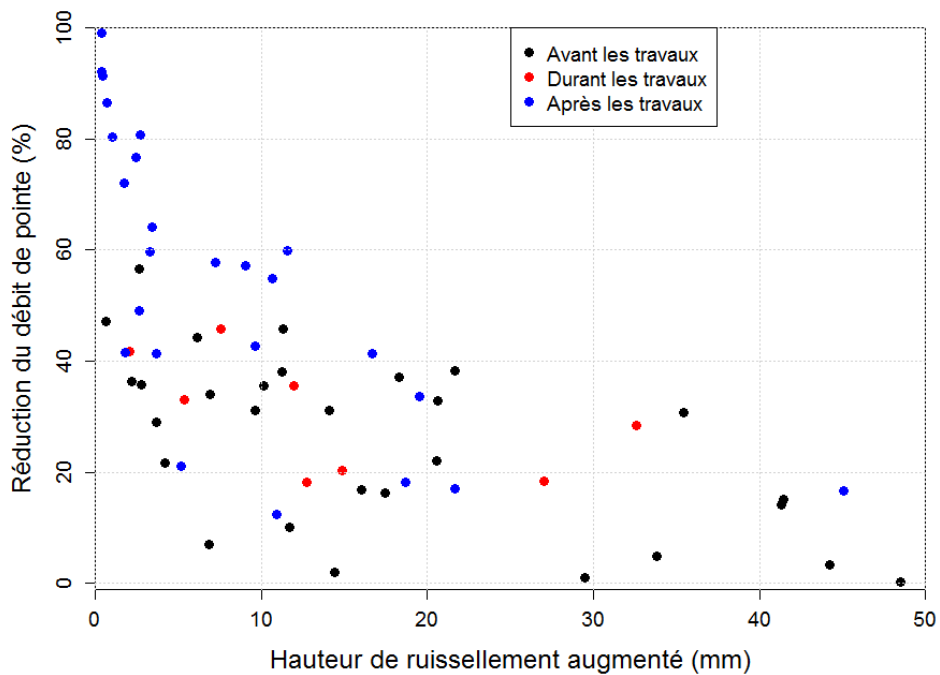
Le graphique 6 illustre la réduction du débit de pointe estimée en fonction de la hauteur de précipitation pour les 62 événements de plus de 10 mm. Le pourcentage de réduction du débit de pointe est négativement corrélé avec la hauteur de précipitation (τ de Kendall de -0,27; seuil observé = 0,002), et pour une hauteur de précipitation donnée, le taux de réduction est généralement supérieur pour les événements survenus après les travaux de nivellement. Les taux de réduction moyens sont respectivement de 25 et 55 % pour les événements avant et après les travaux de nivellement.

Le graphique 7 indique que le pourcentage de réduction du débit est encore plus fortement négativement corrélé avec la H_{ru}^* entrant dans l'EERE 3 (τ de Kendall de -0,55; seuil observé < 0,001). Les taux de réduction couvrent pratiquement toutes les valeurs possibles, soit près de 0 % pour l'événement le plus intense à presque 100 % pour les plus petites valeurs de ruissellement.

Graphique 6 : Réduction du débit de pointe en fonction de la hauteur de précipitation pour les 62 événements retenus.



Graphique 7 : Réduction du débit de pointe en fonction de la hauteur de ruissellement augmenté pour les 62 événements retenus.



Afin de déterminer si les réductions des débits de pointe observées sont en mesure d'atténuer les problématiques d'érosion dans le cours d'eau récepteur, l'équation 6 est utilisée. Cette équation établie par Bagnold (1966) indique que la puissance spécifique est le taux de dissipation d'énergie contre les berges et le lit par unité de largeur du cours d'eau.

Équation 6 : Puissance spécifique.

$$\omega = \frac{pgQS}{w}$$

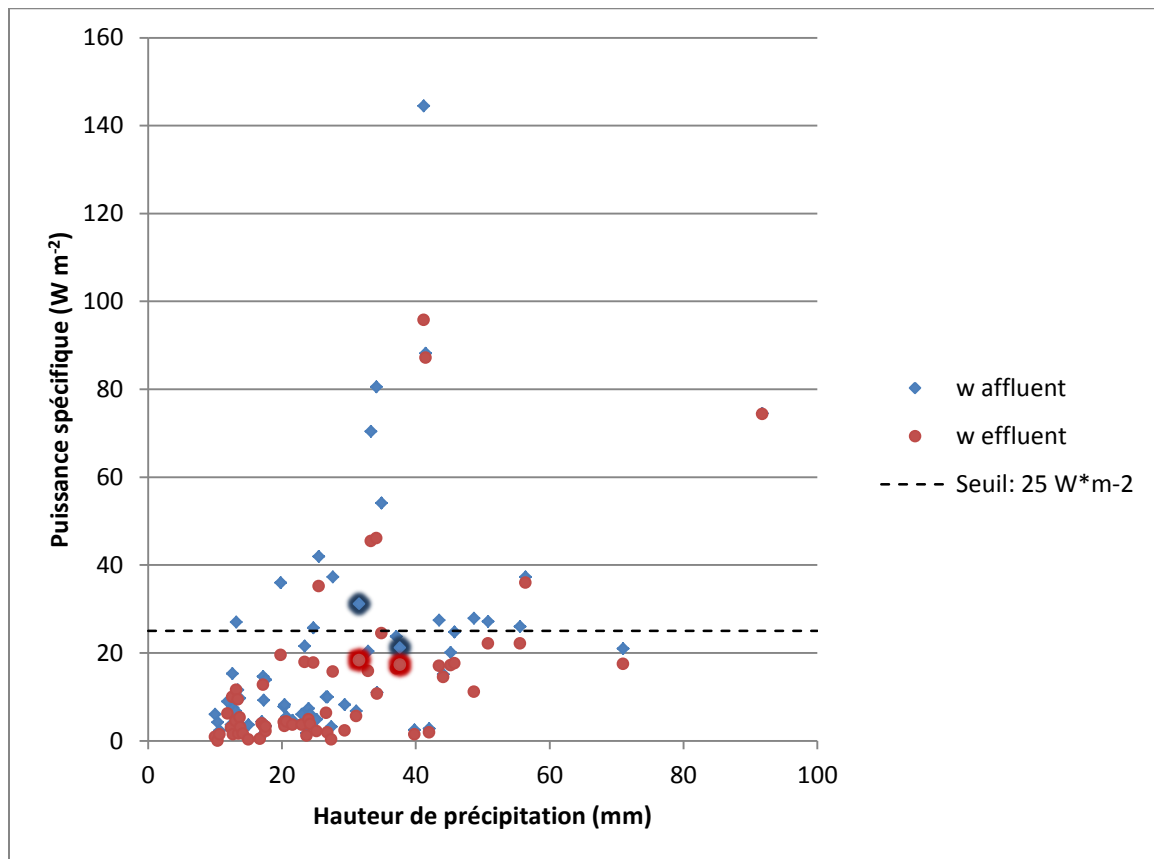
où : ω est la puissance spécifique (W/m^2), p est la densité de l'eau (kg/m^3), g est l'accélération due à la gravité ($9,8 m/s^2$), Q est le débit (m^3/s), S est la pente de l'eau et w est la largeur du chenal (m).

Ainsi, pour un site donné où les valeurs de S et w sont constantes, la puissance spécifique est directement proportionnelle au débit de pointe. D'après Brooks (1987), un ajustement par érosion se produit lorsque la puissance spécifique dépasse $25 W m^{-2}$. Le graphique 8 illustre la puissance spécifique à l'exutoire de l'étang 3 calculée à partir des débits de pointe entrants et sortants. Les débits de pointe entrants ont été utilisés afin de représenter les conditions existant avant la construction de l'étang 3. La fréquence de dépassement du seuil d'érosivité passe de 27 % (17/62) lorsque les débits de pointe entrants sont considérés à 11 % (7/62) pour les débits sortants.

L'événement du 2 juin 2012 (37,6 mm, durée de 33 h) présente des caractéristiques se rapprochant de la pluie de conception associée au débit morphogène (SCS type II, 36 mm, durée de 24 h). Lors de cet événement, la puissance spécifique a atteint $21 W m^{-2}$ à l'entrée, et $17 W m^{-2}$ à la sortie. Bien que légèrement inférieur aux caractéristiques de la pluie de conception, l'événement du 21 septembre 2013 (31,5 mm, durée de 20 h) présente des valeurs de ω de $31 W m^{-2}$ à l'entrée et $18 W m^{-2}$ à la sortie. Ces points sont représentés en surbrillance sur le graphique 8.

L'étang 3 est donc susceptible de réduire l'érosion dans le cours d'eau récepteur en diminuant la fréquence de dépassement du seuil d'érosivité et en rabattant les valeurs de puissance spécifique sous $25 W m^{-2}$ lors d'événements représentatifs du débit morphogène. Il est toutefois important de mentionner que seul l'écoulement provenant de l'étang 3 contribue au débit du cours d'eau récepteur. Dans le cas d'un aménagement en bassin versant de plus grande taille, le débit total du cours d'eau en aval de la structure doit être utilisé pour évaluer la puissance spécifique et le potentiel de diminution de l'érosion.

Graphique 8 : Puissance spécifique en fonction de la hauteur de précipitation.



