Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques EPBH

Gérer nos terres et protéger notre eau par la recherche à long terme à l'échelle des bassins hydrographiques

Rapport final (2004–2013)

Cultivons l'avenir 2

Une initiative fédérale-provinciale-territoriale

Colombie-Britannique · Alberta Government · Gouvernement de la Saskatchewan · Manitoba · Ontario · Québec · Terre-Neuve Labrador · Nova Scotia / Nouvelle-Écosse · New Brunswick / Nouveau Brunswick · Île-du-Prince-Édouard Canada · Yukon Gouvernement · Government of Northwest Territories / Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest · Nunavut · Canada

Pour obtenir des exemplaires additionnels de cette publication ou pour demander un exemplaire sur support de substitution, veuillez communiquer avec :

Service des publications du Ministère

Téléphone : 613-773-1444

Télécopieur : 613-773-1498

Courriel : publications@agr.gc.ca

Version électronique disponible à l'adresse suivante : www.agr.gc.ca/epbh

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2017

Cette publication peut être reproduite sans autorisation dans la mesure où la source est indiquée en entier.

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Inscription principale au titre :

Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) : gérer nos terres et protéger notre eau par la recherche à long terme à l'échelle des bassins hydrographiques : rapport final (2004-2013).

Publié aussi en anglais sous le titre : *Watershed Evaluation of Beneficial Management Practices (WEBS) : Managing our Land and Protecting our Water Through Long-Term Watershed-Scale Research : Final Report (2004-2013).*

Comprend des références bibliographiques.

No de catalogue A22-500/6-2016F-PDF

ISBN 978-0-660-05382-0

No AAC 12500F

HD1696 C3 W8414 2010 333.73'160971 C2010-980040-0

Ce rapport peut être cité comme suit :

Stuart, V. (ed). 2017. Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) : gérer nos terres et protéger notre eau par la recherche à long terme à l'échelle des bassins hydrographiques : rapport final (2004-2013). Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 5
RÉSUMÉ 6
CHAPITRE 1 **Contexte** 9
CHAPITRE 2 **Recherche biophysique** 19
CHAPITRE 3 **Économie** 32
CHAPITRE 4 **Modélisation hydrologique** 44
CHAPITRE 5 **Modélisation intégrée** 56
CHAPITRE 6 **Communications, diffusion et publications scientifiques de l'EPBH** 65
CHAPITRE 7 **Partenariats et collaboration** 74
CHAPITRE 8 **Bassin hydrographique de la rivière Salmon (C.-B.)** 82
CHAPITRE 9 **Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (Alb.)** 89
CHAPITRE 10 **Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (Sask.)** 98
CHAPITRE 11 **Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Man.)** 106
CHAPITRE 12 **Bassin hydrographique de la Nation Sud (Ont.)** 117
CHAPITRE 13 **Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette (Qué.)** 126
CHAPITRE 14 **Bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.)** 138
CHAPITRE 15 **Bassin hydrographique du ruisseau Thomas (N.-É.)** 148
CHAPITRE 16 **Bassin hydrographique de la rivière Souris (Î.-P.-É.)** 156
CHAPITRE 17 **Résumé et conclusions** 162
BIBLIOGRAPHIE 179
GLOSSAIRE 184
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES 191
REMERCIEMENTS 192

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 **Historique de l'EPBH** 11
TABLEAU 2 **Bassins hydrographiques de l'EPBH** 14
TABLEAU 3 **PGB évaluées dans chaque bassin hydrographique de l'EPBH** 16
TABLEAU 4 **Certaines PGB de l'EPBH montrant des tendances environnementales positives** . 24
TABLEAU 5 **Comparaison des résultats biophysiques entre les bassins hydrographiques** . . . 26
TABLEAU 6 **Méthodes de recherche économique de l'EPBH** 34
TABLEAU 7 **Résultats économiques de l'EPBH par bassin hydrographique et par PGB** 37
TABLEAU 8 **Modèles hydrologiques utilisés dans l'EPBH** 46
TABLEAU 9 **État d'avancement du volet de modélisation de l'EPBH** 51
TABLEAU 10 **Application locale et régionale des modèles** 57
TABLEAU 11 **Partenaires de l'EPBH par bassin hydrographique** 75
TABLEAU 12 **Autres initiatives auxquelles l'EPBH a collaboré** 80
TABLEAU 13 **Équipes de recherche de base de l'EPBH** 192

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 **Extrapolation potentielle des résultats de l'EPBH à une plus grande échelle** . . . 10

FIGURE 2 **Les neuf bassins hydrographiques de l'EPBH** 14

FIGURE 3 **Schéma du processus de modélisation dans l'EPBH** 49

FIGURE 4 **Applications possibles des résultats de la modélisation de l'EPBH** 53

FIGURE 5 **Cadre de modélisation intégrée de l'EPBH**. 57

FIGURE 6 **Échelles spatiale et temporelle des deux modèles hydrologiques du ruisseau Tobacco Sud** 59

FIGURE 7 **Structure de l'interface du système de modélisation hydroéconomique intégrée pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud** 60

FIGURE 8 **Nombre cumulatif d'articles basés sur la recherche de l'EPBH publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture depuis 2007** 73

FIGURE 9 **Modèle de schéma de recherche et de collaboration pour l'EPBH** 78

FIGURE 10 **Partie du schéma de recherche et de collaboration pour le projet de la rivière Lower Little Bow, avec l'àccent sur le volet de la recherche biophysique.** 79

FIGURE 11 **Bassin hydrographique de la rivière Salmon** 83

FIGURE 12 **Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow** 90

FIGURE 13 **Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone** 99

FIGURE 14 **Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud**. 107

FIGURE 15 **Bassin hydrographique de la Nation Sud** 118

FIGURE 16 **Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette** 127

FIGURE 17 **Bassin hydrographique du ruisseau Black** 139

FIGURE 18 **Bassin hydrographique du ruisseau Thomas** 149

FIGURE 19 **Bassin hydrographique de la rivière Souris** 157

Nous pensions avant que si nous connaissions un, nous connaissions deux, puisqu'un et un font deux. Or, nous découvrons qu'il nous faut en apprendre beaucoup plus sur « et ».

Sir Arthur Stanley Eddington
(astrophysicien dont les observations lors d'une éclipse
du soleil ont montré que la trajectoire de la lumière des étoiles
était infléchie, ce qui confirmait la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein)

AVANT-PROPOS

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) est heureux de présenter le rapport des activités et conclusions de son programme d'**Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH).** Le programme d'EPBH a été financé par les cadres stratégiques d'AAC, soit le *Cadre stratégique pour l'agriculture* et *Cultivons l'avenir*.

Ce rapport porte sur la totalité du programme d'EPBH, depuis ses débuts en avril 2004 jusqu'à sa fin en mars 2013. Il traite de chacun des neuf bassins hydrographiques de l'EPBH et récapitule les progrès et les constatations des recherches des volets biophysique, économique, de modélisation hydrologique et de modélisation intégrée.

Le premier chapitre campe le contexte et l'historique du programme. Les quatre chapitres suivants (chapitres 2 à 5) traitent des volets de recherche : évaluation biophysique, évaluation économique, modélisation hydrologique et modélisation intégrée. Les chapitres 6 et 7 traitent des communications et des partenariats du programme. Les neuf chapitres qui suivent (chapitres 8 à 16) résument la recherche menée sur les pratiques de gestion bénéfiques (PGB) dans les bassins, et le chapitre 17 présente les résumés, les conclusions et les enseignements tirés de la recherche. Il y a des redondances, puisque certains aspects du programme et certaines études intéressent plus d'un chapitre, mais chaque chapitre est autonome

Changements depuis le dernier rapport

En 2010, un rapport sommaire sur les quatre premières années de l'EPBH (2004–2008) a été publié sous le titre *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) : Pour une planification améliorée du paysage agricole*[1]. En plus des progrès importants réalisés dans les études déjà en cours, le programme de recherche de l'EPBH a pris de l'expansion depuis.

- Deux projets se sont ajoutés au réseau de l'EPBH :
  - le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (Sask.) (chapitre 10)
  - le bassin hydrographique de la rivière Souris (Î.-P.-É.) (chapitre 16)
- Les nouvelles PGB suivantes ont été évaluées dans les sept bassins étudiés à l'origine :
  - gestion de l'irrigation (bassin hydrographique de la rivière Salmon) (chapitre 8)
  - engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver (bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud) (chapitre 11)
  - bande riveraine ensemencée de panic érigé (bassin hydrographique de la rivière Bras d'Henri) (chapitre 13)
  - travail de conservation du sol (bassin hydrographique du ruisseau Fourchette) (chapitre 13)
  - mise à niveau de l'étang de retenue pour le captage des eaux de ruissellement et leur stockage pour une irrigation d'appoint (bassin hydrographique du ruisseau Thomas) (chapitre 15)
- D'autres méthodes économiques ont été employées pour évaluer les coûts et les avantages à la ferme et hors ferme des PGB, et de nouvelles études socioéconomiques ont été réalisées (chapitre 3).
- Des modèles hydrologiques nouveaux ou modifiés ont été utilisés pour l'évaluation des PGB (chapitre 4 et chapitre 5).

Pour plus d'informations sur le programme, consulter le site www.agr.gc.ca/epbh.

1 Stuart, V., D.B. Harker, T. Scott et R.L. Clearwater (dir). 2010. *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) : pour une planification améliorée du paysage agricole – examen quadriennal (2004/2005 – 2007/2008).* Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Ontario.

RÉSUMÉ

L'objectif de l'agriculture durable est de maintenir une productivité agricole élevée tout en préservant la qualité de l'environnement. À cette fin, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a lancé le programme d'Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) pour étudier certaines pratiques de gestion bénéfiques (PGB) à l'échelle de petits bassins. Lorsqu'il s'est terminé en 2013, le programme d'EPBH avait acquis une réputation nationale et internationale pour la qualité de sa recherche à l'échelle des bassins hydrographiques sur les performances environnementales et économiques des PGB agricoles.

Les chercheurs de l'EPBH de l'AAC et de plus de 70 organismes partenaires ont mené des recherches novatrices ayant pour objectif de faciliter la prise de décision sur l'utilisation des terres, aux niveaux de la ferme, du paysage et de la région. Les neuf projets du programme d'EPBH comprenaient des évaluations biophysiques des PGB, des évaluations économiques des coûts et des avantages des PGB et la modélisation hydrologique des PGB. Certains sites ont aussi fait l'objet d'une modélisation hydroéconomique intégrée. Ces « laboratoires vivants » représentaient des exploitations agricoles types et étaient situés dans des secteurs qui présentaient des problèmes agroenvironnementaux particuliers.

Le programme a appuyé l'industrie agricole du Canada en enrichissant la base de connaissances sur les PGB et en transférant des connaissances au sein de la communauté scientifique et aux producteurs, aux décideurs et aux autres intervenants. Les outils créés ou développés pourront aider les producteurs et les autres responsables de l'aménagement du territoire à s'appuyer sur les connaissances acquises grâce au programme d'EPBH pour prendre des décisions concernant les PGB, et qui aideront le gouvernement à élaborer des politiques et des programmes fondés sur la science pour favoriser et soutenir la mise en œuvre de PGB efficaces.

Les connaissances acquises et les outils précisent la valeur des PGB pour l'agriculture et l'environnement et nous rapprochent de l'objectif d'améliorer la qualité de l'eau au Canada.

Recherche biophysique (chapitre 2)

Les chercheurs en biophysique de l'EPBH ont fait appel à différentes méthodes scientifiques pour mesurer l'effet des PGB locales sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres environnementaux. Ils ont mené leurs travaux dans des exploitations agricoles et à l'échelle des bassins hydrographiques. Les résultats des recherches biophysiques de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer quelles sont les meilleures PGB pour leur exploitation et leur région.

L'échantillonnage de l'eau aux exutoires des bassins a aidé les chercheurs à déterminer l'impact cumulatif des PGB mises en œuvre.

La plupart des évaluations des PGB rapportent une réduction des charges d'éléments nutritifs et de sédiments dans les eaux de surface, ou l'amélioration d'autres indicateurs environnementaux. Les constatations des résultats de certaines PGB sont mitigées : les propriétés chimiques de l'eau et d'autres indicateurs environnementaux ont été améliorés, tandis que d'autres paramètres n'ont pas changé.

L'adoption de PGB pour corriger certains problèmes environnementaux a eu parfois des conséquences imprévues; en effet, l'amélioration d'un indicateur peut parfois se faire au détriment d'un autre.

Recherche économique (chapitre 3)

Les économistes qui ont collaboré au programme d'EPBH se sont servi de divers outils budgétaires et modèles économiques pour estimer les coûts de certaines PGB à la ferme ainsi que pour définir et évaluer les avantages des PGB à la ferme et hors ferme. Ils ont effectué une recherche socioéconomique pour connaître les attitudes et les comportements des producteurs et des ruraux (habitants des régions rurales qui ne sont pas des agriculteurs) concernant l'adoption de PGB. Dans le volet comportement des producteurs, une option d'enchères de conservation a été étudiée comme moyen de payer des producteurs pour qu'ils adoptent des PGB.

Les zones tampons riveraines ont été étudiées dans trois projets de l'EPBH.

Pour la plupart des PGB étudiées, les coûts de mise en œuvre ou d'entretien sont élevés. Toutefois, la plupart comporte des avantages pour la ferme qui peuvent compenser partiellement ou complètement ces coûts, à court ou à long terme. Dans le volet économique, neuf des trente-huit PGB évaluées ont des avantages nets positifs pour la ferme. Pour les PGB dont les avantages nets pour la ferme sont négatifs, il faudrait sans doute proposer des mesures incitatives aux producteurs pour les encourager à les adopter. Néanmoins, certaines PGB ont des avantages nets à peine négatifs qui ne nécessiteraient qu'un appui financier minimal.

L'EPBH a recensé des avantages hors ferme (publics), notamment l'amélioration de la qualité de l'eau en aval, la réduction de l'érosion, la séquestration du carbone, la biodiversité et l'offre d'activités récréatives. Presque toutes les PGB étudiées permettent de réduire la charge de contaminants des eaux de surface en aval.

Modélisation hydrologique (chapitre 4)

Pour les modélisations hydrologiques de l'EPBH, on a utilisé les données générées par le volet biophysique pour évaluer les processus par lesquels les éléments nutritifs et les sédiments des terres agricoles sont transportés dans les cours d'eau récepteurs, ainsi que les impacts de ces processus sur la performance des PGB.

Les modèles hydrologiques de l'EPBH ont aidé à mieux apprécier les conditions ambiantes et les processus en cours dans les bassins. Les modélisateurs ont employé des modèles informatiques existants et en ont créé ou adapté d'autres pour refléter des conditions locales ou des PGB particulières. L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été utilisé dans la plupart des projets de l'EPBH.

Les modélisateurs de l'EPBH ont réussi à simuler les processus hydrologiques et environnementaux et à évaluer les PGB structurales et non structurales. Plusieurs études de modélisation de l'EPBH ont donné de bons résultats en ce qui a trait à la prévision des débits et au transport des sédiments et des éléments nutritifs.

De façon générale, les constatations des études de modélisation de l'EPBH suggèrent que l'adoption de PGB se traduirait par une réduction des charges d'éléments nutritifs et de sédiments. Ces résultats, s'ils sont corroborés par une autre évaluation, seraient acceptables et pourraient être utilisés pour la conception, la sélection et l'évaluation de PGB, ou pour aider la prise de décision à l'égard des politiques et des programmes.

Modélisation intégrée (chapitre 5)

La modélisation intégrée facilite l'évaluation des avantages et des coûts des PGB dans les bassins hydrographiques agricoles. Le volet modélisation intégrée de l'EPBH consistait à incorporer des facteurs hydrologiques, économiques et sociaux (comportementaux) dans un cadre décisionnel pour l'évaluation et la présentation des effets environnementaux (qualité de l'eau), économiques (coûts et avantages) et sociaux (probabilité d'adoption des PGB) de la mise en œuvre de PGB. Un cadre de modélisation intégrée a été élaboré sous forme de projet pilote pour deux sites de l'EPBH. Les données hydrologiques et économiques de ces deux sites ont été entrées dans ces modèles.

Faits saillants sur les bassins hydrographiques (chapitre 17)

Parmi les conclusions et les enseignements tirés de la recherche interdisciplinaire menée pendant neuf années dans les neuf bassins, citons :

- la difficile conciliation des besoins du milieu aquatique avec l'utilisation d'eau en agriculture (bassin hydrographique de la rivière Salmon, C.-B.);
- la nécessité de sélectionner des PGB selon la voie majeure de transport des contaminants (eau souterraine ou eau de surface) (bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow, Alb.);
- la nécessité d'adapter les PGB aux systèmes de culture (bassin hydrographique du ruisseau Pipestone, Sask.);
- la valeur des ensembles de données historiques pour l'évaluation de la performance des PGB (bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, Man.);
- les avantages environnementaux et économiques d'une nouvelle PGB - drainage souterrain contrôlé (bassin hydrographique de la Nation Sud, Ont.);

- le rôle des facteurs liés au sol et au paysage sur la performance des PGB (bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette, Qué.);
- la performance des PGB lors de conditions météorologiques exceptionnelles (bassin hydrographique du ruisseau Black, N.-B.);
- le moment optimal de prise de décisions à la ferme (bassin hydrographique du ruisseau Thomas, N.-É.); et
- les problèmes de la contamination aux nitrates à l'interface du milieu agricole et du milieu marin (bassin hydrographique de la rivière Souris, Î.-P.-É.).

Faits saillants de la recherche (chapitre 17)

De nombreux enseignements ont été dégagés concernant les difficultés auxquelles les chercheurs se sont buttés et les leçons à en tirer. Cette information éclairera la planification des prochaines études qui seront réalisées à l'échelle de bassins hydrographiques :

- la constatation que les PGB pouvaient donner des résultats différents selon la région et qu'il faudrait les concevoir en fonction du mode de transport des contaminants et des autres problèmes propres à la région concernée;
- les défis posés par la conduite d'une recherche en plein air;
- l'incidence de l'utilisation des terres et des facteurs liés au paysage sur la capacité de détection de modifications de la qualité de l'eau par suite de l'adoption de PGB et l'avantage d'examiner plusieurs variables lors de l'étude de l'incidence des PGB sur la qualité de l'eau;
- les résultats inattendus ou intéressants qui peuvent être obtenus lors d'une recherche menée dans des systèmes complexes et dynamiques de bassins hydrographiques;
- la nécessité pour les chercheurs de faire preuve de souplesse dans leur approche, en particulier lorsqu'ils étudient des recherches basée sur les écosystèmes ou la recherche sur des exploitations agricoles.

Répercussions pour les politiques et programmes (chapitre 17)

Les recherches menées dans le cadre de l'EPBH ont permis d'acquérir des connaissances utiles sur les avantages et les coûts des PGB ainsi que sur les attitudes et les comportements des producteurs à l'égard des PGB. Parmi les renseignements et les outils issus de l'EPBH susceptibles d'éclairer l'élaboration de politiques et de programmes qui encouragent l'adoption de PGB efficaces, notons :

- les facteurs socioéconomiques influençant les décisions des producteurs relativement à l'adoption de PGB;
- les données économiques indiquant la nécessité d'offrir des mesures incitatives pour encourager l'adoption de PGB par les producteurs, ainsi que l'information sur les options de politiques et de programmes qui permettraient d'offrir ces mesures;
- la nécessité de concentrer la mise en œuvre des PGB dans les zones du territoire qui en profiteraient le plus, ainsi que les outils utiles pour la détermination de ces zones;
- l'information sur l'impact du programme d'EPBH sur le comportement des producteurs, à savoir s'ils ont été effectivement incités à adopter des PGB ou à continuer d'utiliser les PGB mises en œuvre.

L'avenir de la recherche sur les PGB à l'échelle des bassins hydrographiques (chapitre 17)

En raison de la complexité des facteurs paysagers, climatiques et agronomiques, il faut parfois plusieurs années avant de pouvoir détecter une réponse de l'écosystème à l'adoption de PGB. L'étude de l'efficacité des PGB adoptées exige donc des recherches à long terme, comme celles qui furent menées dans le cadre de l'EPBH, pour comprendre les résultats globalement obtenus à l'échelle d'un bassin hydrographique. Heureusement, les infrastructures et les partenariats qui ont été établis dans le cadre du programme d'EPBH ont facilité la poursuite de recherches semblables dans bon nombre des sites de projet ainsi que dans d'autres bassins hydrographiques, grâce à des fonds du programme Agri-innovation de *Cultivons l'avenir 2* ou d'autres sources.

Même si le programme d'EPBH a pris fin, les renseignements recueillis grâce aux projets demeurent pertinents et importants, et les résultats du programme peuvent encore être communiqués et utiles. Les résultats de l'EPBH continuent d'être publiés dans des revues à comité de lecture et communiqués par d'autres moyens. À travers les communautés de pratique et les réseaux de recherche concertée créés dans le cadre de l'EPBH, les connaissances acquises jusqu'à présent et les résultats de recherches analogues renforceront la productivité et la durabilité du secteur agricole.

CHAPITRE

1

Contexte

INTRODUCTION

L'objectif de l'agriculture durable est de maintenir une productivité agricole élevée tout en préservant la qualité de l'environnement. À cette fin, le programme d'Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) a été lancé pour étudier certaines pratiques de gestion bénéfiques (PGB) agricoles à l'échelle de petits bassins hydrographiques.

Dirigés par Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), les chercheurs de l'EPBH ont mené des recherches multidisciplinaires et interdisciplinaires novatrices qui visaient à faciliter les décisions d'utilisation des terres aux niveaux de la ferme, du paysage et de la région. Dans les neuf projets de l'EPBH, ils ont effectué des évaluations biophysiques des PGB, des évaluations économiques des coûts et avantages des PGB et une modélisation hydrologique reliée aux PGB. À certains sites, ils ont aussi réalisé une modélisation hydrologique et économique intégrée.

Les termes multidisciplinaire et interdisciplinaire

La recherche menée dans le cadre du programme d'EPBH est à la fois multidisciplinaire et interdisciplinaire. La recherche était multidisciplinaire, car des chercheurs de diverses disciplines ont mené leur propre type de recherche, de façon indépendante, pour l'atteinte d'un but commun. Mais elle était aussi interdisciplinaire, car ces chercheurs d'horizons divers ont collaboré de manière intégrée à une œuvre commune, soit l'étude de la performance des PGB à l'échelle de bassins hydrographiques.

Les définitions des deux termes varient selon les dictionnaires, et les différences entre les deux termes sont parfois subtiles. Les deux termes sont donc employés dans le rapport.

Des chercheurs de l'EPBH de multiples disciplines ont collaboré à l'étude de l'efficacité des PGB.

Pourquoi évaluer les PGB à l'échelle des bassins hydrographiques?

Pendant de nombreuses années, les programmes agroenvironnementaux ont fait la promotion des PGB en les présentant comme des pratiques éprouvées. Or, les coûts et les avantages des PGB pour l'environnement étaient rarement évalués au-delà du contrôle de petites parcelles expérimentales et de champs; les résultats de ces études ayant été extrapolés à l'échelle du bassin hydrographique. Rares sont les PGB qui avaient fait l'objet d'une évaluation à l'échelle du bassin hydrographique, où les effets combinés des sols, de la topographie, de la couverture terrestre et de l'utilisation des terres pouvaient pourtant modifier considérablement les résultats. Le programme d'EPBH a été créé pour combler ces lacunes et étudier l'efficacité des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques et des exploitations agricoles.

Un bassin hydrographique est un système délimité naturellement qui est beaucoup plus complexe qu'un laboratoire ou une parcelle de terrain. Comme le bassin hydrographique est défini par son système hydrologique, c'est à cette échelle, et non sur les frontières politiques, qu'il est le plus logique d'effectuer une recherche sur la qualité de l'eau et de gérer les ressources en eau. Les bassins hydrographiques sont des laboratoires vivants qui permettent aux chercheurs d'étudier les processus auxquels sont soumis les paysages et leur interaction avec les pratiques d'utilisation des terres. L'étude d'un ensemble de PGB à l'échelle de la ferme ou du bassin hydrographique aide à comprendre les incidences de l'emplacement, du moment de mise en œuvre et de la combinaison de PGB sur la qualité de l'eau et leurs effets cumulatifs.

Les données collectées dans un sous-bassin hydrographique peuvent être extrapolées à une plus grande échelle, soit celle à laquelle les décisions se prennent. La figure 1 illustre comment on peut extrapoler les données d'un sous-bassin du Manitoba à l'échelle du bassin du ruisseau Tobacco Sud, voire à l'échelle du bassin du lac Winnipeg (échelle à laquelle les gouvernements et les autres acteurs s'efforcent de réduire les charges d'éléments nutritifs dans le lac).

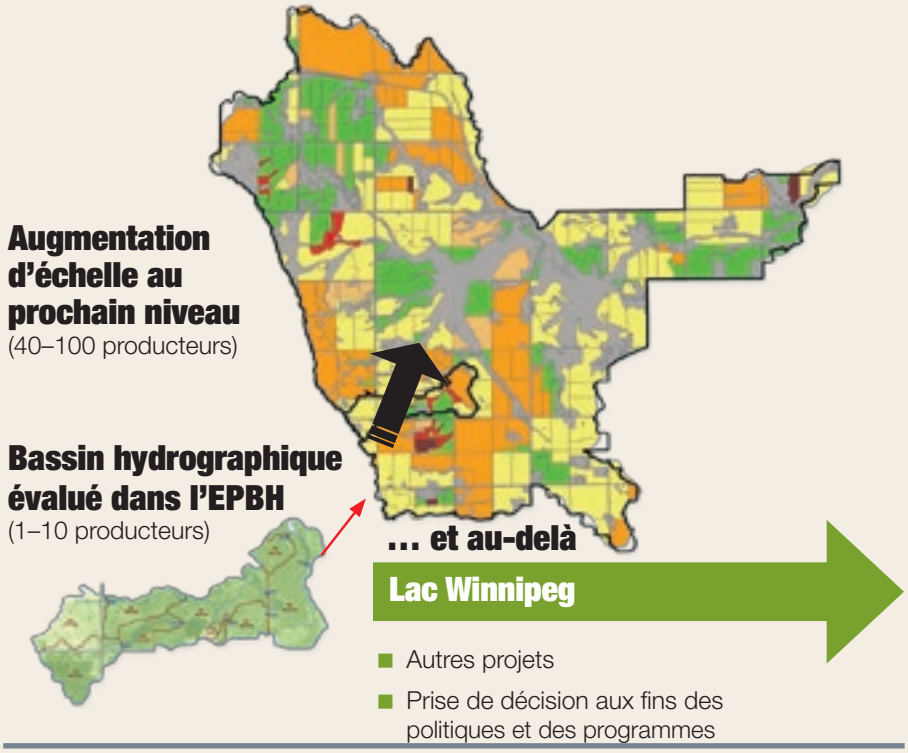


FIGURE 1
Extrapolation potentielle des résultats de l'EPBH à une plus grande échelle

L'EPBH a appuyé le secteur agricole canadien en enrichissant les connaissances sur les PGB et en contribuant au transfert des connaissances scientifiques acquises au sein de la communauté scientifique, aux producteurs, aux décideurs et aux autres intervenants. Les connaissances scientifiques acquises et certains des outils élaborés ou présentés dans le cadre du programme d'EPBH peuvent éclairer les décisions des producteurs et d'autres responsables de l'aménagement du territoire relativement à l'adoption de PGB, et orienter l'élaboration de politiques et de programmes gouvernementales qui encouragent la mise en œuvre de PGB efficaces.

Les connaissances acquises et les outils utilisés dans le cadre de cette étude ont précisé la valeur des PGB pour l'agriculture et l'environnement et peuvent servir à améliorer la qualité de l'eau au Canada.

HISTORIQUE DE L'EPBH

Le programme d'EPBH a été instauré en 2003 en appui de l'engagement d'AAC à protéger l'environnement. L'EPBH était une initiative figurant dans le chapitre sur l'environnement du *Cadre stratégique pour l'agriculture* (CSA), accord fédéral-provincial-territorial qui était en vigueur de 2003 à 2008. Le CSA visait à faire du Canada un chef de file mondial en matière de salubrité et de qualité des aliments, d'innovation et de production alimentaire respectueuse de l'environnement.

Durant la phase CSA, l'EPBH a étudié la performance des PGB dans sept bassins hydrographiques. En raison de la nature à long terme de la recherche à l'échelle de bassins hydrographiques et du temps requis pour mesurer les effets des PGB sur le paysage, le programme a été reconduite de 2009 à 2013 sous *Cultivons l'avenir*, cadre d'AAC ayant succédé au CSA. La recherche portant sur les sept bassins hydrographiques de l'étude initiale s'est poursuivie et a été élargie et deux nouveaux sites ont été ajoutés.

Au terme de *Cultivons l'avenir*, les sept projets initiaux de l'EPBH avaient duré neuf années, et les deux nouveaux sites avaient fait l'objet de quatre années de recherche.

À sa fin en 2013, le programme d'EPBH avait acquis une réputation nationale et internationale en raison de la qualité de sa recherche à l'échelle des bassins hydrographiques, et d'autres promoteurs d'initiatives souhaitaient collaborer aux projets de l'EPBH. Ainsi, des travaux semblables à ceux qui avaient été menés dans le cadre du programme d'EPBH se poursuivent à un grand nombre des sites des anciens projets ainsi que dans d'autres bassins hydrographiques, financés par le programme Agri-innovation de *Cultivons l'avenir 2*. Ainsi les résultats collectés sur les anciens sites de projets de l'EPBH continueront d'être publiés dans des revues canadiennes et étrangères, et d'être diffusés par d'autres moyens de communication et de vulgarisation.

Le tableau 1 résume les progrès et les réussites de l'EPBH durant toute son histoire, de 2003 à 2013.

TABLEAU 1
Historique de l'EPBH

PHASE DU CADRE STRATÉGIQUE POUR L'AGRICULTURE (CSA) (2003–2008)	**2003**	■ Sélection de sept bassins hydrographiques à l'issue d'un appel de propositions. ■ Création d'une équipe de recherche multidisciplinaire par bassin hydrographique.
	2004–2005[2]	■ Conception d'expériences biophysiques par les responsables de recherche de l'EPBH pour l'évaluation de l'efficacité environnementale des PGB. ■ Achat et installation de matériel de surveillance. ■ Établissement de partenariats avec des groupes de gestion de bassin hydrographique et des chercheurs universitaires pour assurer la communication avec les producteurs participants, la mise en œuvre des PGB ainsi que la collecte et l'analyse des données. ■ Mise en œuvre de PGB aux sites pour lesquels on possède des données sur leur état avant intervention. Aux autres sites, collecte de données pour documenter leur état initial.
	2005–2006	■ Mise en œuvre d'autres PGB, poursuite de la surveillance et modification des plans de recherche, au besoin. ■ Démarrage des volets de la modélisation économique, hydrologique et intégrée.
	2006–2007	■ La plupart des PGB ont été pleinement mises en œuvre. ■ Signature d'accords de contribution avec des partenaires pour la réalisation d'études économiques et de modélisation. ■ Sélection d'un économiste et d'un spécialiste de la modélisation par bassin hydrographique, et mise sur pied de comités d'analyse économique et de modélisation.
	2007–2008	■ Deux à trois années de données biophysiques ont été collectées pour tous les sites du projet. ■ Deuxième année des évaluations économiques. ■ Les modèles hydrologiques sont en cours d'élaboration. ■ Début de la rédaction des rapports de projets.

2 La période du 1er avril 2004 au 31 mars 2005 correspond à l'exercice financier du gouvernement du Canada.

PROLONGATION DU FINANCEMENT (2008/09)	**2008–2009**	■ Au terme du CSA, des fonds prolongent le financement du l'EPBH en attendant la finalisation du nouveau cadre stratégique pour l'agriculture. ■ Poursuite de la recherche aux sept sites initiaux, élargissement et modifications des études de l'EPBH. ■ Publication de rapports techniques sur les résultats des évaluations biophysiques et économiques et de la modélisation. ■ Embauche de consultants pour la rédaction de rapports sommaires sur les volets analyse économique et modélisation.
PHASE *CULTIVONS L'AVENIR* (2009–2013)	**2009–2010**	■ Ajout de PGB à certains des sept projets initiaux, et abandon de certaines PGB de la phase du CSA. ■ Pour plusieurs sites, l'étude économique de l'EPBH passe de la détermination des coûts des PGB à une approche axée sur le revenu net de l'exploitation qui tient compte des avantages pour la ferme de l'adoption de PGB. Étude des avantages hors ferme (publics) pour plusieurs bassins. ■ Les modélisateurs hydrologiques de l'EPBH continuent d'adapter et de tester leurs modèles. Certains essaient d'extrapoler les résultats de l'EPBH à l'échelle de plus grands bassins. ■ Poursuite de la mise au point de modèles hydrologiques-économiques intégrés à certains sites de projets de l'EPBH. ■ Début de la planification des expériences, installation de l'équipement de surveillance et collecte de données préalable à la mise en œuvre des PGB aux deux nouveaux sites. ■ Publication d'un rapport de l'examen quadriennal[3] et des résumés techniques[4,5,6] basés sur les résultats de la première phase du projet en mars 2010.
	2010–2011	■ Démarrage de la mise en œuvre des PGB, de la surveillance, des évaluations économiques et de la modélisation hydrologique aux nouveaux sites. ■ Élaboration de plusieurs produits de communication sur les conclusions des études à l'intention de divers publics.
	2011–2012 et 2012–2013	■ Publication de nombreux résultats des volets biophysiques, économiques et de modélisation de l'EPBH dans des revues scientifiques à comité de lecture. ■ Communication de ces résultats au moyen de nombreux autres produits et activités aux producteurs, aux décideurs des politiques et des programmes, aux intervenants et à la population canadienne. ■ Début de rédaction des rapports finaux des résultats et des réalisations de l'EPBH. ■ De nombreux chercheurs de l'EPBH ont soumis des propositions pour poursuivre des projets recherche par bassin hydrographique semblables dans le cadre des initiatives de financement nouvelles ou différentes, comme ceux offerts par *Cultivons l'avenir 2* d'AAC.

3 Stuart, V., D.B. Harker, T. Scott et R.L. Clearwater (dir). 2010. *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH) : pour une planification améliorée du paysage agricole – examen quadriennal (2004/5 – 2007/8)*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

4 Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2010. *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH), Résumé technique no 1 – Volet biophysique – examen quadriennal (2004/5-2007/8)*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

5 Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2010. *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH), Résumé technique no 2 – Volet économique – examen quadriennal (2004/5-2007/8)*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

6 Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2010. *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH), Résumé technique no 3 – Volets modélisation hydrologique et modélisation intégrée – examen quadriennal (2004/5-2007/8)*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

Pourquoi mener de la recherche à long terme sur les bassins hydrographiques?

Les processus écologiques sont des processus lents et dynamiques (p. ex. les changements d'état de santé des sols et des végétaux, le devenir et le transport des éléments nutritifs). Les réponses physiques, chimiques ou biologiques à une PGB qui est mise en place dans le paysage peuvent prendre des années à se manifester.