Impact sur le temps de rabattement

En plus de l'impact sur les débits de pointe, une caractéristique importante des EERE est leur capacité à retarder l'évacuation de l'eau. Les critères de conception des EERE sont établis en fonction de deux principaux objectifs, soit la protection de la qualité de l'eau et l'atténuation de l'érosion dans le cours d'eau récepteur. Pour le critère de qualité, il est recommandé de traiter le volume associé à un événement pluvieux de 25 mm qui sera relâché en 12 heures ou plus. Le critère d'érosion dans le cours d'eau récepteur stipule quant à lui de traiter le volume associé à un événement à récurrence de 1 an et relâché en 24 heures ou plus (Aquap Praxis, 2011). Le temps de relâche est défini comme le temps entre le volume maximal atteint lors d'un événement et le retour au volume minimal du stockage actif.

Afin de mieux évaluer la dynamique de stockage, les temps de relâche mesurés dans cette étude ont été subdivisés en quatre catégories et correspondent aux temps entre le volume maximal et les temps auxquels 50, 75, 90 et 100 % du volume a été évacué, dit temps de rabattement. Ces temps sont respectivement de 7, 18, 28 et 42 h pour l'étang 3. Puisque les hydrogrammes de sortie

présentent des queues de crue très allongées (10 % du volume relâché en 14 heures en moyenne), la catégorie correspondant à 90 % du volume est utilisée pour comparer les résultats obtenus aux critères de conception. Ainsi, le temps de rabattement pour les événements d'environ 25 mm et de courte durée (entre 2 et 6 h) est de 24,5 h pour l'étang 3, ce qui respecte le critère de conception pour la qualité de l'eau, fixé à 12 h. Il est important de mentionner que plusieurs références pour les sites de construction recommandent un temps de rabattement minimal de 24 h pour un contrôle amélioré de la qualité de l'effluent (TRCA, 2006).

L'événement du 2 juin 2012 (37,6 mm, durée de 33 h), représentatif de la pluie de conception pour le contrôle de l'érosion, présente un temps de rabattement de 14,25 h pour 90 % du volume. Lors d'événements plus importants, une proportion élevée du volume de ruissellement est relâchée rapidement par le dessus de l'avaloir perforé, ce qui diminue le temps de rabattement. L'étang 3 ne répond donc pas au critère de rétention de 24 h pour cet événement à récurrence de 1 an.

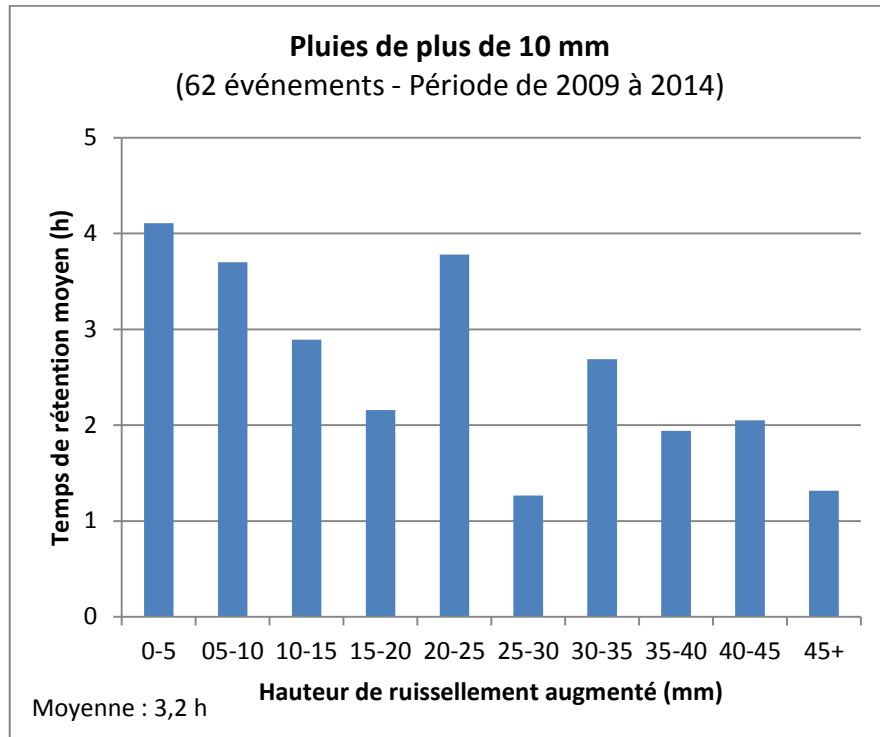
Impact de la détention sur le temps de réponse

Tel que décrit à la section « Méthodologie », le temps de détention correspond au temps entre le centre de gravité du ruissellement augmenté et le centre de gravité de l'effluent.

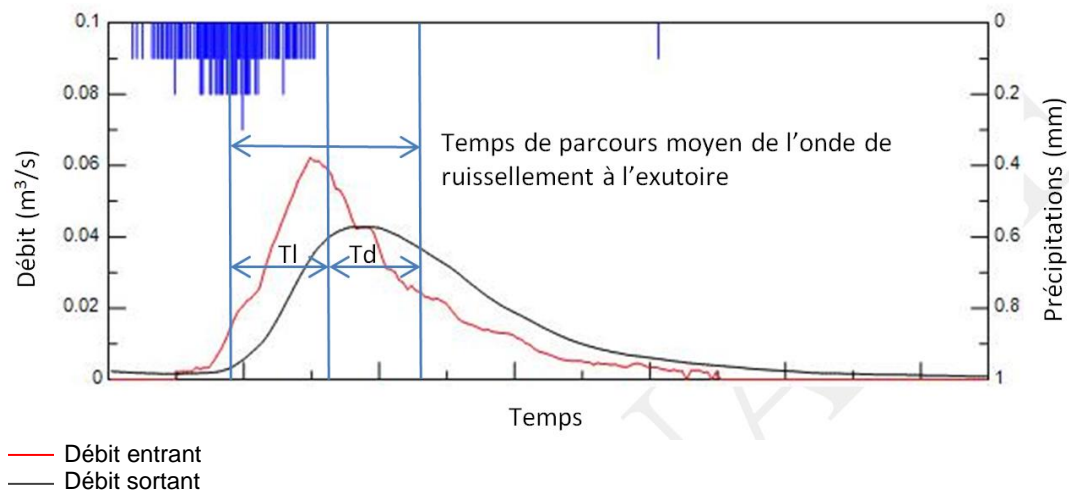
Le graphique 9 illustre les temps de détention moyens par catégorie de Hru*. Les temps de détention sont négativement corrélés avec le ruissellement augmenté et varient de 4,1 h à 1,3 h, pour une moyenne de 3,2 h. D'après Cappuccitti et Page (2000), un temps de détention du volume ruisselé de 24 heures lors d'événements à récurrence de 1 an permet d'atténuer suffisamment les vitesses de relâche pour ne pas atteindre les vitesses critiques provoquant de l'érosion dans les cours d'eau récepteurs. Le temps de détention pour l'événement du 2 juin 2012, représentatif de la période de récurrence de 1 an, est de 2,1 h, ce qui est largement inférieur à la valeur recommandée.

Ces observations peuvent toutefois être mises en perspective en comparant le temps de détention moyen de l'étang 3 aux caractéristiques physiques de son bassin versant, et plus spécifiquement au temps de réponse. Le temps de réponse (TI) d'un bassin versant est défini comme le temps de parcours moyen de l'onde de ruissellement. Ce paramètre correspond au temps entre le centre de gravité d'une averse et le centre de gravité du ruissellement correspondant (Ponce, 1989). Le graphique 10 illustre le temps de réponse du bassin versant (TI) ainsi que le temps de détention (Td) dans l'étang 3. Dans cet exemple, il est possible de constater que le temps de réponse additionné au temps de détention correspond au temps de parcours moyen de l'onde de ruissellement à l'exutoire de l'EERE.

Graphique 9 : Temps de rétention moyen en fonction de la hauteur de ruissellement augmenté.



Graphique 10 : Représentation graphique des temps de réponse (TI) et temps de détention (Td).



Le TI moyen observé sur sept événements simples est de 3 h 24 pour l'étang 3, et le Td moyen est de 2 h 42, pour un temps de parcours moyen à l'exutoire de 6 h 06. Puisque le ruissellement estimé est influencé par les écoulements souterrains, le temps de réponse est également influencé par ces apports. Les écoulements hypodermiques et souterrains étant plus lents que les écoulements de surface, les centres de masse calculés pour les hydrogrammes d'entrée sont déplacés vers la fin des événements, ce qui a pour impact d'augmenter les TI. Tel que présenté dans Sheridan (1994), les TI théoriques calculés selon les méthodes de Nash, de Capece et du SCS pour le bassin versant de l'étang 3 sont présentés au tableau 2 et sont en moyenne de 3 h 18, ce qui est très près de la valeur moyenne observée. Il peut ainsi être conclu que l'EERE 3 est en mesure de pratiquement doubler le temps de parcours moyen de l'onde de ruissellement à l'exutoire. Cette conclusion est tirée du TI observé (3 h 24) additionné au temps de détention observé (2 h 42).

Tableau 2 : Temps de réponse théorique du bassin versant 3.

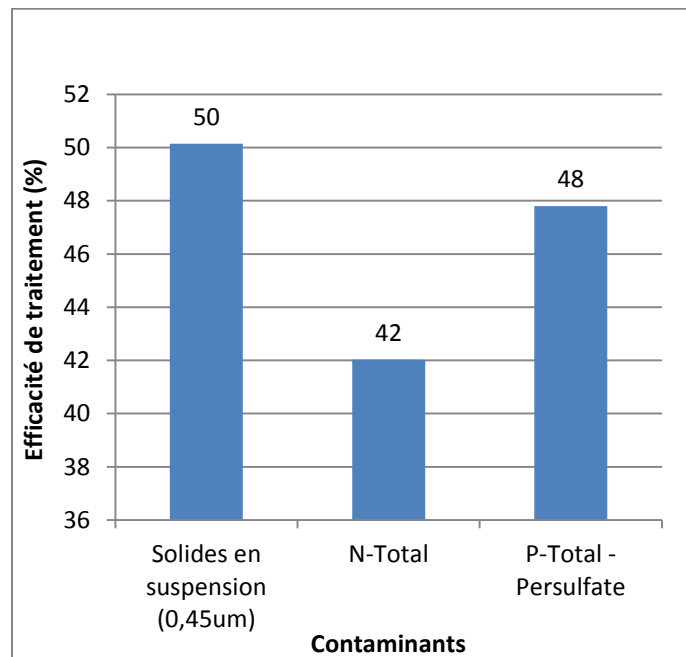
Temps de réponse (TI)	
Méthode	Valeurs calculées (h)
Nash (1959)	4,60
Capece et al. (1988)	3,23
SCS (1972)	1,94

Impact sur la qualité de l'eau

Le ruissellement associé aux événements pluvieux est l'une des sources les plus importantes de contamination de l'eau. L'aménagement d'étangs épurateurs et régulateurs est une pratique de gestion bénéfique (PGB) visant principalement le traitement des eaux de ruissellement afin de réduire l'impact sur les écosystèmes récepteurs. L'efficacité de traitement des contaminants par cette PGB a été évaluée pour les solides en suspension (SS), l'azote total (NT) et le phosphore total (PT).

Les résultats détaillés par événement sont présentés à l'annexe 4, tandis que le graphique 10 présente les efficacités moyennes de traitement, estimées selon l'équation 4, de 50, 42 et 48 % respectivement pour les SS, le NT et le PT ($n = 20, 11, 14$). Il est important de mentionner que les efficacités de traitement de ces trois contaminants sont encore plus importantes lorsqu'elles sont évaluées selon la méthodologie de la somme de toutes les charges (EPA, 2002). Ces analyses ne sont pas présentées car les performances sont dominées par quelques événements ayant des charges et des taux de réduction très élevés.

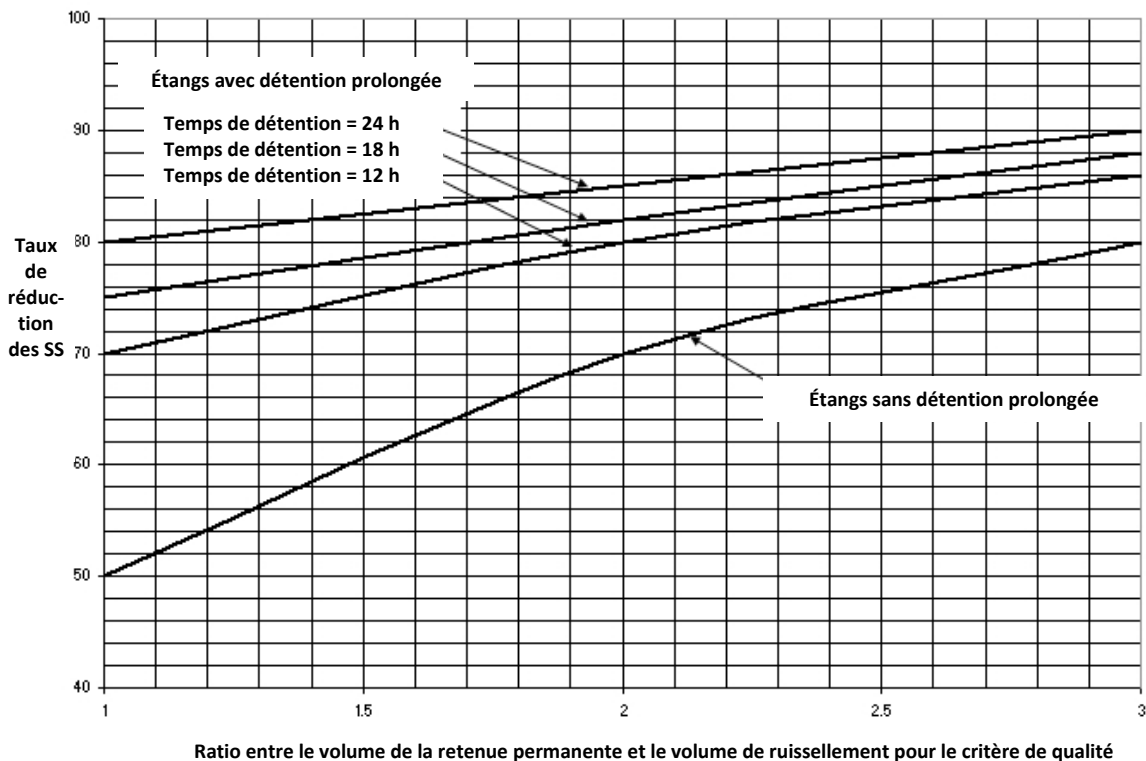
Graphique 11 : Efficacité de traitement des charges pondérées de contaminants.



Solides en suspension

En 2004, le gouvernement de l'État du New Jersey a publié un graphique permettant d'estimer le potentiel de traitement des solides en suspension par un étang humide en fonction du ratio du volume de la retenue permanente sur le volume associé au critère de qualité (graphique 12). En utilisant le C* moyen mesuré au site (44 % sur l'ensemble des 62 événements), le volume du critère de qualité correspond à $25 \text{ mm} \times 0,44 \times 23,1 \text{ ha} = 2541 \text{ m}^3$, et le volume de la retenue permanente est de $11 \text{ m}^3/\text{ha}$ (graphique 1) $\times 23,1 \text{ ha}$, soit un volume de 254 m^3 . Selon le graphique 12, le taux de réduction pour un étang sans détention prolongée et un ratio de 0,1 devrait être inférieur à 50 %. L'efficacité de traitement par l'étang 3 est de 50 % (graphique 11) et surpasse les normes établies par l'État du New Jersey. Cette performance peut être expliquée par un temps de détention se situant entre la courbe de 12 h et la courbe sans détention, ainsi que par la procédure de sélection des événements. Cette procédure cible les pluies importantes ayant des concentrations en entrée élevées, où les taux de réduction sont généralement augmentés. Malgré un ratio d'efficacité élevé, la performance de traitement de l'étang 3 pourrait être accrue davantage en prolongeant le temps de détention ou en augmentant le volume de la retenue permanente (graphique 12).

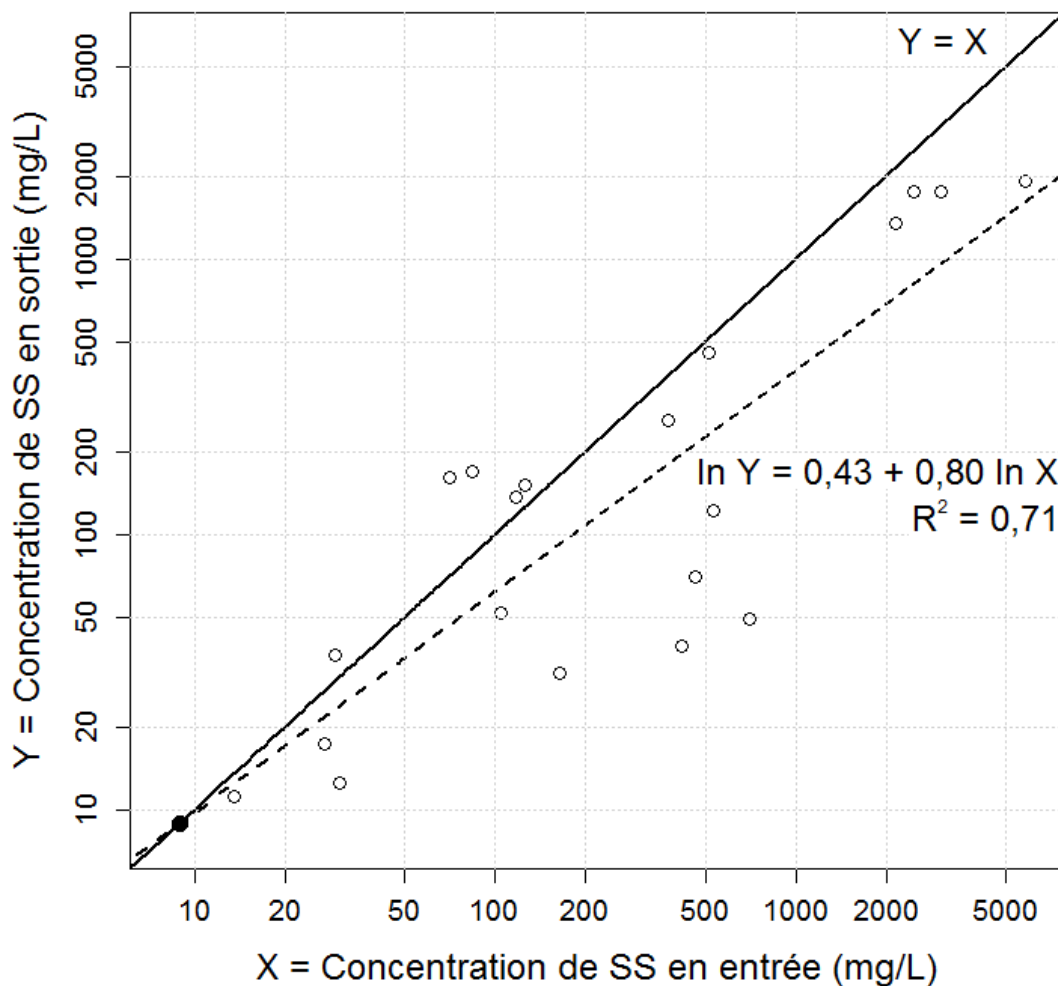
Graphique 12 : Taux de réduction des solides en suspension totaux pour les étangs humides (d'après New Jersey, 2004).