La variabilité des conditions météorologiques à court et à long terme (p. ex. sécheresse ou humidité excessive annuelle, changement climatique à long terme) peut influer sur la performance des PGB. L'observation de cette variabilité peut aider à évaluer la performance d'une PGB sous diverses conditions climatiques.

Les changements d'utilisation des terres (p. ex. rotation des cultures, plan de gestion pluriannuel des éléments nutritifs, densité du bétail) posent aussi des défis en recherche, car il faut du temps pour les étudier. Par exemple, il faudra peut-être répéter le travail de conservation du sol plusieurs années d'affilée pour incorporer suffisamment de matière organique dans le sol et considérer que cette PGB a été pleinement mise en œuvre. Dans le même ordre d'idée, la recherche sur la culture de la pomme de terre ne pourra être menée qu'aux trois ans parce que cette culture est plantée une fois dans une rotation triennale des cultures.

L'interprétation des données à court terme peut être trompeuse si on ne tient pas compte de l'effet modérateur des tendances à long terme. Il faut collecter suffisamment de données pour obtenir des résultats qui sont statistiquement significatifs.

Une fois qu'on a installé des appareils de mesure dans un bassin hydrographique et qu'on y collecte des données de référence, on peut y mettre à l'essai de nouvelles PGB.

Il faut mener de la recherche à long terme à l'échelle du bassin hydrographique pour mieux comprendre l'efficacité des PGB.

SÉLECTION DES PROJETS

Cadre stratégique pour l'agriculture

En décembre 2003, AAC a lancé un appel de propositions pour la conduite d'études sur des PGB à l'échelle de bassins hydrographiques dans le cadre du programme d'EPBH. Les propositions ont été évaluées en regard des critères de sélection suivants pour les sites :

- la taille, l'emplacement et l'existence d'une voie d'accès praticable en tout temps pour le petit site d'étude et au bassin hydrographique auquel il appartient;
- la possibilité de recherche collaborative soutenue et la disponibilité de données sur le débit et la qualité de l'eau à long terme;
- l'intensité des activités agricoles et l'utilisation des terres à l'intérieur du bassin, et la quantité et la régularité des eaux de ruissellement;
- le degré d'intérêt et d'appui des agriculteurs et des habitants du bassin;
- la capacité d'évaluer l'efficacité des PGB.

Sur les treize propositions soumises, sept ont été retenues.

Initiative dans le cadre de Cultivons l'avenir

À la suite d'un processus d'appel de propositions, les sept projets initiaux et deux nouveaux projets en Saskatchewan et à l'Île-du-Prince-Édouard ont été approuvés (figure 2, tableau 2). Les critères minimaux auxquels devaient satisfaire les projets étaient les suivants :

- le promoteur du projet devait être un employé d'AAC;
- les projets devaient inclure des volets d'évaluation biophysique, d'analyse économique et de modélisation hydrologique;
- l'emplacement et la nature des projets devaient permettre de combler des lacunes du réseau de l'EPBH en matière de paysages ou de connaissances.

Des critères de sélection de site plus détaillés ont aussi été inclus pour les deux nouveaux sites proposés.

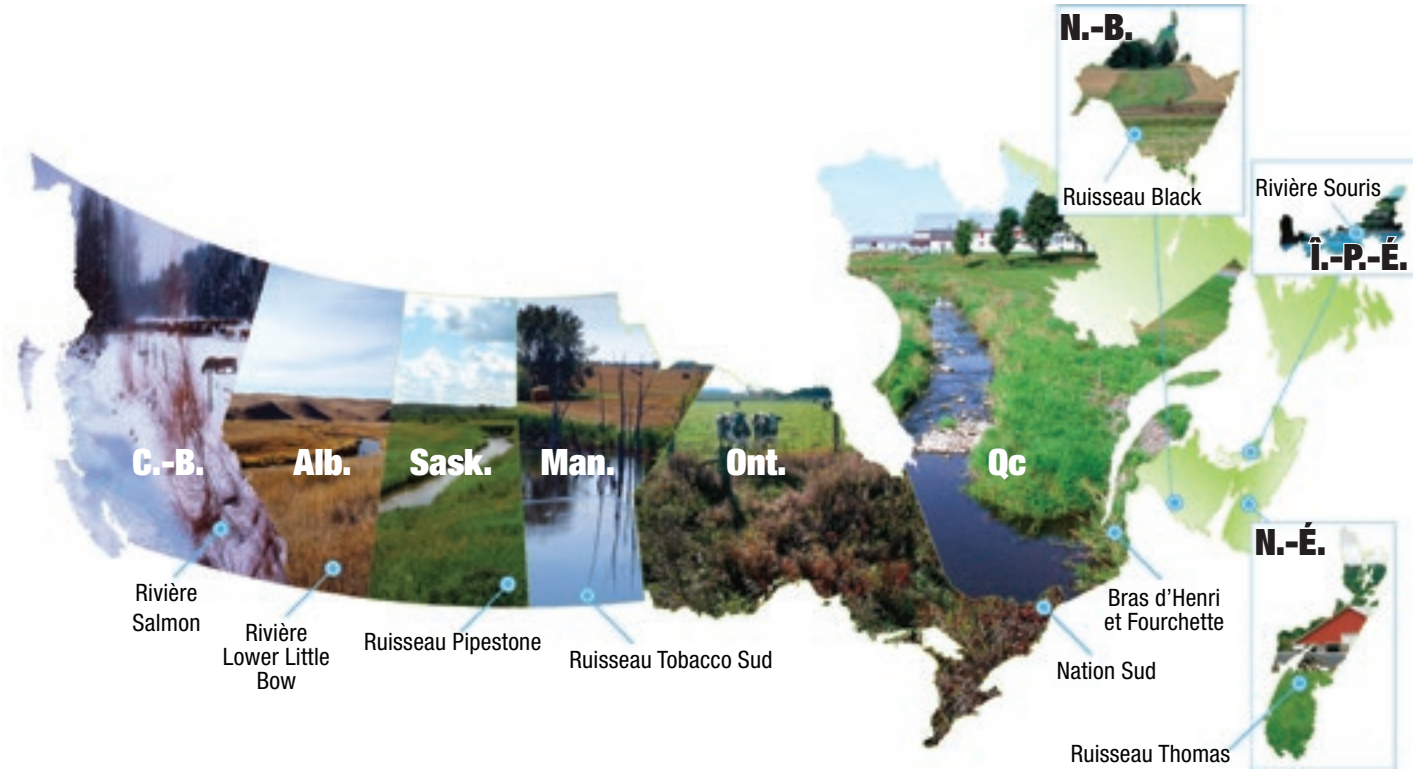


FIGURE 2
Les neuf bassins hydrographiques de l'EPBH

TABLEAU 2
Bassins hydrographiques de l'EPBH

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	EMPLACEMENT	RESPONSABLE(S) DU BASSIN	DÉBUT DE LA RECHERCHE DE L'EPBH
Rivière Salmon	Près de Kamloops, C.-B.	Klaas Broersma et Bruce Roddan	2004
Rivière Lower Little Bow	Près de Lethbridge, Alb.	Jim Miller	2004
Ruisseau Pipestone	Près de Moosomin, Sask.	Barbara Cade-Menun	2009
Ruisseau Tobacco Sud	Près de Miami, Man.	Jim Yarotski	2004
Nation Sud	Près d'Ottawa, Ont.	David Lapen	2004
Bras d'Henri et Fourchette	Près de Québec, Qué.	Eric van Bochove et Georges Thériault	2004
Ruisseau Black	Près de Grand-Sault, N.-B.	Lien Chow, Herb Rees et Sheng Li	2004
Ruisseau Thomas	Près de Kentville, N.-É.	Dale Hebb	2004
Rivière Souris	Près de Souris, Î.-P.-É.	Rollin Andrew, Terra Jamieson et Yefang Jiang	2009

Les deux projets qui ont été ajoutés à l'EPBH sous *Cultivons l'avenir* étaient :

- le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone dans le sud-est de la Saskatchewan – région des fondrières des Prairies;
- le bassin hydrographique de la rivière Souris à l'Île-du-Prince-Édouard – paysage à l'interface du milieu agricole et du milieu maritime.

Le projet du bassin du ruisseau Pipestone consistait à mesurer l'efficacité de quatre PGB, adaptées à la région, à réduire le transfert d'éléments nutritifs et de sédiments des champs aux eaux réceptrices.

Dans le projet du bassin de la rivière Souris, les études de PGB qui ont été retenues visaient à réduire les pertes d'azote qui se retrouvent dans les nappes phréatiques peu profondes et les eaux de surface.

Fondrière dans le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (Sask.)

Bassin hydrographique de la rivière Souris (Î.-P.-É.)

Les deux projets comprenaient une analyse économique et une modélisation hydrologique. Voir le chapitre 10 (ruisseau Pipestone) et le chapitre 16 (rivière Souris) pour plus de renseignements.

SÉLECTION DES PGB

Aux fins de l'EPBH, une PGB s'entend d'une technique agricole visant à réduire les impacts négatifs sur l'environnement. Un ensemble de PGB ont été appliquées dans chacun des neuf sites de recherche de l'EPBH (tableau 3). Les chercheurs ont étudié la performance environnementale et économique de ces PGB à l'échelle d'un petit bassin hydrographique (en général, de moins de 2 500 ha).

Chacun des neuf sites de projet a un paysage, un climat, des pratiques agricoles et des enjeux socioéconomiques et agroenvironnementaux complexes qui lui sont propres. Des PGB et des méthodes de recherche ont été choisies pour s'attaquer à ces problèmes locaux et régionaux. Voir le chapitre 2 pour plus de renseignements sur la sélection des PGB et sur les méthodes de recherche biophysique.

TABLEAU 3

Les PGB qui ont été évaluées dans chaque bassin hydrographique de l'EPBH

		C.-B.	Alb.	Sask.	Man.	Ont.	Qué.	N.-B.	N.-É.	Î.-P.-É.
	PGB évaluées	**Rivière Salmon**	**Rivière Lower Little Bow**	**Ruisseau Pipestone**	**Ruisseau Tobacco Sud**	**Nation Sud**	**Bras d'Henri et Fourchette**	**Ruisseau Black**	**Ruisseau Thomas**	**Rivière Souris**
ZONE RIVERAINE	Clôture d'exclusion des bovins (et abreuvoir à l'écart des cours d'eau)	✓	✓			✓			✓	
	Abreuvoir à l'écart des cours d'eau (sans clôture)		✓							
	Gestion de la végétation riveraine				✓					
CHAMPS	Apport et gestion des éléments nutritifs (engrais commercial ou fumier)		✓	✓			✓		✓	
	Travail du sol et gestion des résidus de culture				✓		✓			✓
	Rotation des cultures						✓			
	Couverture végétale pérenne		✓	✓	✓					
	Utilisation réduite d'herbicides						✓			
	Engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver			✓	✓					
	Gestion de l'irrigation	✓								
EAUX DE RUISSELLEMENT ET DÉCHARGES	Déviations et voies d'eau gazonnées							✓		
	Gestion du ruissellement de surface						✓			
	Bandes tampons		✓				✓	✓		
	Gestion du ruissellement agricole								✓	
	Étang de retenue du ruissellement				✓				✓	
	Petits barrages et réservoirs				✓					
	Rétablissement des milieux humides			✓						
	Drainage souterrain contrôlé					✓				

VOLETS DE RECHERCHE SUR LES PGB

Les recherches menées à chacun des neuf sites de l'EPBH au Canada comprenaient les volets suivants :

- Des ***évaluations biophysiques***, au moyen de diverses méthodes scientifiques, visant à mesurer l'impact d'une ou de plusieurs PGB sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres environnementaux à l'échelle du bassin hydrographique (chapitre 2).
- Des ***évaluations économiques***, visant à étudier les coûts, les avantages et les considérations socioéconomiques associées à la mise en œuvre de PGB (chapitre 3).
- La ***modélisation hydrologique***, au moyen des données issues du volet biophysique, visant à évaluer les processus par lesquels les éléments nutritifs et les sédiments sont transportés par l'eau des terres agricoles aux cours d'eau récepteurs, et l'impact de ces processus sur l'efficacité des PGB (chapitre 4).
- L'***augmentation d'échelle***, par modélisation informatique, pour tenter d'extrapoler les résultats d'un petit bassin à l'échelle du bassin hydrographique intermédiaire et du bassin régional (chapitre 4).

La **modélisation intégrée** combine des variables hydrologiques et économiques en un outil d'aide à la décision pour la planification du bassin hydrographique à long terme. Des cadres de modélisation intégrée ont été créés pour deux sites de l'EPBH (le bassin du ruisseau Tobacco Sud (Man.) et le bassin hydrographique du Bras d'Henri (Qué.). Pour quelques autres sites de l'EPBH, on a intégré des données hydrologiques, biophysiques et économiques par la modélisation ou le partage de renseignements (chapitre 5).

RESSOURCES ALLOUÉES AU PROGRAMME

De 2004 à 2013, AAC a fourni plus de 25 millions de dollars au programme d'EPBH, par l'allocation de fonds de contribution aux partenaires et de financement direct aux chercheurs d'AAC. D'autres contributions en argent ont aussi été reçues de partenaires, la plus importante étant les 1,25 million de dollars offerts par Canards Illimités Canada, montant qui fut utilisé pour volet modélisation de l'EPBH durant la phase du CSA. Outre les apports en argent, d'importantes contributions en nature ont été fournies par des partenaires externes collaborant aux projets. Ces diverses contributions ont donné les moyens aux employés et aux partenaires d'AAC travaillant à l'EPBH de mener des recherches en collaboration et d'effectuer les analyses nécessaires à la réussite du programme.

COLLABORATION MULTIORGANISME ET INTERNATIONALE

L'EPBH était un programme interdisciplinaire de recherche à l'échelle des bassins hydrographiques auquel ont participé des spécialistes en recherche agricole, biophysique et hydrographique, en économie, en hydrologie et en modélisation. Plus de 70 organismes, dont des universités et collèges canadiens et étrangers, des groupes de conservation et d'autres organisations non gouvernementales, le département de l'Agriculture des États-Unis, les administrations provinciales et municipales, AAC et d'autres ministères fédéraux, ont apporté leur expertise. Voir le chapitre 7 pour plus de renseignements sur les partenariats et les collaborations de l'EPBH.

La diversité des compétences était un point fort du programme, et elle a donné une recherche collaborative de grande qualité. Le soutien et le concours exceptionnels des producteurs locaux ont été une autre clé du succès de l'EPBH.

La recherche collaborative et le partage des données avec d'autres groupes étaient aussi encouragés dans les projets de l'EPBH. Un Protocole de travail en collaboration sur les bassins hydrographiques et un Protocole d'accès aux données ont facilité les ententes, tout en veillant à ce que les propositions soient complémentaires aux objectifs de l'EPBH et compatibles avec les activités en cours des équipes de recherche des bassins hydrographiques locaux, et en reconnaissant la priorité des chercheurs de l'EPBH de publier leurs résultats. Le chapitre 7 donne des exemples des collaborations nationales et internationales du programme de l'EPBH.

Partenaires de l'EPBH

Une part importante des fonds d'AAC alloués à la recherche de l'EPBH était sous forme de fonds de contribution. Des ententes de contribution ont été conclues avec plusieurs universités, collèges et groupes de conservation qui ont apporté à chaque projet d'EPBH une importante expertise technique et un soutien sur place.

La plupart des travaux d'analyse économique et de modélisation de l'EPBH ont été rendus possibles grâce à ces partenariats, par lesquels s'est aussi accompli l'essentiel de la mise en œuvre des PGB, de la surveillance et des communications avec les producteurs. Ces partenariats ont donné beaucoup de robustesse au programme.

Les partenaires ont fourni une importante expertise technique et du soutien sur place aux projets.

APPLICABILITÉ DE LA RECHERCHE DE L'EPBH

Producteurs

Les résultats des études de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer quelles sont les meilleures PGB pour leurs exploitations et leurs régions sur les plans environnemental et économique. Voir le chapitre 17 pour des exemples de l'effet des PGB sur les attitudes et les comportements des producteurs vis-à-vis des PGB.

Politiques et programmes

Les produits de la recherche biophysique et de la modélisation de l'EPBH peuvent orienter l'élaboration de politiques agroenvironnementales et les programmes en renseignant les décideurs sur les performances des PGB et leur emplacement optimal. Les évaluations économiques de l'EPBH ont déterminé les PGB qui pouvaient nécessiter des mesures incitatives ou devraient être réglementées pour encourager les producteurs à les adopter, ainsi que certains des facteurs qui influencent les producteurs dans l'adoption de PGB. Ces données environnementales et économiques peuvent se traduire par l'inclusion ou l'exclusion de PGB dans des programmes à frais partagés ou d'autres mécanismes de financement des PGB. Elles peuvent aussi influer sur les lignes directrices ou les règlements relatifs aux pratiques agricoles, comme la largeur recommandée des bandes tampons riveraines ou la gestion des éléments nutritifs. Voir le chapitre 17 pour des exemples des incidences qu'ont eues les résultats de l'EPBH sur les politiques et les programmes.

COMMUNICATIONS ET SENSIBILISATION

Le transfert des connaissances sur les PGB aux producteurs et aux autres intervenants était un objectif important du programme d'EPBH. Les participants aux projets et les autres personnes intéressées ont été informés au moyen d'un éventail de techniques et de produits de communication et d'information. Voir le chapitre 6 pour plus de renseignements sur les produits et les activités de communication de l'EPBH. Voir le site www.agr.gc.ca/epbh pour plus de renseignements sur les publications et les présentations de l'EPBH.

AVENIR DE LA RECHERCHE DES PGB À L'ÉCHELLE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Une réalisation importante de l'EPBH a été la formation d'un réseau de laboratoires axés sur l'agriculture à l'échelle des bassins hydrographiques, et les services de ces sites sont disponibles pour la recherche actuelle et future partout au Canada. Même si le programme d'EPBH a pris fin le 31 mars 2013, des études semblables se poursuivent dans le cadre de nouveaux programmes de recherche agroenvironnementale d'AAC et sont menés par des organismes d'autres paliers de gouvernement et des organisations non gouvernementales. Certaines de ces études sont menées sur d'anciens sites des projets de l'EPBH où des infrastructures, des ensembles de données et des partenariats sont déjà en place. Idéalement, ces sites resteront des points de référence à long terme pour la surveillance et l'évaluation de la santé des bassins hydrographiques, et les réseaux d'échange de pratiques qui se sont formés du temps de l'EPBH survivront.

Indépendamment de la recherche future aux sites de l'EPBH, les chercheurs, les partenaires et le personnel d'AAC veillent à ce que les renseignements et les résultats des projets de l'EPBH continuent d'être communiqués de différentes façons. Ce transfert continu des connaissances assurera la poursuite des objectifs du programme d'EPBH dans l'avenir.

CHAPITRE

2

Recherche biophysique

RÉSUMÉ

Les chercheurs en biophysique de l'EPBH ont fait appel à différentes méthodes scientifiques pour mesurer l'effet des PGB locales sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres environnementaux. Ils ont mené leurs travaux dans des fermes en activité et à l'échelle de bassins hydrographiques. Les résultats des recherches biophysiques de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer quelles sont les meilleures PGB pour leur exploitation et leur région, et orienter les politiques agroenvironnementales et les processus décisionnels.

On a démontré que la majorité des PGB évaluées dans le cadre de l'EPBH permettaient de réduire la charge de contaminants des eaux de surface. Certains résultats étaient mitigés : on a constaté que certains paramètres environnementaux s'amélioraient tandis que d'autres n'affichaient pas d'amélioration concluante, voire qu'ils se détérioraient. De plus, il arrivait que l'amélioration d'un paramètre se fasse au détriment d'un autre.

Bien que l'EPBH ne vise pas à comparer directement la performance d'une PGB dans différents bassins, certaines PGB étudiées dans plus d'un bassin ont fait l'objet de comparaisons.

Voir les chapitres 8 à 16 pour plus de renseignements sur les recherches biophysiques menées dans chaque bassin.

INTRODUCTION

Dans le volet biophysique de l'EPBH, les chercheurs ont mesuré l'impact d'une PGB ou d'un ensemble de PGB sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres environnementaux à l'échelle d'un bassin hydrographique relativement petit (d'une superficie généralement inférieure à 25 km^2). Les sites de sous-bassins étudiés pour la modélisation et la conduite d'autres recherches de l'EPBH se trouvaient dans des bassins plus étendus (d'une superficie de 8 à 3 900 km^2).

Les bassins hydrographiques de l'EPBH ont été choisis parce qu'ils avaient déjà fait l'objet d'études ou parce que le débit ou la qualité de l'eau avaient déjà fait l'objet de suivis, et parce que certaines données hydrologiques et économiques avaient déjà été recueillies avant la mise en place des PGB. Les données collectées avant et pendant l'EPBH ont été utilisées pour évaluer l'efficacité des PGB, pour étalonner et valider des modèles hydrologiques et pour déterminer les coûts et les avantages des PGB étudiées. Les données de terrain ont servi à compléter les données de la littérature et à renforcer les conclusions et le degré de confiance dans les extrants des modèles.

SÉLECTION ET RECHERCHE DES PGB

Les PGB et les méthodes de recherche ont été sélectionnées en fonction du paysage, du climat, des pratiques agricoles et des enjeux socioéconomiques et agroenvironnementaux complexes propres à chacun des sites de recherche de l'EPBH.

Les neuf sites de projet d'EPBH se distinguent par des paysages et des problèmes agroenvironnementaux qui leur sont propres.

Toutes les PGB ne conviennent pas à toutes les régions. Par exemple, les déviations que les producteurs de pommes de terre aménagent fréquemment dans les zones vallonnées du Nouveau-Brunswick seraient inutiles dans le paysage plat des Prairies. Les recherches de l'EPBH n'ont pas mis à l'essai toutes les PGB dans les différents paysages; elles ont étudié des combinaisons de PGB qui variaient d'un site à l'autre.

Cependant, certaines PGB peuvent s'appliquer à plusieurs régions. Comme une PGB donne des résultats différents selon le paysage ou la zone climatique, les chercheurs de l'EPBH en ont étudié certaines à plus d'un site. Par exemple, l'installation de clôtures pour empêcher le bétail d'avoir accès aux cours d'eau a été évaluée dans quatre bassins hydrographiques de l'EPBH, mais les méthodes d'étude et les résultats étaient différents d'un site à l'autre. Les bandes tampons sont couramment utilisées en raison de leur capacité à filtrer les eaux de ruissellement des champs agricoles. Cependant, leur efficacité est fonction de nombreux facteurs locaux, comme la variabilité de la composition de la bande tampon, la largeur, sa maturité et le caractère saisonnier de l'exportation des éléments nutritifs. De plus, la nature des champs adjacents (texture du sol, pente latérale, pratiques culturales et plante cultivée), le climat, la topographie et les attributs paysagers de la zone peuvent avoir de grandes incidences sur l'efficacité des PGB. Ainsi, les bandes tampons ont été évaluées dans trois bassins.

Un aspect unique de la recherche de l'EPBH a été la mise en œuvre de multiples PGB dans chaque bassin hydrographique. Les chercheurs de l'EPBH ont étudié la performance individuelle des PGB ainsi que l'impact cumulatif de multiples PGB à l'échelle du bassin. Dans certains cas, une PGB suffira à corriger un problème, alors que d'autres cas nécessiteront un ensemble de PGB.

APPLICATION DES ÉVALUATIONS BIOPHYSIQUES DE L'EPBH

Pour rendre les conclusions des études de l'EPBH plus pertinentes pour les producteurs, ainsi que pour les paysages et les régions où ils exercent leurs activités, les essais de PGB ont été effectués dans des fermes en exploitation, et ils ont été conçus pour tenir compte des réalités opérationnelles. Les résultats des recherches de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer les PGB qui conviennent le mieux à leur exploitation et à leur région et qui sont les plus performantes sur le plan environnemental.

Les résultats des recherches peuvent être applicables à d'autres régions aux attributs paysagers semblables, et une bonne partie des connaissances acquises de l'étude de PGB individuelles peuvent servir à améliorer l'efficacité des PGB en général.

Les résultats de recherche biophysique de l'EPBH peuvent aussi orienter l'élaboration de politiques et de programmes agroenvironnementaux en indiquant quelles sont les PGB qui ont un effet positif sur la qualité de l'eau ou sur d'autres indicateurs environnementaux, et de quelle façon on peut cibler des paysages qui bénéficieront le plus de ces pratiques.

Les études de l'EPBH ont été effectuées dans des fermes en exploitation.

DÉMARCHE

Une revue de la littérature sur les évaluations de PGB à l'échelle de bassins hydrographiques a été menée avant la mise en place des PGB pour aider les chercheurs à mener des recherches novatrices au moyen de techniques de pointe. La vaste bibliographie sur les PGB du département de l'Agriculture des États-Unis, qui avait été constituée pour le Conservation Effects Assessment Project, a aussi aidé à comprendre la conception et la mise en œuvre de PGB efficaces.

Au moyen de diverses méthodes scientifiques, des évaluations biophysiques ont été réalisées aux sites des bassins hydrographiques étudiés pour mesurer l'impact des PGB sur la qualité de l'eau et sur d'autres indicateurs environnementaux, comme la santé des sols ou des zones riveraines. Les études comportaient des évaluations aux champs afin d'obtenir des résultats scientifiquement valides et publiables. Parmi les méthodes utilisées figuraient l'analyse comparative historique, la surveillance en amont et en aval et le jumelage de bassins hydrographiques.

Les études comprenaient des évaluations aux champs afin d'obtenir des résultats scientifiquement valides et publiables.

Analyse comparative historique (avant et après)

Les sites de l'EPBH se trouvaient dans des zones où l'on collectait depuis longtemps des données de base à l'échelle du sous-bassin hydrographique. Puisque cette surveillance avait été effectuée avant la mise en œuvre des PGB, elle a servi de point de référence ou de point repère historique pour la comparaison de l'efficacité des PGB. Plus longue est la période utilisée pour l'établissement des courbes historiques et des paramètres pertinents sur la qualité de l'eau, plus robuste est la comparaison. Par exemple, le bassin hydrographique du ruisseau Black au Nouveau-Brunswick est devenu un bassin expérimental en 1990, et les chercheurs étudient et depuis ce temps les impacts de la culture intensive de la pomme de terre sur la qualité des eaux de surface. Ces suivis ont fourni à l'EPBH d'abondantes données de référence sur la période antérieure à la mise en place de PGB.

Surveillance en amont et en aval

Aux fins de l'évaluation des changements, des stations de surveillance ont été installées en amont et en aval de l'endroit de mise en œuvre d'une PGB. On peut voir un exemple de ces stations dans les quatre études sur les clôtures d'exclusion des bovins de l'EPBH. Dans ces études, on a clôturé le cours d'eau pour empêcher le bétail d'y avoir accès et on a installé des abreuvoirs en amont, mais le bétail avait cependant un accès illimité à un tronçon du cours d'eau en aval. Des échantillons d'eau ont été prélevés au niveau des deux tronçons du cours d'eau et les résultats d'analyses ont été comparés.

Jumelage de bassins hydrographiques

Le jumelage de bassins hydrographiques consistait à comparer la qualité de l'eau de deux sous-bassins semblables, mais soumis à des traitements différents.

Dans certaines études de l'EPBH, un sous-bassin où aucune PGB n'était mise en œuvre servait de site témoin. Les résultats de ce site étaient comparés à ceux d'un autre sous-bassin d'intervention où des PGB étaient mises en œuvre. Un exemple de jumelage de bassins est les études menées sur l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver dans les bassins du ruisseau Pipestone (Sask.) et du ruisseau Tobacco Sud (Man.). Au Québec, dans les bassins de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Fourchette, une paire de microbassins avait été sélectionnée pour comparer la qualité de l'eau du bassin d'intervention (de traitement) et du bassin témoin, où aucune PGB n'était appliquée.

On a eu recours au jumelage de bassins pour comparer la qualité de l'eau de sous-bassins semblables soumis à des traitements différents. Cette photo présente une paire de sous-bassins dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud. À gauche, on a labouré le champ (technique conventionnelle de travail du sol) et à droite, on a utilisé des techniques de conservation du sol (sans labour).

Dans d'autres études, des bassins jumelés ont servi à comparer différentes pratiques de gestion, comme les méthodes de travail du sol, les conduites culturales, la largeur des bandes tampons ou les doses de fertilisation. Par exemple, dans le bassin de la rivière Souris (Î.-P.-É.), on a comparé deux champs (l'un labouré au printemps et l'autre à l'automne) pour déterminer les avantages sur le plan environnemental et économique du travail du sol effectué à l'automne en regard de celui effectué au printemps.

Indicateurs environnementaux et collecte de données

Dans les études de l'EPBH, le principal indicateur environnemental utilisé était la qualité de l'eau, car elle reflète souvent d'autres conditions environnementales, comme la qualité du sol, la qualité de l'air et la biodiversité. La qualité de l'eau a été surveillée et analysée au moyen d'un ensemble minimal de paramètres chimiques standard (diverses formes d'azote [N] et de phosphore [P]), de paramètres physiques standard (sédiments, turbidité, pH, température, conductivité, profondeur du cours d'eau et oxygène dissous) et d'agents pathogènes (coliformes fécaux, *E. coli* et coliformes totaux). Tous les projets comprenaient des analyses des diverses formes de N et de P dans le sol, et pour la plupart, des analyses de la neige pour la teneur en N et P et la mesure de l'épaisseur de la neige. Des données hydrologiques, climatiques et géospatiales ont aussi été recueillies.

Les sources de contaminants dans l'eau et le transport des contaminants des champs aux cours d'eau ont aussi été étudiés. Par exemple, les sources de pollution fécale ont été étudiées dans le bassin de la Nation Sud (Ont.) afin de déterminer quelles sont les PGB les plus efficaces pour réduire la contamination microbienne. Dans le bassin de la rivière Lower Little Bow (Alb.), on a prélevé des échantillons de sol pour voir s'il y avait lessivage d'éléments nutritifs par la rhizosphère vers la rivière. Dans le bassin du ruisseau Pipestone, on a comparé les concentrations d'éléments nutritifs et de sédiments en suspension des eaux de ruissellement nival issues d'une terre cultivée et d'un pâturage artificiel permanent. On a caractérisé les sédiments de quatre bassins étudiés dans le cadre de l'EPBH (rivière Lower Little Bow, ruisseau Tobacco Sud, Bras d'Henri et ruisseau Black) pour trouver les sources de sédiments et de phosphore dans les champs et les cours d'eau.

La qualité des eaux souterraines a été examinée à certains sites des PGB mises en œuvre. En Colombie-Britannique, on a foré des puits de petit diamètre dans le bassin de la rivière Salmon pour faciliter la surveillance de la qualité des eaux souterraines (*E. coli*, coliformes fécaux et chimie de l'eau). La surveillance de la qualité des eaux souterraines est particulièrement importante dans les provinces de l'Atlantique, car elles sont des sources majeures d'approvisionnement en eau domestique et agricole. Dans les bassins du ruisseau Black et du ruisseau Thomas (N.-E.), on a analysé l'eau des puits pour évaluer l'impact possible des PGB sur le lessivage d'éléments nutritifs et la contribution des nitrates des eaux souterraines à la contamination des eaux de surface. Dans le bassin de la rivière Souris, les analyses d'eau de puits ont servi à étudier l'effet du travail du sol retardé sur la qualité des eaux souterraines, puis par modélisation hydrologique, on a simulé le devenir et le transport des nitrates dans les eaux souterraines.

En plus de comporter des mesures de débit, d'éléments nutritifs, de sédiments et d'agents pathogènes, chaque étude de bassin hydrographique examinait d'autres paramètres environnementaux. Figurent ci-dessous les paramètres étudiés à chacun des sites :

- ***Bassin hydrographique de la rivière Salmon*** – suivis de l'humidité du sol pour les décisions d'irrigation.
- ***Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow*** – densité de la mésofaune du sol, ces invertébrés jouant un rôle important dans les cycles de la matière organique et des éléments nutritifs dans le sol.
- ***Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone*** – effet des cycles de gel-dégel et de la teneur en humidité du sol sur les taux d'infiltration d'eau dans le sol.
- ***Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud*** – échantillonnage des résidus à la surface du sol pour évaluer leur impact potentiel sur la teneur en éléments nutritifs des eaux de ruissellement après un cycle de gel-dégel.
- ***Bassin hydrographique de la Nation Sud*** – niveaux d'émission de gaz à effet de serre.
- ***Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette*** – concentrations en glyphosate des eaux de ruissellement de surface qui ont traversé des voies d'eau gazonnées et des bandes tampons, après un orage.
- ***Bassin hydrographique du ruisseau Black*** – isotopes environnementaux pour évaluer les mécanismes de génération de l'écoulement fluvial, ainsi que les sources et les voies de transport de solutés.
- ***Bassin hydrographique du ruisseau Thomas*** – étude des bactéroïdales, une catégorie de bactéries pouvant servir à retracer l'origine des bactéries fécales.
- ***Bassin hydrographique de la rivière Souris*** – analyses d'isotopes stables pour la détermination des processus impliqués dans le transfert d'azote des sols aux eaux souterraines.

Fréquence d'échantillonnage

Conformément à des protocoles de conception et d'instrumentation normalisés, on a prélevé des échantillons aux sites de l'EPBH à une fréquence suffisante pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau et définir les niveaux d'exportation d'éléments nutritifs ou de sédiments. Par exemple, dans les bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette, on a surveillé la qualité de l'eau aux exutoires des microbassins au moyen de dispositifs d'échantillonnage

automatique. Un échantillon était prélevé aux deux jours et des échantillons composites (combinés) étaient analysés aux quatre jours pour déterminer la concentration des différentes formes de N, de P et d'autres éléments nutritifs. Dans le bassin du ruisseau Black, des stations de surveillance des eaux de surface ont été installées à chaque exutoire des neuf sous-bassins pour le prélèvement automatique d'échantillons aux 72 heures, voire plus souvent lors de périodes à plus fort débit. Dans tous les bassins, la surveillance du ruissellement était renforcée durant les phénomènes hydrologiques comme la fonte des neiges ou les épisodes de précipitations.

Échelle de la surveillance

L'évaluation des PGB dans les bassins de l'EPBH se faisait à des échelles progressives, soit à la lisière de champ, au sous-bassin et à l'exutoire du bassin. À certains sites, on a utilisé un plan par gradient qui consistait, soit à s'éloigner progressivement du point de traitement (PGB), soit à accroître progressivement le niveau de traitement (p. ex. la largeur des bandes riveraines). À titre d'exemple, au site de la rivière Lower Little Bow, on a évalué la performance d'une bande tampon riveraine au bas d'un champ cultivé, qui avait été plantée avec une combinaison de végétaux et diverses largeurs de bande tampon pour atténuer les effets du ruissellement.

À la plupart des sites de l'EPBH, des échantillons d'eau ont été prélevés à l'exutoire du bassin pour déterminer l'impact cumulatif des PGB mises en œuvre sur la qualité de l'eau. Par exemple, dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, les chercheurs ont comparé la qualité de l'eau à l'exutoire d'un sous-bassin d'intervention où cinq PGB avaient été mises en œuvre avec la qualité de l'eau à l'exutoire d'un sous-bassin témoin semblable, où aucune PGB n'avait été mise en œuvre. Des réductions importantes des concentrations d'éléments nutritifs ont été observées à l'exutoire du sous-bassin d'intervention.