Bien que le ratio d'efficacité moyen pour les solides en suspension soit de 50 % (graphique 11), il varie grandement d'un événement à l'autre, allant de 92 % jusqu'à des valeurs négatives (c.-à-d. concentration moyenne en sortie plus grande que la concentration moyenne en entrée) pour 5 des 20 événements retenus (annexe 4). Le graphique 13 présente les concentrations de SS en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 20 événements retenus. Il est à noter que les quatre plus grandes valeurs de concentrations en entrée et en sortie proviennent des quatre premiers événements de 2012; les trois premiers sont survenus durant la période des travaux de nivellement, et le quatrième quelques semaines plus tard.

La relation entre le logarithme des concentrations de sédiments en suspension en entrée (SS_{in}) et en sortie (SS_{out}) peut s'exprimer par une équation linéaire (graphique 13, ligne hachurée).

Graphique 13 : Concentrations de SS en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 20 événements retenus.



Le ratio d'efficacité est donc dépendant de la concentration en entrée et peut être estimé par $1 - \frac{e^a}{SS_{in}^{1-b}}$ avec $a = 0,43$ et $b = 0,80$ (graphique 13). L'efficacité du traitement augmente avec la concentration en entrée. Par exemple, pour une concentration en entrée de 100 mg/L, la concentration en sortie devrait être de 62 mg/L en moyenne (ratio d'efficacité = 38 %), alors que pour une concentration en entrée de 1000 mg/L, la concentration en sortie devrait être d'environ 390 mg/L en moyenne (ratio d'efficacité = 61 %). De plus, selon l'équation estimée, le ratio d'efficacité devient négatif pour des concentrations en entrée inférieures à $e^{\frac{a}{1-b}}$, soit environ 9 mg/L (graphique 13, point noir plein). Cette valeur peut être vue comme une approximation de la valeur seuil de concentration *irréductible* rapportée par Scheuler (2000). Les valeurs présentées au tableau 3 résument les seuils de concentrations en dessous desquels le traitement par un étang humide devient inefficace.

Tableau 3 : Concentrations irréductibles de l'effluent.

Contaminant	Scheuler (2000)	Étang 3
Solides en suspension	20 à 40 mg/L	9 mg/L
Phosphore total	0,15 à 0,2 mg/L	0,2 mg/L
Azote total	1,9 mg/L	2 à 4 mg/L

Plusieurs études ont observé des relations similaires entre les concentrations en entrée et en sortie d'étangs pluviaux, mais selon TRCA (2006), la qualité de l'effluent est davantage influencée par les volumes entrants/sortants et les débits de pointe. Le volume de l'étang était toutefois beaucoup plus important dans l'étude de TRCA (2006) que dans la présente étude, ce qui explique la plus faible corrélation observée entre les concentrations entrantes et sortantes dans cette autre étude. De plus, selon SWAMP (2005), le ratio d'efficacité est un indicateur biaisé de performance, car il est directement corrélé à la concentration de l'affluent. Ainsi, bien que des taux de réduction importants puissent être atteints, la qualité de l'effluent peut continuer d'avoir un impact négatif sur les écosystèmes récepteurs.

Afin d'évaluer le potentiel d'impact sur les écosystèmes aquatiques récepteurs, les charges événementielles des contaminants pondérées par le volume (ou concentration moyenne événementielle, EMC) peuvent être comparées aux normes environnementales établies. Le tableau 4 présente les normes environnementales retenues pour cette comparaison ainsi que l'occurrence des dépassements.

Tableau 4 : Nombre de dépassements des seuils environnementaux observés à l'entrée et à la sortie de l'étang 3.

Seuils environnementaux	Impact	N ^{bre} de cas de dépassement observés (EMC)	
		entrée	sortie
Solides en suspension¹		n = 20	
< 25 mg/L	Risque très faible	1	3
25 – 80 mg/L	Risque faible	4	6
80 – 400 mg/L	Risque modéré	6	6
> 400 mg/L	Risque élevé	9	5
Phosphore total²		n = 14	
< 4 µg/L	Ultra-oligotrophe	0	0
4 - 10 µg/L	Oligotrophe	0	0
10- 20 µg/L	Mésotrophe	0	0
20 - 35 µg/L	Méso-eutrophe	0	0
35 - 100 µg/L	Eutrophe	3	2
> 100 µg/L	Hyper-eutrophe	11	12
30 µg/L ³	Prévention de l'eutrophisation	14	14
Nitrate		n = 10	
10 mg/L ⁴	s/o	0	0
13 mg/L ²		0	0
550 mg/L ²	Toxicité chronique Toxicité aiguë	0	0
Nitrite²			
60 µg/L	Toxicité évaluée pour les populations de salmonidés	2	6
Azote ammoniacal²		n = 5	
19 µg/L (NH ₃)	Toxicité chronique	5	5

¹ Risque pour les poissons et leurs habitats selon EIFAC (1965)

² CCME, critère pour la protection de la vie aquatique

³ MDDELCC, critère pour la prévention de l'eutrophisation

⁴ MDDELCC, concentration maximale acceptable établie pour l'eau potable

Les critères environnementaux pour les solides en suspension établis par l'European Inland Fisheries Advisory Commission (1965) sont fréquemment dépassés. La qualité de l'effluent est donc susceptible d'avoir un impact négatif sur les poissons et leurs habitats, bien que le niveau de risque passe de modérément élevé en l'absence d'EERE à modéré à la sortie de l'étang 3. En ce

qui concerne les dépassements observés, aucun effet de dilution dans le cours d'eau récepteur n'a toutefois été considéré, car ce dernier est un ruisseau intermittent alimenté uniquement par l'étang 3. L'impact sur la faune et la flore aquatiques pourrait être évalué à l'ordre de Strahler suivant. Dans le cas de l'étang 3, l'ordre suivant correspond à la rivière Nicolet, qui a un débit moyen annuel de 33,3 m³/s. Puisque les débits de l'étang 3 sont de deux à trois ordres de grandeur inférieurs au débit moyen de la rivière Nicolet, il est improbable que l'étang 3 ait un impact, tant positif que négatif, à cette échelle. Afin de maximiser le potentiel d'impact sur la qualité des écosystèmes aquatiques, les EERE devraient être aménagés de façon intégrée à l'échelle de petits bassins versants agricoles.

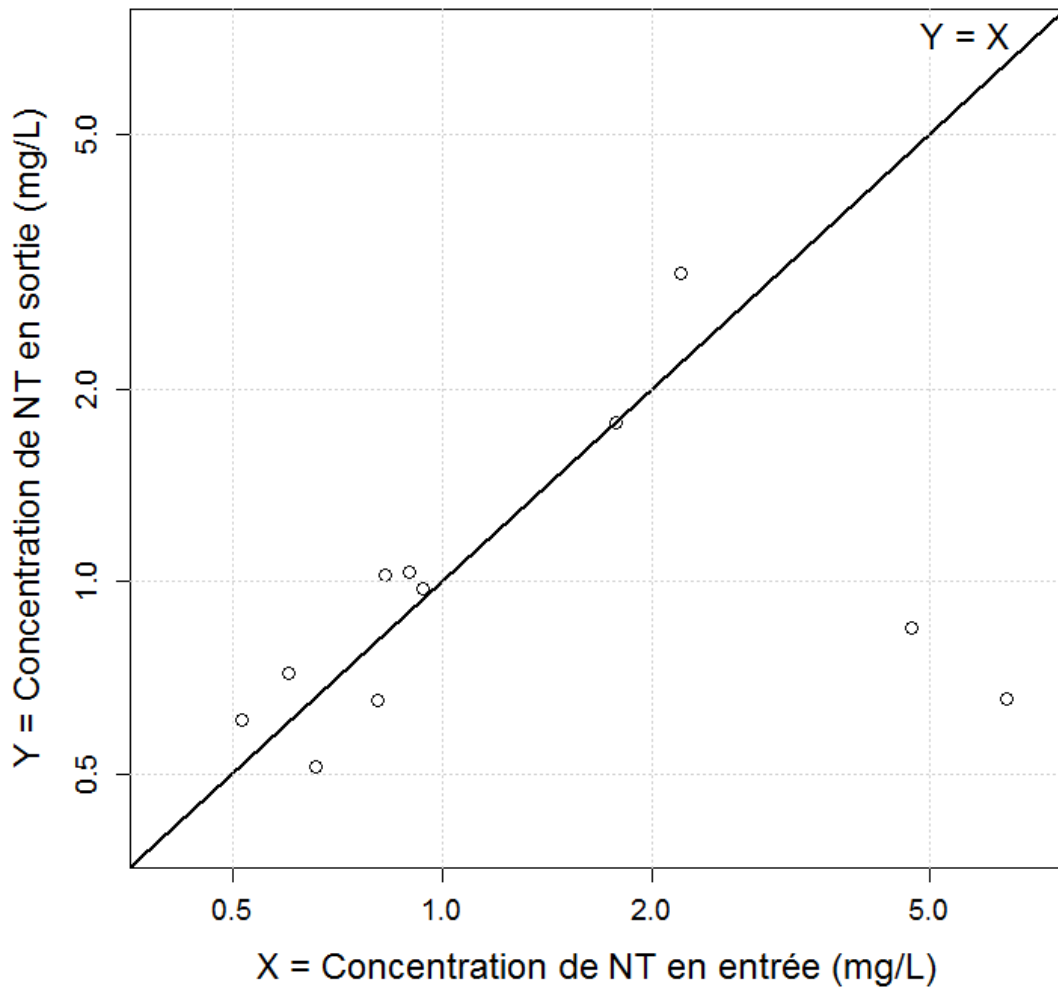
Azote

Le faible nombre d'événements ($n = 11$) rend difficile l'estimation du ratio d'efficacité pour l'azote total. En fait, les concentrations en entrée sont généralement trop faibles pour détecter un effet de traitement (graphique 14). Seuls les deux événements avec de plus fortes concentrations d'azote total en entrée (4,71 et 6,45 mg/L) montrent de grands ratios d'efficacité, soit 82 et 90 % respectivement. Pour les autres événements, outre un événement avec un ratio de -47 % (concentrations moyennes en entrée et en sortie de 2,20 à 3,03 mg/L respectivement), le ratio d'efficacité se situe autour de 0 ± 25 %. Ces résultats suggèrent que la valeur seuil de concentration irréductible se situe entre 2 et 4 mg/L, près de la valeur présentée dans Scheuler (2000) (tableau 3). L'efficacité moyenne de 42 % estimée sur l'ensemble des événements (graphique 11) doit donc être interprétée avec prudence.

Les critères environnementaux pour l'azote sont définis pour le nitrate, le nitrite ainsi que pour l'azote ammoniacal. Les concentrations mesurées au site d'étude comprennent les nitrite et nitrate dans une seule valeur. Le seuil du nitrate pour la protection de la vie aquatique n'est dans aucun cas dépassé par les valeurs combinées de nitrite/nitrate mesurées (tableau 4). Le seuil du nitrite est dépassé à six reprises, mais encore une fois les valeurs sont combinées aux concentrations de nitrate mesurées. Il est donc impossible de valider le nombre de dépassements réels pour le nitrite. Le seuil de protection de la vie aquatique pour l'azote ammoniacal total est dépassé dans tous les cas, mais ce seuil varie grandement en fonction des caractéristiques de l'eau rejetée. En effet, la toxicité de l'azote ammoniacal est plus élevée à des valeurs de pH et température élevées. Par exemple, à un pH de 10 et une température de 20 °C, le seuil de toxicité pour l'azote ammoniacal total est de 0,020 mg/L du fait que l'ammoniac non ionisé (NH₃), plus toxique, domine. Par contre, à un pH de 7 et une température de 15 °C, où l'ammonium (NH₄⁺), moins toxique, prédomine, ce seuil est de 5,74 mg/L. Sous ces conditions plus représentatives de l'effluent, l'azote ammoniacal ne dépasse dans aucun cas le seuil environnemental. Il est important de mentionner que le nombre d'événements avec des valeurs pour l'azote ammoniacal est très faible, soit de cinq. Il est aussi important de noter que ce seuil de toxicité est pour les expositions de longues durées (toxicité

chronique) alors que l'échantillonnage est effectué durant les événements de pluie susceptibles de transporter des concentrations importantes de contaminants, mais sur une courte période.

Graphique 14: Concentrations de NT en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 11 événements retenus.



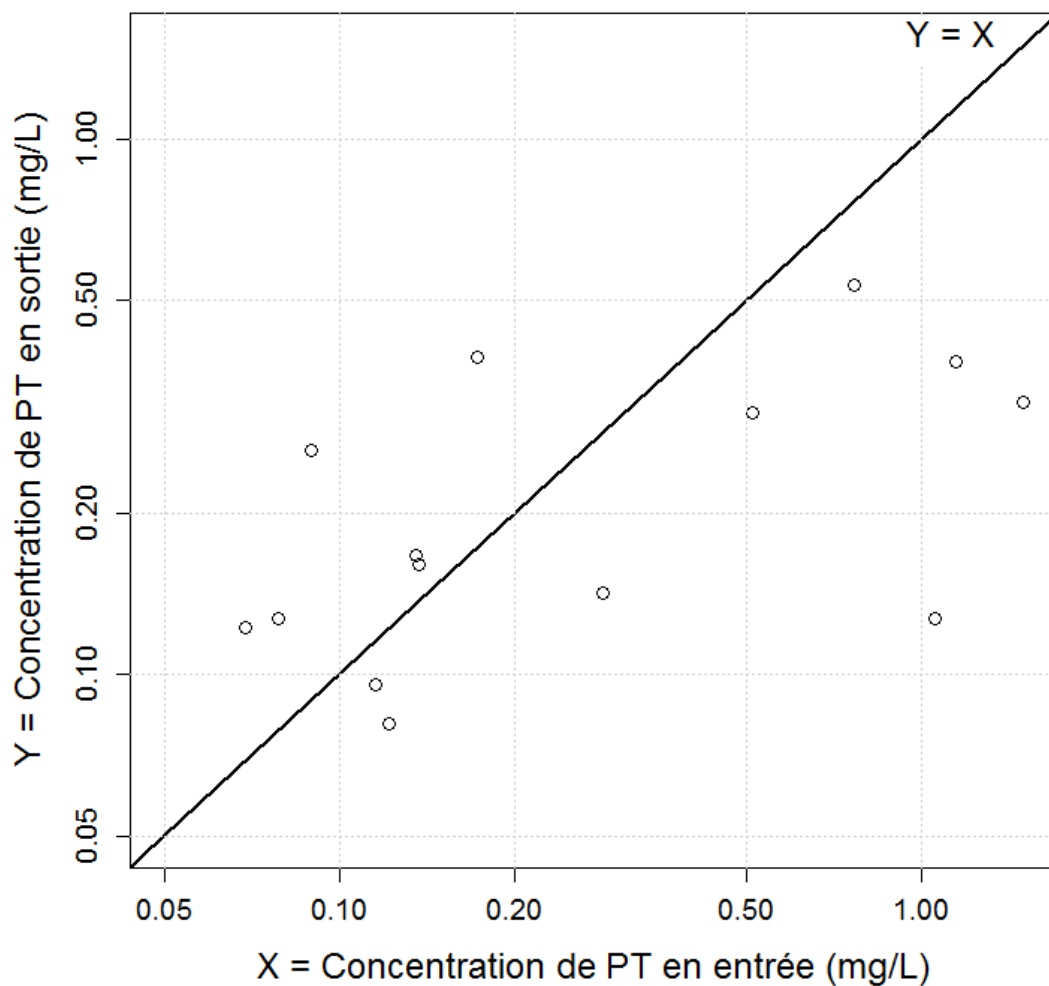
Phosphore

L'efficacité moyenne de traitement du phosphore total, telle que présentée au graphique 11, est de 48 %. Le graphique 15 illustre quant à lui la présence d'une corrélation entre les concentrations en entrée et en sortie de phosphore total. À l'échelle événementielle, l'efficacité de traitement augmente lorsque la concentration en entrée augmente, mais il y a trop peu de données ($n = 14$) pour estimer précisément la relation entre ces deux variables. Les six événements ayant les plus grandes concentrations moyennes en entrée, de 0,28 à 1,49 mg/L, ont tous des ratios d'efficacité de plus de 30 %. Les trois événements avec des concentrations moyennes en entrée variant de 0,28 à 1 mg/L ont un ratio d'efficacité moyen de 40 %, alors que les trois événements avec des concentrations moyennes en entrée supérieures à 1 mg/L ont un ratio d'efficacité moyen de 78 %. Pour sept des huit événements ayant des concentrations moyennes en entrée inférieures à 0,18 mg/L, le ratio d'efficacité est inférieur à 30 %, et il est négatif dans la plupart des cas. Ces résultats suggèrent que la valeur seuil de concentration irréductible se situe autour de 0,2 mg/L, limite de l'intervalle présenté dans Scheuler (2000) (tableau 3).