Autres études biophysiques

Comme on s'attendait à ce que les changements de qualité de l'eau soient difficiles à détecter, en particulier à court terme, on a eu recours à plusieurs méthodes de recherche durant les études sur les PGB pour quantifier l'effet des PGB sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres biophysiques afin de mieux connaître l'effet de divers facteurs sur l'efficacité des PGB. Par exemple, on a évalué la santé de la zone riveraine, on a retracé l'origine de certaines bactéries et on a dressé des bilans d'éléments nutritifs dans plusieurs bassins de l'EPBH pour évaluer l'efficacité des PGB. Dans le bassin de la rivière Souris, on a caractérisé l'écosystème aquatique pour déterminer les impacts de l'agriculture sur l'écosystème aquatique, notamment en ce qui concerne l'apport de sédiments.

D'autres études ont employé les ensembles de données générées par les projets de l'EPBH. Par exemple, dans le cadre du Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale (PNARSA), on a utilisé les données sur la qualité de l'eau du bassin hydrographique du Bras d'Henri pour évaluer des indicateurs d'agents pathogènes microbiens. En outre, un projet de Systèmes environnementaux pour une agriculture durable (SEAD) a utilisé les données issues du bassin du ruisseau Black pour l'élaboration de normes de performance écologique à l'égard des sédiments, des éléments nutritifs et des pesticides dans les cours d'eau.

RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS BIOPHYSIQUES

Dans le volet de recherche biophysique de l'EPBH, on a pu observer de nombreux résultats scientifiques utiles et intéressants dans les neuf bassins hydrographiques. On a décelé des tendances environnementales positives par suite de la mise en œuvre de PGB. En revanche, de nombreuses PGB ont donné des résultats mitigés ou non concluants au niveau de divers paramètres de la qualité de l'eau ou d'autres indicateurs environnementaux, et certaines PGB ont même révélé des inconvénients – des effets secondaires négatifs qui sont apparus après la mise en œuvre de mesures qui visaient à résoudre un problème initial. Certaines évaluations des PGB n'étaient pas terminées à la fin du programme d'EPBH. La plupart de ces études se poursuivent et sont financées par un nouveau programme.

Les chapitres 8 à 16 présentent des résultats plus détaillés de la recherche biophysique menée à chacun des bassins hydrographiques.

Tendances environnementales positives

La plupart des évaluations des PGB menées dans le cadre de l'EPBH ont montré une réduction de la charge d'éléments nutritifs ou de sédiments des eaux de surface, ou une amélioration d'autres indicateurs environnementaux. Le tableau 4 présente des exemples de PGB qui ont montré des tendances environnementales positives.

TABLEAU 4
PGB de l'EPBH ayant montré des tendances environnementales positives

PGB	Bassin hydrographique	Résultats
Clôture d'exclusion des bovins	rivière Salmon	■ Réduction significative de la contamination des eaux de la rivière par *E. coli* et des sédiments fins. ■ Incidence positive sur la végétation riveraine et sur la santé des invertébrés aquatiques.
Bandes tampons de 6 m	rivière Lower Little Bow	■ Réduction des exportations de sédiments et de N d'un champ fertilisé lors d'épisodes de fortes pluies.
Épandage de fumier fondé sur les besoins en P	rivière Lower Little Bow	■ Réduction significative des concentrations ou des charges en fractions de P principalement dissoutes dans les eaux de ruissellement pendant quelques années comparativement à un épandage de fumier fondé sur les besoins annuels en N. ■ Aucun effet significatif sur le N dans les eaux de ruissellement.
Étang de retenue en aval d'un parc d'engraissement de bovins	ruisseau Tobacco Sud	■ Très efficace pour capter les eaux de ruissellement concentration élevée en éléments nutritifs et une quantité élevée d'*E. coli*, empêchant ainsi ces contaminants d'aboutir dans le cours d'eau.
Petits barrages de terre sur les fermes	ruisseau Tobacco Sud	■ Diminution du débit de pointe en aval et du risque d'inondation connexe. ■ Réduction significative des charges en N et en P dans le cours d'eau.
Drainage souterrain contrôlé	Nation Sud	■ Réduction significative des charges en ammonium, en nitrates et en P total dans le cours d'eau.
Bandes tampons et ouvrages de contrôle du ruissellement	Fourchette	■ Réduction significative des charges de sédiments et de la concentration en nitrates.
Gestion du lisier de porc	Bras d'Henri	■ Réduction de la contamination du cours d'eau par l'azote et les coliformes fécaux. ■ Réduction, certaines années, de l'exportation de N et de P dans les eaux de ruissellement.
Gestion du ruissellement de cour de ferme	ruisseau Thomas	■ Réduction des concentrations de bactéries et de P total en aval.
Travail du sol retardé	rivière Souris	■ Réduction des concentrations de nitrates dans les eaux de drainage souterraine et dans les eaux souterraines.

Résultats mitigés

Dans les PGB suivantes, on a obtenu des résultats mitigés : on a observé une amélioration de certains paramètres hydrochimiques ou d'autres indicateurs environnementaux, mais aucun changement dans d'autres variables :

- ***Abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôture*** (bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow) – L'installation d'abreuvoirs pour bovins à l'écart des cours d'eau a légèrement amélioré la santé de la zone riveraine, a empêché la pollution de la rivière par les bovins et a amélioré certaines propriétés de la végétation et du

sol. Toutefois, la mise en œuvre de cette PGB ne s'est pas traduite par une amélioration d'autres propriétés de la végétation et du sol, pas plus qu'elle n'a amélioré la qualité des eaux de ruissellement près de la rivière.

- ***Conversion à une culture pérenne*** (bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow) – Même si certaines variables de la qualité des eaux de ruissellement se sont améliorées après le passage de cultures annuelles à une culture de plantes fourragères vivaces, la majorité des variables ne se sont pas améliorées. De nombreux facteurs agronomiques et environnementaux pourraient avoir contribué à ce résultat.
- ***Bandes riveraines gazonnées*** (bassin hydrographique du ruisseau Black) – Cette PGB a réduit le ruissellement et les sédiments, mais les résultats concernant les éléments nutritifs n'étaient pas concluants. Selon la quantité, l'intensité et la répartition temporelle des précipitations, le degré de réduction du débit et des charges en sédiments a varié considérablement d'une année à l'autre. L'efficacité de la PGB à réduire les charges était réduite après des périodes de fortes pluies.

Inconvénients

La mise en œuvre de PGB pour corriger des problèmes environnementaux particuliers peut parfois avoir des conséquences imprévues; l'amélioration d'un indicateur peut se faire aux dépens d'un autre. En voici des exemples :

- ***Travail de conservation du sol*** (bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud) – Le travail de conservation du sol vise à augmenter la quantité de résidus de culture laissés à la surface du sol. Il est fortement recommandé pour réduire l'érosion du sol et l'exportation d'éléments nutritifs liés au sol dans les eaux de surface. Cette pratique peut également jouer un rôle important dans la séquestration du carbone dans le sol. Dans ce bassin, le travail de conservation du sol a réduit significativement la charge de sédiments et de N dans le ruisseau par rapport au travail conventionnel du sol. Toutefois, on a observé une tendance inverse pour le phosphore dissous qui a significativement augmenté en raison de l'accumulation de P près de la surface du sol et de la libération de P soluble par les résidus végétaux durant les cycles de gel-dégel dans les Prairies.
- ***Déviations et voies d'eau gazonnées*** (bassin hydrographique du ruisseau Black) – Le ruissellement et l'érosion du sol causée par le ruissellement constituent de grandes préoccupations lorsque des cultures en rangs sont plantées dans des régions vallonnées qui reçoivent d'abondantes précipitations. Les chercheurs sur la pomme de terre au Nouveau-Brunswick ont découvert que la combinaison de déviations et de voies d'eau gazonnées pouvait aider à résoudre le problème. Cette combinaison de PGB a réduit efficacement le ruissellement de surface, l'érosion du sol et les concentrations de pesticides dans les cours d'eau, sous des conditions normales, mais elle peut contribuer à augmenter les charges d'éléments nutritifs des eaux souterraines. En outre, on a observé que son efficacité était réduite lors d'épisodes de pluies extrêmes.

COMPARAISONS ENTRE LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Même si l'EPBH ne visait pas à comparer l'efficacité des PGB entre les bassins hydrographiques soumis à différentes conditions, certaines PGB ont été étudiées dans plus d'un bassin. Puisque l'efficacité des PGB peut varier selon les paysages ou les zones climatiques où elles sont mises en œuvre, les méthodes et les résultats des études peuvent différer d'un site à l'autre. Il faut donc interpréter avec prudence toute comparaison d'études. Les recommandations ou les décisions concernant l'adoption de PGB doivent reposer sur les données issues du bassin hydrographique. Le tableau 5 illustre comment la performance de certaines PGB peut varier selon leur emplacement et d'autres facteurs environnementaux ou agronomiques.

TABLEAU 5

Comparaison des résultats biophysiques entre les bassins hydrographiques

Clôtures d'exclusion des bovins et clôtures le long des berges (quatre sites) – Une station de surveillance de la qualité de l'eau a été installée en amont et en aval de la PGB dans quatre bassins de l'EPBH. En général, on a observé une amélioration de la santé de la zone riveraine aux quatre sites. Toutefois, les effets sur la qualité de l'eau ont varié en raison de facteurs comme la taille du cours d'eau ou le nombre de bovins.	**Bassin hydrographique de la rivière Salmon** ■ Réduction des charges en d'*E. coli* et de sédiments fins dans la rivière. ■ Incidence positive sur la végétation riveraine et la santé des invertébrés aquatiques. ■ Aucune réduction détectée des concentrations d'éléments nutritifs dans la rivière.
	Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow ■ Prévention de la pollution. ■ Amélioration de la santé de la zone riveraine après quatre ans, suivie d'un léger déclin après huit ans en raison des plantes envahissantes et de l'incapacité du couvert arbustif privilégié à s'établir dans les zones riveraines. ■ Amélioration de la santé du pâturage. ■ Augmentation possible des densités de certaines espèces de la mésofaune du sol dans les pâturages, et augmentation de la diversité et de la richesse des espèces. ■ Effet positif sur certaines espèces de macroinvertébrés benthiques. ■ Réduction de la compaction du sol et de l'érosion des berges.
	Bassin hydrographique de la Nation Sud ■ Réduction des charges en éléments nutritifs et en bactéries. ■ Amélioration de la végétation riveraine, de l'habitat des espèces sauvages et de la morphologie du cours d'eau. ■ Augmentation des charges en agents pathogènes, en raison de la présence accrue d'espèces sauvages due aux améliorations des habitats riverains.
	Bassin hydrographique du ruisseau Thomas ■ Impact observé limité en raison de changements dans l'exploitation agricole.
Études sur la gestion du fumier et des éléments nutritifs (quatre sites) – Les conclusions de deux de ces études (épandage de fumier fondés sur les besoins en phosphore dans le bassin de la rivière Lower Little Bow et gestion du lisier de porc dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri) indiquaient des réductions des charges dans les cours d'eau pour certaines composantes des éléments nutritifs. Aucun changement de qualité de l'eau n'a été détecté dans le bassin du ruisseau Thomas. Les résultats ne sont pas encore disponibles pour une étude de la réduction de la fertilisation de cultures annuelles dans le bassin du ruisseau Pipestone.	**Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow** ■ Réduction significative des concentrations ou des charges en fractions de P majoritairement dissoutes dans les eaux de ruissellement certaines années pour la fertilisation fondée sur les besoins en phosphore comparativement à celle fondée sur les besoins annuels en azote. ■ Aucun effet significatif sur l'azote dans les eaux de ruissellement.
	Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone ■ Aucun résultat disponible.
	Bassin hydrographique du Bras d'Henri ■ Réduction de la contamination du cours d'eau par l'azote et les coliformes fécaux. ■ Réduction de l'exportation de N et de P par le ruissellement de surface certaines années. ■ Augmentation du P résiduel dans le sol.
	Bassin hydrographique du ruisseau Thomas ■ Aucun changement détecté dans la qualité de l'eau.

Travail du sol et gestion des résidus de culture (trois sites) – Diverses formes de travail du sol et de gestion des résidus de culture ont été étudiées à trois sites. Le travail de conservation du sol a été étudié au Manitoba et au Québec, et le labour retardé au printemps a été étudié à l'Île-du-Prince-Édouard. Comme les pratiques de travail du sol n'étaient pas nécessairement les mêmes aux trois sites, les résultats ont varié.	**Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud** *Travail de conservation du sol comparé au travail conventionnel du sol.* ■ Aucun effet sur la quantité de ruissellement annuel. ■ Réduction de l'exportation annuelle de sédiments et de N total. ■ Augmentation de l'exportation de P total. *Travail intermittent du sol comparé au travail de conservation du sol.* ■ Réduction de l'exportation de P. ■ Augmentation de l'exportation de N et de carbone. ■ Aucun changement dans l'exportation d'éléments nutritifs par rapport au travail conventionnel du sol.
	Bassin hydrographique de la Fourchette ■ Pas de réduction des charges de P, peut-être en raison d'un effet de stratification du P dans la couche arable supérieure causé par le fumier non incorporé. ■ Réduction de l'apport de sédiments.
	Bassin hydrographique de la rivière Souris ■ Réduction du lessivage des nitrates. ■ Plus de recherche requise.
Conversion aux cultures fourragères pérennes (quatre sites) – Dans les trois bassins hydrographiques des Prairies, cette pratique a produit des résultats variés quant à la qualité de l'eau, certaines variables s'étant améliorées et d'autres étant demeuré inchangées ou ayant empiré. Dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri, les résultats n'ont pas été concluants, car les stratégies de rotation des cultures des producteurs s'appliquaient à toute leur exploitation agricole, ce qui, dans certains cas, correspondait à une plus grande superficie que celle comprise dans les limites du bassin étudié.	**Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow** ■ Amélioration de certaines variables de la qualité des eaux de ruissellement; aucune amélioration ou détérioration d'autres variables.
	Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (résultats préliminaires) ■ Exportation d'éléments nutritifs des cultures annuelles et des pâturages pérennes durant le ruissellement nival, et les concentrations excèdent souvent les valeurs recommandées pour la qualité de l'eau, mais les formes physiques et chimiques variaient selon les systèmes de culture. ■ Différences annuelles importantes possibles en fonction des conditions climatiques. ■ Plus de recherche requise.
	Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud ■ Exportation similaire d'éléments nutritifs particulaires et de sédiments dans le ruissellement des cultures fourragères pérennes et des cultures annuelles durant le ruissellement nival. ■ Aucune différence d'exportation de N entre les champs. ■ On a observé dans les cultures fourragères pérennes une plus grande exportation de P total et de P total dissous et des concentrations accrues dans les eaux de ruissellement.
	Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette ■ Résultats non-concluants.

Engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver (deux sites) – Cette pratique a été étudiée dans deux provinces des Prairies. Les études ne sont pas terminées et se poursuivent dans le cadre d'un nouveau programme.	**Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud** ■ Les résultats n'ont pas encore été analysés. **Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone** (résultats préliminaires) ■ Taux extrêmement élevés de survie et de transport d'*E. coli* vivants dans les eaux de ruissellement nival.
Bandes tampons (trois sites) – L'efficacité des bandes tampons dépend de nombreux facteurs locaux. Une réduction des pertes de sédiments a été constatée dans les trois bassins. Les résultats sur les éléments nutritifs ont varié.	**Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow** ■ Exportation réduite des sédiments et de l'azote par les terres cultivées fertilisées durant les épisodes pluvieux extrêmes avec un tampon de 6 m. **Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette** ■ Réduction des charges de sédiments et des concentrations de nitrates. ■ Aucun changement dans les exportations de P. ■ Aucun résultat disponible pour l'étude distincte sur les bandes tampons implantés en panic érigé. **Bassin hydrographique du ruisseau Black** ■ Réduction du ruissellement et des sédiments. ■ Les résultats sur les éléments nutritifs ne sont pas concluants. ■ Les résultats dépendent des précipitations. ■ Pas de réduction des charges lors d'épisodes de pluies intenses.

Les clôtures d'exclusion des bovins ont été étudiées dans quatre bassins hydrographiques. Les résultats indiquent généralement une amélioration de la santé de la zone riveraine; toutefois, les effets sur la qualité de l'eau ont varié.

CONCLUSIONS

Les chercheurs en biophysique de l'EPBH ont eu recours à diverses méthodes scientifiques pour mesurer l'impact de PGB locales sur la qualité de l'eau et d'autres paramètres environnementaux.

Les données biophysiques de l'EPBH ont été utilisées pour évaluer l'efficacité des PGB, pour étalonner et valider les modèles hydrologiques et pour déterminer les coûts et les avantages économiques des PGB à l'étude.

La plupart des PGB évaluées dans le cadre de l'EPBH ont réduit la charge de contaminants des eaux de surface, mais certaines PGB ont donné des résultats mitigés ou non concluants pour divers paramètres de qualité de l'eau ou d'autres indicateurs environnementaux, et certaines PGB ont eu des effets secondaires négatifs.

Les résultats de la recherche pourraient s'appliquer à des régions semblables, et la plupart des connaissances acquises lors de l'étude de PGB particulières peuvent servir à améliorer l'efficacité des PGB. Les résultats des recherches biophysiques de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer quelles sont les PGB qui conviennent le mieux à leurs activités et à leurs régions, et ils peuvent orienter l'élaboration de politiques agroenvironnementales et de programmes.

Certaines évaluations de PGB n'étaient pas terminées à la fin du programme d'EPBH, mais la plupart d'entre elles se poursuivent grâce à des fonds d'un nouveau programme.

BIBLIOGRAPHIE – RECHERCHE BIOPHYSIQUE DE L'EPBH

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, J.T. Tambong, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of three Arcobacter strains of pig and dairy cattle manure origin. *Genome Announc*, 2(3):e00377-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequence of Arcobacter cibarius Strain LMG21996T isolated from broiler carcasses. *Genome Announc*, 2(1):e00034-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of two Arcobacter strains isolated from human feces. *Genome Announc*, 2(2):e00113-14.

Barthod, L.R.M., K. Liu, D.A. Lobb, P.N. Owens, N. Martínez-Carreras, A.J. Koiter, E.L. Petticrew, G.K. McCullough, C. Liu et L. Gaspar. 2015. Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamics using sediment source fingerprinting. *J Environ Qual*, 44(5):1605-1616.

Brisbois, M.C., R. Jamieson, R. Gordon, G. Stratton et A. Madani. 2008. Stream ecosystem health in rural mixed land-use watersheds. *J Environ Eng Sci*, 7(5):439-452.

Cade-Menun, B.J., G. Bell, S. Baker-Ismail, Y. Fouli, K. Hodder, D.W. McMartin, C. Perez-Valdivia et K. Wu. 2013. Nutrient loss from Saskatchewan cropland and pasture in spring snowmelt runoff. *Rev. can. de la science du sol*, 93:445-458.

Chow, L., Z. Xing, G. Benoy, H.W. Rees, F. Meng, Y. Jiang et J.L. Daigle. 2011. Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New-Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 66(1):71-84.

Chow, T.L., H.W. Rees, J.O. Monteith, P. Toner et J. Lavoie. 2007. Effects of coarse fragment content on soil physical properties, soil erosion and potato production. *Rev. can. de la science du sol*, 87(5):565-577.

Cicek, H., M. Sunohara, G. Wilkes, H. McNairn, F. Pick, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Using vegetation indices from satellite remote sensing to assess corn and soybean response to controlled tile drainage. *Agr Water Manag*, 98:261-270.

Corriveau, J., E. van Bochove et D. Cluis. 2010. Sources of nitrate in streams of an intensively cropped watershed. *Water Environ Res*, 82(7):622-632.

Corriveau, J., E. van Bochove, G. Bégin et D. Cluis. 2008. Effect of preservation techniques on the determination of nitrite in freshwater samples. *Water Air Soil Pollut*, 193(1-4):335-342.

Corriveau, J., E. van Bochove, M.M. Savard, D. Cluis et D. Paradis. 2010. Occurrence of high in-stream nitrite levels in a temperate region agricultural watershed. *Water Air Soil Pollut*, 206(1-4):335-347.

Fouli, Y., B.J. Cade-Menun et H.W. Cutforth. 2013. Freeze-thaw cycles and soil water content effects on infiltration rate of three Saskatchewan soils. *Rev. can. de la science du sol*, 93:485-496.

Frey, S.K., B. Ball, M. Edwards, N. Gottschall, M. Sunohara, E.D. Zoski et D.R. Lapen. 2013. Tile drainage management influences on surface-water and groundwater quality following liquid manure application. *J Environ Qual*, 42(3):881-892.

Frey, S.K., E. Topp, T.A. Edge, C. Fall, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, G.A. Wilkes et D.R. Lapen. 2013. Using SWAT, Bacteroidales microbial source tracking markers, and fecal indicator bacteria to predict waterborne pathogen occurrence in an agricultural watershed. *Water Res*, 47(16):6326-6337.

Frey, S.K., N. Gottschall, G. Wilkes, D.S. Grégoire, E. Topp, K.D.M. Pintar, M. Sunohara, R. Marti et D.R. Lapen. 2015. Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. *J Environ Qual*, 44:236–247.

Jiang, Y., T. Jamieson, J. Nyiraneza, G. Somers, B. Thompson, B. Murray, M. Grimmett et X. Geng. 2015. Effects of fall vs. spring plowing forages on nitrate leaching losses to groundwater. *Ground Water Monit RW*, 35(1):43-54.

Jokinen, C.C., T.A. Edge, W. Koning, C.R. Laing, D.R. Lapen, J.J. Miller, S.K. Mutschall, A. Scott, E.N. Taboada, J.E. Thomas, E. Topp, G.A. Wilkes et V.P.J. Gannon. 2012. Spatial and temporal drivers of zoonotic pathogen contamination of an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 41(1):242-252.

Khan, I.U.H., V. Gannon, A. Loughborough, C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D. Medeiros, J. Miller, N. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, H. Schreier, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2009. A methods comparison for the isolation and detection of thermophilic Campylobacter in agricultural watersheds. *J Microbiol Methods*, 79(3):307-313.

Khan, I.U.H., V. Gannon, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2007. Development of a rapid quantitative PCR assay for direct detection and quantification of culturable and non-culturable Escherichia coli from agriculture watersheds. *J Microbiol Methods*, 69(3):480-488.

Khan, I.U.H., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D.T. Medeiros, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, H. Schreier, E. Topp, É. van Bochove, G.A. Wilkes et T.A. Edge. 2014. A national investigation of the prevalence and diversity of Thermophilic Campylobacter species in agricultural watersheds in Canada. *Water Res*, 61:243-252.

Koiter, A.J. D.A. Lobb, P.N. Owens, E.L. Petticrew, K.H.D. Tiessen et L. Sheng. 2013. Investigating the role of connectivity and scale in assessing the sources of sediment in an agricultural watershed in the Canadian Prairies using sediment source fingerprinting. *J Soils Sediments*, 13:1676-1691.

Kross, A., H. McNairn, D.R. Lapen, M. Sunohara et C. Champagne. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 34:235-248.

Lanthier, M., A. Scott, D.R. Lapen, Y. Zhang et E. Topp. 2010. Frequency of virulence genes and antibiotic resistances in Enterococcus spp. isolates from wastewater and feces of domesticated mammals and birds, and wildlife. *Rev. can de microbiologie*, 56(9):715-729.

Lanthier, M., A. Scott, M. Cloutier, D. Durie, V.C. Henderson, G.A. Wilkes, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Distribution of selected virulence genes and antibiotic resistance in Enterococcus species isolated from the South Nation River drainage basin, Ontario, Canada. *J Appl Microbiol*, 110(2):407-421.

Li, S., J.A. Elliott, K.H.D. Tiessen, J. Yarotski, D.A. Lobb et D.N. Flaten. 2011. The effects of multiple beneficial management practices on hydrology and nutrient losses in a small watershed in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 40(5):1627-1642.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Conversion of conservation tillage to rotational tillage to reduce phosphorus losses during snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 43:1679-1689.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2013. Critical factors affecting field-scale losses of nitrogen and phosphorus in spring snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 42(2):484-496.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Nutrient and sediment losses in snowmelt runoff from perennial forage and annual cropland in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*. 43:1644-1655.

Lyautey, E., A. Hartmann, D.R. Lapen et E. Topp. 2012. A comparison of enrichment and direct-plating methods for isolation of Listeria monocytogenes from surface water. *Rev. can de microbiologie*, 58(12):1405-1410.

Lyautey, E., A. Hartmann, F. Pagotto, K. Tyler, D.R. Lapen, G. Wilkes, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Meideros, T. Edge, V. Gannon et E. Topp. 2007. Characteristics and frequency of detection of fecal Listeria monocytogenes shed by livestock, wildlife, and humans. *Rev. can de microbiologie*, 53(10):1158-1167.

Lyautey, E., D.R. Lapen, G. Wilkes, K. McCleary, F. Pagotto, K. Tyler, A. Hartmann, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Medeiros, T. Edge, V. Gannon et E. Topp. 2007. Distribution and characteristics of Listeria monocytogenes isolates from surface waters of the South Nation River Watershed, Ontario, Canada. *Appl Environ Microbiol*, 73 (17):5401-5410.

Lyautey, E., G.A. Wilkes, J.J. Miller, É. van Bochove, H. Schreier, W. Koning, T.A. Edge, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Variation of an indicator of Escherichia coli persistence from surface waters of mixed-use watersheds, and relationship with population density and other factors. *Ann Limnol-Int J Lim*, 47(01):11-19.

Lyautey, E., Z. Lu, D.R. Lapen, G. Wilkes, A. Scott, T. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Distribution and diversity of Escherichia coli populations in the South Nation River drainage basin, eastern Ontario, Canada. *Appl Environ Microbiol*, 76(5):1486-1496.

Lyautey, E., Z.X. Lu, D.R. Lapen, T.E. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Optimization and validation of rep-PCR genotypic libraries for microbial source tracking of environmental Escherichia coli isolates. R*ev. can de microbiologie*, 56(1):8-17.

Marti, R., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Lanthier, D.R. Lapen, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, G.A. Wilkes, Y. Zhang et E. Topp. 2013. Quantitative multi-year elucidation of fecal sources of waterborne pathogen contamination in the South Nation River basin using Bacteroidales microbial source tracking markers. *Water Res*, 47(7):2315-2324.

Marti, R., Y. Zhang, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Development and validation of a microbial source tracking marker for the detection of fecal pollution by muskrats. *J Microbiol Methods*, 87(1):82-88.

Marti, R., Y. Zhang, Y.C. Tien, D.R. Lapen et E. Topp. 2013. Assessment of a new Bacteroidales marker targeting North American beaver (Castor Canadensis) fecal pollution by real-time PCR. *J Microbiol Methods*, 95(2):201-206.

McNairn, H., A. Kross, D.R. Lapen, R. Caves et J. Shang. 2014. Early season monitoring of corn and soybeans with TerraSAR-X and RADARSAT-2. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 28:252-259.

Miller, J. 2010. Influence of streambank fencing on the environmental quality of cattle-excluded pastures. *J Environ Qual*, 39:991-1000.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2010. Influence of streambank fencing with a cattle crossing on riparian health and water quality of the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Agr Water Manag*, 97(2):247-258.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2011. Environmental quality of Lower Little Bow River and riparian zone along an unfenced reach with off-stream watering. *Agr Water Manag*, 98(10):1505-1515.

Miller, J.J., D.S. Chanasyk, T.W. Curtis et B.M. Olson. 2011. Phosphorus and nitrogen in runoff after phosphorus- or nitrogen-based manure applications. *J Environ Qual*, 40(3):949-958.

Miller, J.J., J.P. Battigelli et W.D. Willms. 2014. Grazing protection influences soil mesofauna in ungrazed and grazed riparian and upland pastures. *Rangeland Ecol Manag*, 67(4):429-434.

Miller, J.J., T. Curtis et D.S. Chanasyk. 2013. Comparison of runoff quantity and quality under annual cropping and forages. *Water Qual Res J Can*, 48(1):40-54.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et S. Reedyk. 2015. Influence of mowing and narrow grass buffer widths on reductions in sediment, nutrients, and bacteria in surface runoff. *Rev. can. de la science du sol*, 95:139-151.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2014. Influence of streambank fencing and river access for cattle on riparian zone soils adjacent to the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Rev. can. de la science du sol*, 94:209-222.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2010. Soil test phosphorus and nitrate adjacent to artificial and natural cattle watering sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 90(2):331-340.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2013. Evaluation of selected soil properties for indicating cattle activity at off-stream watering and river access sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 93(3):343-358.

Nangia V, M.D. Sunohara, E. Topp, E.G. Gregorich, C.F. Drury, N. Gottschall et D.R. Lapen. 2013. Measuring and modeling the effects of drainage water management on soil greenhouse gas fluxes from corn and soybean fields. *J Environ Manag*, 129:652-664.

Novotná, B., E. van Bochove et G. Thériault. 2014. Potential ecological impact of climate change on the water quality an intensively managed agricultural watershed in Quebec, Canada. *J Water Clim Chang*, 5(1):81-99.

Ouellet, G., D.R. Lapen, E. Topp, M. Edwards et M. Sawada. 2008. A heuristic model to predict earthworm biomass in agroecosystems based on selected management and soil properties. *App Soil Ecology,* 39:35-45.

Parmley, E.J., K.D.M. Pintar, S.E. Majowicz, B. Avery, A. Cook, C.C. Jokinen, V.P.J. Gannon, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, M. Gilmour, F. Pollari, R. Reid-Smith et R. Irwin. 2013. A Canadian application of One Health: Integration of Salmonella data from various Canadian surveillance programs (2005–2010). *Foodborne Pathog Dis*, 10(9):747-756.

Rees, H.R., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2008. Soil and crop responses to long-term potato production at a benchmark site in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 88(3):409-422.

Rees, H.W., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2007. Spatial and temporal trends in soil properties and crop yield at a site under intensive up-and-down-slope potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 87(4):383-398.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge et N.F. Neumann. 2013. The detection of Cryptosporidium and the resolution of mixtures of species and genotypes from water. Infect Genet Evol, 15:3-9.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, G.A. Wilkes, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, C.W. Sensen, L. Xiao et N.F. Neumann. 2012. Molecular and phylogenetic approaches for assessing sources of Cryptosporidium contamination in water. Water Res, 46(16):5135-5150.

Ruecker, N.J., S.L. Braithwaite, E. Topp, T. Edge, D.R. Lapen, G. Wilkes, W. Robertson, D. Medeiros, C.W. Sensen et N.F. Neumann. 2007. Tracking host sources of Cryptosporidium spp. in raw water for improved health risk assessment. Appl Environ Microbiol, 73(12):3945-3957.

Schmidt, P.J., K.D.M. Pintar, A.M. Fazil, C.A. Flemming, M. Lanthier, M. Laprade, M. Sunohara, A. Simhon, J.L. Thomas, G.A. Wilkes, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Using Campylobacter spp. and Escherichia coli data and Bayesian microbial risk assessment to examine public health risks in agricultural watersheds under tile drainage management. Water Res, 47(10):3255-72.

Sinclair, A., D. Hebb, R. Jamieson, R. Gordon, K. Benedict, K. Fuller, G.W. Stratton et A. Madani. 2009. Growing season surface water loading of fecal indicator organisms within a rural watershed. Water Res, 43(5):1199-1206.

Su, J.J, E. van Bochove, G. Thériault, B. Novotna, J. Khaldoune, J.T. Denault, J. Zhou, M.C. Nolin, C.X. Hu, M. Bernier, G. Benoy, Z.S. Xing et L. Chow. 2011. Effects of snowmelt on phosphorus and sediment losses from agricultural watersheds in eastern Canada. Agr Water Manag, 98(5):867-876.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, C.X. Hu et X. Li. 2014. Phosphorus fluxes at the sediment-water interface in a temperate region agricultural catchment. Water Air Soil Pollut, 225(1):1-11.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, J.-T. Denault, C. Bossé, X. Li et C.X. Hu. 2014. Phosphorus algal availability and release potential in suspended and streambed sediments in relation to sediment and catchment characteristics. Agric Ecosyst Environ, 188:169-179.

Sunohara, M., E. Topp, G.A. Wilkes, N. Gottschall, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, T.H. Jones, T.A. Edge, R. Marti et D.R. Lapen. 2012. Impact of riparian zone protection from cattle on nutrient, bacteria, F5 coliphage, Cryptosporidium, and Giardia loading of an intermittent stream. J Environ Qual, 41(4):1301-1314.

Sunohara, M., M. Youssef, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Measured effect of agricultural drainage water management on hydrology, water quality, and crop yield. Dans *Proceeding of XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*. CSBE100175. http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100175.pdf.

Sunohara, M.D., E. Craiovan, E. Topp, N. Gottschall, C.F. Drury et D.R. Lapen. 2014. Comprehensive nitrogen budgets for controlled tile drainage fields in eastern Ontario, Canada. *J Environ Qual*, 43:617-630.

Sunohara, M.D., N. Gottschall, G. Wilkes, E. Craiovan, E. Topp, Z. Que, O. Seidou, S.K. Frey et D.R. Lapen. 2015. Long-term observations of nitrogen and phosphorus export in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage. *J Environ Qual*, 44(5):1589-16041604.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, J. Yarotski, D.A. Lobb, D.N. Flaten et N.E. Glozier. 2010. Conventional and conservation tillage – influence on seasonal runoff, sediment and nutrient losses in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 39(3):964-980.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, M. Stainton, J. Yarotski, D.N. Flaten et D.A. Lobb. 2011. The effectiveness of small-scale headwater storage dams and reservoirs on stream water quality and quantity in the Canadian Prairies. *J Soil Water Conserv*, 6(3):158-171.

Topp, E., A. Scott, D.R. Lapen, E. Lyautey et P. Duriez. 2009. Livestock waste treatment systems for reducing environmental exposure to hazardous enteric pathogens: Some considerations. *Bioresour Technol*, 100(22):5395-5398.

VanderZaag, A.C., K.J. Campbell, R.C. Jamieson, A.C. Sinclair et L.G. Hynes. 2010. Survival of Escherichia coli in agricultural soil and presence in tile drainage and shallow groundwater. *Rev. can. de la science du sol*, 90(3):495-505.

Wilkes, G., T. Edge, V. Gannon, C. Jokinen, E. Lyautey, D. Medeirose, N. Neumann, N. Ruecker, E. Topp et D.R. Lapen. 2009. Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, Cryptosporidium oocysts, Giardia cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. *Water Res*, 43(8):2209-2223.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Coherence among different microbial source tracking markers in a small agricultural stream with and without livestock exclusion practices. *Appl Environ Microbiol*, 79(20):6207-6219.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, N.F. Neumann, K.D.M. Pintar, N.J. Ruecker, P.J. Schmidt, M. Sunohara et D.R. Lapen. 2013. Bacteria, viruses, and parasites in an intermittent stream protected from and exposed to pasturing cattle: Prevalence, densities, and quantitative microbial risk assessment. *Water Res*, 47(16):6244-6257.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, N. Gottschall, C.C. Jokinen, T.H. Jones, I.U.H. Khan, R. Marti, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2014. Long-term monitoring of waterborne pathogens and microbial source tracking markers in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage management. *Appl Environ Microbiol*, 80(12):3708-3720.