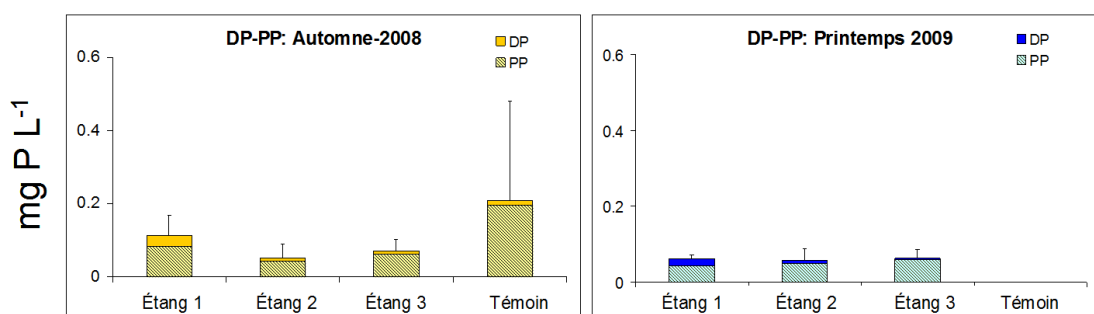
Les efficacités de traitement mesurées pour le PT sont du même ordre de grandeur que celles observées pour les SS et laissent prévoir une forte dominance du phosphore particulaire comparativement au phosphore dissous. Cette hypothèse a pu être validée lors d'événements pluvieux de l'automne 2008 et au cours de la fonte des neiges au printemps 2009. Le graphique 16 illustre la dominance du phosphore particulaire observée aux EERE 1, 2 et 3 ainsi que dans le bassin versant témoin. Cette dominance du phosphore particulaire est de plus de 80 %.

La qualité de l'eau rejetée par l'étang 3 dépasse dans 100 % des cas le critère du phosphore total ciblant la prévention de l'eutrophisation (tableau 4). L'affluent présente des concentrations correspondant à une eau hyper-eutrophe et, malgré un ratio d'efficacité de 48 %, l'effluent présente lui aussi les caractéristiques d'une eau eutrophe à hyper-eutrophe. Il est important de mentionner que le critère pour la prévention de l'eutrophisation, fixé à 0,03 mg/L, se situe sous le seuil de concentration irréductible de 0,15 à 0,2 mg/L. Il est donc improbable que le critère environnemental, établi pour les rivières, soit satisfait à la sortie d'un EERE. En ce qui concerne les dépassements observés dans le cadre de cette étude, aucun effet de dilution dans le cours d'eau récepteur n'a toutefois été considéré, car ce dernier est un ruisseau intermittent alimenté uniquement par l'étang 3. Tel que décrit à la section « Solides en suspension », l'impact sur l'écosystème aquatique devrait être évalué à l'ordre de Strahler suivant. Il est ainsi recommandé d'aménager les EERE de façon intégrée à l'échelle de petits bassins versants agricoles afin de maximiser le potentiel d'impact sur la qualité des écosystèmes aquatiques.

Graphique 15 : Concentrations de PT en entrée et en sortie de l'étang 3 pour les 14 événements retenus.



Graphique 16 : Concentrations de phosphore particulaire (PP) et dissous (DP) dans les étangs 1, 2 et 3 ainsi qu'à la sortie du bassin versant témoin à l'automne 2008 et au printemps 2



CONCLUSION

Afin de favoriser le développement d'une agriculture durable au Québec, il est nécessaire de trouver des solutions permettant de réduire les taux d'exportation de polluants vers les écosystèmes aquatiques et d'atténuer les problématiques d'érosion dans les cours d'eau récepteurs. Les étangs épurateurs et régulateurs de l'eau (EERE) sont des dépressions naturelles ou des espaces excavés pouvant servir à stocker temporairement l'eau des crues afin de réduire leur pointe en aval et de permettre une sédimentation des contaminants. Cette pratique de gestion bénéfique est utilisée en milieu urbain depuis plusieurs années, mais son utilisation en production agricole demeure rare, voire inexistante. Avant de spéculer sur l'efficacité de cette PGB en milieu agricole, il est primordial de quantifier son efficacité sous les conditions agroclimatiques du Québec.

Dans le cadre de cette étude, trois étangs épurateurs et régulateurs de l'eau implantés en milieu agricole à St-Samuel (Québec, Canada) ont été étudiés depuis 2008. Les analyses détaillées effectuées sur l'EERE 3 démontrent que :

- Les débits de pointe mesurés pour 62 événements ont été réduits en moyenne de 38 %.
- L'étang 3 est susceptible de réduire l'érosion dans le cours d'eau récepteur en diminuant la fréquence de dépassement du seuil d'érosivité et en rabattant les valeurs de puissance spécifique sous 25 W m^{-2} lors d'événements représentatifs du débit morphogène. Cette conclusion ne s'applique toutefois qu'à l'échelle du cours d'eau récepteur, représentant un ruisseau intermittent alimenté uniquement par l'étang 3.
- Les temps de rabattement correspondant à la période entre le moment du volume maximal et les temps auxquels 50, 75, 90 et 100 % du volume ruisselé a été évacué sont respectivement de 7, 18, 28 et 42 h. Les temps de rabattement mesurés sont conformes aux recommandations pour la protection de la qualité de l'eau, mais ne satisfont pas aux critères de prévention de l'érosion dans le cours d'eau récepteur.
- Le temps de parcours moyen de l'onde de ruissellement a été doublé, avec un temps de détention dans l'EERE de 3,2 h. Ce temps de détention moyen est toutefois largement inférieur à la valeur recommandée de 24 h permettant généralement de restreindre l'atteinte des vitesses critiques dans le cours d'eau récepteur.

- Les efficacités de traitement mesurées selon la méthode du ratio d'efficacité sont de 50, 42 et 48 % respectivement pour les solides en suspension, l'azote total et le phosphore total ($n = 20, 11, 14$). Ces taux d'efficacité moyens doivent toutefois être interprétés avec prudence.
- L'analyse de corrélation a démontré la présence de valeurs de concentrations seuils sous lesquelles le traitement est inefficace. Ces valeurs de concentrations irréductibles sont environ de 9 mg/L, 2 à 4 mg/L et 0,2 mg/L pour les solides en suspension, l'azote total et le phosphore total, respectivement.
- De façon générale, l'efficacité de traitement est augmentée lorsque les charges entrantes, pondérées par le volume événementiel, sont plus importantes.
- Les travaux de nivellement réalisés par le producteur à l'automne 2011 et au printemps 2012 sont vraisemblablement la cause des grandes exportations de sédiments en 2012. En contrepartie, le taux de réduction du débit de pointe est passé de 25 % avant les travaux à 55 % après les travaux. Il serait intéressant d'évaluer si l'effet bénéfique des travaux de nivellement sur le débit de pointe persistera au cours des années à venir.
- Malgré des ratios d'efficacité élevés pour les SS, le NT et le PT, les concentrations de l'effluent dépassent les critères environnementaux pour la protection de la vie aquatique pour les SS, et le critère pour la prévention de l'eutrophisation pour le PT. Aucun effet de dilution dans le cours d'eau récepteur n'a toutefois été considéré.
- Afin de maximiser le potentiel d'impact sur la qualité des écosystèmes aquatiques, les EERE devraient être aménagés de façon intégrée à l'échelle de petits bassins versants agricoles.

Ces observations indiquent que les étangs épurateurs et régulateurs de l'eau sont un moyen efficace pour réduire les pointes de crue à l'échelle de la ferme et améliorer la qualité de l'eau rejetée. Afin d'améliorer la performance environnementale du secteur agricole, ils devraient être implantés en combinaison avec des pratiques culturales de conservation limitant l'érosion des sols.

Finalement, puisque les scénarios de changements climatiques prévoient une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements hydrologiques intenses sous les latitudes nordiques, ces étangs pourraient avoir un effet bénéfique sur la qualité de l'eau dès leur mise en place, mais leur impact positif sur l'environnement augmenterait avec l'ampleur des changements climatiques.

RÉFÉRENCES

Aquapraxis. 2011. *Conception des étangs épurateurs et régulateurs de l'eau*. Préparé pour Agriculture et Agroalimentaire Canada. 63 p.

Bagnold, R. A. 1966. *An approach to the sediment transport problem from general physics*. U. S. Geological Survey professional paper 422-1, 37 p.

Baldwin, A. H., Simpson T.W., et Weammert, S.E. 2007. *Urban wet ponds and wetlands best management practice, Definition and nutrient and sediment reduction efficiencies for use in calibration of the Chesapeake Bay Program's Phase 5.0 Watershed*. 48 p.

Beaulieu, R. 1999. *Historique des travaux de drainage au Québec et état du réseau hydrographique*. Colloque régional sur les cours d'eau. 12 p.

Brookes, A. 1987. *River channel adjustments down-stream from channelisation works in England and Wales*. *Earth Surface Processes and Landforms*. vol. 12, 337–351.

Cappuccitti, D.J., et Page, W.E. 2000. *Stream response to stormwater management best management practices in Maryland*. Maryland Department of the Environment. 22 p.

Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. 2002. *Urban Stormwater BMP Performance Monitoring, 821-B-02-001*. Washington, D.C.

European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). 1965. *Water quality criteria for European freshwater fish. Report on finely divided solids and inland fisheries*. *International Journal of Air and Water Pollution*. vol. 9, 151 -168.

Choinière, L., et Laplante, L. 1948. *Étude des sols du comté de Nicolet*, Bulletin technique n° 1, 158 p.

Gangbazo, G., Roy, J., et Le Page, A. 2005. *Capacité de support des activités agricoles par les rivières : le cas du phosphore total*, MDDEFP, Direction des politiques en milieu terrestre, 28 p.

Genivar. 2011. *Stockage intégré des eaux pluviales à l'échelle d'un petit bassin versant agricole*. Préparé pour Agriculture et Agroalimentaire Canada. 63 p.

Guillou, M. 2012. *Analyse hydrologique et morphologique d'un cours d'eau agricole de la plaine du Saint-Laurent*. Mémoire de maîtrise, Université Laval. 163 p.