Wilkes, G.A., N.J. Ruecker, N.F. Neumann, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Sunohara, E. Topp, K.D.M. Pintar, T.A. Edge et D.R. Lapen. 2013. Spatiotemporal analysis of Cryptosporidium species/genotypes and relationships with other zoonotic pathogens in surface water from mixed use watersheds. *Appl Environ Microbiol*, 79(2):434-448.

Wilkes, G.A., T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, E. Lyautey, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2011. Associations among pathogenic bacteria, parasites, and environmental and land use factors in multiple mixed-use watersheds, eastern Ontario Canada. *Water Res*, 45(18):5807-5825.

Xing, Z., L. Chow, H. Rees, S. Li, B. Ernst, G. Benoy, T. Zha et M. Hewitt. 2013. Influences of sampling methodologies on pesticide residue detection in stream water. *Arch Environ Contam Toxicol*, 64(2):208-218.

Xing, Z., L.T. Chow, H.W. Rees, M. Hewitt, F.R. Meng, J. Monteith et L. Stevens. 2011. A comparison of effects of one-pass and conventional potato hilling on water runoff and soil erosion under simulated rainfall. *Rev. can. de la science du sol*, 91(2):279-290.

Xing, Z., P. Toner, T.L. Chow, H.W. Rees, S. Li et F. Meng. 2012. Impacts of hay mulch on soil properties and potato tuber yield under irrigation and non-irrigation in New Brunswick, Canada. *J Irrig Drain E*, 138(8):703-714.

Yang, Q., G.A. Benoy, Z. Zhao, T.L. Chow, C.P.-A. Bourque et F. Meng. 2011. Watershed-level analysis of exceedance frequencies for different management strategies. *Water Qual Res J Can*, 46(1):64-73.

Yang, Q., Z. Zhao, G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2010. A watershed-scale assessment of cost-effectiveness of sediment abatement with flow diversion terraces. *J Environ Qual*, 39(1):220-227.

Zebarth, B.J., S. Danielescu, J. Nyiraneza, M.C. Ryan, Y. Jiang, M. Grimmett et D.L. Burton. 2015. Controls on nitrate loading and implications for BMPs under intensive potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Ground Water Monit RW*, 35(1):30-42.

Zhang, R., Q. Li, T.L. Chow, S. Li et S. Danielescu. 2013. Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick, Canada using a Recursive Digital Filter calibrated with the Conductivity Mass Balance method. *Hydrol Process*, 27(18):2659–2665.

Zoski, E.D., D.R. Lapen, N. Gottschall, R.S. Murrell et B. Schuba. 2013. Nitrogen, phosphorus, and bacteria removal in laboratory-scale woodchip bioreactors amended with drinking water treatment residuals. *Transactions of the ASABE*, 56(4):1339-1347.

CHAPITRE

3

Économie

RÉSUMÉ

Le programme de recherche de l'EPBH a permis d'en apprendre beaucoup sur les coûts et les avantages des PGB à la ferme. La plupart des PGB étudiées ont des coûts de mise en œuvre ou d'entretien élevés : des incitatifs financiers pourraient être nécessaires pour encourager leur adoption. D'après la recherche de l'EPBH, il est peu probable que les avantages nets à la ferme compensent les coûts d'adoption de la plupart des PGB évaluées, mais plusieurs PGB génèrent tout de même des avantages nets positifs. Et parmi les PGB dont les avantages nets à la ferme sont négatifs, une aide financière minimale suffirait souvent à en encourager l'adoption. Nous avons également recensé certains avantages hors ferme (publics) découlant de la mise en œuvre de PGB, dont certains ont été quantifiés en fonction de la valeur perçue par le public. Des études socioéconomiques ont aussi été menées pour connaître les attitudes et le comportement des producteurs à l'égard de l'adoption de PGB.

Voir les chapitres 8 à 16 pour plus de renseignements sur les études économiques menées dans chaque bassin hydrographique.

INTRODUCTION

Le volet économique de l'EPBH visait à déterminer les coûts à la ferme de certaines PGB et à en définir et évaluer les avantages à la ferme et hors ferme.

Au départ, les économistes de l'EPBH se sont concentrés à établir les coûts de mise en place de PGB à la ferme. À cette étape, il semblait que la mise en place de la plupart des PGB étudiées coûterait cher aux producteurs, à moins qu'ils reçoivent un incitatif financier.

Les économistes ont ensuite évalué les avantages à la ferme, ce qui a permis de dresser un portrait plus précis de l'effet des PGB sur le revenu agricole net. Ils ont aussi défini et évalué un certain nombre d'avantages hors ferme (publics) découlant de l'adoption des PGB.

Enfin, une recherche socioéconomique a été menée pour connaître les attitudes et le comportement des producteurs et des habitants ruraux hors ferme à l'égard de l'adoption de PGB.

JUSTIFICATION

L'agriculture est souvent accusée de détériorer la qualité de l'eau et d'autres composantes environnementales. La mise en œuvre de PGB agricoles peut réduire les impacts environnementaux et avoir des avantages publics, comme une eau plus propre pour la consommation domestique ou l'offre d'activités récréatives.

La réduction des impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau dépend de la disposition des producteurs à adopter des PGB et de leur capacité à financer leur mise en place et leur entretien. Même si les producteurs sont prêts à adopter de nouvelles technologies et pratiques moins néfastes pour l'environnement, ils veulent d'abord savoir dans quelle mesure les PGB sont efficaces, comment les intégrer à leurs activités agricoles, combien elles coûtent et qui les finance.

Les coûts des PGB qui améliorent la qualité de l'eau peuvent être plus élevés que les avantages pour la ferme, comme l'augmentation du rendement des cultures, l'utilisation accrue des pâturages ou le gain de poids du bétail. C'est pourquoi les producteurs peuvent continuer d'utiliser des pratiques

agricoles conventionnelles avantageuses pour leur exploitation, mais néfastes pour la qualité de l'eau, au lieu d'adopter volontairement des PGB coûteuses.

Les études économiques fournissent des estimations crédibles des coûts et des avantages des PGB à la ferme et peuvent aider les producteurs à faire des choix éclairés de PGB. Elles peuvent aussi aider les décideurs à déterminer l'étendue des mesures incitatives nécessaires, qu'elles soient financières, réglementaires ou autres, si l'adoption volontaire de PGB n'est pas avantageuse pour les producteurs.

Les études économiques peuvent aider les producteurs à faire des choix éclairés de PGB à la ferme, comme l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver.

L'acquisition de connaissances sur les coûts et les avantages des PGB pour la ferme et la société, ainsi que le développement d'une meilleure compréhension des facteurs qui incitent ou non les producteurs à adopter ces pratiques, éclaireront l'élaboration de politiques et de programmes qui encouragent l'adoption de PGB.

DÉMARCHE

Des études économiques ont été menées dans les neuf bassins hydrographiques de l'EPBH. Les PGB étudiées ont été choisies en fonction de leur capacité attendue à réduire les effets négatifs sur les eaux de surface, les eaux souterraines et d'autres composantes de l'environnement.

Les économistes de l'EPBH ont évalué les répercussions économiques des PGB tant à l'échelle de la ferme que du bassin. Dans certains bassins, les évaluations des PGB ont porté sur une seule ferme. Dans d'autres, les économistes ont établi des tailles et des types de fermes « représentatives ».

Les économistes ont appliqué différents modèles et instruments économiques pour évaluer les effets des PGB sur l'entreprise agricole. Lorsque des avantages publics – comme l'amélioration de la qualité de l'eau en aval – ont été recensés, certains économistes de l'EPBH ont quantifié ces avantages par des sondages sur la disposition à payer, par exemple.

On a aussi examiné les facteurs socioéconomiques pouvant influer sur la décision des producteurs d'adopter des PGB ou sur leur disposition à payer pour ces dernières. Dans le volet sur le comportement des producteurs, on a étudié les enchères de conservation comme forme de paiement pour encourager les producteurs à adopter des PGB.

Dans les sites de l'EPBH situés en Alberta, au Manitoba, au Québec et en Nouvelle-Écosse, les économistes ont collaboré avec les spécialistes de la biophysique et de la modélisation hydrologique en vue d'intégrer les résultats des volets économiques et biophysiques. Au Manitoba et au Québec, par modélisation hydroéconomique intégrée, ils ont développé des outils qui aident à déterminer les PGB qui offrent, au moindre coût, une protection environnementale efficace dans un bassin hydrographique donné. Ainsi, selon les résultats de l'EPBH et d'autres études, il pourrait être plus efficace de concentrer certaines PGB dans des zones précises d'un bassin pour maximiser l'amélioration de la qualité de l'eau. Voir le chapitre 5 pour plus de renseignements sur le volet modélisation intégrée de l'EPBH.

Les méthodes utilisées dans chaque bassin hydrographique de l'EPBH variaient en fonction des conditions écologiques, agronomiques et socioéconomiques régionales, ainsi qu'en fonction des données disponibles et des différentes spécialisations des chercheurs (tableau 6). Voir les chapitres 8 à 16 pour plus de renseignements sur les méthodes utilisées dans chaque bassin.

TABLEAU 6

Méthodes de recherche économique de l'EPBH

Rivière Salmon	Budgets d'entreprise et modèles financiers
Rivière Lower Little Bow	Modèles d'optimisation stochastique et dynamique
	Programmation non linéaire
	Analyse de la propension à accepter une compensation
	Analyse de la transférabilité spatiale des avantages et des coûts de l'adoption des PGB
Ruisseau Pipestone	Modèles de simulation stochastiques et dynamiques à l'échelle de la ferme
	Analyse de la propension à accepter une compensation
	Analyse de la transférabilité spatiale des avantages et des coûts de l'adoption des PGB
Ruisseau Tobacco Sud	Budgets d'entreprise, analyse économétrique et modélisation à des fins de simulation
	Méthodes économiques expérimentales (enchères de conservation)
Nation Sud	Budgets d'entreprise
	Analyse de la disposition à payer
Bras d'Henri et Fourchette	Analyse économétrique
	Analyse de la disposition à payer
	Modèle d'optimisation
Ruisseau Black	Analyse globale de l'exploitation agricole
	Analyse de la disposition à payer
Ruisseau Thomas	Modèle d'optimisation et analyse économétrique
Rivière Souris	Budgets d'entreprise

Certaines méthodes utilisées par les économistes de l'EPBH pour estimer les coûts et les avantages des PGB sont définies ci-dessous.

- Les **budgets d'entreprise** calculent le revenu net à un degré de précision tel que l'on peut évaluer la valeur économique d'une PGB au niveau d'une production agricole donnée (comme la culture de plantes fourragères) plutôt qu'au niveau global de l'exploitation agricole. En combinant cet outil avec la valeur des capitaux propres de l'entreprise, on peut établir le taux de rendement des investissements consacrés aux PGB.
- Les **modèles financiers** permettent de dresser des états financiers, comme le bilan, les états des résultats ou l'état des flux de trésorerie d'une entreprise agricole, lesquels servent à déterminer l'impact d'une PGB sur la trésorerie, le revenu net et les capitaux propres du producteur.
- Les **modèles d'optimisation** servent à déterminer la meilleure allocation des ressources de l'exploitation au moyen de plusieurs techniques mathématiques, dont la programmation linéaire et non linéaire. Ces modèles peuvent être utilisés pour des analyses entre régions ou entre exploitations agricoles.
- Les **modèles d'optimisation stochastique et dynamique** permettent d'élargir les modèles d'optimisation et de simuler des changements dans les flux de trésorerie, les ressources de l'exploitation agricole, les probabilités, les horizons temporels et la prise de décision. Dans la modélisation à des fins de simulation, les volets biophysique et économique sont reliés pour l'étude de scénarios hypothétiques.
- L'**analyse de la disposition à payer** est une méthode évaluant les avantages perçus par les producteurs et les habitants ruraux hors ferme de l'amélioration de la qualité de l'eau qui découle de l'adoption de PGB.
- L'**analyse de la propension à accepter une compensation** est une approche analytique visant à déterminer la valeur qu'un producteur accorde à l'adoption d'une PGB
- L'**analyse de transférabilité spatiale** examine la transférabilité des avantages et des coûts d'une PGB d'un endroit à l'autre.
- L'**analyse économétrique** aide à déterminer la probabilité que des producteurs adoptent ou non des PGB. Elle permet d'estimer les fonctions de rendement des cultures et de coûts et de faire des inférences statistiques au sujet de l'importance des variables qui influent sur la disposition d'un agriculteur d'adopter une PGB.
- L'**analyse globale de la ferme** permet d'évaluer l'incidence des PGB adoptées sur le revenu et le rendement financier de l'ensemble de la ferme. Parfois, le flux de trésorerie d'une production agricole spécifique ne suffit pas à couvrir l'investissement, mais celui de l'ensemble de l'exploitation agricole le permet.

- Les **méthodes économiques expérimentales** étudient la capacité financière ou autre des producteurs à adopter des PGB avec l'aide de politiques et de mécanismes incitatifs divers. Ces études ont comme sujets expérimentaux des étudiants ou des producteurs. Même si la présente étude portait sur les enchères de conservation (enchères inversées), on pourrait adapter les plateformes déjà constituées pour étudier d'autres outils d'intervention susceptibles d'encourager l'adoption de PGB (p. ex. des mesures compensatoires de conservation).

RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS ÉCONOMIQUES

Coûts à la ferme

La recherche économique de l'EPBH a démontré que la plupart des PGB évaluées nécessiteraient un investissement important pour leur mise en œuvre ou augmenteraient les coûts d'exploitation en raison de l'entretien requis. Les PGB structurales, c'est-à-dire qui exigent l'aménagement d'ouvrages, comme des clôtures, des aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau, des étangs de retenue, ou les déviations, nécessitent normalement d'importants investissements initiaux. Les PGB de gestion, comme la gestion des éléments nutritifs et la rotation de cultures, peuvent aussi entraîner des coûts d'exploitation annuels.

Les PGB structurales, comme les clôtures d'exclusion des bovins, nécessitent normalement d'importants investissements initiaux.

Comme les producteurs sont plus enclins à investir dans de nouvelles technologies ou des pratiques qui améliorent la production et la rentabilité, il faudrait probablement des incitatifs financiers ou réglementaires pour encourager l'adoption des PGB coûteuses.

Avantages à la ferme

La plupart des PGB étudiées dans l'EPBH offrent certains avantages à la ferme qui peuvent compenser partiellement ou complètement leurs coûts de mise en œuvre et d'entretien. Par exemple, la pose de clôtures d'exclusion des bovins combinée à la mise en place d'abreuvoirs à l'écart des cours d'eau permet de mieux exploiter les pâturages tout en offrant une eau de qualité pour les bovins. Les abreuvoirs à l'écart des cours d'eau incitent les bovins à boire davantage et à passer plus de temps à brouter. D'autres recherches menées ailleurs ont montré que cette PGB peut accroître les revenus en favorisant un meilleur gain de poids du bétail et une meilleure exploitation des pâturages. Par ailleurs, on a constaté que l'utilisation d'un système de surveillance informatisé en irrigation aidait à protéger les cultures contre le gel hivernal et améliorait l'efficacité de l'irrigation. Dans les bassins du ruisseau Pipestone et du ruisseau Tobacco Sud, la conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes a réduit les coûts des intrants, comme les engrais.

Avantages nets à la ferme

Pour la plupart des PGB étudiées, les coûts d'installation et d'entretien éclipsent tout avantage à la ferme. Toutefois, neuf des 38 PGB évaluées dans le volet économique de l'EPBH présentaient des avantages nets positifs à la ferme :

- les plans de gestion des fumiers bovins et des éléments nutritifs dans le bassin de la rivière Lower Little Bow;
- le pâturage hivernal en champ avec balles de foin combiné à un plan de gestion des éléments nutritifs dans le bassin du ruisseau Pipestone;
- le travail réduit du sol et peut-être l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver (étude en cours) dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud;
- le travail réduit du sol dans le bassin du ruisseau Fourchette;
- le drainage souterrain contrôlé dans le bassin de la Nation Sud;
- le travail du sol printanier dans les systèmes culturaux de la pomme de terre dans le bassin du ruisseau Black.

Neuf des PGB évaluées dans le volet économique présentaient des avantages nets positifs à la ferme. Par exemple, le drainage souterrain contrôlé dans le bassin de la Nation Sud a réduit les charges d'éléments nutritifs des eaux de surface, tout en offrant aux producteurs un gain économique modeste, mais soutenu.

Dans le cas des PGB dont les avantages nets à la ferme sont négatifs, il faudrait probablement offrir un incitatif financier pour encourager les producteurs à les adopter. Certaines PGB pourraient ne nécessiter que des incitatifs minimes. Par exemple, la mise en place d'abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôture et la conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow se sont traduit par une légère baisse des flux de trésorerie de la ferme. De plus, comme les PGB qui présentent des avantages nets positifs devraient s'autofinancer, elles n'ont pas besoin d'aide financière. Toutefois, comme les avantages nets sont en partie fonction du prix des produits agricoles, l'avantage net d'une PGB aujourd'hui négatif pourrait devenir positif dans le futur, et vice versa. Cela peut s'appliquer particulièrement aux PGB de nature annuelle, comme la conversion de cultures céréalières en cultures fourragères.

Avantages publics

Certains avantages hors ferme (publics) ont été recensés dans les études sur les PGB de l'EPBH. Toutefois, la recherche visant à quantifier ces avantages étant chère et complexe, elle a été limitée. Parmi les avantages publics des PGB, citons l'amélioration de la qualité de l'eau en aval, la réduction de l'érosion, la séquestration du carbone, l'amélioration de la biodiversité et l'offre d'activités récréatives.

Presque toutes les PGB étudiées dans l'EPBH permettent de réduire la charge de contaminants des eaux de surface en aval. Ainsi, dans le bassin hydrographique du ruisseau Black, les avantages hors ferme de l'aménagement de déviations et de voies d'eau gazonnées peuvent être la réduction du ruissellement et une eau plus propre. Par ailleurs, on a constaté que les petits barrages construits dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud atténuaient les inondations en aval.

On a aussi recensé certains avantages économiques publics. Les déviations et les voies d'eau gazonnées peuvent réduire les coûts associés à l'enlèvement des sédiments dans les fossés en bordure des routes. Les économistes ont chiffré certains de ces avantages hors ferme. Dans le bassin hydrographique de la Nation Sud, par exemple, ils ont estimé la valeur actualisée nette du drainage souterrain contrôlé, PGB bénéfique pour l'environnement, pour les cultures de maïs et de soja, en supposant que toutes les terres cultivées du bassin qui s'y prêtaient étaient drainées au moyen de ce système. Puis, au moyen d'un multiplicateur de production, ils ont estimé que cette pratique générerait plus de 4 millions de dollars d'activités économiques par an en Ontario (en dollars de 2006).

En outre, dans le bassin de la Nation Sud, les économistes ont estimé grosso modo à 0,4 million de dollars par an les avantages hors ferme d'une eau douce de qualité en se fondant sur la disposition à payer des sujets sondés. Au Québec, selon les conclusions de l'évaluation de la valeur accordée par la population rurale non agricole à une eau de meilleure qualité, les ménages avec enfants étaient plus enclins à payer pour une eau de qualité.

Certains avantages nets à la ferme qui sont légèrement négatifs peuvent devenir positifs si l'on tient compte des avantages publics dans l'analyse. Par exemple, une analyse coûts-avantages de l'aménagement de déviations dans le bassin du ruisseau Black a tenu compte des valeurs privées et publiques. Un sondage a été réalisé afin d'estimer la disposition des ménages à payer pour l'amélioration de la qualité de l'eau par la mise en œuvre de PGB. Les résultats indiquent qu'une augmentation de 57 % à 80 % de la superficie du territoire agricole protégée par des déviations se traduirait par un avantage public annuel de 9 945 $ (en valeur actualisée nette), contre 11 697 $ si tout le territoire était protégé. Comme les avantages nets privés de cette PGB sont négatifs sans la prise en compte des avantages publics, cela porte à croire que la mise en place de cette PGB sur le territoire agricole du bassin serait d'intérêt public. De plus, puisque la PGB n'est pas rentable pour la ferme, les gouvernements pourraient offrir une aide financière pour éponger les coûts d'aménagement de ces ouvrages.

Certains avantages nets à la ferme qui sont légèrement négatifs peuvent devenir positifs si l'on tient compte des avantages publics dans l'analyse. Par exemple, l'aménagement de déviations et de voies d'eau gazonnées dans le bassin du ruisseau Black a comme avantages hors ferme la réduction du ruissellement, une eau plus propre et la réduction des coûts associés à l'enlèvement des sédiments dans les fossés en bordure des routes.

Résultats relatifs aux PGB

Le tableau 7 présente les résultats de l'analyse économique de chaque PGB mise en œuvre dans les bassins de l'EPBH. Voir les chapitres 8 à 16 pour situer ces résultats dans le contexte des évaluations biophysiques.

TABLEAU 7

Résultats économiques de l'EPBH par bassin hydrographique et par PGB

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	PGB	AVANTAGE NET À LA FERME	RÉSULTATS ÉCONOMIQUES
Rivière Salmon (C.-B.)	Clôture d'exclusion des bovins (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau)	Négatif	■ Coûts d'installation et d'entretien élevés. ■ Inabordable pour un secteur d'élevage en difficulté. ■ Des avantages à la ferme sont attendus, mais ils n'ont pas été étudiés spécifiquement.
	Gestion de l'irrigation	Négatif	■ La ferme type a une rentabilité marginale; elle peut supporter les coûts d'exploitation, mais pas les coûts d'investissement. ■ Les avantages pour la ferme peuvent comprendre un gain d'efficacité de l'irrigation et une augmentation du rendement fourrager.
Rivière Lower Little Bow (Alb.)	Clôture le long des berges avec un passage de bétail (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau)	Négatif	■ Coûts d'installation élevés. ■ Le potentiel accru d'exploitation des pâturages est probablement insuffisant pour compenser les coûts.
	Abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôture	Négatif	■ Légère réduction des flux de trésorerie de la ferme. ■ Des avantages potentiels pour la ferme qui n'ont pas été calculés pourraient compenser les coûts.
	Conversion à une couverture végétale pérenne	Négatif	■ Légère réduction des flux de trésorerie de la ferme.
	Gestion du fumier	Négatif	■ Réduction du revenu net en raison des coûts de transport du fumier et des baisses de rendement découlant d'un apport réduit en éléments nutritifs. ■ Les coûts dépendent du ratio N:P du fumier épandu.
	Bandes tampons	Négatif	■ Réduction du flux de trésorerie, peu importe la largeur de la bande tampon. ■ Les coûts varient selon la largeur de la bande tampon et le niveau désiré de protection environnementale. ■ Coût de renonciation élevé (réduction du revenu net) en raison de la perte de terres cultivables.
	Autres PGB (introduction de la culture de la luzerne dans la rotation des cultures, utilisation d'engrais vert, incorporation de fumier bovin dans le sol, gestion des résidus de culture et planification de la gestion des éléments nutritifs)	Positif ou négatif, (selon la PGB)	■ L'incorporation de fumier bovin et la planification de la gestion des éléments nutritifs se traduisent par des avantages nets positifs pour la ferme représentative. ■ Les trois autres PGB constituent un coût net pour la
Ruisseau Pipestone (Sask.)	Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes	Négatif	■ Les terres converties, bien qu'encore productives, sont moins rentables que lorsqu'elles étaient affectées à des cultures annuelles. ■ Réduction de l'utilisation d'engrais et de l'érosion du sol.
	Gestion des éléments nutritifs	Positif	■ Réduction de l'utilisation d'engrais. ■ Les coûts d'analyses de sol sont la seule dépense.
	Rétablissement des milieux humides	Négatif	■ Réduction du revenu agricole net en raison de la perte d'une superficie cultivable.
	Pâturage hivernal en champ avec balles de foin	Positif	■ Augmentation des coûts de transport pour l'alimentation en foin durant l'hiver. ■ Les coûts de mise en œuvre comprennent l'installation de clôtures, d'abreuvoirs et de brise-vent. ■ Réduction des charges de nettoyage des enclos et de transport du fumier. ■ L'avantage net annualisé par vache de boucherie est positif.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	PGB	AVANTAGE NET À LA FERME	RÉSULTATS ÉCONOMIQUES
Ruisseau Tobacco Sud (Man.)	Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes	Négatif	■ Les économies générées par la réduction des coûts d'intrants sont insuffisantes pour compenser la perte de revenu net entraînée par l'abandon des cultures annuelles. ■ La perte nette annuelle dépend du système de rotation des cultures annuelles et du type de sol.
	Étang de retenue (des eaux de ruissellement provenant d'une zone de confinement des bovins)	Négatif	■ Le coût d'investissement élevé au départ est plus difficile à absorber pour les petites exploitations. ■ L'eau retenue pourrait servir à irriguer les cultures fourragères et à en augmenter les rendements (dont ceux de la luzerne). ■ La valeur des éléments nutritifs et de l'eau captée à des fins d'irrigation est insuffisante pour compenser les coûts de construction et d'exploitation.
	Petits réservoirs	S.O., car les barrages ont été financés par des fonds publics	■ Coût d'investissement élevé au départ. ■ Les coûts dépendent des dimensions du barrage. ■ Plusieurs avantages potentiels recensés à la ferme et hors ferme. ■ La valeur attribuée à la réduction des inondations pourrait équivaloir à un délai de récupération d'environ 35 ans. ■ Il faudrait un incitatif financier si la construction du barrage est financée par le secteur privé, puisque la plupart des avantages obtenus sont hors ferme.
	Travail de conservation du sol	Négatif ou positif, selon la culture	■ La rotation type céréales-oléagineux tend à avoir un avantage financier plus élevé avec le travail réduit du sol. ■ Les producteurs de la zone d'étude ne sont pas enclins à adopter le semis direct en raison des coûts initiaux associés à cette technique culturale.
	Engraissement des bovins dans les champs durant l'hiver	Positif	■ Avantage net positif estimé par rapport à l'engraissement dans un parc d'élevage. ■ Réduction des coûts de gestion du fumier, d'équipement et de carburant.
	Amélioration de la zone riveraine avec récolte mécanique des fourrages	Négatif	■ La clôture des zones riveraines dans les pâturages de bovins coûte cher à installer et à entretenir. ■ Perte de terres cultivables au profit des bandes tampons.
Nation Sud (Ont.)	Drainage souterrain contrôlé	Positif	■ Les profits générés par l'augmentation des rendements culturaux pourraient faire en sorte que les dispositifs de contrôle s'amortissent en trois ou quatre ans seulement. ■ Impact positif sur l'activité économique de la province.
	Clôture d'exclusion des bovins (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau)	Négatif	■ Les clôtures ont des coûts d'installation et d'entretien élevés. ■ Les abreuvoirs sont moins coûteux à installer et à entretenir.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	PGB	AVANTAGE NET À LA FERME	RÉSULTATS ÉCONOMIQUES
Bras d'Henri et Fourchette (Qué.)	Contrôle du ruissellement superficiel	Négatif	■ Fait augmenter les coûts, mais dans une proportion moindre pour les exploitations qui font de grandes superficies en grandes cultures. ■ Avantages potentiels pour la ferme (stabilisation du terrain et augmentation des rendements). ■ Adoption favorisée par l'âge et le niveau d'instruction des producteurs, la taille de la ferme et d'autres facteurs.
	Bandes tampons	Négatif	■ Les bandes tampons de 1 m et de 3 m ne peuvent pas être cultivées ni utilisées pour nourrir le bétail. ■ On suppose que les bandes tampons de 5 m produisent du foin récoltable, ce qui génère un revenu. ■ La province exige maintenant des bandes tampons d'au moins 3 m.
	Travail réduit du sol	Positif	■ Avantages nets supérieurs à ceux du travail conventionnel du sol.
	Gestion du lisier de porc	Négatif	■ Coûts moins élevés pour les exploitations qui s'adonnent aussi aux grandes cultures; coûts plus élevés pour les fermes d'élevage. ■ Les femmes et les propriétaires fonciers habitant à la ferme sont plus enclins à adopter cette PGB.
	Utilisation réduite d'herbicides	Négatif	■ La perte de rendement surpasse les économies de coûts. ■ Les grandes fermes sont plus susceptibles d'adopter cette PGB.
	Rotation des cultures (réduction de la superficie en maïs au profit de la superficie en foin)	Négatif	■ Pratique coûteuse; les coûts moyens à court terme augmentent à mesure que l'on augmente les superficies fourragères dans la rotation. ■ Adoption favorisée par l'âge et le niveau d'instruction des producteurs et la taille de la ferme; adoption freinée par le coût de la main-d'œuvre.
Ruisseau Black (N.-B.)	Déviations et voies d'eau gazonnées	Négatif	■ Avantage net négatif pour la ferme, mais positif si on tient compte de l'intérêt public. ■ Mise en œuvre et entretien coûteux. ■ Le rendement accru en pommes de terre est probablement insuffisant pour compenser les coûts d'installation.
	Bandes riveraines gazonnées	Négatif	■ Mise en œuvre coûteuse.
	Travail de sol printanier dans les systèmes de culture de la pomme de terre	Positif	■ Effet positif sur le rendement moyen en pommes de terre se traduisant par une augmentation du revenu agricole moyen.
Ruisseau Thomas (N.-É.)	Plans de gestion des éléments nutritifs	Négatif	■ Réduction du revenu net (perte de rendement). ■ Les pertes agricoles augmentent à mesure que les doses d'engrais diminuent. ■ Difficile de trouver des débouchés pour les nouvelles cultures recommandées dans les rotations.
	Déviation des eaux pluviales (ruissellement de la cour de ferme)	Négatif	■ Réduction du revenu net. ■ Installation coûteuse.
	Clôture d'exclusion des bovins (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau)	Négatif	■ Réduction du revenu net. ■ Installation et entretien coûteux. ■ La baisse de revenu net pourrait être réduite avec une augmentation de la production laitière.
	Mise à niveau de l'étang de rétention	Négatif	■ Coûts élevés pour la mise à niveau. ■ Les avantages potentiels (non quantifiés) incluent la protection contre le gel et l'irrigation d'appoint des cultures de fraises.
Rivière Souris (Î.-P.-É.)	Travail du sol retardé	Négatif	■ Diminution possible du rendement récolté et augmentation des coûts de production.

ÉTUDES SOCIOÉCONOMIQUES

Des études socioéconomiques ont été réalisées dans l'EPBH pour analyser les attitudes et les comportements des producteurs envers l'adoption des PGB :

- Dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon, un sondage mené auprès des producteurs a révélé que le prix moyen qu'ils étaient prêts à payer pour l'installation d'une station de surveillance des conditions météorologiques et d'humidité du sol en vue d'améliorer l'efficacité de l'irrigation avait augmenté au cours de l'étude, étant passé de 1 587$ en 2010 à 1 656 $ en 2011. Toutefois, une subvention serait probablement nécessaire pour inciter les producteurs à adopter la PGB, puisque le coût d'achat de l'équipement était de 5 000 $.
- Dans la région de Chaudière-Appalaches, au sud de Québec, les économistes ont sondé 269 producteurs agricoles en 2007 pour déterminer l'incidence de divers facteurs socioéconomiques, de caractéristiques des fermes et de considérations opérationnelles à la ferme sur la probabilité que les producteurs adoptent les PGB pour corriger des problèmes de qualité de l'eau. On a constaté qu'il y avait divers facteurs qui entrent en jeu, notamment le niveau d'instruction, l'âge, le sexe, le fait de résider à la ferme ou non, la taille de l'exploitation, la certification biologique, l'appartenance à un groupe de conservation des bassins hydrographiques et le coût de la main-d'œuvre. On a également sondé la population rurale non agricole pour connaître sa perception de la pollution et ses moyens de défense face à ce problème. Les mesures les plus courantes adoptées contre la pollution de l'eau étaient l'achat d'eau embouteillée ou l'investissement dans un système de traitement de l'eau.
- Dans les bassins de la rivière Lower Little Bow et du ruisseau Pipestone, les économistes ont cherché à déterminer dans quelle mesure les coûts financiers d'adoption de PGB représentaient une estimation exacte des « véritables » coûts d'adoption des PGB par les producteurs, tels que mesurés par l'évaluation de leur propension à accepter une compensation. Cette étude se poursuit.

Études du comportement à la ferme

Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud

Une étude du comportement à la ferme dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud a envisagé les enchères de conservation (aussi appelées enchères inversées) comme outil stratégique pour inciter les producteurs à adopter des PGB pour l'atteinte d'objectifs environnementaux. Les chercheurs ont évalué la capacité financière des producteurs à adopter des PGB et les caractéristiques comportementales qui influencent leurs décisions d'adoption de PGB.

Beaucoup de PGB coûtent cher à adopter et de nombreuses méthodes incitatives, dans le passé, ont eu peu d'effet sur leur taux d'adoption. Les programmes à frais partagés n'offrent peut-être pas assez d'incitatifs financiers pour encourager l'adoption de ces pratiques. Les enchères de conservation, fondés sur l'offre et la demande, peuvent offrir des incitatifs suffisants au producteur pour qu'il décide d'apporter des améliorations environnementales dans des limites d'un budget donné.

Les enchères de conservation sont un système d'appel d'offres concurrentiel qui vise à allouer des fonds aux fournisseurs de services environnementaux (p. ex. les producteurs adoptant des PGB) d'une manière efficiente. Ce mécanisme peut se traduire par l'amélioration de la qualité de l'environnement, tout en fournissant des renseignements précieux sur les coûts de mise en œuvre des PGB aux décideurs, et assure le bailleur de fonds que les objectifs environnementaux sont atteints au coût minimal.

En agriculture, c'est un gouvernement ou un autre organisme de financement disposant d'un certain budget pour l'obtention de services environnementaux par l'exploitation des terres agricoles qui lancera l'enchère de conservation. Les producteurs font une offre qui correspond à la plus faible compensation financière qu'ils sont prêts à accepter pour adopter une PGB (ou un ensemble de PGB). La sélection des offres se fait à partir du plus bas coût unitaire des services environnementaux jusqu'à que la limite du budget soit atteinte.

Dans cette étude économique expérimentale, les chercheurs ont conjugué les coûts estimatifs de l'adoption des PGB avec les estimations générées par le modèle hydrologique de la réduction des éléments nutritifs pour chaque PGB, afin de mettre à l'essai différents types d'enchères dans un laboratoire d'économie. Les expériences mettaient normalement en jeu 12 sujets – étudiants universitaires ou producteurs – à qui l'on avait donné des coûts fictifs d'adoption de PGB. Les sujets présentaient des offres scellées, qui étaient ensuite classées en fonction de l'objectif environnemental de l'enchère. Les sujets recevaient un montant prédéfini pour chaque itération d'enchères, et les soumissionnaires retenus recevaient le montant de leur offre moins les coûts d'adoption de la PGB.