Haid, B. 1999. *CSC drop inlet pipe spillways*, actes du Congrès annuel de la Société canadienne de génie civil. 297-306.

Huard, D. 2012. *Courbes IDF en climat futur* [en ligne], Ouranos, http://dev.agrometeo.org/idf_pdf/idf_climat_futur.pdf (consulté le 4 avril 2014).

IPCC. 2008. *Technical paper on climate change and water*, IPCC-XXVIII/Doc.13 (8.IV.2008)

Madramootoo C. A., et Enright P. 1988. *Applicability of the Soil Conservation Service equations for runoff prediction in the Ottawa - St. Lawrence lowlands*. Revue canadienne de génie civil. vol. 15. 759-765.

MDDELCC. 2011. *Guide de gestion des eaux pluviales* [en ligne], ministère du Développement Durable, de l'Environnement, et de la Lutte contre les Changements Climatiques, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm> (consulté le 20 août 2014).

Michaud, A.R., Lauzier, R., et Laverdière, M.R. 2002. Description du système de transfert du phosphore dans le bassin-versant du ruisseau au Castor, *Agrosol*, décembre 2002. vol. 13 (2). 124-140.

New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual. 2004. *Chapitre 9.11. Standard for wet ponds*. 9 p.

Ponce, V.M. 1989. *Engineering Hydrology: Principles and Practices*, Prentice Hall. ISBN-10: 0132778319 | ISBN-13: 9780132778312

Pellerin, A., Parent, L-É., Fortin, J., Tremblay, C., Khiari, L., et Giroux, M. 2006. Environmental Mehlich-3 soil phosphorus saturation indices for Quebec acid to near neutral mineral soils varying in texture and genesis, *Can. J. Soil. Sci.* 86:711-723.

Québec. 2002. *Règlement sur les exploitations agricoles (REA)*, RLRQ, chapitre Q-2, r. 26 [en ligne]. http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R26.HTM (consulté le 4 avril 2014).

Schueler. 2000. *National Pollutant Removal Performance Database: for Stormwater Treatment Practices*, Second Edition. Center for Watershed Protection.

Sheridan, J.M. 1994. *Hydrograph Time Parameters for Flatland Watersheds*. American Society of Agricultural Engineers. vol. 37 (1), 103–113.

Stormwater Assessment Monitoring and Performance (SWAMP) Program. 2005. *Synthesis of monitoring studies conducted under the SWAMP program*. Toronto and Region Conservation Authority, Toronto.

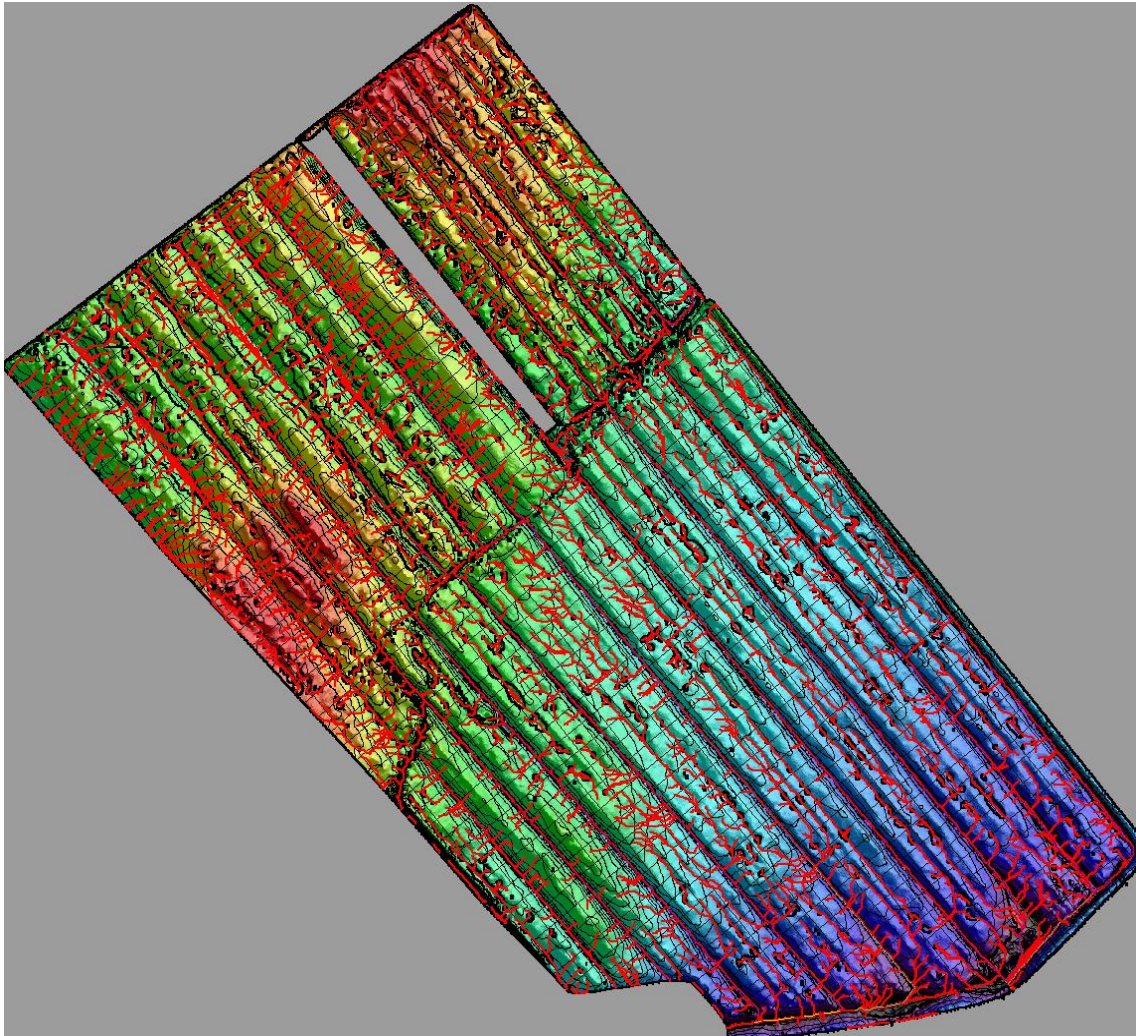
Toronto and Region Conservation Authority. 2006. *Evaluation of design criteria for construction sediment control ponds*. Markham, Ontario. 60 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Site expérimental et délimitation des quatre bassins versants.



Annexe 2 : Réseau hydrographique du site expérimental.



Annexe 3 : Caractéristiques hydrologiques des événements mesurés à l'étang 3 au cours des saisons de croissance 2009 à 2013.