L'objectif initial de l'étude était d'intégrer un modèle de comportement à la ferme au modèle hydroéconomique intégré du bassin du ruisseau Tobacco Sud. Toutefois, cela n'avait pas été réalisé à la fin du programme d'EPBH.

Les résultats de l'expérience ont démontré qu'il est possible d'obtenir des services environnementaux découlant de l'adoption de PGB, à bon rapport qualité-prix au moyen d'enchères de conservation. La recherche de l'EPBH sur les enchères de conservation comme mécanisme d'intervention a déjà mené à leur utilisation dans de véritables programmes incitatifs au Canada.

Voir le chapitre 5 et le chapitre 11 pour plus d'informations sur cette étude.

Bassin hydrographique du Bras d'Henri

Les mécanismes de marché visant à encourager l'adoption de PGB – comme les enchères inversées, des mécanismes différents de fixation des prix et des règles de décision pour la sélection – sont des approches stratégiques différentes favorisant l'adoption de PGB fournissant des biens et des services environnementaux. Ils peuvent permettre la prise de difficiles décisions stratégiques à l'échelle du bassin hydrographique ou de la région en l'absence de données sur les fermes.

Les économistes qui ont étudié l'utilisation de ces mécanismes ont conclu que les informations tirées de leur modèle économique pourraient servir à la conduite d'une enchère expérimentale.

Voir le chapitre 5 pour plus de renseignements sur cette étude.

COMPARAISONS ENTRE LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Certaines PGB ont été étudiées dans deux bassins hydrographiques ou plus. Par contre, leur rendement économique peut varier grandement d'un endroit à l'autre du Canada en fonction de la conception des PGB, du climat, du type de sol et d'autres variables agronomiques. Les coûts, comme ceux de la main d'œuvre, peuvent aussi varier entre les régions. De plus, les économistes de différents projets peuvent avoir utilisé diverses méthodes de recherche pour une même PGB. Pour ces raisons, toute comparaison entre les études doit être considérée avec prudence, et toute recommandation ou décision concernant l'adoption d'une PGB doit être fondée sur les informations propres au bassin.

Malgré ces différences, une comparaison du rendement économique des PGB révèle certaines similitudes. Les résultats variés peuvent aider les économistes à cerner les facteurs déterminants de la performance économique des PGB.

- Les **clôtures d'exclusion des bovins** des adjacentes aux zones riveraines ont été étudiées dans quatre bassins hydrographiques (rivière Salmon, rivière Lower Little Bow, Nation Sud et ruisseau Thomas). Les résultats de la recherche économique étaient semblables dans les quatre bassins et montrent que, malgré certains avantages pour la ferme du fait de la productivité accrue des bovins, il est peu probable que ces avantages compensent entièrement les coûts d'installation à court terme.
- Les PGB faisant appel à la **gestion du fumier et des éléments nutritifs** qui ont été appliquées dans quatre bassins se sont avérées non rentables dans trois bassins, mais économiquement réalisables dans le quatrième. Dans le bassin de la rivière Lower Little Bow, les coûts étaient fonction du rapport N:P du fumier épandu. Dans celui de la rivière Bras d'Henri, cette PGB était coûteuse, mais moins pour les fermes à grande superficie en grandes cultures que pour les fermes d'élevage. Dans le bassin hydrographique du ruisseau Thomas, les résultats indiquent que la gestion des éléments nutritifs a réduit les marges brutes. Dans le bassin du ruisseau Pipestone, le fumier et les éléments nutritifs ont été appliqués, soit selon le rendement prévu, soit à un tiers de la dose normale d'application. Dans les deux cas, il y a eu moins d'engrais d'appliqué lorsque le rendement de la récolte de l'année précédente avait été moindre que prévu. Les deux versions de la PGB ont donné des avantages nets positifs.
- La **gestion du travail du sol et des résidus de culture** a été étudiée sous différentes formes dans trois bassins hydrographiques. Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, on a constaté que le travail réduit du sol était la meilleure option sur le plan économique pour les cultures de céréales. Dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri, les économistes ont constaté un intérêt accru pour le travail réduit, en raison des avantages nets de cette pratique. Cette conclusion a été étayée par leur modèle. Dans le bassin de la rivière Souris, le labour retardé jusqu'à l'ensemencement du printemps a occasionné des coûts supplémentaires dans les cultures de pomme de terre et de soja.
- La **conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes** s'est traduite par des avantages nets négatifs dans les quatre bassins hydrographiques à l'étude. Les flux de trésorerie à la ferme ont légèrement diminué dans le bassin de la rivière Lower Little Bow. Bien que les terres converties étaient encore exploitées dans le bassin du ruisseau Pipestone, de cultures annuelles plus lucratives s'est soldée par un coût net. Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, les économies de coûts attribuables à la réduction des intrants n'ont pas compensé la perte de revenu net attribuable à l'abandon de cultures annuelles. Dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri, le remplacement de superficies en maïs par des superficies en foin a donné lieu à des avantages nets négatifs, et les coûts moyens à court terme augmentaient à mesure que l'on augmentait les superficies en foin dans la rotation des cultures.
- **L'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver** avait un potentiel d'avantages nets positifs dans deux bassins hydrographiques (ruisseau Pipestone et ruisseau Tobacco Sud).
- Les **bandes tampons** ont été étudiées dans deux bassins hydrographiques (rivière Lower Little Bow et ruisseau Black) et ont été analysées indirectement dans un troisième bassin. On a constaté que la PGB a donné des avantages nets négatifs puisqu'elle est associée à une perte de terres cultivables, d'où une réduction du revenu agricole net. L'analyse menée au Québec a permis de constater qu'il est possible de cultiver et de récolter une espèce fourragère dans une bande tampon assez large, à des fins commerciales ou d'utilisation dans l'entreprise, ce qui compense en partie la réduction du revenu agricole net.

- Les **étangs de retenue des eaux de ruissellement** étudiés dans les bassins du ruisseau Tobacco Sud et du ruisseau Thomas se sont traduits par des avantages nets négatifs en raison des coûts d'investissement initial élevés.

APPLICATION DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE ÉCONOMIQUE DE L'EPBH

Le succès des initiatives de gérance environnementale visant à atténuer les impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau dépend de la disposition des producteurs agricoles à adopter des PGB et de leur capacité financière à long terme pour payer ces PGB. La recherche économique menée dans le cadre de l'EPBH a offert aux producteurs des informations crédibles sur les coûts et les avantages à la ferme et hors ferme qui sont associés à la mise en œuvre et à l'entretien des PGB. Les producteurs peuvent utiliser ces informations dans leurs décisions relatives à l'adoption de PGB. Les organismes gouvernementaux et autres qui s'intéressent à l'agriculture durable peuvent aussi s'en servir pour évaluer le bien-fondé d'incitatifs financiers, réglementaires ou autres pour encourager l'adoption de PGB.

On a constaté que bon nombre des PGB étudiées dans l'EPBH entraîneraient des avantages nets négatifs pour les producteurs qui les adopteraient. Dans de nombreuses études sur les PGB, le désavantage était assez faible, mais pour les PGB nécessitant des investissements, comme la construction d'étangs de retenue, les coûts étaient élevés. Si la réduction des impacts agricoles sur l'environnement est une priorité pour les gouvernements, ces derniers peuvent envisager d'offrir une aide financière aux producteurs pour qu'ils adoptent certaines des PGB étudiées dans l'EPBH. Ainsi, c'est en partie grâce à la recherche menée dans le cadre de l'EPBH que le drainage souterrain contrôlé est devenu une PGB dont les coûts peuvent être partagés dans le cadre du Programme de gérance agroenvironnementale Canada-Ontario. L'organisme Conservation de la Nation Sud et la Ville d'Ottawa (dans le cadre du Programme d'assainissement des eaux rurales) ont également offert des incitatifs financiers aux producteurs.

Les mesures réglementaires sont une autre option stratégique pour faire adopter des PGB. Mais si aucune aide financière n'est accordée aux producteurs, leur adoption risque fort de se traduire par une baisse des revenus agricoles nets.

CONCLUSIONS

Au début du programme d'EPBH, le principal objectif de la recherche économique était d'évaluer les coûts de l'adoption de PGB pour la ferme. À cette étape, il semblait que presque toutes les PGB étudiées avaient une incidence négative sur le revenu agricole net. Lorsque les économistes ont commencé à évaluer les avantages à la ferme qui pourraient compenser, en partie, les coûts de mise en œuvre des PGB, il est devenu clair que certaines PGB pouvaient avoir des avantages nets positifs, ou seulement légèrement négatifs, pour les producteurs.

On a aussi recensé certains avantages hors ferme (publics), et on a déterminé que certaines PGB aux avantages nets négatifs à la ferme peuvent en fait avoir des avantages nets positifs hors de la ferme.

La recherche économique de l'EPBH a fourni aux producteurs des informations crédibles sur les coûts et les avantages à la ferme et hors ferme de la mise en œuvre et de l'entretien des PGB. Les producteurs peuvent utiliser ces informations dans leurs décisions relatives à l'adoption de PGB, et les organismes gouvernementaux et autres qui s'intéressent à l'agriculture durable peuvent aussi s'en servir pour élaborer des politiques et des programmes.

« Les estimations des avantages à la ferme et hors ferme ont été validées pour plusieurs PGB. À mesure que les résultats des suivis biophysiques de l'EPBH devenaient disponibles, les économistes les intégraient dans les évaluations hors ferme. Ce travail a enrichi notre base de connaissances sur les impacts économiques des PGB, et a cerné des compromis nécessaires entre les exigences environnementales et économiques, éclairant ainsi les décisions relatives à l'adoption de PGB. »

Carlyle Ross (Ph. D.), coprésident du volet économique de l'EPBH

Communauté de pratique

Les neuf années du programme d'EPBH ont contribué à la création d'une communauté de pratique, formée des économistes agricoles étudiant les coûts-avantages des PGB. On s'attend à ce que le réseau créé survive, sous une forme officielle ou non. On peut envisager de nouveaux partenariats et d'autres sources de financement pour la poursuite de cette recherche utile et de l'échange d'informations.

Avenir des PGB de l'EPBH

D'après les chercheurs, de nombreux producteurs ayant participé aux études de l'EPBH souhaitent continuer d'utiliser plusieurs des PGB mises en œuvre dans leur exploitation agricole. Par exemple, les producteurs qui ont participé à l'étude sur la gestion de l'irrigation dans le bassin de la rivière Salmon pourraient continuer d'utiliser l'équipe de surveillance de l'humidité du sol pour programmer l'irrigation de leurs champs. Cela vaut aussi pour les dispositifs de contrôle du drainage souterrain installés dans la région étudiée du bassin de la Nation Sud. Au Québec, l'équipe de l'Université McGill a constaté que les producteurs préfèrent souvent le travail réduit au travail conventionnel du sol en raison de ses avantages nets. Cependant, lorsque des PGB, comme les clôtures et les bandes tampons, ont des coûts de mise en œuvre élevés, qu'elles réduisent la superficie cultivable et qu'elles n'ont pas d'avantages évidents pour la ferme, les participants pourraient revenir à des pratiques classiques.

BIBLIOGRAPHIE – RECHERCHE ÉCONOMIQUE DE L'EPBH

Afari-Sefa, V., E.K. Yiridoe, R. Gordon et D. Hebb. 2008. Decision considerations and cost analysis of BMP implementation in Thomas Brook Watershed. *J International Farm Management*, 4(3):1-32.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, R. Jamieson et D. Hebb. 2015. Comparison of crop yield and pollution production response to nitrogen fertilization models, accounting for crop rotation effect. *Agroecol Sust Food*, 39(3):245-275.

Boxall, P.C., O. Perger et M. Weber. 2013. Reverse auctions for agri-environmental improvements: bid-selection rules and pricing for beneficial management practice adoption. *Analyse de politiques*, 39(s2):23-36.

Crabbé, P., D.R. Lapen, H. Clark, M. Sunohara et Y. Liu. 2012. Economic benefits of controlled tile drainage: Watershed Evaluation of Beneficial Management Practices, South Nation river basin, Ontario. *Water Qual Res J Can*, 47(1):30-41.

Dring, C., J.F. Devlin, G. Boag, M. Sunohara, J. Fitzgibbon, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Incentives and disincentives identified by producers and drainage contractors/experts on the adoption of controlled tile drainage in eastern Ontario, Canada. *Water Qual Res J Can*. Sous presse. DOI: 10.2166/wqrjc.2015.047.

Ghazalian, P.L., B. Larue et G.E. West. 2009. Best management practices to enhance water quality: Who is adopting them? *J Agr Appl Econ*, 41(3):663-682.

Khakbazan, M et C. Hamilton. 2012. Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba. *Soil Till Res*, 118:40-51.

Khakbazan, M., C. Hamilton, J. Elliott et J. Yarotski. 2013. Economic analysis of agricultural nutrient management practices in the South Tobacco Creek Watershed in Manitoba, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(4):257-269.

Kits, G., W.L. Adamowicz et P.C. Boxall. 2014. Do conservation auctions crowd out voluntary environmentally friendly activities? *Ecol Econ*, 105:118-123.

Larue, B., G.E. West, L.D. Tamini, A. Singbo et J. Dangbedji. 2014. Willingness to pay for BMP-induced water quality benefits and deviations around expected water quality outcomes. *Rev. can. des ressources hydriques* 39(4):437-448.

Ochuodho, T., E. Olale, V. Lantz, J. Damboise, T.L. Chow, F.R. Meng et J.L. Daigle. 2013. Impacts of soil and water conservation practices on potato yield in northwestern New Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(5):392-400.

Ochuodho, T.O., E. Olale, V.A. Lantz, J. Damboise, J.–L. Daigle, F.-R. Meng, S. Li et T.L. Chow. 2014. How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Reg Environ Change*, 14:1563-1574.

Smith, E.G., X. Hao et J.J. Miller. 2014. Economics of utilizing biodigested beef feedlot manure to manage nutrient application to cropland. *Int J of Renewable Energy and Biofuels*, 2014 (2014), Article ID 371507: 15 pages.

Tamini, L., B. Larue et G. West. 2012. Technical and environmental efficiencies and best management practices in agriculture. *Appl Econ*, 44(13):1659-1672.

CHAPITRE

4

Modélisation hydrologique

RÉSUMÉ

La modélisation hydrologique de l'EPBH, basée sur les données biophysiques obtenues par l'EPBH et sur les valeurs tirées de la littérature, a servi à évaluer les processus de transport des éléments nutritifs et des sédiments par l'eau, à partir des terres agricoles jusqu'aux cours d'eau récepteurs, et leurs impacts sur l'efficacité des PGB.

Les modélisateurs ont employé des modèles informatiques existants et en ont établi ou adapté d'autres pour refléter les conditions locales ou des PGB particulières. L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été utilisé dans la plupart des projets de l'EPBH.

De façon générale, la modélisation a permis de conclure que les PGB occasionneraient une légère réduction des charges en sédiments et en éléments nutritifs. Les résultats de modélisation d'un site peuvent aider à décider de l'utilisation des terres, à l'échelle locale et régionale.

Voir les chapitres 8 à 16 pour plus d'informations sur la modélisation hydrologique effectuée dans chaque bassin hydrographique.

INTRODUCTION

Le modèle hydrologique est un logiciel qui simule le ruissellement dans un bassin hydrographique provoqué par les précipitations et la fonte des neiges. Il représente le bassin comme un système d'éléments hydrologiques communicants qui reflète les propriétés générales et le mouvement de l'eau dans le bassin. En d'autres termes, il s'agit d'une représentation simplifiée et conceptuelle des composantes essentielles du cycle hydrologique.

La modélisation hydrologique effectuée pour chaque site de l'EPBH est venue compléter l'évaluation biophysique des PGB. Les deux volets ont aidé à améliorer les modèles informatiques et à mieux apprécier les conditions ambiantes et les processus en cours dans les bassins. Dans certains bassins, les modèles ont permis d'extrapoler les données sur les incidences des PGB à l'échelle du bassin du niveau supérieur suivant.

Les modèles de l'EPBH ont produit des simulations continues de l'hydrologie, des déplacements de sédiments et de substances agrochimiques et de la qualité de l'eau dans le bassin. Les principaux intrants comprenaient des données sur le climat, les propriétés du sol, la topographie, la végétation et les pratiques de gestion des terres.

Les objectifs des études de modélisation hydrologique de l'EPBH étaient les suivants :

- simuler l'hydrologie du bassin et le transport des contaminants dans les conditions existantes au moyen d'un modèle hydrologique accepté;
- utiliser une version étalonnée et validée du modèle pour évaluer l'efficacité avec laquelle les PGB réduisent les effets négatifs du ruissellement agricole dans le bassin étudié et dans le bassin de niveau supérieur;
- fournir des intrants environnementaux pour les modèles économiques.

MODÈLES UTILISÉS DANS L'EPBH

Pour refléter les conditions locales ou des PGB particulières, les modélisateurs ont utilisé des modèles informatiques existants et en ont élaboré ou adapté d'autres.

Dans sept des neuf bassins hydrographiques de l'EPBH, les modélisateurs ont utilisé le modèle SWAT, seul ou en combinaison avec d'autres modèles. Le modèle SWAT a été mis au point par le service de recherche agricole du département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), qui conçoit des modèles hydrologiques depuis plus de 30 ans. Le modèle SWAT est un modèle bien établi qui simule les processus hydrologiques et de qualité de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique. On en a modifié certaines composantes pour qu'il reflète les conditions climatiques du Canada, comme la redistribution de la neige, les sols gelés et la fonte des neiges, ou pour qu'il prenne en compte ou qu'il représente mieux des PGB particulières.

Dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri, au Québec, on a utilisé le modèle GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé), système de modélisation hydroéconomique intégrée qui utilise HYDROTEL pour la modélisation hydrologique. Avec le système GIBSI, le modèle couplant des eaux de surface et des eaux souterraines CATHY (Catchment Hydrology) et le modèle MHYDAS-Érosion (Modélisation HYdrologique Des AgroSystèmes) ont aussi été appliqués pour le microbassin d'intervention (traitement) de la rivière Bras d'Henri.

Dans le bassin de la rivière Souris, à l'Île-du-Prince-Édouard, on a utilisé les modèles couplés LEACHM-N (Leaching Estimation and Chemistry Model for Nitrogen), un modèle d'estimation et de composition chimique du lessivage pour l'azote, et Visual MODFLOW pour étudier la PGB portant sur le travail retardé du sol.

Les modélisateurs de l'EPBH ont modifié les modèles primaires ou ont utilisé des modèles supplémentaires, au besoin, pour refléter les conditions locales et pour tenir compte de PGB particulières. Pour modifier les modèles existants, ils ont ajouté ou ajusté des modules qui représentent de façon exacte des processus physiques à l'échelle locale (champ ou microbassin). En voici des exemples :

- Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, le modèle SWAT a été adapté en fonction des conditions au pays. La version canadienne ainsi produite – nommée CanSWAT – a été employée avec le modèle imWEBs (modélisation intégrée pour l'évaluation des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques), modèle à l'échelle des champs entièrement réparti utilisé pour le sous-bassin Steppler.
- On a adapté le modèle d'hydrologie forestière ForHyM (Forest Hydrology Model) pour l'appliquer au bassin de la rivière Salmon, afin d'analyser les impacts hydrologiques d'une infestation de dendroctones du pin ponderosa.
- DRAINMOD, modèle couplant des eaux de surface et des eaux souterraines, a été utilisé pour le bassin de la Nation Sud, tandis que des modèles semblables ont servi à l'échelle du microbassin dans les projets de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Thomas.

Le tableau 8 énumère les modèles utilisés dans chaque bassin de l'EPBH, les modifications apportées et les modèles mis au point.

TABLEAU 8
Modèles hydrologiques utilisés dans l'EPBH

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	SUPERFICIE	MODÈLES UTILISÉS		MODIFICATION ET MISE AU POINT DE MODÈLES
		PREMIÈRE PHASE DE L'EPBH (2004-2008)	DEUXIÈME PHASE DE L'EPBH (2009-2013)	
Rivière Salmon	Bassin de la rivière Salmon : 1 500 km^2	SWAT Modèle de la qualité bactériologique de l'eau (BWQM) Modèle d'hydrologie forestière (ForHyM)	ForHyM Modèle du rendement des cultures et de l'humidité des sols Modèle du cycle du phosphore Modèle de l'eau souterraine	Le BWQM, le modèle du rendement des cultures, le modèle du cycle du P et des modèles des eaux souterraines ont été mis au point durant cette étude, et des améliorations ont été apportées aux modèles existants.
Rivière Lower Little Bow	Microbassin de 26 km^2	SWAT	SWAT	Une composante sur l'irrigation a été incorporée dans le modèle SWAT.
Ruisseau Pipestone	3 684 km^2 (superficie brute de drainage) 1 071 km^2 (superficie effective de drainage)	S.O.	SWAT	Des bassins hydrographiques équivalents (BHE), un concept récemment ajouté au modèle SWAT, ont été intégrés à chaque sous-bassin hydrographique pour tenir compte de l'abondance de milieux humides dans le bassin et de l'effet des différentes aires d'alimentation.
Ruisseau Tobacco Sud	75 km^2 pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud et (imWEBs seulement) 206 ha pour le sous-bassin Steppler	SWAT	CanSWAT imWEBs	CanSWAT : le modèle SWAT a été adapté aux conditions froides des Prairies et comprend cinq modules sur les PGB. imWEBs : un modèle hydrologique basé sur des cellules, entièrement réparti, a été mis au point pour évaluer les PGB à l'échelle du champ et de la ferme.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	SUPERFICIE	MODÈLES UTILISÉS		MODIFICATION ET MISE AU POINT DE MODÈLES
		PREMIÈRE PHASE DE L'EPBH (2004-2008)	DEUXIÈME PHASE DE L'EPBH (2009-2013)	
Nation Sud	Deux microbassins (2,3 km^2 et 4,8 km^2)	Modèle de dénitrification et de décomposition (DNDC) MACRO (modèle unidimensionnel de l'écoulement de l'eau dans le sol)	DRAINMOD-N NEMIS-NOE	Les modèles DNDC, MACRO, AnnAGNPS et SWAT ont été modifiés pour évaluer le drainage souterrain contrôlé.
	Bassin de la Nation Sud : 3 900 km^2		Modèle annualisé de la pollution agricole diffuse AnnAGNPS (Annualized AGricultural Non-Point Source) SWAT	
Bras d'Henri et Beaurivage	742 km^2 pour le bassin de la rivière Beaurivage, qui comprend le bassin de la rivière Bras d'Henri de 167 km^2	GIBSI	GIBSI MHYDAS-Erosion DRAINMOD CATHY	Le progiciel de modélisation GIBSI a été mis à jour et amélioré avec de nouvelles données, de nouveaux modules et de nouvelles routines, dont un modèle de dimensionnement des bandes filtrantes végétales et un modèle de l'intégrité biologique des cours d'eau. Trois autres modèles – un modèle événementiel de l'érosion du sol (MHYDAS-Erosion), un modèle de drainage (DRAINMOD) et un modèle hydrologique tridimensionnel (CATHY) – ont été appliqués à l'échelle du sous-bassin.
Ruisseau Black	Bassin du ruisseau Black : 14,5 km^2	SWAT	SWAT Modèle de l'écoulement de l'eau souterraine par éléments finis FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW) Visual MODFLOW Modèle de la gestion des écosystèmes riverains REMM (Riparian Ecosystem Management Model)	Un modèle événementiel des zones tampons gazonnées et des voies d'eau gazonnées a été élaboré. Le modèle des eaux souterraines utilisé a évolué avec le temps. Le modèle Visual MODFLOW est le produit final.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	SUPERFICIE	MODÈLES UTILISÉS		MODIFICATION ET MISE AU POINT DE MODÈLES
		PREMIÈRE PHASE DE L'EPBH (2004-2008)	DEUXIÈME PHASE DE L'EPBH (2009-2013)	
Ruisseau Thomas	Bassin du ruisseau Thomas : 7,6 km^2	SWAT	SWAT DRAINMOD	Les calendriers de rotation des cultures ont été intégrés dans le modèle SWAT avec des données de terrain. Un module sur les charges de P du système de traitement des eaux usées sur place a été mis au point et lié au modèle SWAT pour le ruisseau Thomas. La PGB fondée sur un étang de rétention a été incorporée dans le modèle SWAT. DRAINMOD 6.0 a été étalonné et validé pour l'hydrologie et les pertes de N (DRAINMOD-N II), qui peut servir d'outil d'évaluation de l'efficacité des PGB à l'échelle du champ.
Rivière Souris	Bassin de la rivière Souris : 53 km^2	S.O.	Modèles couplant LEACHM-N et Visual MODFLOW	Les informations issues du modèle du lessivage des nitrates ont été utilisées pour mettre au point un modèle du transport et du devenir des nitrates. Le modèle LEACHM-N a été adapté et affiné pour refléter les pratiques de labour printanier et automnal et les conditions de production dominantes.

PROCESSUS DE MODÉLISATION DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

La modélisation des bassins hydrographiques dans l'EPBH a suivi un processus en cinq étapes, de la saisie des données à l'évaluation des PGB (figure 3).

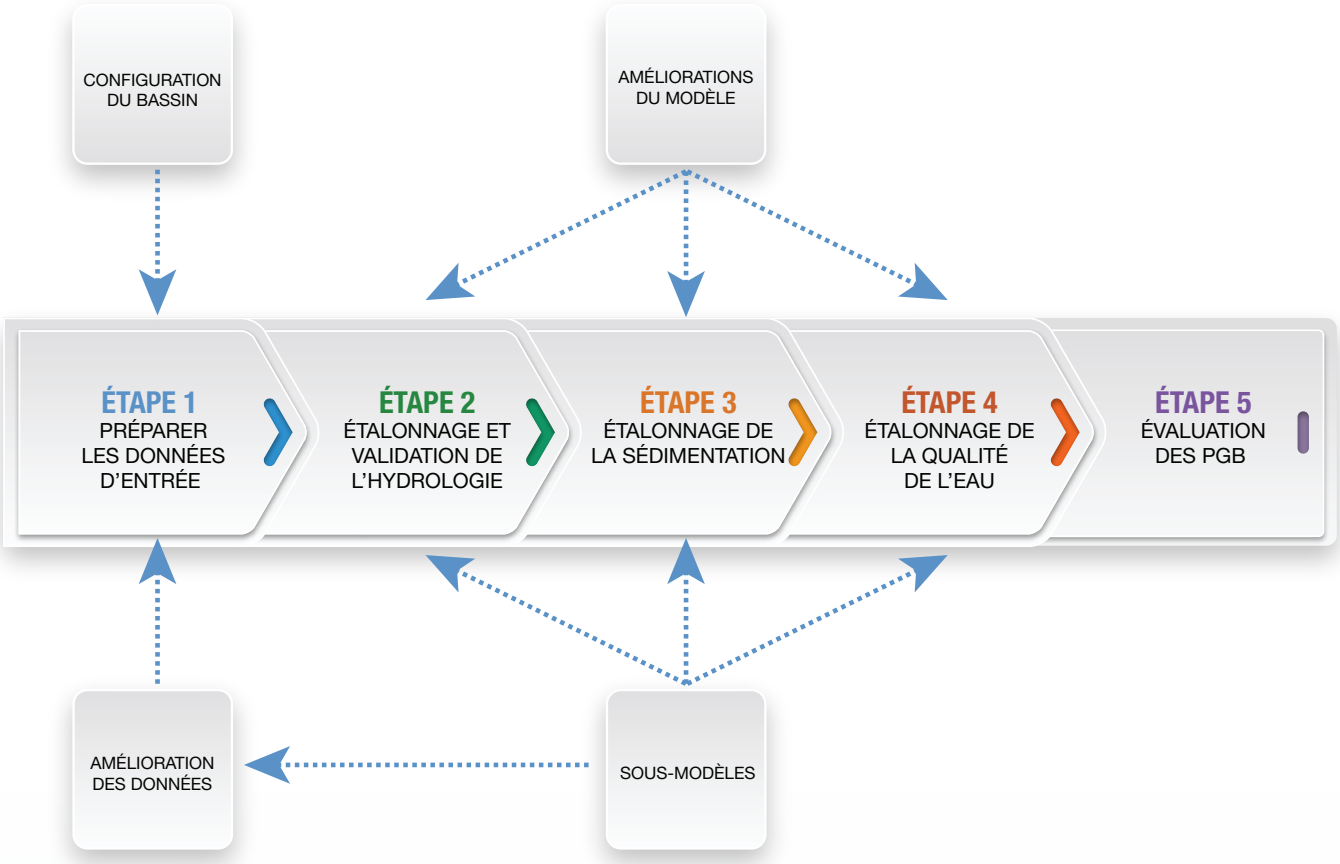


FIGURE 3
Schéma du processus de modélisation dans l'EPBH

Étape 1

Amélioration des données et configuration du bassin hydrographique

Au départ, les données d'entrée ont été préparées :

- en choisissant la période couverte par la modélisation;
- en convertissant les données existantes aux formats compatibles avec le modèle;
- en sélectionnant des données représentatives sur les précipitations;
- en définissant la configuration du bassin au moyen des données géospatiales d'un modèle altimétrique numérique, de données sur le sol et de données sur l'utilisation et la gestion des terres.

On a utilisé un système d'information géographique (SIG) pour faciliter l'interprétation des limites et des profils de drainage, et pour délimiter les unités géographiques en vue de l'analyse hydrologique. Les bassins ont été divisés en sous-bassins, en tronçons et en unités hydrologiques qui couvraient des zones présentant des caractéristiques hydrologiques similaires en fait d'utilisation des sols, de type de sol et de topographie (pente). De plus, les données sur la gestion des terres ont été préparées en tant que données d'entrée spéciales pour le modèle.

Étapes 2 à 4

Hydrologie, sédiments et qualité de l'eau – étalonnage et validation

L'étalonnage consiste à ajuster les paramètres du modèle pour optimiser la concordance entre les données observées et les données projetées par le modèle. La validation est la comparaison des résultats du modèle avec un ensemble indépendant de données (sans autre ajustement du modèle).

On commence par étalonner les caractéristiques hydrologiques du bassin hydrographique. Les principaux intrants sont les précipitations, la température, les pratiques de gestion des terres et les paramètres d'écoulement qui définissent les processus hydrologiques. Ces processus sont notamment la quantité et le taux de ruissellement, la fonte des neiges, l'infiltration et l'écoulement vers les eaux souterraines.

L'étape suivante consiste à modéliser les processus liés aux sédiments. Des ajustements sont apportés aux paramètres qui influent sur la sédimentation, à savoir l'érosion de la surface des terres et du lit du cours d'eau et les processus de transport des sédiments.

L'étape finale consiste à modéliser la qualité de l'eau. Dans l'EPBH, on a généralement défini la qualité de l'eau selon la charge en sédiments et en éléments nutritifs, mais dans certains sites, le transport des bactéries et des pesticides a aussi été modélisé. Dans le projet de la rivière Bras d'Henri et de la rivière Beaurivage, les résultats portant sur la qualité de l'eau (azote [N] et phosphore [P]) ont servi d'indicateurs de l'intégrité biologique.

L'étalonnage et la validation des modèles hydrologiques ont été effectués pour la plupart des sites de l'EPBH. Il s'agissait de prévoir le ruissellement superficiel et les exportations de sédiments et d'éléments nutritifs à l'exutoire et à des points intermédiaires du bassin. Les modèles validés ont servi à évaluer l'effet des PGB.

Étape 5
Évaluation des PGB

Une fois étalonné et validé, le modèle peut servir à évaluer les incidences des PGB sur les charges en sédiments et en éléments nutritifs à la lisière du champ et sur la qualité de l'eau du cours d'eau (écoulement de surface et débit de base) à l'exutoire du bassin, et peut-être aussi à des points intermédiaires dans le bassin.

L'évaluation efficace des PGB dépend de la capacité du modèle à simuler les processus physiques et biochimiques dans le bassin et de sa capacité à décrire la façon dont les PGB modifient ces processus. Les informations utilisées pour évaluer les PGB sont obtenues des données ou des expériences sur le terrain ou par l'ajustement des paramètres du modèle.

ÉTAT D'AVANCEMENT DE LA MODÉLISATION HYDROLOGIQUE

L'étalonnage et la validation des divers modèles ont été effectués au complet ou en partie pour l'hydrologie dans les neuf bassins de l'EPBH et pour l'exportation des sédiments et des éléments nutritifs dans la plupart des bassins. Les modèles ont servi aux évaluations des PGB, basées sur les données de terrain ou les valeurs issues de la littérature, dans la plupart des bassins de l'EPBH, à l'échelle du bassin étudié (tableau 9).

Le cas échéant, les modélisateurs ont utilisé les données biophysiques recueillies dans les microbassins ou dans le bassin les englobant pour valider les modèles. Lorsqu'il n'y avait pas suffisamment de données au moment de la mise à l'essai initiale des modèles, on a utilisé les valeurs publiées dans la littérature ou des modèles simplifiés. Les résultats de la modélisation initiale de l'EPBH, basée sur les valeurs de la littérature, donnaient à penser que la mise en œuvre des PGB menait à une réduction des charges en sédiments et en éléments nutritifs.

Plus l'EPBH avançait, plus les modélisateurs avaient accès à des données biophysiques et économiques postérieures à la mise en place des PGB et propres au site. Ces données ont été ajoutées à certains modèles, ce qui a permis de les améliorer et de remplacer les valeurs de la littérature dans les simulations. Ces améliorations ont permis de corroborer les résultats initiaux.

La complexité et la validité des modèles variaient entre les neuf bassins, en fonction des pratiques agronomiques, du climat, de l'utilisation des terres, de la topographie, des sols, etc.

Dans certains projets de l'EPBH, on a tenté de transposer les effets des PGB à une échelle supérieure (du champ au bassin de niveau supérieur).

Des modèles hydroéconomiques intégrés ont été mis au point pour des projets du ruisseau Tobacco Sud et de la rivière Bras d'Henri. Les économistes et les modélisateurs du projet de la rivière Lower Little Bow s'échangeaient régulièrement des informations, qu'ils incluaient dans leurs analyses. Dans le bassin du ruisseau Thomas, un modèle d'optimisation économique a été conjugué à un modèle de simulation biophysique SWAT pour prévoir l'effet des PGB sur les marges brutes des exploitations agricoles. Les résultats de ces modèles jumelés ont ensuite été utilisés pour évaluer les décisions de gestion à la ferme. Voir le chapitre 5 pour plus de renseignements sur la modélisation intégrée effectuée dans l'EPBH.

Le tableau 9 résume l'état d'avancement du volet de modélisation hydrologique dans chaque bassin.

TABLEAU 9
État d'avancement du volet de modélisation de l'EPBH

BASSIN HYDROGRAPHIQUE	ÉTALONNAGE ET VALIDATION ACHEVÉS DES MODÈLES			ÉVALUATIONS DES PGB RÉALISÉES
	HYDROLOGIE	SÉDIMENTS	ÉLÉMENTS NUTRITIFS	
Rivière Salmon	Oui	Oui	Oui	Oui
Rivière Lower Little Bow	Oui	Partiellement	Partiellement	Non
Ruisseau Pipestone	Partiellement	Non	Non	Non
Ruisseau Tobacco Sud	Oui	Oui	Oui	Oui
Nation Sud	Oui	Non	Non	Partiellement
Bras d'Henri et Beaurivage	Oui	Oui	Oui	Oui
Ruisseau Black	Oui	Oui	Partiellement	Oui
Ruisseau Thomas	Oui	Oui	Oui	Oui
Rivière Souris	Oui	Non	Oui	Oui

PERFORMANCE DES MODÈLES

Les modélisateurs ont réussi à simuler les processus hydrologiques et environnementaux et à évaluer les PGB structurales et non structurales dans les bassins de l'EPBH. Pour beaucoup d'études de modélisation de l'EPBH, la prévision des débits et du transport des sédiments et des éléments nutritifs a donné de bons résultats. Toutefois, les modélisateurs ont été confrontés à plusieurs difficultés qu'ils ont surmontées, pour la plupart, par l'acquisition des données locales voulues et par des modifications de leurs modèles.

Évaluation des modèles

Les lignes directrices élaborées pour le Conservation Effects Assessment Project (CEAP) de l'USDA ont été suivies pour évaluer la qualité des étalonnages et des validations des modèles hydrologiques. Selon les critères du CEAP, de nombreuses études de modélisation de l'EPBH ont affiché des résultats allant de « bons » à « très bons » pour ce qui est de la prévision des débits, et des résultats acceptables pour ce qui est de la prévision du transport des sédiments et des éléments nutritifs.

Les modélisateurs du bassin du ruisseau Thomas ont établi un cadre provisoire pour aider tous les modélisateurs à évaluer la confiance qu'ils accordent à leur modèle pour aider à prendre des décisions sur la gestion du bassin ou des décisions stratégiques. Les critères provisoires pouvant servir à évaluer la performance des modèles comprennent, entre autres, le nombre d'années d'observations dont on dispose pour l'étalonnage et la validation des modèles et la qualité des observations (fréquence et exactitude des mesures de données). Par exemple, d'après les critères de durée de collecte de données proposés dans ce cadre, la plupart des bassins de l'EPBH se classeraient dans la plage inférieure de la catégorie des « bons » résultats (entre 4 et 10 ans de données).

Confiance dans les résultats de la modélisation

Le degré de confiance dans les résultats de la modélisation de l'EPBH dépend de la disponibilité de données de terrain locales pour étalonner et valider les modèles, de la durée de collecte des données, du type de PGB, de la capacité des modèles à refléter les influences saisonnières et de la superficie du bassin.

Données de terrain locales

Les données de terrain locales peuvent grandement améliorer la performance d'un modèle hydrologique. Tout au long de l'EPBH, des données biophysiques et agronomiques ont été recueillies, analysées et incorporées dans les modèles pour plusieurs sites de projet. Par exemple, dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon, les modèles ont été étalonnés avec des données de terrain avant d'être utilisés pour étudier les effets de l'irrigation et de l'épandage d'engrais sur le rendement de la biomasse de plantes fourragères et sur la quantité et la qualité de l'eau en aval. Dans le bassin de la Nation Sud, le modèle AnnAGNPS a été étalonné et validé au moyen de données locales, et les valeurs obtenues se comparaient avantageusement à celles figurant dans la littérature.

Toutefois, malgré ces données acquises par la surveillance biophysique, certains projets de l'EPBH n'avaient toujours pas suffisamment de données locales pour qu'on puisse vraiment valider les modèles. Dans certains bassins, les données ont été recueillies, mais non transférées dans les modèles.

Durée de collecte des données

La durée de collecte des données est un autre facteur important pour déterminer le degré de confiance dans les résultats de la modélisation. Dans plusieurs bassins de l'EPBH, les modèles ont été étalonnés d'après des données de terrain recueillies sur quelques années seulement. Comme il faut plus de temps pour évaluer la variabilité des écoulements et du climat, il faudrait définir le degré de confiance dans les scénarios de modélisation et les extrapolations effectués à ce jour (dans l'espace et dans le temps).

PGB structurales et non structurales

Dans un certain nombre d'études de modélisation menées au début de l'EPBH, la comparaison des valeurs produites par les modèles avec les valeurs observées a révélé des lacunes dans la capacité des modèles à tenir compte des conditions locales. Les modèles fonctionnaient relativement bien pour les PGB non structurales, mais le modèle SWAT n'a pas calculé adéquatement l'effet des PGB structurales, comme les déviations, pour lesquelles il a fallu mettre au point des modèles indépendants. La modélisation des zones riveraines et des bandes tampons gazonnées laissait aussi à désirer avec le modèle SWAT et elle a nécessité des améliorations. Dans le projet de la rivière Bras d'Henri, un modèle de dimensionnement de bande de végétation filtrante a été mis au point à l'échelle du sous-bassin pour calculer la largeur des tampons riverains en fonction de l'efficacité recherchée, de l'aire d'alimentation et de la pente locale, ou pour calculer l'efficacité du tampon riverain en fonction de la largeur fixe, de l'aire d'alimentation et de la pente locale.

Effets saisonniers

La modélisation du débit et de la qualité de l'eau pendant l'hiver et la fonte des neiges printanière a révélé des lacunes dans le modèle SWAT. De nouveaux algorithmes, notamment concernant la redistribution de la neige et les sols gelés, ont été élaborés dans le modèle CanSWAT pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud, et la performance du modèle a été améliorée à l'exutoire ainsi qu'à l'intérieur des stations de surveillance. Les débits estivaux ont été sous-estimés dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri, probablement en raison de l'incapacité à modéliser les drains souterrains. De nouvelles routines ont été mises au point pour régler ces lacunes.

On a augmenté la capacité de modéliser les variations saisonnières de débit grâce à une meilleure modélisation des routines de redistribution de la neige, de la température du sol et des processus hydrologiques et chimiques dans le sol gelé qui visait à simuler de façon plus précise le débit durant l'hiver et la fonte des neiges, et grâce à l'adoption de modèles de drainage souterrain et de modèles couplés eau de surface/eau souterraine, qui améliorent les estimations du débit estival.

Effets d'échelle

L'étalonnage des modèles dans le but d'évaluer efficacement l'efficacité des PGB à l'échelle d'un petit bassin s'est avéré difficile pour certains projets de l'EPBH. Les résultats obtenus à l'échelle du plus grand bassin hydrographique étaient meilleurs. Cette tendance était claire dans la modélisation initiale du bassin du ruisseau Tobacco Sud, où le modèle SWAT a fourni de très bonnes simulations pour l'exutoire du bassin, mais n'a pas pu simuler les débits à l'échelle du sous-bassin Steppler. Les modélisateurs ont élaboré un modèle fondé sur des cellules et entièrement réparti – imWEBs – pour modéliser les bassins plus petits et pour évaluer les incidences locales des PGB, en se servant aussi du modèle CanSWAT.

Au Québec, le modèle GIBSI a donné de bons résultats à l'échelle du bassin de la rivière Beaurivage, mais des outils de modélisation de résolution élevée ont été introduits dans le microbassin de la rivière Bras d'Henri – CATHY et MHYDAS-Érosion, pour mieux simuler respectivement la connectivité des sédiments et l'écoulement dans les canalisations de drainage, et pour aborder l'incidence des PGB à l'échelle des champs. À d'autres sites, comme dans le bassin du ruisseau Thomas, on a utilisé un modèle couplant les eaux de surface et les eaux souterraines pour simuler l'écoulement en provenance des zones drainées par des canalisations.

À l'inverse, dans certains bassins, on a utilisé les modèles pour extrapoler les informations sur les effets des PGB du sous-bassin d'essai au bassin de niveau supérieur, mais les résultats étaient mitigés.

Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, le modèle SWAT a été utilisé pour extrapoler les résultats biophysiques du sous-bassin à l'échelle du bassin, afin d'évaluer les PGB aux deux échelles. Les résultats de la modélisation CanSWAT étaient très bons pour l'exutoire du bassin, et les résultats pour les sous-bassins d'amont et les stations à la lisière des champs étaient acceptables.

Le modèle SWAT a été appliqué aux bassins de la rivière Upper Little et de la rivière Little, au Nouveau-Brunswick, avec les paramètres élaborés pour le bassin du ruisseau Black. Dans le bassin de la Upper Little, les résultats ont été très mauvais pour tous les extrants. Dans le plus grand bassin de la Little, les extrants ont été meilleurs, mais ces résultats laissent penser que le modèle SWAT ne peut pas être utilisé pour le plus grand bassin sans un étalonnage supplémentaire.

Le modèle SWAT a été mis à l'essai dans le bassin de la rivière Upper Cornwallis, en Nouvelle-Écosse, pour évaluer si on peut extrapoler ses résultats à des bassins de niveau supérieur. Les paramètres étalonnés du modèle SWAT, obtenus du bassin du ruisseau Thomas, ont été employés pour concevoir le modèle et lancer les simulations. Toutefois, le modèle SWAT extrapolé n'a pu être validé avant la fin du projet en raison de l'insuffisance de données sur le débit et la qualité de l'eau à cette échelle.

APPLICATION DES RÉSULTATS DE MODÉLISATION DE L'EPBH

Tout comme les résultats de recherche biophysique de l'EPBH, les résultats de modélisation de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer les PGB qui offriraient la meilleure performance environnementale dans leur contexte d'activités. Une évaluation supplémentaire pourrait rendre ces résultats acceptables pour une utilisation dans la conception, la sélection et l'évaluation des PGB, ou pour la prise de décision à l'égard des politiques et des programmes.

Les modèles étalonnés et validés pourraient être utilisés pour extrapoler les résultats dans divers scénarios et ils peuvent être incorporés dans des modèles économiques pour fournir un outil de décision intégré (figure 4). Les études de modélisation de l'EPBH ont déjà fait certains progrès en ce sens.

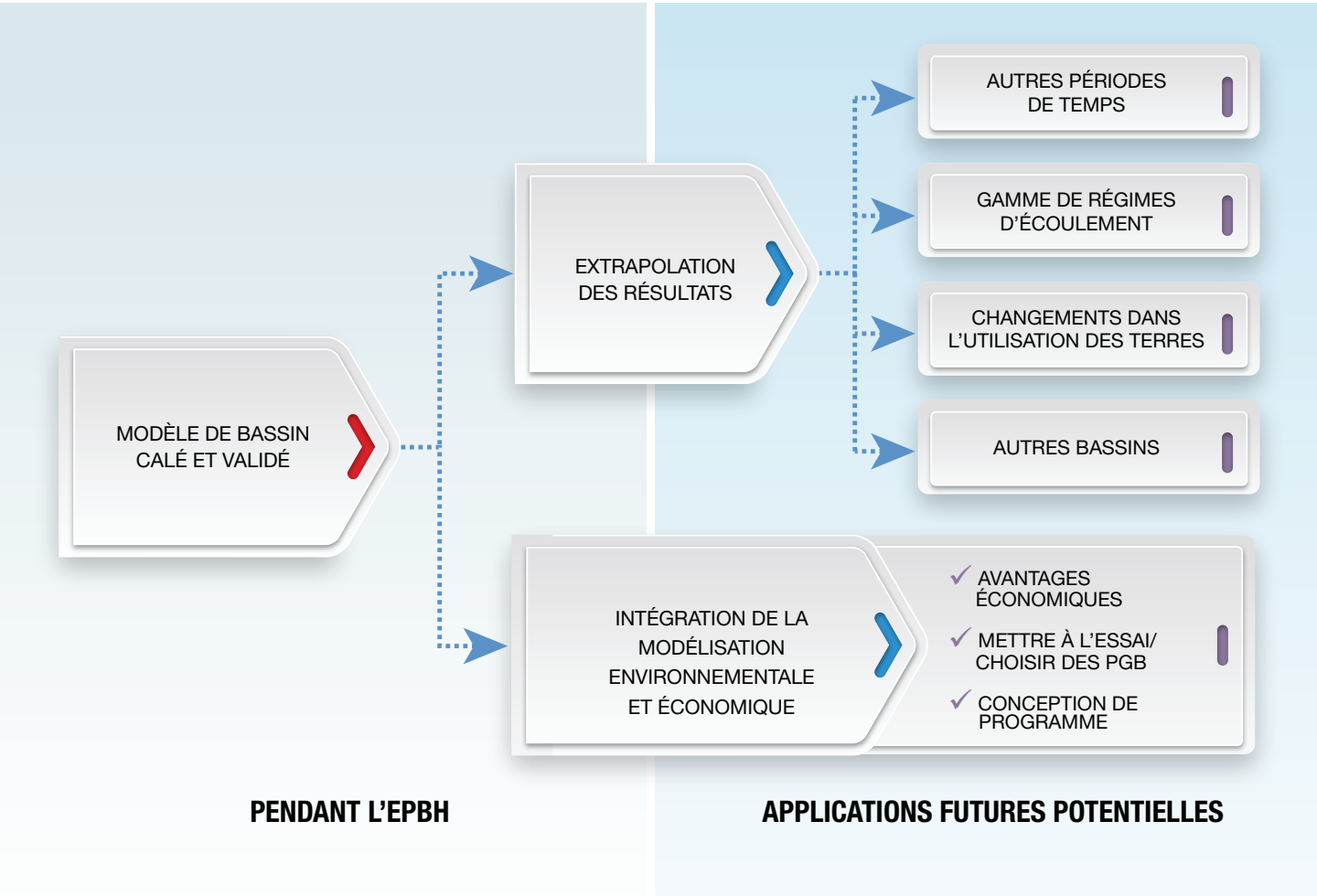


FIGURE 4
Applications possibles des résultats de la modélisation de l'EPBH

Les modélisateurs peuvent tirer parti de l'expérience acquise et des modèles mis au point durant l'EPBH, et s'en servir pour des applications futures des modèles et d'autres activités de recherches similaires.

POSSIBILITÉS DE RECHERCHES À VENIR

Même si la plupart des études de modélisation de l'EPBH ont pris fin, il existe d'autres possibilités de modélisation de bassins hydrographiques et de PGB. Les données disponibles et les travaux de modélisation réalisés constituent un point de départ intéressant pour la conduite d'autres recherches. La modélisation hydrologique à venir dans les sites de l'EPBH pourrait inclure d'autres étalonnages, validations et modifications dans le but d'étendre son application au-delà d'un projet de recherche.

Voici des possibilités de collaboration pour des modélisateurs qui tableraient sur les réussites de l'EPBH :

- poursuite de la mise au point et du perfectionnement des modèles à base physique pour modéliser les processus hydrologiques et biochimiques à l'échelle du champ;
- application des routines de fonte des neiges et de températures du sol qui sont caractéristiques des climats froids des bassins du ruisseau Thomas, du ruisseau Black, du ruisseau Tobacco Sud et de la rivière Salmon à d'autres bassins afin de rendre les modèles universellement applicables aux régions froides;
- perfectionnement du cadre d'évaluation des modèles.

CONCLUSIONS

Les modélisateurs ont été en mesure de simuler les processus hydrologiques et environnementaux et d'évaluer les PGB structurales et non structurales dans les bassins hydrographiques de l'EPBH. Ils ont utilisé des modèles informatiques existants ou des modèles qu'ils ont mis au point ou adaptés pour refléter les conditions locales ou des PGB particulières. D'après les critères d'évaluation des modèles hydrologiques de l'USDA, bon nombre des études de modélisation de l'EPBH affichaient des résultats allant de « bons » à « très bons » pour prévoir les débits, et des résultats acceptables pour prévoir le transport des sédiments et des éléments nutritifs.

Au départ, les simulations des modèles portant sur l'efficacité des PGB se fondaient surtout sur des données issues de la littérature. Les résultats se sont améliorés à mesure que les modèles étaient perfectionnés et que les données biophysiques recueillies dans les champs étudiés étaient utilisées dans les simulations. Les modélisateurs ont été confrontés à d'autres difficultés, beaucoup qu'ils ont fini par surmonter en adaptant les modèles ou en ajoutant d'autres modèles.

La plupart des résultats de la modélisation de l'EPBH donnent à penser que la mise en œuvre des PGB se traduit par une réduction des charges en sédiments et en éléments nutritifs. Une évaluation supplémentaire rendrait ces résultats acceptables pour une utilisation dans la conception, la sélection et l'évaluation des PGB, ou pour la prise de décision à l'égard des politiques et des programmes. On peut s'appuyer sur la modélisation effectuée dans l'EPBH pour d'autres travaux, grâce en partie à la disponibilité de données biophysiques.

BIBLIOGRAPHIE – MODÉLISATION HYDROLOGIQUE DE L'EPBH

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, N.H.M. Ahmad, D. Hebb, R. Jamieson, D. Burton et A. Madani. 2013. Effect of nutrient management planning on crop yield, nitrate leaching, and sediment loading in Thomas Brook Watershed. *Environ Manag*, 52(5):1177-1191.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, R. Jamieson et D. Hebb. 2015. Comparison of crop yield and pollution production response to nitrogen fertilization models, accounting for crop rotation effect. *Agroecol Sust Food*, 39(3):245-275.

Ashraf, M. I., Z. Zhao, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2012. GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models. *Hydrol Process*, 26(8):1119-1133.

El-Khoury, A., O. Seidou, D.R. Lapen, M. Sunohara, Z. Que, M. Mohammadian et D. Bahram. 2014. Prediction of land-use conversions for use in watershed-scale hydrological modeling: a Canadian case study. *Le Géographe can.*, 58(4):499-516.

Frey, S.K., E. Topp, T.A. Edge, C. Fall, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, G.A. Wilkes et D.R. Lapen. 2013. Using SWAT, Bacteroidales microbial source tracking markers, and fecal indicator bacteria to predict waterborne pathogen occurrence in an agricultural watershed. *Water Res*, 47(16):6326-6337.

Garroway, K., C. Hopkinson et R. Jamieson. 2011. Surface moisture and vegetation influences on LiDAR intensity data in an agricultural watershed. *J. can de télédétection*, 37(3):275-284.

Goulden, T., C. Hopkinson, R. Jamieson, S. Sterling, A. Sinclair et D. Hebb. 2014. Sensitivity of hydrological outputs from SWAT to DEM spatial resolution. *Photogramm Eng Remote Sens*, 80:639-652.

Gumiere, S.J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema et P-E. Isabelle. 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(3):169-184.

Hafiz, M., N. Ahmad, A. Sinclair, R. Jamieson, A. Madani, D. Hebb, P. Havard et E.K. Yiridoe. 2011. Modeling sediment and nitrogen export from a rural watershed in eastern Canada using the Soil and Water Assessment Tool. *J Environ Qual*, 40(4):1182-1194.

Jiang, Y., B. Zebarth et J. Love. 2011. Long-term simulations of nitrate leaching from potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 91(3):307-325.

Jiang, Y., B.J. Zebarth, G.H. Somers, J.A. MacLeod et M.M. Savard. 2012. Nitrate leaching from potato production in eastern Canada. P. 233-250 dans He, Z., Larkin, R.P. and Honeycutt, C.W. (dir.), *Sustainable Potato Production: Global Case Studies*. Springer Science+Business Media B.V.

Jiang, Y., T. Jamieson, J. Nyiraneza, G. Somers, B. Thompson, B. Murray, M. Grimmett et X. Geng. 2015. Effects of fall vs. spring plowing forages on nitrate leaching losses to groundwater. *Ground Water Monit RW*, 35(1):43-54.

Liu, Y, W. Yang, Z. Yu, I. Lung et B. Gharabaghi. 2015. Estimating sediment yield from upland and channel erosion at a watershed scale using SWAT. *Water Resour Manag*, 29:1399-1412.

Liu, Y.B, W. Yang, Z.Q. Yu, I. Lung, J. Yarotski, J.A. Elliott et K.H.D. Tiessen. 2014. Assessing effects of small dams on stream flow and water quality in an agricultural watershed. *J Hydrol Eng*, 19(10), 05014015.

Liu, Y.B., H. Shen, W. Yang et J. Yang. 2013. Optimization of agricultural BMPs using a parallel computing based multi-objective optimization algorithm. Int *J Environ Resour Res*, 1(1):39-50.

Liu, Y.B., W. Yang et X. Wang. 2008. Development of a SWAT extension module to simulate riparian wetland hydrologic processes at a watershed scale. *Hydrol Process*, 22(16):2901-2915.

Liu, Y.B., W. Yang, B. Gharabaghi, J.Z. Liu, H. Wu et J. Yarotski. 2012. Characterizing snow redistribution in SWAT for simulating spatially distributed snowmelt runoff in cold regions. *Nonlinear Science Letters C*, 2(1):1-8.

Muma, M., S.J. Gumiere et A.N. Rousseau. 2014. Analyse de sensibilité du modèle CATHY aux propriétés hydrodynamiques du sol d'un micro-bassin agricole drainé. *Hydrolog Sci J*, 59(8):1606-1623.

Muma, M., S.J. Gumiere, A.N. Rousseau, C. Scudeler et C. Paniconi. 2013. Implementation of a root water extraction module in CATHY: Comparison of four empirical root-density distribution models. Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges. *Procedia Environ Sci*, 19(2013):57-66.

Nangia V, M.D. Sunohara, E. Topp, E.G. Gregorich, C.F. Drury, N. Gottschall et D.R. Lapen. 2013. Measuring and modeling the effects of drainage water management on soil greenhouse gas fluxes from corn and soybean fields. *J Environ Manag*, 129:652-664.

Que, Z., O. Seidou, R.L. Droste, G. Wilkes, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Using AnnAGNPS to predict the effects of tile drainage control on nutrient and sediment loads for a river basin. *J Environ Qual*, 44(2):629-641.

Quilbé, R. et A.N. Rousseau. 2007. GIBSI: An integrated modelling system for watershed management – Sample applications and current developments. *Hydrol Earth Syst Sci*, 11:1785-1795.

Rahbeh, M., D. Chanasyk et J. Miller. 2011. Two-way calibration-validation of SWAT model for a small prairie watershed with short observed record. *Rev. can. des ressources hydriques*, 36(3):247-270.

Rahbeh, M., D.S. Chanasyk et J. Miller. 2013. Modelling the effect of irrigation on the hydrological output from a small prairie watershed. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(4):280-295.

Rees, H.W., T.L. Chow, B.J. Zebarth, Z. Xing, P. Toner, J. Lavoie et J.L. Daigle. 2011. Effects of supplemental poultry manure applications on soil erosion and runoff water quality from a loam soil under potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 91:595-613.

Rousseau, A.N., J.-P. Fortin, R. Turcotte, A. Royer, S. Savary, F. Quévy, P. Noël et C. Paniconi. 2011. PHYSITEL, a specialized GIS for supporting the implementation of distributed hydrological models. *CWRA Water News*, 31(1):18-20.

Rousseau, A.N., P. Lafrance, M-P Lavigne, S. Savary, B. Konan, R. Quilbé, P. Jiapizian et M. Amrani. 2012. A hydrological modeling framework for defining achievable performance standards for pesticides. *J Environ Qual*, 41(1):52-63.

Rousseau, A.N., S. Savary, D.W. Hallema, S.J. Gumiere et É. Foulon. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients, and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada). *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(2):99-120.

Sinclair, A., R. Jamieson, R. Gordon, A. Madani et W. Hart. 2014. A watershed modeling framework for phosphorus loading from agricultural and residential sources. *J Environ Qual*, 43:1356-1369.

Yang, Q., F-R. Meng, Z-Y. Zhao, T.L. Chow, G.A. Benoy, H.W. Rees et C.P.-A. Bourque. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream surface water yields and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agric Ecosyst Environ*, 132(1-2):23-31.

Yang, Q., G.A Benoy, T.L. Chow, J.L. Daigle, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2012. Using the Soil and Water Assessment Tool to estimate achievable water quality targets through implementation of beneficial management practices in an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 41(1):64-72.

Yang, Q., Z. Zhao, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2009. Using a GIS and digital elevation model to assess the effectiveness of variable grade flow diversion terraces for reducing soil erosion in north-western New Brunswick, Canada. *Hydrol Process*, 23:3271-3280.

Yang, W., A. Rousseau et P.C. Boxall. 2007. An integrated economic-hydrologic modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *J Soil Water Conserv*, 62(6):423-432.

Yang, W., W. Liu, Y.B. Liu, R.C. Corry et R.D. Kreutzwiser. 2014. Cost-effective targeting of riparian buffers to achieve water quality and wildlife habitat benefits. *Int J of River Basin Management*, 12(1):43-55.

Zebarth, B.J., S. Danielescu, J. Nyiraneza, M.C. Ryan, Y. Jiang, M. Grimmett et D.L. Burton. 2015. Controls on nitrate loading and implications for BMPs under intensive potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Ground Water Monit RW*, 35(1):30-42.

Zhao, Z., G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, J. Daigle et F. Meng. 2010. Impacts of accuracy and resolution of conventional and LiDAR based DEMs on parameters used in hydrologic modeling. *Water Resour Manage*, 24(7):1363-1380.

Zhao, Z., Q. Yang, G. Benoy, T.L. Chow, Z. Xing, H.W. Rees et F-R. Meng. 2010. Using artificial neural network models to produce soil organic carbon content distribution maps across landscapes. *Rev. can. de la science du sol*, 90(1):75-87.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, G. Benoy, Z. Xing et F-R. Meng. 2008. Model prediction of soil drainage classes based on digital elevation model parameters and soil attributes from coarse resolution soil maps. *Rev. can. de la science du sol*, 88(5):787-799.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, Z. Xing et F-R. Meng. 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Comput Electron Agric*, 65(1):36-48.

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2012. Impacts of land use, fertilizer and manure application on the stream nutrient loadings in the Salmon River Watershed, south-central British Columbia, Canada. *J Environ Prot*, 3:809-822.

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2011. Model assessment of cattle and climate impacts on stream fecal coliform pollution in the Salmon River Watershed, British Columbia, Canada. *Water Air Soil Pollut*, 215:155-176.

CHAPITRE

5

Modélisation intégrée

RÉSUMÉ

La modélisation intégrée facilite l'évaluation des avantages et des coûts des PGB dans les bassins hydrographiques agricoles. Les modèles hydroéconomiques intégrés incorporent des facteurs environnementaux, économiques et sociaux dans un cadre décisionnel pour évaluer et présenter les effets environnementaux et économiques de la mise en œuvre des PGB. On peut utiliser les informations des modèles pour cibler la mise en place de PGB dans le paysage. Les décideurs peuvent aussi s'en servir pour déterminer les incitatifs efficaces à l'adoption des PGB.

On a élaboré un cadre de modélisation intégrée dans des projets pilotes à deux sites de l'EPBH – le bassin du ruisseau Tobacco Sud, au Manitoba, et les bassins de la rivière Bras d'Henri et de Beaurivage, au Québec. Des informations hydrologiques et économiques propres aux sites ont été incorporées dans ces modèles.

Le modèle intégré mis au point pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud peut aider à déterminer les coûts et les effets sur la qualité de l'eau des différents scénarios de mise en œuvre de PGB à diverses échelles. Les chercheurs du projet du bassin hydrographique du Bras d'Henri ont utilisé des informations hydrologiques, biophysiques et économiques intégrées pour analyser les avantages environnementaux et les coûts à la ferme de diverses politiques ainsi que de divers scénarios de PGB.

D'autres projets de l'EPBH ont intégré des informations hydrologiques, biophysiques et économiques par la modélisation ou par l'échange de données.

INTRODUCTION

L'objectif du volet de modélisation intégrée de l'EPBH était d'incorporer des facteurs hydrologiques, économiques et sociaux (comportementaux) dans un cadre décisionnel. Ce cadre a servi à évaluer les effets environnementaux (qualité de l'eau), économiques (coûts et avantages) et sociaux (probabilité d'adoption des PGB) des PGB.

La modélisation intégrée aide à extrapoler les effets d'une PGB ou d'un ensemble de PGB à divers endroits dans un bassin. Les modèles peuvent aider à déterminer les emplacements où les PGB auront les effets les plus marquants et permettre ainsi d'obtenir la qualité de l'eau voulue au plus faible coût. Ils peuvent aussi aider les décideurs de politiques et de programmes à déterminer les incitatifs financiers ou réglementaires qui seront efficaces pour encourager les producteurs à adopter les PGB.

CADRE DE MODÉLISATION INTÉGRÉE

Au départ, la modélisation intégrée dans l'EPBH a fait l'objet d'un projet pilote à deux sites – le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Man.) ainsi que le bassin hydrographique de la rivière Bras d'Henri et le plus grand bassin de la rivière Beaurivage qui l'englobe (Qué.). Les modélisateurs des deux sites ont mis au point un cadre de modélisation intégrée pour l'orientation de leur travail à l'échelle du bassin et de la région (figure 5, tableau 10). Dans l'évaluation des programmes de conservation agricole, on s'est servi du cadre pour examiner les compromis entre les coûts à la ferme, la réduction de la pollution, l'amélioration de la qualité de l'eau et la valeur pour la société.

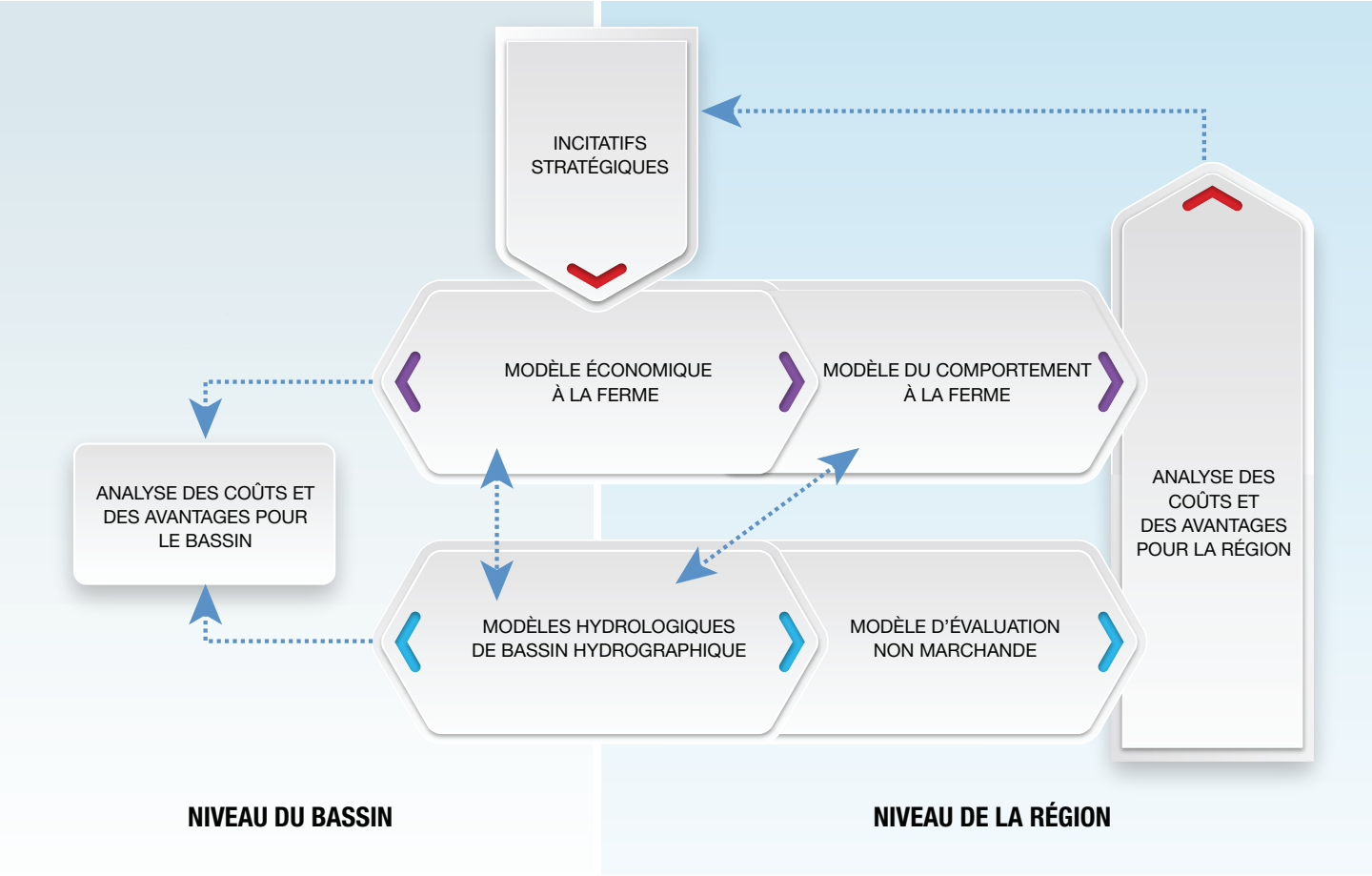


FIGURE 5
Cadre de modélisation intégrée de l'EPBH

TABLEAU 10
Application locale et régionale des modèles

MODÈLE	ÉTENDUE GÉOGRAPHIQUE	FONCTION
Modèle économique à la ferme	Locale	Quantifie les coûts de l'adoption de PGB pour les producteurs.
Modèle hydroéconomique intégré de bassin hydrographique	Locale	Quantifie les avantages des PGB pour la qualité de l'eau, l'intégrité biologique et leurs variations spatiales dans les microbassins ou les champs. Le modèle GIBSI offre aussi un cadre pour les avantages environnementaux et les coûts des PGB.
Modèle du comportement à la ferme	Locale ou régionale	Évalue les niveaux d'adoption des PGB en fonction d'incitatifs réels ou hypothétiques.
Modèle hydroéconomique intégré de bassin hydrographique	Régionale	Évalue les avantages des scénarios d'adoption des PGB pour la qualité de l'eau à l'échelle du bassin hydrographique.
Modèle d'évaluation non marchande	Régionale	Quantifie la valeur sociétale des améliorations de la qualité de l'eau dans les bassins hydrographiques régionaux découlant de l'adoption de PGB.

Le **modèle économique à la ferme** évalue les coûts privés de la mise en œuvre de PGB. Puis, ces coûts et d'autres données économiques sont utilisés dans le **modèle du comportement à la ferme** pour évaluer le taux d'adoption des PGB et les coûts connexes des incitatifs stratégiques utilisés pour le financement des PGB. Le **modèle hydroéconomique intégré de bassin hydrographique** évalue la réduction des charges de polluants de source diffuse dans les cours d'eau découlant des scénarios de PGB. Ensuite, on détermine les compromis entre les coûts des PGB et la réduction de la pollution qui en découle. Un modèle de la qualité de l'eau dans les cours d'eau permet d'évaluer les améliorations touchant la qualité de l'eau et l'intégrité biologique qui résultent de la réduction de la pollution, et de déterminer les compromis entre les coûts à la ferme et les améliorations de la qualité de l'eau. Enfin, le **modèle d'évaluation non marchande** évalue la valeur sociétale associée aux améliorations de la qualité de l'eau. La démarche permet d'examiner les compromis entre les coûts privés et les politiques incitatives ainsi que les avantages connexes de la mise en œuvre de PGB pour la société.

Les composantes du cadre de modélisation n'étaient pas toutes terminées à la fin de l'EPBH, mais les équipes de modélisation des deux sites pilotes ont réalisé d'importantes avancées dans l'intégration des données économiques à la ferme aux données hydrologiques du bassin, comme on le verra plus loin. Elles ont également continué d'élaborer leurs modèles après la fin du programme.

COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES

Avant l'EPBH, les deux sites pilotes au Manitoba et au Québec avaient déjà fait l'objet de collectes de données et de modélisation à l'échelle du bassin supérieur. Durant l'EPBH, la modélisation intégrée a surtout été axée sur les modèles hydroéconomiques intégrés de bassin et sur les modèles économiques à la ferme. L'intégration du comportement à la ferme dans le cadre de modélisation n'était pas beaucoup avancée à la fin de l'EPBH. Les évaluations hydrologiques, biophysiques et économiques ont fourni des données pour alimenter les modèles intégrés.

Évaluations hydrologiques et biophysiques

Afin de modéliser les avantages pour la qualité de l'eau des PGB appliquées, on a mené des évaluations hydrologiques approfondies dans les bassins pilotes, au moyen des données biophysiques recueillies par les chercheurs de l'EPBH ainsi que des données publiées dans la littérature.

Évaluations économiques

Les données propres aux sites ont servi à réaliser des évaluations économiques détaillées. Ces études ont d'abord été menées à l'échelle des champs, puis extrapolées à l'échelle d'une grande ferme représentative. Les modèles économiques ont servi à estimer les coûts de certaines PGB ou d'ensembles de PGB à l'échelle de la ferme et du bassin.

Évaluations du comportement à la ferme

La recherche sur le comportement à la ferme visait à élaborer des scénarios d'adoption de PGB (combinaisons de PGB et d'incitatifs à l'adoption) pour les ajouter aux modèles intégrés.

Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, la recherche a porté sur l'utilisation des enchères de conservation pour inciter à l'adoption des PGB. Des modèles d'optimisation mathématique ont été élaborés pour déterminer les meilleurs endroits où appliquer les PGB dans le bassin.

Les économistes du bassin hydrographique du Bras d'Henri ont étudié l'utilisation de mécanismes du marché comme moyens d'inciter les producteurs à mettre en œuvre des PGB. Le modèle économique a fourni des informations pouvant servir à une mise aux enchères expérimentale.

COMMENT S'EFFECTUE L'INTÉGRATION?

Pour l'échange de donnée entre les modèles environnementaux et économiques, il faut que les échelles temporelles et spatiales concordent. Les échelles temporelles sont facilement assimilables, car il est possible de cumuler les données quotidiennes des modèles environnementaux pour produire les données annuelles requises par les modèles économiques. L'intégration spatiale est plus difficile, car les modèles environnementaux sont construits à l'échelle d'unités hydrologiques, comme le sous-bassin, qui sont naturellement délimitées, tandis que les modèles économiques sont construits à l'échelle de la ferme, dont les limites sont établies par le bornage des exploitations ou les limites administratives du canton, du district agricole ou de la province.

Les équipes de modélisation intégrée de l'EPBH ont mis au point une méthode permettant d'intégrer les échelles spatiales. Dans le projet du ruisseau Tobacco Sud, une interface de logiciel a été mise au point pour convertir les données hydrologiques qui sont à l'échelle de l'unité de réponse hydrologique (URH) à l'échelle du champ et de la ferme, en usage dans les modèles socioéconomiques. Dans le projet de la rivière Bras d'Henri et de la rivière Beaurivage, l'unité spatiale de base qui est une unité hydrologique relativement homogène (UHRH) a été ajustée en fonction de la taille des exploitations de la région. Un sondage mené en 2010 indiquait que le nombre de fermes avait diminué, et qu'il y avait eu une augmentation correspondante de la taille des fermes. Toutefois, les UHRH n'ont pas été modifiées.

BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU RUISSEAU TOBACCO SUD (MAN.)

Une équipe de chercheurs de l'Université de Guelph a effectué une modélisation hydrologique intégrée pour le projet du ruisseau Tobacco Sud. Une équipe du Centre de recherches d'AAC à Brandon, au Manitoba, a mené des évaluations économiques, et des chercheurs de l'Université de l'Alberta ont étudié le comportement à la ferme.

Petit réservoir dans le sous-bassin Steppler

Échelle

Le système de modélisation intégrée est basé sur le modèle hydrologique CanSWAT (version canadienne de SWAT [Soil and Water Assessment Tool], un outil d'évaluation du sol et de l'eau) qui simule les effets des PGB sur la qualité de l'eau, et sur les modèles économiques à la ferme, qui évaluent les coûts des PGB. Le modèle CanSWAT est appliqué à l'échelle du bassin du ruisseau Tobacco Sud de 75 km^2.

Un modèle hydrologique basé sur des cellules et entièrement réparti, nommé imWEBs (modélisation intégrée pour l'évaluation des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques), a été mis au point pour évaluer les effets des PGB à l'échelle du champ et de la ferme dans le sous-bassin Steppler de 206 ha. Ce modèle a été élaboré dans le but d'examiner les effets des PGB à des endroits précis au moyen d'une approche entièrement répartie, par opposition aux approches localisées des modèles hydrologiques semi-répartis comme CanSWAT. Toutefois, le modèle imWEBs n'avait pas été complètement intégré aux autres modèles à la fin de l'EPBH.

La modélisation parallèle semi-répartie (CanSWAT) et entièrement répartie (imWEBs) a permis d'évaluer les effets des PGB à diverses échelles spatiales et temporelles (figure 6).

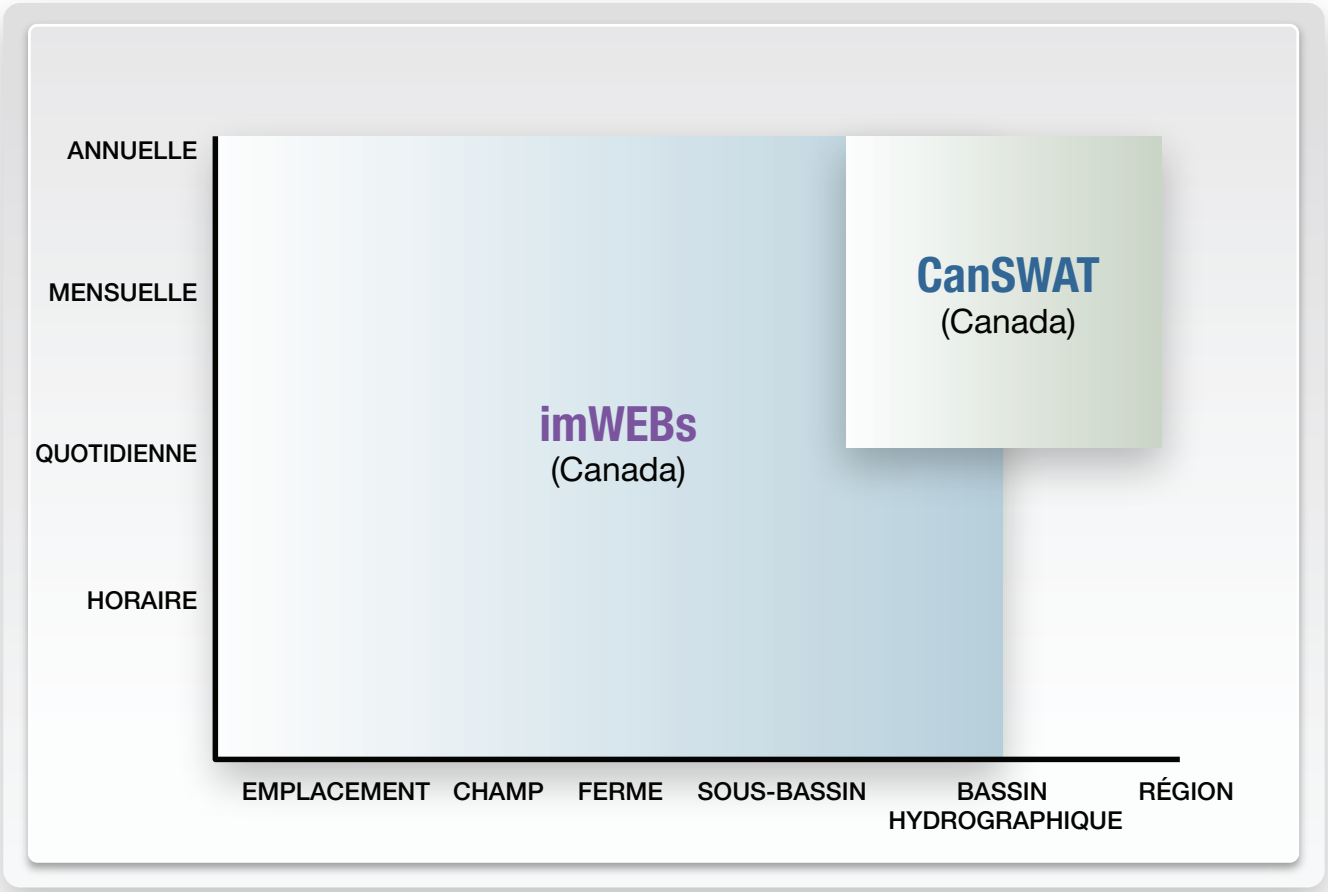


FIGURE 6
Échelles spatiale et temporelle des deux modèles hydrologiques du ruisseau Tobacco Sud

Interface

Une interface conviviale – nommée imCanSWAT – a été mise au point pour faciliter l'évaluation intégrée interactive des PGB (figure 7).

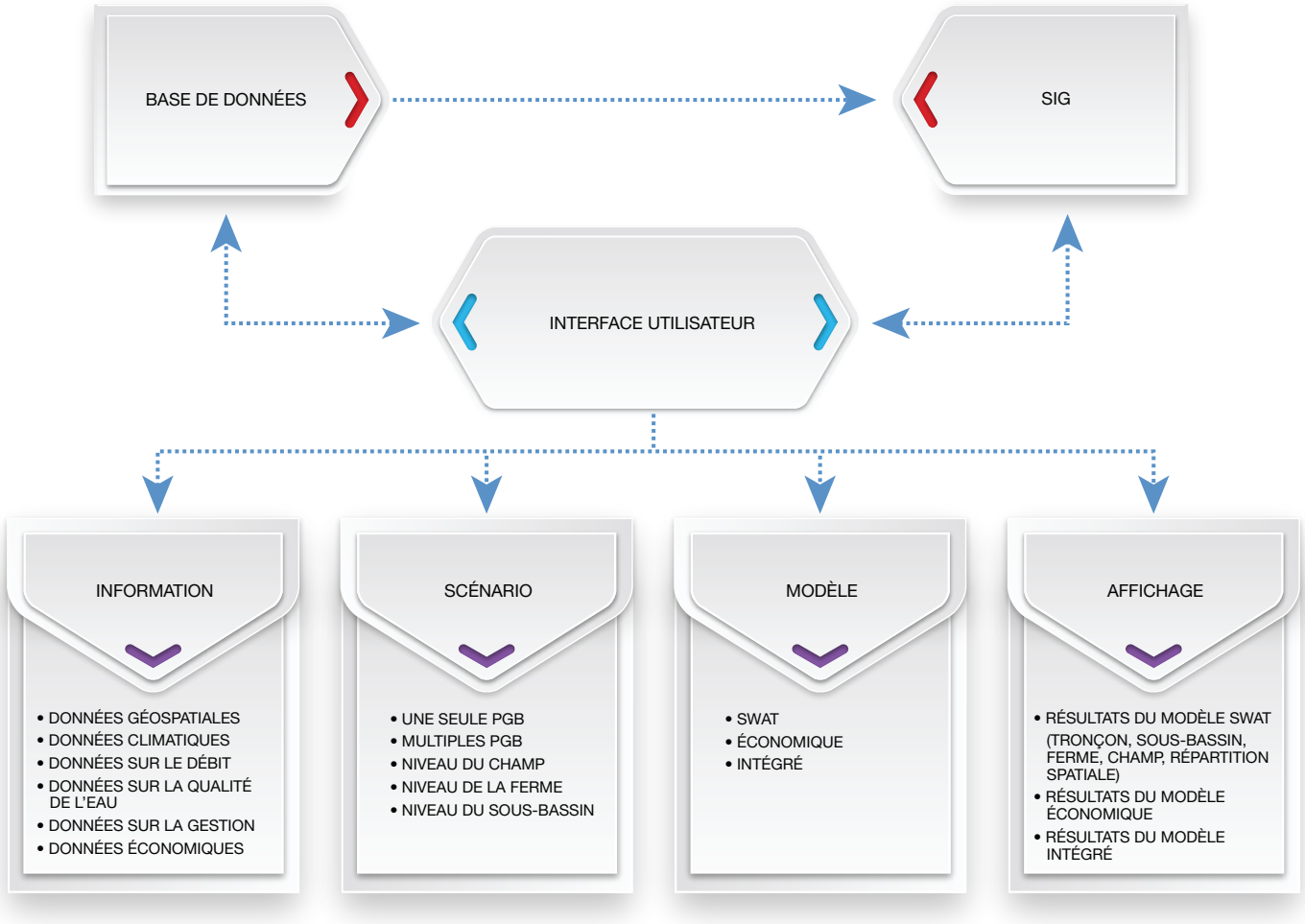


FIGURE 7

Structure de l'interface du système de modélisation hydroéconomique intégrée pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud

Avec cette interface, les utilisateurs peuvent définir divers scénarios de PGB : une ou plusieurs PGB à un ou à plusieurs sites du bassin. Pour les PGB structurales, comme les petits réservoirs ou les étangs de retenue, les utilisateurs peuvent sélectionner un emplacement ou plus. Pour les pratiques fondées sur la gestion des terres, comme le travail de conservation du sol, les utilisateurs peuvent sélectionner un ou plusieurs champs ou fermes. Ils peuvent aussi élaborer des scénarios en sélectionnant de multiples PGB et de multiples sites, champs, fermes ou sous-bassins. Un exemple de scénario consisterait à construire de petits réservoirs aux emplacements choisis par l'utilisateur et d'appliquer le travail de conservation du sol dans des champs choisis par l'utilisateur, pour observer les incidences sur l'apport ou l'infiltration d'eau, les sédiments, l'azote (N) total et le phosphore (P) total à l'exutoire du bassin.

L'interface exécute ensuite le modèle CanSWAT et les modèles économiques à la ferme pour simuler les coûts et les avantages des PGB pour ce scénario. Les résultats environnementaux et économiques pour le scénario choisi, ou une comparaison de deux scénarios, sont ensuite affichés sur une carte pour aider à la prise de décision. Les fonctions d'affichage permettent de visualiser les résultats pour les coûts des PGB, les effets sur la quantité et la qualité d'eau (p. ex. réduction du ruissellement, des sédiments, des éléments nutritifs) et la rentabilité (p. ex. changements dans la quantité ou la qualité de l'eau par tranche de 1 000 $). Les résultats des sites sont affichés sur des cartes et dans des graphiques et les résultats hors site, à l'exutoire du bassin, sont affichés dans des graphiques.

L'interface du modèle est conviviale et peut être utilisée par les groupes de gestion de bassin hydrographique ou les

producteurs. Elle ramène à quelques minutes la préparation et l'exécution des deux modèles pour évaluer les PGB, qui autrement prendraient des jours ou des semaines.

Volet du comportement à la ferme

Cette recherche visait à apprécier des options de politique ciblée en intégrant les informations sur l'endroit optimal où appliquer les PGB et sur les enchères de conservation dans les modèles hydrologiques et économiques. Ce projet mené dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud avait deux composantes.

En premier lieu, les chercheurs ont réalisé une programmation mathématique pour déterminer l'endroit optimal (cible) de mise en œuvre de PGB. Ils ont combiné les informations de la fonction de coûts tirées des études sur le comportement à la ferme aux estimations de réduction des éléments nutritifs par PGB issues des modèles hydrologiques. Au moyen de fonctions de coûts et d'offre des PGB (p. ex. le niveau de PGB offert pour un coût donné, en dollars par hectare ou en dollars par animal) et de fonctions d'offre pour la qualité de l'eau (p. ex. en dollars par kilogramme de P ou de N réduit) ils ont déterminé les politiques incitatives susceptibles d'encourager l'adoption de PGB. Ils ont élaboré des modèles d'optimisation mathématique pour déterminer les meilleurs endroits où appliquer les PGB dans le bassin. Après la fin du programme d'EPBH, des ajustements ont été apportés pour intégrer des données mises à jour sur la fonction environnementale.

En deuxième lieu, les chercheurs ont mis au point un modèle en mode agent qui utilise des fonctions d'enchères pour aider à déterminer le montant d'une seule offre dans des enchères de conservation. Les informations obtenues, ainsi que les coûts à la ferme, les montants des paiements hypothétiques et les paramètres des enchères, peuvent être incorporées dans le système de modélisation intégrée et d'aide à la décision pour évaluer le degré d'adoption des PGB. Les chercheurs ont commencé à élaborer les fonctions, mais n'ont pu les incorporer dans le modèle intégré avant la fin de l'EPBH.

Si on ajoutait les deux composantes au modèle intégré, le modèle de programmation mathématique pourrait fournir un ensemble optimal de PGB ainsi que leurs sites et leurs coûts, pour un objectif de réduction des éléments nutritifs donné, tandis que le modèle en mode agent servirait à simuler la probabilité d'atteindre les résultats optimaux d'adoption des PGB.

Applications

Le modèle intégré du ruisseau Tobacco Sud utilise un logiciel libre gratuit. Les concepteurs ne font pas payer son utilisation et ils ont diffusé leur travail et leurs résultats à d'autres groupes. À la fin du programme d'EPBH, les concepteurs ont présenté et démontré le système de modélisation intégré basé sur CanSWAT et le modèle imWEBs à un grand groupe de producteurs locaux, de représentants gouvernementaux et de dirigeants d'agroentreprises.

À condition de disposer des données voulues, on pourrait élargir la portée des modèles CanSWAT et imWEBs et du système de modélisation intégrée pour examiner les effets et la rentabilité des PGB à l'échelle de grandes régions, comme le bassin du lac Winnipeg, le bassin de la rivière Saskatchewan ou le bassin des Grands Lacs.

On peut utiliser les modèles ailleurs en modifiant adéquatement les paramètres du site et en étalonnant et en validant les modèles au moyen de données sur l'utilisation des terres ainsi que des données agronomiques et climatiques propres au site. Cependant, la disponibilité des données pourrait être un facteur limitant la performance du modèle.

Les paramètres d'étalonnage et de validation ont été transférés dans les modélisations de bassins adjacents ou avoisinants. Les connaissances en modélisation qui ont été acquises dans le projet du ruisseau Tobacco Sud ont été transférées aux projets de l'EPBH en Colombie-Britannique, en Saskatchewan, en Alberta et au Nouveau-Brunswick, à un projet d'Environnement Canada sur le lac Winnipeg et à des projets d'évaluation de PGB par AAC et par les provinces en Alberta et en Ontario pour soutenir les efforts de modélisation. Le groupe de l'Université de Guelph a continué de travailler sur la modélisation économique et hydrologique intégrée dans d'autres bassins hydrographiques. Outre l'élaboration d'une interface SIG à source ouverte pour la création de modèles complexes d'évaluation de PGB à l'intention des spécialistes de la conservation agricole, le groupe a perfectionné le modèle imWEBs afin d'examiner les effets des PGB sur la qualité et la quantité de l'eau dans d'autres sites.

Voir le chapitre 4 et le chapitre 11 pour obtenir plus de renseignements sur la modélisation dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud.

BASSINS HYDROGRAPHIQUES DE LA RIVIÈRE BRAS D'HENRI ET DE LA RIVIÈRE BEAURIVAGE AU QUÉBEC

L'équipe de modélisation hydrologique de l'Institut national de la recherche scientifique-Centre Eau Terre Environnement (INRS-Centre ETE) et les équipes économiques de l'Université McGill et de l'Université Laval ont échangé les informations obtenues du modèle GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) et des modèles économiques dans le but d'intégrer les résultats environnementaux et économiques relatifs aux PGB.

Bassin hydrographique du Bras d'Henri

GIBSI

La modélisation des caractéristiques hydrologiques et de la qualité de l'eau a été effectuée avec le progiciel GIBSI, lequel comprend un système d'information géographique (SIG), un système de gestion de base de données relationnelles, un modèle hydrologique (HYDROTEL) et des modèles distincts pour le transport sur terre et dans les cours d'eau des sédiments, des éléments nutritifs, des pesticides et des agents pathogènes (coliformes fécaux). Le progiciel contient aussi des modules pour la définition de scénarios de gestion. L'interface graphique du modèle aide à gérer les données et à élaborer des scénarios de PGB.

On a mis au point des outils secondaires pour créer les tables de base de données requises par les modèles économiques à la ferme. Les données biophysiques modélisées ont été incorporées aux modèles économiques. Toutefois, elles n'ont pas été étalonnées avec des données de terrain pour la détermination des effets réels des PGB, et elles n'ont pas non plus été intégrées dans le modèle GIBSI avant la fin du programme d'EPBH.

Une interface SIG a été mise au point pour lier le modèle GIBSI au modèle économique élaboré à l'Université McGill dans le but d'effectuer une analyse coût-avantage des PGB. Cette intégration a nécessité l'ajout de couches de données SIG (p. ex. élévation numérique, réseau hydrographique, types de sol et couverture végétale), la modification des bases de données et la mise à jour des fichiers d'entrée des différents modèles.

Le cadre économique du modèle GIBSI a été élaboré, d'après les coûts et les revenus à la ferme, et une évaluation des biens et services environnementaux a aussi été effectuée. Le cadre a permis aux deux équipes de mener ensemble une analyse coût-avantage à la ferme des diverses politiques supposant la mise en œuvre de scénarios de PGB dans les bassins de la rivière Bras d'Henri et de la rivière Beaurivage.

Comme les modèles hydrologiques et économiques n'ont pas été complètement intégrés, on a utilisé le modèle GIBSI pour évaluer le rapport coût-efficacité de groupes de PGB dans le bassin de la rivière Beaurivage. Deux approches ont été adoptées :

- rapport coûts-avantages pour déterminer les compromis financiers entre les coûts à la ferme et la valeur sociale des améliorations de la qualité de l'eau;
- techniques d'évaluation non marchande pour évaluer les avantages pour la société découlant des améliorations de la qualité de l'eau.

On a combiné les estimations de coûts et l'évaluation des avantages pour la société avec les simulations d'hydrologie, d'érosion et de transport de la pollution, afin de faire des analyses coûts-avantages et coûts-efficacité.

Université McGill

L'équipe économique de McGill a travaillé à l'échelle de la ferme et du bassin pour étudier les mécanismes d'intervention susceptibles d'inciter les producteurs à adopter des PGB (voir le chapitre 3 et le chapitre 13). L'équipe a utilisé un modèle d'optimisation économique interrégional élaboré à partir des coefficients des charges environnementales estimés par le modèle GIBSI. Elle a combiné dans son modèle d'optimisation les jeux de données économiques et environnementales pour estimer les effets économiques et environnementaux des PGB.

À l'aide d'un SIG, on a intégré les données spatiales du modèle hydrologique dans le modèle économique. On a référencé spatialement chaque ferme dans le modèle économique pour faciliter les décisions des producteurs et on a incorporé une identification spatiale des unités animales. Les informations ont servi à estimer les courbes de coût de réduction de la pollution dans le bassin.

On a appliqué le modèle de l'Université McGill aux exploitations agricoles du bassin de la rivière Bras d'Henri pour estimer la quantité de polluants produite, la réduction maximale possible de la pollution et les coûts connexes à l'échelle de la ferme et du bassin. Le modèle a supposé que les producteurs utiliseraient la combinaison de PGB la moins coûteuse pour réduire la pollution. Il a montré qu'il est économiquement plus efficace de réduire la pollution à l'échelle du bassin qu'à l'échelle de la ferme, et que la compensation pourrait être moins chère si elle était envisagée à l'échelle du bassin.

Université Laval

L'équipe de modélisation hydrologique a fourni les coefficients environnementaux générés par le modèle GIBSI aux économistes de Laval pour leur étude sur la relation entre les « bons » extrants (les cultures et le bétail) et les « mauvais » extrants (la dégradation de la qualité de l'eau) de la ferme. L'équipe a utilisé des valeurs simulées sur le ruissellement de produits agrochimiques, générées par le modèle GIBSI, pour représenter les « mauvais » extrants.

Les économistes de l'Université Laval ont aussi échangé des données économiques à la ferme (coûts, revenus et données sur le bétail) et des données économétriques (biens et services environnementaux d'après les données sur la disposition à payer) avec l'équipe de modélisation. Ces données ont été utilisées dans l'analyse coûts-avantages.

Volet du comportement à la ferme

L'équipe de l'Université McGill a examiné la littérature sur l'utilisation de mécanismes de marché comme outils incitatifs pour encourager les producteurs à adopter des PGB. Elle a déterminé que son modèle pouvait produire les informations nécessaires pour la conduite d'enchères expérimentale. Le concept expérimental préliminaire a été achevé au cours de l'EPBH. De plus, les mises à jour et les modifications de modèle apportées après la fin du programme ont fourni toutes les données nécessaires à la réalisation d'enchères expérimentales.

Applications

On a mis au point des outils secondaires pour faciliter l'application du modèle GIBSI dans les autres bassins. Ces outils ont été intégrés dans un assistant. Pour faciliter la distribution du modèle GIBSI aux autres équipes de recherche au Canada et ailleurs, et pour réduire au minimum les coûts de mise en œuvre, les composantes commerciales dans GIBSI ont été remplacées par des options du domaine public (p. ex. SIG et production de graphiques et de tableaux).

Voir le chapitre 4 et le chapitre 13 pour obtenir plus d'informations sur la modélisation dans les bassins de la rivière Bras d'Henri et de la rivière Beaurivage.

AUTRES BASSINS HYDROGRAPHIQUES DE L'EPBH

L'intégration des données économiques, hydrologiques et biophysiques a été effectuée dans d'autres bassins de l'EPBH.

Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow

Bien qu'il n'y ait pas eu d'intégration officielle des modèles économiques et hydrologiques dans le projet de la rivière Lower Little Bow, les économistes et les modélisateurs se sont rencontrés régulièrement pour échanger des informations et s'informer des progrès, ce qui a permis d'incorporer les résultats d'un volet dans l'analyse des autres volets du projet.

Bassin hydrographique du ruisseau Thomas

On a intégré le modèle SWAT à un modèle d'optimisation économique agricole pour l'analyse coûts-avantages et du potentiel de certaines PGB à atténuer la production d'azote nitrique et l'exportation de sédiments à l'échelle du bassin, ainsi que des décisions de gestion fondées sur des plans de gestion des éléments nutritifs.

CONCLUSIONS

Des avancées importantes ont été réalisées dans le volet de la modélisation intégrée de l'EPBH pour intégrer des facteurs hydrologiques, des facteurs économiques à la ferme et des facteurs comportementaux à la ferme dans un cadre d'aide à la décision pour évaluer les effets environnementaux et économiques de la mise en œuvre de PGB.

Dans le projet pilote du ruisseau Tobacco Sud, le système de modélisation hydroéconomique intégrée a été élaboré d'après des modèles économiques à la ferme et le modèle CanSWAT, lequel a été étalonné et validé pour le bassin. L'interface facilite l'échange d'informations entre les modèles économiques et hydrologiques et s'avère un outil précieux pour les chercheurs et les gestionnaires de la conservation.

Dans le projet pilote de la rivière Bras d'Henri et de la rivière Beaurivage, la modélisation à l'aide de GIBSI a permis de caractériser les processus hydrologiques, les mécanismes de transport et l'incidence probable des PGB sur la qualité de l'eau et l'intégrité biologique. On a transféré les données biophysiques générées par les modèles dans les modèles économiques disponibles pour analyser les avantages environnementaux et les coûts à la ferme de diverses politiques dans divers scénarios de PGB adoptées. Cette intégration des effets des PGB, des avantages environnementaux et de l'évaluation non marchande peut aider à la prise de décision en matière de gestion et de politiques.

BIBLIOGRAPHIE – MODÉLISATION INTÉGRÉE DE L'EPBH

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, N.H.M. Ahmad, D. Hebb, R. Jamieson, D. Burton et A. Madani. 2013. Effect of nutrient management planning on crop yield, nitrate leaching, and sediment loading in Thomas Brook Watershed. *Environ Manag*, 52(5):1177-1191.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, R. Jamieson et D. Hebb. 2015. Comparison of crop yield and pollution production response to nitrogen fertilization models, accounting for crop rotation effect. *Agroecol Sust Food*, 39(3):245-275.

Hafiz, M., N. Ahmad, A. Sinclair, R. Jamieson, A. Madani, D. Hebb, P. Havard et E.K. Yiridoe. 2011. Modeling sediment and nitrogen export from a rural watershed in eastern Canada using the Soil and Water Assessment Tool. *J Environ Qual*, 40(4):1182-1194.

Liu, Y.B, W. Yang, Z.Q. Yu, I. Lung, J. Yarotski, J.A. Elliott et K.H.D. Tiessen. 2014. Assessing effects of small dams on stream flow and water quality in an agricultural watershed. *J Hydrol Eng*, 19(10), 05014015.

Liu, Y.B., H. Shen, W. Yang et J. Yang. 2013. Optimization of agricultural BMPs using a parallel computing based multi-objective optimization algorithm. *Int J Environ Resour Res*, 1(1):39-50.

Liu, Y.B., W. Yang et X. Wang. 2008. Development of a SWAT extension module to simulate riparian wetland hydrologic processes at a watershed scale. *Hydrol Process*, 22(16):2901-2915.

Liu, Y.B., W. Yang, B. Gharabaghi, J.Z. Liu, H. Wu et J. Yarotski. 2012. Characterizing snow redistribution in SWAT for simulating spatially distributed snowmelt runoff in cold regions. *Nonlinear Science Letters C*, 2(1):1-8.

Muma, M., S.J. Gumiere et A.N. Rousseau. 2014. Analyse de sensibilité du modèle CATHY aux propriétés hydrodynamiques du sol d'un micro-bassin agricole drainé. *Hydrolog Sci J*, 59(8):1606-1623.

Muma, M., S.J. Gumiere, A.N. Rousseau, C. Scudeler et C. Paniconi. 2013. Implementation of a root water extraction module in CATHY: Comparison of four empirical root-density distribution models. Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges. *Procedia Environ Sci*, 19(2013):57-66.

Quilbé, R. et A.N. Rousseau. 2007. GIBSI: An integrated modelling system for watershed management – Sample applications and current developments. *Hydrol Earth Syst Sci*, 11:1785-1795.

Rousseau, A.N., P. Lafrance, M-P Lavigne, S. Savary, B. Konan, R. Quilbé, P. Jiapizian et M. Amrani. 2012. A hydrological modeling framework for defining achievable performance standards for pesticides. *J Environ Qual*, 41(1):52-63.

Rousseau, A.N., S. Savary, D.W. Hallema, S.J. Gumiere et É. Foulon. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients, and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada). *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(2):99-120.

Yang, W., A. Rousseau et P.C. Boxall. 2007. An integrated economic-hydrologic modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *J Soil Water Conserv*, 62(6):423-432.

Yang, W., W. Liu, Y.B. Liu, R.C. Corry et R.D. Kreutzwiser. 2014. Cost-effective targeting of riparian buffers to achieve water quality and wildlife habitat benefits. *Int J of River Basin Management*, 12(1):43-55.

CHAPITRE

6

Communications, diffusion et publications scientifiques de l'EPBH

INTRODUCTION

L'un des objectifs importants de l'EPBH était le transfert d'informations sur les travaux de recherche et les connaissances acquises sur l'efficacité des PGB aux intervenants internes et externes. Les objectifs de communication et de diffusion étaient notamment :

- d'enrichir les connaissances sur les PGB;
- de travailler avec des partenaires pour comprendre et éliminer les obstacles à l'adoption de PGB et fournir des informations qui encouragent l'adoption des PGB appropriées;
- informer les producteurs, les groupes de gestion de bassin hydrographique, les gouvernements et les milieux universitaires et scientifiques des méthodes, de l'état d'avancement et des résultats des recherches menées dans les projets de l'EPBH;
- démontrer la façon dont les producteurs canadiens collaborent avec les gouvernements, les milieux universitaires et l'industrie de l'agriculture afin d'améliorer l'environnement pour tous les Canadiens;
- positionner AAC comme chef de file du soutien aux recherches visant à fournir des renseignements et des outils scientifiques crédibles pour aider l'industrie agricole et agroalimentaire du Canada à protéger l'environnement.

HISTORIQUE

Dans les premières années du programme, l'objectif était de renseigner les intervenants sur le type de recherche effectuée dans le cadre de l'EPBH et sur l'utilité des renseignements qui en découlaient. On a rédigé des communiqués et des fiches d'information sur les évaluations biophysiques et économiques et sur la modélisation, qui indiquaient notamment les enjeux propres à chacun des sept bassins initiaux et les PGB à l'étude. On y soulignait que le programme d'EPBH portait sur la performance environnementale des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques, plutôt qu'à l'échelle des parcelles ou des champs, que l'analyse économique des PGB et la modélisation hydrologique étaient réalisées à tous les sites et que la modélisation hydroéconomique intégrée était effectuée dans deux sites pilotes.

Au bout des quatre premières années du programme, alors que de nombreuses études commençaient à dégager des tendances sur l'efficacité des PGB, les objectifs de communication et de diffusion sont devenus la transmission des résultats préliminaires. Les recherches progressant, les chercheurs ont aussi commencé à publier leurs résultats dans des revues à comité de lecture. Ils ont assisté à des conférences et rédigé des rapports techniques et des fiches d'information. Enfin, beaucoup d'autres produits de communications et de diffusion ont été préparés pour la diffusion de renseignements sur les méthodes, l'état d'avancement des projets et leurs résultats.

TYPES DE PUBLICS

Les activités de communication et de diffusion de l'EPBH ciblaient trois publics principaux :

- ***Public externe*** – intervenants hors d'AAC qui connaissent moins l'EPBH, mais qui seraient d'importants destinataires d'informations du programme (producteurs, groupes de producteurs ou de l'industrie, groupes de gestion de bassin hydrographique ou groupes de conservation, scientifiques des universités ou des gouvernements, décideurs de politiques et de programmes gouvernementaux, grand public).
- ***Public interne et externe*** – collègues d'ACC et d'ailleurs qui travaillent à l'EPBH.
- ***Public interne*** – collègues d'AAC qui ne travaillent pas directement à l'EPBH.

Les produits et activités allaient plus ou moins dans le détail selon le public visé. Par exemple, après les quatre premières années de l'EPBH, les responsables de bassin ont préparé des rapports détaillés. Les données scientifiques présentaient un intérêt pour les chercheurs de l'EPBH des autres bassins et elles étaient utiles à la rédaction des rapports sommaires, qui n'ont pas été diffusés à grande échelle. Les résumés techniques, basés sur ces rapports détaillés et les rapports établis par des consultants sur la modélisation et l'analyse économique de l'EPBH, ont été rédigés à l'intention des autres chercheurs menant des recherches semblables, mais en dehors du cadre de l'EPBH. Enfin, un rapport sommaire quadriennal a présenté des résumés moins techniques sur tous les volets et projets de l'EPBH. Le présent rapport constitue la mise à jour de ce rapport sommaire, qui présentait un intérêt pour un plus grand éventail d'intervenants, dont les producteurs, les organismes de conservation et les décideurs. Les renseignements contenus dans les rapports, ainsi que dans les articles publiés dans des revues à comité de lecture, ont servi à la rédaction de fiches d'information et d'articles de presse.