Date de début de l'événement	Précipitation					Ruissellement augmenté				Effluent		Hydrologie		
	Période inter-événements	Hauteur d'eau	Durée*	Intensité moyenne	Volume	Débit de pointe	Volume	Hauteur de ruissellement	Coefficient de ruissellement augmenté	Débit de pointe	Volume	Réduction du débit de pointe	Temps de détention	Temps de rabattement (100%)
(mm/JJ/aaaa hh:mm)	(j)	mm	(h)	(mm/hr)	(m ³)	(m ³ /sec)	(m ³)	(mm)		(m ³ /sec)	(m ³)	(%)	(h)	(h)
9/27/2009 5:45	0.01	43.5	97	0.45	10049	0.19	4997	21.6	0.50	0.12	5070	38	4.5	85
10/7/2009 4:40	0.01	24.0	99	0.24	5544	0.05	4764	20.6	0.86	0.03	4924	33	6.9	111
10/22/2009 0:20	0.01	37.1	70	0.53	8570	0.16	8184	35.4	0.96	0.11	8322	31	1.9	84
10/31/2009 11:25	0.62	12.6	7	1.87	2911	0.11	2342	10.1	0.81	0.07	2499	36	3.7	63
4/16/2010 16:50	0.29	24.2	74	0.33	5590	0.04	2593	11.2	0.46	0.03	2716	38	5.7	99
5/8/2010 10:40	1.75	13.8	34	0.41	3188	0.02	1581	6.8	0.50	0.02	1683	7	4.1	71
5/15/2010 2:35	0.00	13.5	7	1.98	3119	0.02	509	2.2	0.16	0.01	550	36	5.2	44
6/20/2010 7:10	0.52	25.2	6	4.09	5821	0.03	617	2.7	0.11	0.02	617	57	4.2	27
6/24/2010 2:35	1.04	17.6	7	2.43	4066	0.02	632	2.7	0.16	0.02	663	36	4.3	31
6/26/2010 17:05	0.42	13.7	16	0.84	3165	0.07	1412	6.1	0.45	0.04	1419	44	3.7	29
6/28/2010 3:50	0.77	12.4	50	0.25	2864	0.03	974	4.2	0.34	0.02	1058	22	4.4	46
7/9/2010 14:20	3.33	34.2	14	2.49	7900	0.08	3322	14.4	0.42	0.07	3316	2	2.9	37
7/13/2010 16:55	0.49	25.5	8	3.06	5891	0.29	4033	17.5	0.69	0.24	4027	16	1.7	30
7/19/2010 8:05	1.44	24.7	21	1.19	5706	0.18	3258	14.1	0.57	0.12	3266	31	2.0	33
7/24/2010 22:25	0.99	41.5	2	26.20	9587	0.61	6816	29.5	0.71	0.60	6771	1	0.6	23
9/24/2010 2:15	0.02	16.7	57	0.29	3858	0.01	146	0.6	0.04	0.00	232	47	9.9	42
9/27/2010 18:40	1.32	31.1	37	0.84	7184	0.05	3702	16.0	0.52	0.04	3645	17	2.7	79
9/30/2010 9:15	0.05	45.2	28	1.64	10441	0.14	9538	41.3	0.91	0.12	9704	14	2.5	28
10/6/2010 16:45	1.08	17.0	27	0.62	3927	0.03	2701	11.7	0.69	0.03	2843	10	4.0	77
10/15/2010 7:10	7.47	55.6	59	0.94	12844	0.18	9582	41.5	0.75	0.15	9652	15	1.7	83
5/26/2011 13:40	1.92	26.6	73	0.37	6145	0.07	4227	18.3	0.69	0.04	4305	37	3.2	52
6/23/2011 11:35	8.33	42.0	49	0.86	9702	0.02	846	3.7	0.09	0.01	837	29	4.1	22
6/25/2011 18:55	0.26	13.1	34	0.38	3026	0.05	1601	6.9	0.53	0.03	1688	34	4.2	58
6/29/2011 0:25	1.81	19.8	10	1.95	4574	0.25	2614	11.3	0.57	0.14	2596	46	2.2	23
8/28/2011 11:15	1.15	91.8	18	5.15	21206	0.52	11200	48.5	0.53	0.51	11148	0	0.7	31
9/4/2011 4:15	0.99	56.4	52	1.09	13028	0.26	10216	44.2	0.78	0.25	10239	3	2.0	62
9/13/2011 14:35	2.38	32.9	6	5.13	7600	0.14	4745	20.5	0.62	0.11	4710	22	1.8	29
9/15/2011 3:40	0.01	11.9	31	0.39	2749	0.06	2218	9.6	0.81	0.04	2305	31	3.7	38
9/29/2011 6:35	2.01	44.1	146	0.30	10187	0.11	7818	33.8	0.77	0.10	7952	5	2.2	87
10/14/2011 8:55	9.02	45.8	63	0.72	10580	0.17	7524	32.6	0.71	0.12	7442	29	3.2	58
10/20/2011 6:10	0.26	13.4	28	0.49	3095	0.08	2940	12.7	0.95	0.07	3136	18	4.0	73
11/14/2011 21:40	0.45	10.7	9	1.16	2472	0.02	473	2.0	0.19	0.01	620	42	7.5	62
11/24/2011 13:35	4.17	20.7	140	0.15	4782	0.04	3429	14.8	0.72	0.03	3584	20	2.9	46
4/21/2012 11:20	0.98	50.8	95	0.54	11735	0.19	6249	27.1	0.53	0.15	6328	19	1.9	70
5/8/2012 7:20	3.39	23.7	74	0.32	5475	0.01	1234	5.3	0.23	0.01	1293	33	5.5	51
5/15/2012 14:10	1.33	20.3	35	0.58	4689	0.05	1741	7.5	0.37	0.03	1805	46	4.3	63
5/29/2012 18:30	0.50	33.3	11	3.17	7692	0.49	2762	12.0	0.36	0.31	2735	36	1.9	25
6/2/2012 5:25	1.01	37.6	33	1.12	8686	0.15	4321	18.7	0.50	0.12	4192	18	2.1	25
6/25/2012 19:15	0.37	34.1	12	2.78	7877	0.56	2217	9.6	0.28	0.32	2140	43	1.5	18
6/26/2012 14:05	0.28	14.2	36	0.40	3280	0.02	616	2.7	0.19	0.01	713	49	4.3	38
7/16/2012 20:55	0.98	26.8	18	1.48	6191	0.07	621	2.7	0.10	0.01	603	81	2.4	30
8/5/2012 17:00	2.15	15.0	6	2.53	3465	0.03	89	0.4	0.03	0.00	41	92	3.5	22
8/11/2012 20:05	0.91	41.2	26	1.58	9517	1.00	4512	19.5	0.47	0.66	4481	34	0.7	25
9/30/2012 9:45	0.74	39.8	40	1.01	9194	0.02	419	1.8	0.05	0.01	353	42	4.6	25
10/6/2012 5:00	1.03	23.0	16	1.47	5313	0.04	852	3.7	0.16	0.03	853	41	3.6	32
5/10/2013 23:25	15.95	27.4	16	1.73	6329	0.02	105	0.5	0.02	0.00	37	91	3.4	12
5/22/2013 20:55	0.00	71.0	84	0.84	16401	0.15	10418	45.1	0.64	0.12	10426	17	1.9	43
6/11/2013 4:15	0.93	21.6	28	0.77	4990	0.03	1187	5.1	0.24	0.03	1171	21	3.6	33
6/24/2013 1:20	0.00	27.6	18	1.54	6376	0.26	1663	7.2	0.26	0.11	1592	58	2.9	24
6/28/2013 5:50	1.29	17.3	16	1.09	3996	0.06	783	3.4	0.20	0.02	771	64	3.7	28
8/2/2013 13:55	0.49	10.4	2	5.20	2402	0.03	85	0.4	0.04	0.00	2	99	1.2	2
8/3/2013 6:15	0.60	12.7	6	2.15	2934	0.05	238	1.0	0.08	0.01	169	80	2.6	14
8/9/2013 1:45	0.76	10.0	5	2.03	2310	0.04	154	0.7	0.07	0.01	97	87	2.9	15
8/13/2013 20:10	0.49	17.6	14	1.27	4066	0.10	562	2.4	0.14	0.02	522	77	3.3	25
8/22/2013 7:40	4.85	29.4	22	1.32	6791	0.06	401	1.7	0.06	0.02	352	72	3.4	24
9/2/2013 7:50	1.90	48.7	22	2.24	11250	0.19	2673	11.6	0.24	0.08	2639	60	1.4	30
9/12/2013 2:50	0.04	34.9	20	1.74	8062	0.37	2460	10.7	0.31	0.17	2417	55	1.7	20
9/13/2013 17:00	0.74	17.2	18	0.95	3973	0.10	2525	10.9	0.64	0.09	2589	12	2.4	25
9/21/2013 22:40	5.63	31.5	20	1.57	7277	0.22	3859	16.7	0.53	0.13	3850	41	2.6	34
10/7/2013 16:00	0.83	20.4	4	4.80	4712	0.06	764	3.3	0.16	0.02	738	60	3.7	23
10/18/2013 1:55	0.78	13.2	18	0.74	3049	0.19	2091	9.1	0.69	0.08	2104	57	3.6	29
10/31/2013 13:30	3.15	23.4	21	1.09	5405	0.15	5007	21.7	0.93	0.12	5026	17	1.9	48
Moyenne	1.72	28.3	34	1.88	6529	0.14	3099	13.4	0.44	0.10	3122	38	3.2	42

*La durée de précipitation inclut toutes les bascules survenues au cours de l'événement. Ainsi, les bascules se produisant vers la fin de l'événement ont pour effet d'allonger la durée totale de la précipitation.

Annexe 4 : Qualité de l'eau des événements mesurés à l'étang 3 au cours des saisons de croissance 2009 à 2013.

Début de l'événement (mm/jj/aaaa)	Volume de ruissellement (m ³)	Concentration de SS (EMC)			Concentration de NT (EMC)			Concentration de PT (EMC)		
		Affluent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Ratio d'efficacité (%)	Affluent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Ratio d'efficacité (%)	Affluent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Ratio d'efficacité (%)
7/19/2010	3258	30,5	12,5	59	0,94	0,97	-4	0,14	0,16	-17
7/24/2010	6816	27,1	17,4	36	0,66	0,51	22	1,06	0,13	88
5/26/2011	4227	164,5	31,4	81	0,90	1,04	-15	0,12	0,10	17
9/13/2011	4745	13,5	11,2	17	0,83	1,02	-23	0,09	0,26	-195
10/14/2011	7524	29,2	36,6	-25	0,51	0,61	-18	0,08	0,13	-63
4/21/2012	6249	5749,6	1920,6	67	1,78	1,77	0	0,77	0,53	30
5/15/2012	1741	2137,5	1351,4	37	0,81	0,65	19	0,51	0,31	40
6/2/2012	4321	2469,8	1760,0	29	4,71	0,85	82	1,49	0,32	78
8/11/2012	4512	3029,2	1748,0	42	6,45	0,65	90	1,15	0,38	67
10/6/2012	852	83,5	168,4	-102	0,60	0,72	-19	0,07	0,12	-77
6/28/2013	783	530,5	121,9	77	2,20	3,03	-38	0,28	0,14	50
8/3/2013	238	514,8	456,5	11	-	-	-	-	-	-
8/9/2013	154	70,4	161,7	-130	-	-	-	0,17	0,39	-126
8/13/2013	562	376,4	258,1	31	-	-	-	0,12	0,08	33
8/22/2013	401	125,6	150,1	-20	-	-	-	0,14	0,17	-24
9/2/2013	2673	117,7	136,4	-16	-	-	-	-	-	-
9/21/2013	3859	418,6	39,5	91	-	-	-	-	-	-
10/7/2013	764	104,1	52,0	50	-	-	-	-	-	-
10/18/2013	2091	702,1	49,4	93	-	-	-	-	-	-
10/31/2013	5007	461,1	70,4	85	-	-	-	-	-	-
Moyenne	3039	858	428	50	1,85	1,07	42	0,44	0,23	48



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