APPROCHES

Un comité des communications formé de 11 membres orientait les efforts de communication et de diffusion du programme. Le comité regroupait des employés d'AAC de divers services et des spécialistes des communications de Canards Illimités Canada, important partenaire de l'EPBH. Chaque membre apportait un point de vue unique sur la meilleure manière de transmettre les informations aux intervenants.

Divers participants ont préparé des activités et des produits de communication et de diffusion. L'équipe de gestion du programme d'EPBH a travaillé avec les responsables et les participants de projets ainsi qu'avec le personnel chargé des communications et du transfert technologique du Ministère à l'élaboration des rapports, des fiches d'information, des bulletins, des brochures, du contenu Web, des articles de presse, des pancartes, des affiches et des présentoirs.

Ses membres ont donné des exposés lors de réunions et de conférences et ils ont organisé des ateliers sur l'EPBH et des visites guidées. Des chercheurs et des équipes de recherche ont publié leurs résultats dans des revues scientifiques, les ont présentés à des conférences scientifiques, ont guidé des visites de site à l'intention de divers groupes et ont donné des entrevues aux médias. Les médias locaux ont souvent repris les communiqués de l'EPBH, ils ont participé à des visites guidées dans les bassins ou à des réunions communautaires et ils ont publié des articles sur les activités et les résultats des projets.

Divers produits de communication et techniques de diffusion ont été utilisés pour informer les divers publics :

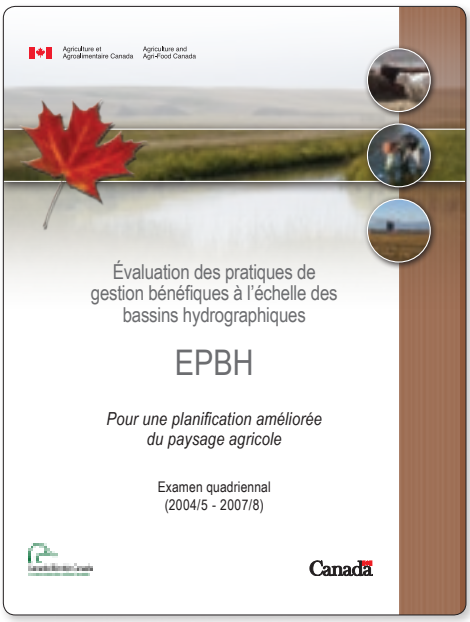
- **Documents imprimés ou informations en ligne préparés par le personnel ou les chercheurs de l'EPBH**
  - Rapports sommaires;
  - Brochures techniques;
  - Fiches d'information;
  - Site Web de l'EPBH et sites wiki internes;
  - Pancartes, affiches, présentoirs.
- **Activités en personne**
  - Ateliers annuels de l'EPBH;
  - Visites guidées et démonstrations dans les bassins;
  - Réunions communautaires;
  - Conférences scientifiques, ateliers, foires ou réunions de l'industrie.
- **Couverture médiatique**
  - Communiqués
    - Communiqués sur le programme et les projets publiés par AAC au début de l'EPBH,
    - Communiqués sur les projets, comprenant une citation d'un député local, publiés par AAC au début de la deuxième phase de financement,
    - Communiqués publiés par des partenaires sur la recherche locale menée dans l'EPBH;
  - Présentations aux médias – reprises par les médias locaux ou régionaux;
  - Sujets repris par les médias locaux ou régionaux, publications sur la conservation ou l'agriculture durable;
  - Articles soumis par AAC à certaines revues, comme *Farming for Tomorrow* ou *Conservator / Conservationniste*, de Canards Illimités Canada.
- **Publications scientifiques**
  - Articles portant sur des projets particuliers dans des revues à comité de lecture.

CONTENU IMPRIMÉ OU EN LIGNE

Rapports

Les chercheurs de l'EPBH (chercheurs d'AAC et partenaires recevant des subventions et des contributions) produisaient un rapport sur leurs méthodes, leurs progrès et leurs résultats à la fin de chaque exercice financier. Les gestionnaires de l'EPBH établissaient des rapports sommaires annuels basés sur ces rapports de projet ou sur les présentations données aux ateliers annuels de l'EPBH. Ces rapports sommaires ont été diffusés aux intervenants et aux autres personnes intéressées.

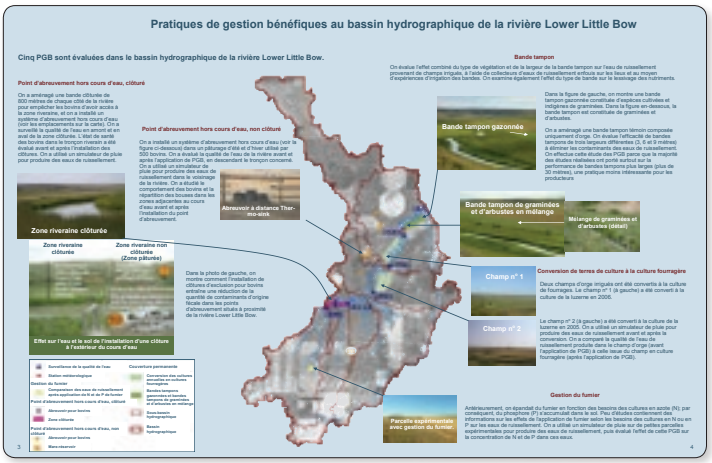
À la fin du premier cycle de financement quadriennal, un rapport résumant tous les volets et tous les projets menés dans les bassins a été publié, imprimé et distribué à plus de 400 intervenants. Le résumé du rapport avait été imprimé à part, et plus de 700 exemplaires en avaient été distribués. Trois résumés techniques (études biophysiques, études économiques et modélisation) ont également été publiés et diffusés à un public cible restreint, et ils pouvaient être obtenus sur demande.



Le rapport sommaire de l'examen quadriennal de l'EPBH a été distribué à plus de 400 intervenants.

Brochures

Des brochures techniques détaillées ont été produites et imprimées pour chacun des neuf bassins hydrographiques. Elles présentaient le bassin et le site à l'étude, les enjeux orientant la recherche, les PGB étudiées, les méthodes de recherche, l'utilisation des terres, les travaux de modélisation et d'évaluation économique et la liste des partenaires.



Les brochures sur les bassins hydrographiques aidaient à expliquer la recherche sur les PGB lors de visites guidées et de conférences.

Les brochures ont été un outil fort utile aux chercheurs et aux techniciens de terrain lorsqu'ils participaient à des visites guidées, à des ateliers ou à des conférences.

Fiches d'information

Au début du programme, on a produit une série de fiches d'information préliminaires sur le programme et sur chacun des sept bassins initiaux. D'autres fiches étaient rédigées à mesure que le programme avançait et que les chercheurs étaient prêts à publier les résultats préliminaires de leurs études. Elles donnaient un aperçu d'un volet de recherche de l'EPBH (biophysique ou économique) ou expliquaient les méthodes et les résultats d'une étude sur une PGB donnée. Onze fiches d'information ont été publiées.

Les onze fiches d'information sur l'EPBH ont été utilisées lors des visites guidées dans les bassins et lors des conférences, des ateliers et des foires.

Les fiches d'information ont été rédigées à l'intention des divers intervenants internes et externes, dont les producteurs, les groupes de conservation et les décideurs. Une fois publiées, elles étaient diffusées au public cible. Le personnel, les chercheurs et d'autres collègues de l'EPBH les ont utilisées lors de visites guidées dans les bassins, de conférences, d'ateliers et de foires. Elles sont consultables sur le site Web de l'EPBH (www.agr.gc.ca/epbh) et sont archivées sur le site Web des Publications du gouvernement du Canada (www.publications.gc.ca).

1. ***Aperçu du programme d'Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques*** – bref résumé des objectifs du programme, de ses volets et de l'approche des études des bassins hydrographiques.
2. ***Une étude révèle des renseignements clés sur le rendement des pratiques de gestion bénéfiques*** – résumé des principaux résultats des recherches biophysiques pour les sept bassins hydrographiques initiaux.
3. ***Drainage souterrain contrôlé : augmenter le rendement et protéger l'environnement*** – résultats des recherches biophysiques et économiques d'une étude réalisée sur les effets du drainage souterrain contrôlé dans le bassin hydrographique de la Nation Sud, en Ontario.
4. ***Effets divers du travail du sol dans un bassin hydrographique des Prairies : Effets sur le rendement économique et la performance environnementale*** – résultats des recherches biophysiques et économiques tirés d'une comparaison à long terme entre le travail de conservation du sol et le travail conventionnel du sol dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, au Manitoba.
5. ***Installation de clôtures le long des berges dans le sud de l'Alberta : une analyse des avantages et des coûts*** – résultats des recherches biophysiques et économiques d'une évaluation à long terme d'une installation de clôtures le long des berges pour exclure le bétail du cours d'eau, dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow, en Alberta.
6. ***Facteurs influant sur l'adoption des pratiques de gestion bénéfiques : L'étude québécoise pourrait s'appliquer à l'échelle nationale*** – conclusions d'une étude menée dans les bassins hydrographiques de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Fourchette, au Québec, portant sur les facteurs qui peuvent influer sur la probabilité que les producteurs adoptent certaines PGB.
7. ***Effets positifs des petits barrages et réservoirs : résultats relatifs à la qualité et la quantité de l'eau dans un bassin hydrographique des Prairies*** – résultats des recherches biophysiques et économiques d'une étude sur les effets des petits barrages de terres et réservoirs aménagés sur les fermes dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, au Manitoba.
8. ***Aspects économiques des pratiques de gestion bénéfiques : évaluation du rendement des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques*** – principales constatations et conclusions de toutes les études économiques du programme d'EPBH dans l'ensemble du Canada.
9. ***Les bovins et la qualité de l'eau dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon : Clôtures d'exclusion pour les bovins et études connexes dans l'intérieur méridional de la Colombie-Britannique*** – répercussions environnementales et économiques des clôtures d'exclusion des bovins dans trois exploitations agricoles du bassin hydrographique de la rivière Salmon, en Colombie-Britannique.
10. ***10. Effet de plusieurs PGB sur la qualité de l'eau et le ruissellement : diminution importante des pertes d'éléments nutritifs dans un petit bassin hydrographique des Prairies*** – résultats d'une étude à long terme sur les effets cumulatifs de multiples PGB dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, au Manitoba.
11. ***Déviations et voies d'eau gazonnées dans les champs vallonnés de pommes de terre : Des études font ressortir les avantages de ces pratiques populaires et en révèlent les compromis possibles*** – incidences environnementales et économiques de l'installation de déviations et de voies d'eau gazonnées dans le bassin hydrographique du ruisseau Black, situé dans la zone de culture de la pomme de terre du Nouveau-Brunswick.

Autres produits de communication écrite

- ***Mises à jour sur l'EPBH –*** publications de style bulletin sur divers sujets, diffusées en format électronique à un public interne et externe ciblé.
- ***Bulletins d'information technique –*** documents d'information internes ou ciblés portant sur divers sujets. Par exemple, un bulletin d'une page sur la modélisation intégrée dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud a été diffusé à un petit groupe de spécialistes internes et externes de la modélisation et du SIG.
- ***Communications concernant un bassin donné –*** l'équipe de projet de chaque bassin communiquait avec les producteurs participants et les autres intervenants locaux. Par exemple, la succursale de Souris et de la région de la Fédération de la faune a diffusé un bulletin d'information communautaire sur les activités et les nouvelles dans le bassin plusieurs fois par an et elle avait son site Web. Chaque numéro comprenait une mise à jour sur le projet EPBH de la rivière Souris.

Automne / Hiver 2011

Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH)

Le point sur l'EPBH, n° 20 – Le Canada atlantique dans la mire

Le programme d'EPBH vise à mesurer le rendement environnemental et économique de certaines pratiques de gestion bénéfiques (PGB) agricoles dans neuf petits bassins hydrographiques canadiens. Chaque bassin hydrographique influe sur des questions agroenvironnementales grâce à la mise en œuvre et à l'évaluation des PGB particulières à chaque région. Les projets liés à l'EPBH des régions canadiennes de l'Ouest, du Centre et de l'Atlantique tirent avantage d'une communication et d'un réseautage nationaux et régionaux fréquents. Cette mise à jour porte sur quelques-unes des initiatives en cours dans le Canada atlantique.

Les provinces de l'Atlantique comptent trois bassins hydrographiques d'EPBH, à savoir les bassins du ruisseau Black (N.-B.), du ruisseau Thomas (N-É) et de la rivière Souris (Î.-P.-É).

Emplacement des trois sites du programme EPBH dans les provinces de l'Atlantique.

Dans le présent numéro :

- Nouveau responsable de bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.)
- Les équipes des bassins du ruisseau Black et du ruisseau Thomas collaborent à des fins d'évaluation de l'incidence de la variation de la largeur des bandes riveraines à l'aide du modèle REMM
- Recherche adaptative à l'échelle des bassins hydrographiques axée sur la réduction du lessivage de l'azote à Souris (Î.-P.-É.)
- Analyse hydrologique-économique visant à optimiser la gestion d'un bassin de retenue dans le bassin du ruisseau Thomas (N.-É.)
- Communication récentes de l'EPBH
- Partenaires de l'EPBH
- Profil : Terra Jamieson , Liaison des bassins hydrographiques d'EPBH de la région de l'Atlantique

Visite du bassin du ruisseau Black (N.-B.)
Debout, de gauche à droite : Sheng Li, Thomas Ochuodho, Chengfu Zhang, John Li, Zisheng Xing, Herb Rees, Junyu Qi, Lien Chow, Jérôme Dambosie.
Agenouillés, de gauche à droite : Sylvie Lavoie, Terra Jamieson, Brook Harker, Lisa Therrien.

Nouveau responsable de bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.)

Après avoir œuvré pendant sept ans à titre de responsable de bassin hydrographique pour l'EPBH du bassin du ruisseau Black, M. Lien Chow, Ph.D., (photo de gauche, deuxième personne debout à partir de la droite) prendra sa retraite à la fin de 2011. M. Chow s'est joint à AAC à titre de chercheur scientifique en 1978 après avoir travaillé pendant quatre ans au Service canadien des forêts. M. Sheng Li, Ph.D., (première personne debout à l'extrême gauche de la photo), nouveau scientifique chercheur au Centre de recherches sur la pomme de terre d'AAC à Fredericton (N.-B.), lui succédera à titre de responsable du bassin du ruisseau Black. Les recherches de M. Li portent

Suite à la page 2....

Le point sur l'EPBH n° 20 - automne/hiver 2011: Le Canada atlantique dans la mire

Les mises à jour sur l'EPBH étaient des publications de type bulletin, diffusées électroniquement à un public cible.

Site Web de l'EPBH et sites wiki internes

Un site Web sur le programme d'EPBH[7], hébergé dans le site d'AAC, comporte une carte cliquable menant à des pages contenant des informations sur les études sur les PGB pour chacun des neuf bassins hydrographiques. Les informations se présentent dans les deux langues officielles. Les sites wiki du programme d'EPBH donnent d'autres renseignements aux employés d'AAC ou du gouvernement du Canada.

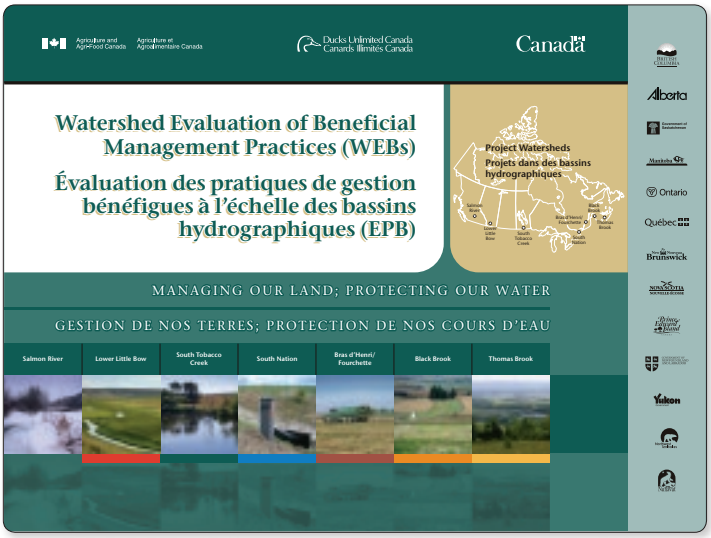
Pancartes, affiches et présentoirs

De grandes pancartes placées dans la plupart des bassins de l'EPBH affichaient le nom du projet et les logos des participants. En outre, plus de 40 producteurs avaient affiché à l'entrée de leur ferme une pancarte les identifiant comme participant au projet local de l'EPBH.

Les pancartes des projets de l'EPBH affichaient le nom du projet et les logos des participants.

Plus de 40 producteurs avaient affiché à l'entrée de leur ferme une pancarte les identifiant comme participant au projet local de l'EPBH.

Des affiches et des présentoirs ont aussi été conçus, imprimés et utilisés lors de conférences et d'ateliers.



Les présentoirs sur l'EPBH ont été utilisés lors de conférences et d'ateliers.

7 http://www.agr.gc.ca/fra/?id=1285354752471.

ACTIVITÉS EN PERSONNE

Ateliers de l'EPBH

Des ateliers annuels ont été organisés vers la fin de chaque exercice financier pour discuter des progrès et des résultats de chaque projet et de chaque volet, ainsi que pour discuter des plans et des priorités à venir. Les exposés et les discussions portaient aussi sur la façon dont on pourrait appliquer les résultats des recherches de l'EPBH dans le contexte plus large des politiques et des programmes.

Le comité de gestion de l'EPBH, les chercheurs d'AAC et les partenaires (y compris les étudiants et les boursiers de recherches postdoctorales), les cadres supérieurs et les autres collègues intéressés assistaient à ces ateliers animés. Il arrivait souvent que des réunions distinctes sur le volet économique et sur le volet de modélisation de l'EPBH étaient organisées, soit en marge de l'atelier annuel, soit à un autre moment. Il s'agissait d'occasions pour les praticiens de discuter de leur travail en termes plus techniques. Un rapport sommaire a été publié après chaque atelier et diffusé aux participants et aux autres intéressés.

Visites guidées et démonstrations dans les bassins hydrographiques

Les visites guidées des sites de projet dans les bassins étaient un moyen efficace de présenter la recherche effectuée et de montrer la complexité de mener des études à l'échelle des bassins. Dans certains bassins de l'EPBH, on a organisé des visites guidées d'envergure, qui duraient une journée, réunissant les gestionnaires d'AAC, les chercheurs des autres projets de l'EPBH et les producteurs et partenaires locaux. Par exemple, plus de 50 personnes provenant de partout au Canada, ainsi qu'un représentant du Conservation Effects Assessment Project (CEAP) du département de l'Agriculture des États-Unis, ont visité les projets de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Fourchette en 2007. La revue Conservator (Conservationniste) de Canards Illimités Canada a publié un article sur cette visite. Puis en 2012, des producteurs locaux ainsi que des employés et gestionnaires d'AAC et de la province ont participé à une journée champêtre au site du projet du bassin du ruisseau Pipestone. Pour attirer les producteurs à cette activité, l'invitation posait les questions suivantes : Savez-vous comment les diverses PGB agissent sur la qualité de l'eau? Voulez-vous savoir si les projets de PGB peuvent vous faire économiser de l'argent? Voulez-vous en apprendre davantage sur la façon dont les PGB sont mesurées scientifiquement?

Les visites guidées aux sites de projet dans les bassins étaient un moyen efficace de présenter la recherche effectuée et de montrer la complexité d'effectuer des études à l'échelle d'un bassin.

Les projets de l'EPBH étaient des destinations populaires pour les cadres supérieurs et pour les délégations étrangères accueillies par le personnel du Ministère. Ainsi, une délégation du Brésil, venue dans la région d'Ottawa pour assister à la réunion du Comité consultatif Brésil-Canada sur l'agriculture, a visité le site du projet du bassin de la Nation Sud en 2010.

Tous les ans, chaque équipe de projet d'EPBH organisait plusieurs visites guidées et démonstrations à l'intention de groupes d'étudiants, de journalistes, de producteurs et d'autres personnes intéressées. Par exemple, les organisateurs de la conférence nationale de 2006 de la Canadian Farm Writers Federation avaient prévu une visite du bassin du ruisseau Tobacco Sud. Et, en 2013, l'équipe de modélisation de l'EPBH de l'Université de Guelph a fait la démonstration du modèle intégré mis au point pour le bassin aux producteurs locaux et aux autres décideurs de l'utilisation des terres.

Des réunions communautaires se sont également tenues dans plusieurs bassins de l'EPBH pour discuter des projets avec les producteurs et les habitants du coin. Ainsi, environ 20 producteurs du bassin de la rivière Salmon ont assisté à un atelier sur l'irrigation en 2011. Des exposés donnés par des employés des ministères de l'agriculture et de l'environnement fédéraux et provinciaux ont renseigné les participants sur l'efficacité de l'irrigation, les cultures fourragères profitables, les prévisions météorologiques, l'eau souterraine et les dommages causés aux cultures par la faune. Toujours en 2011, le Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada a organisé un atelier de diffusion dans le bassin du ruisseau Black pour informer les producteurs locaux et les habitants des projets de l'EPBH. Lors de la séance, une table ronde a été organisée afin de recueillir les observations des participants au projet.

Pour chaque site, le groupe de conservation du bassin hydrographique a bien soutenu l'organisation et la tenue des visites guidées, démonstrations et réunions, ce qui a contribué à la réussite de ces activités pour tous les participants.

Conférences et autres événements scientifiques ou de l'industrie

Les chercheurs et le personnel de gestion de l'EPBH ont participé à d'innombrables conférences, ateliers, réunions de l'industrie et foires de portée régionale, nationale ou internationale. Ces assemblées ont été autant d'occasions de faire connaître les recherches menées dans les bassins de l'EPBH et de tirer des leçons des travaux semblables menés ailleurs. Elles ont souvent débouché sur de nouvelles collaborations.

Les participants de l'EPBH ont fréquemment assisté aux conférences nationales ou internationales des organisations suivantes :

- Association canadienne des ressources hydriques (ACRH),
- International Water Association (IWA),
- Société canadienne de la science du sol (SCSS),
- Soil and Water Conservation Society (SWCS),
- Société canadienne d'agroéconomie (SCAE).

Certaines conférences comportaient des séances spéciales sur l'EPBH. En voici quelques exemples :

- L'équipe de gestion des projets de l'EPBH a participé à la planification d'un atelier de la SWCS, intitulé *Managing Agricultural Landscapes for Environmental Quality – Strengthening the Science Base*, qui s'est tenu à Kansas City en 2006. Des participants de l'EPBH y ont présenté des exposés et des affiches, ont aidé à présider des séances simultanées et ont corédigé trois communications principales présentées en séance plénière. La recherche de l'EPBH a aussi été bien représentée à une conférence de suivi en 2010, intitulée *Managing Agricultural Landscapes for Environmental Quality II: Achieving More Effective Conservation*. Un article sur le programme d'EPBH a été publié dans le rapport de la conférence.
- Deux séances économiques de l'EPBH, qui ont attiré de nombreuses personnes, ont eu lieu en marge de la réunion annuelle conjointe de la Société canadienne d'agroéconomie et de la Northeast Agricultural and Resource Economics Association, à Québec, en 2008. À cette occasion, les économistes affiliés à l'EPBH ont résumé leurs derniers résultats, y compris leur travail sur les mécanismes d'incitation à l'adoption, les relations économiques théoriques et l'effet net des PGB. Les analyses individuelles étaient adaptées aux enjeux et aux ensembles de données propres à chaque bassin. Les deux séances ont été animées par Emmanuel Yiridoe, du campus agronomique de l'Université Dalhousie, qui était l'économiste de site de l'EPBH pour le bassin hydrographique du ruisseau Thomas.
- La division de la Saskatchewan de l'ACRH et l'EPBH ont coorganisé une réunion commune intitulée *Integrating Agriculture, Environment, and Economics at a Watershed Scale: Prairie WEBs Projects*, en 2012 à Saskatoon. La réunion était axée sur les résultats biophysiques, économiques et de modélisation pour les trois sites de bassins de l'EPBH dans les Prairies.

Il s'agit là d'un petit échantillon des nombreuses conférences qui ont inclus des communications ou des séances sur l'EPBH. Les chercheurs de l'EPBH ont également participé à des événements locaux ou régionaux, comme des réunions de l'industrie. Par exemple, les représentants de la Deerwood Soil and Water Management Association assistaient régulièrement à la réunion générale annuelle de la Manitoba Conservation Districts Association et ils y installaient le présentoir sur le bassin du ruisseau Tobacco Sud. Les membres du projet de la rivière Lower Little Bow assistaient fréquemment aux ateliers annuels de l'Alberta Soil Science Society et y faisaient des exposés. Enfin, le personnel du bassin de la Nation Sud participait aux activités locales, dont les foires agricoles, les jours de récolte et les réunions avec les entrepreneurs spécialisés en drainage, pour promouvoir les dispositifs de drainage souterrain contrôlé et en démontrer le fonctionnement.

Les publications sur l'EPBH étaient régulièrement présentées lors de manifestations de l'industrie, comme la Western Canadian Agribition et le Canada's Farm Progress Show.

COUVERTURE MÉDIATIQUE

Communiqués

Au début du programme, AAC a publié huit communiqués : un pour présenter le programme national de l'EPBH et un pour chacun des projets des sept bassins hydrographiques d'origine.

En 2011, le Cabinet du ministre a diffusé une série de communiqués annonçant l'octroi de 14 millions de dollars au programme d'EPBH dans le cadre de *Cultivons l'avenir*. Chaque communiqué – intitulé *Le gouvernement du Canada aide les agriculteurs à améliorer leurs pratiques de gestion des eaux* – comprenait une citation d'un député fédéral de la région et des renseignements sur les études en cours dans le site du bassin à l'étude. Les communiqués ont attiré beaucoup d'attention positive de la part des médias, avec au moins cinq articles de journaux locaux ou en ligne et au moins six annonces à la radio. La couverture médiatique portait sur le financement accordé pour chaque site, les types de PGB étudiées et la façon dont la recherche peut aider les producteurs à maintenir une productivité agricole élevée tout en réduisant au minimum les répercussions de l'agriculture sur l'environnement. De plus, le personnel et les chercheurs de l'EPBH ont répondu directement aux entrevues et requêtes téléphoniques découlant de ces communiqués.

En 2012, le Cabinet du ministre a également publié un communiqué annonçant l'octroi de fonds dans le cadre de *Cultivons l'avenir* pour la modélisation intégrée menée par l'Institut national de la recherche scientifique-Centre Eau Terre Environnement (INRS-Centre ETE) du Québec.

Articles publiés dans les journaux et les revues et en ligne

Les médias locaux ou régionaux et les publications sur la conservation et l'agriculture durable de l'ensemble du pays ont couvert les projets locaux de l'EPBH, en version imprimée et en ligne. Dans certains cas, l'article était rédigé par les médias (p. ex. à la suite d'un communiqué ou d'une visite guidée) et, dans d'autres, il était soumis par le personnel ou les partenaires de l'EPBH.

Des articles sur les projets de l'EPBH ont paru dans des publications destinées aux agriculteurs ou des publications techniques comme le *et le Conservationniste* de Canards Illimités Canada*, Farm Focus of Atlantic Canada, Farming for Tomorrow, Western Producer, Manitoba Co-operator, À propos de l'eau* de l'ACRH et *Drainage Contractor.*

tire d'aile

Une visite d'étude à Québec réunit un groupe diversifié de personnes

La revue *Conservator* de Canards Illimités Canada a publié un article vedette sur une visite guidée dans un bassin hydrographique de l'EPBH.

Par exemple, la revue *Farming for Tomorrow* cible la population agricole de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba, à laquelle elle présente les actualités et les recherches les plus récentes concernant les enjeux de l'agriculture durable. Un comité d'AAC rédige et soumet des articles pour publication comportant des informations topiques et opportunes concernant de divers enjeux liés à l'agriculture durable. La revue est publiée trois fois par an et elle est diffusée à plus de 100 000 ménages agricoles des Prairies. Cinq articles sur l'EPBH ont paru dans ses pages :

- ***Living laboratories provide answers about the true value of beneficial management practices*** (numéro automne-hiver 2010-2011);
- ***Watershed evaluation studies yield key insights into BMP performance*** résultats du volet biophysique (numéro de janvier-février 2012);
- ***Tillage trade-offs in a Prairie watershed: The effects on environmental and economic performance*** (numéro de janvier-février 2012);
- ***Streambank fencing in southern Alberta: Keeping cattle out has environmental benefits, can be costly for producers*** (numéro de janvier-février 2012);
- ***Effect of multiple BMPs on water quality and runoff: Substantial nutrient loss reductions achieved in a small Prairie watershed*** (numéro de février-mars 2013).

Living laboratories provide answers about the true value of Beneficial Management Practices

FARMERS: TAKE ACTION!

RINSE + REMOVE + RETURN

Cinq articles sur l'EPBH ont été publiés dans la revue *Farming for Tomorrow*.

Autre couverture médiatique

Un épisode de l'émission *The Nature of Things* de David Suzuki diffusé en 2011 et intitulé « Save My Lake », comprenait un reportage concernant certains travaux études sur les PGB dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, en particulier le réseau de petits barrages et la contribution des PGB à l'amélioration de la qualité de l'eau du lac Winnipeg. Bien que l'émission n'ait pas parlé de l'EPBH, certains partenaires de l'EPBH ont été interviewés : Canards Illimités Canada, la Deerwood Soil and Water Management Association et un scientifique de l'Université du Manitoba participant au projet du ruisseau Tobacco Sud de l'EPBH.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

La recherche menée dans l'EPBH a abouti à la publication de plus de 135 articles dans des revues scientifiques à comité de lecture depuis 2007 (figure 8), et les résultats de l'EPBH ont continué d'être publiés après la fin du programme. Comme certains projets se poursuivent, le nombre d'articles publiés découlant de la recherche de l'EPBH continuera de croître.

Voir la bibliographie pour obtenir la liste complète des articles sur l'EPBH publiés dans des revues.

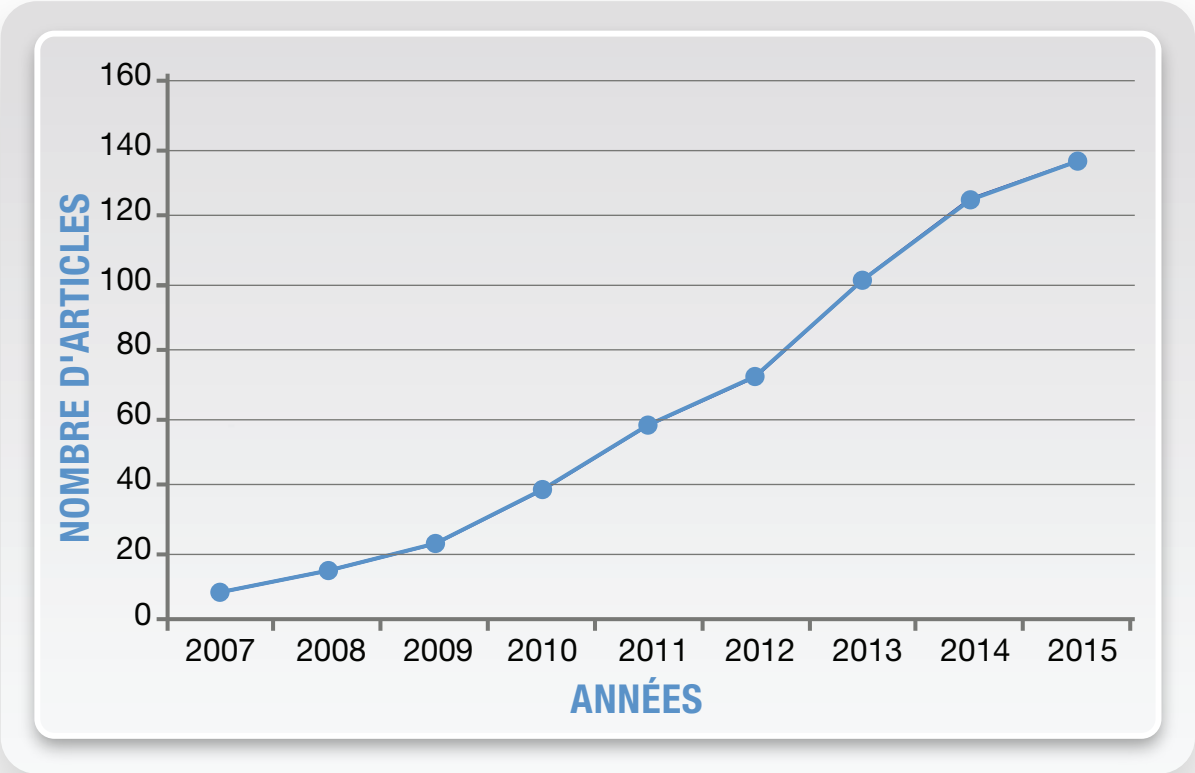


FIGURE 8

Nombre cumulatif d'articles portant sur les travaux de recherche de l'EPBH publiés dans des revues scientifiques à comité de lecture depuis 2007

Les résultats de recherche liés à l'EPBH ont été publiés dans des revues comme :

- *Journal of Environmental Quality*
- *Revue canadienne de la science du sol*
- *Recherches sur l'eau*
- *Applied and Environmental Microbiology*
- *Journal of Soil and Water Conservation*
- *Agricultural Water Management*
- *Water Quality Research Journal of Canada*
- *Water, Air and Soil Pollution*

Plus de 135 résultats de recherche de l'EPBH ont été publiés dans des revues à comité de lecture, comme le *Journal of Environmental Quality* et la *Revue canadienne de la science du sol*.

CHAPITRE

7

Partenariats et collaboration

Programme multidisciplinaire et interdisciplinaire, l'EPBH était composé de spécialistes de divers horizons collaborant à des recherches à l'échelle des bassins hydrographiques. Les interactions et l'échange de renseignements entre les partenaires et les autres collaborateurs ont créé des occasions d'apprentissage et ont enrichi les connaissances au sein de chaque discipline et entre disciplines.

PARTENARIATS

Dans l'EPBH, les études interdisciplinaires ont été menées par des scientifiques d'AAC en partenariat avec divers organismes, notamment :

- des universités et collèges du Canada et de l'étranger;
- des groupes de conservation et autres organisations non gouvernementales;
- le département de l'Agriculture des États-Unis;
- les ministères provinciaux et les services municipaux;
- les autres ministères fédéraux.

Voir le tableau 11 pour consulter la liste des partenaires dans chaque bassin de l'EPBH.

TABLEAU 11
Partenaires de l'EPBH par bassin hydrographique

BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE L'EPBH	PARTENAIRES LIÉS PAR UN ACCORD DE CONTRIBUTION AVEC AAC	AUTRES PARTENAIRES
Rivière Salmon	■ Table ronde sur le bassin de la rivière Salmon ■ Fraser Basin Council Society ■ Université de Victoria	■ Association d'éleveurs de bétail de Westwold – une association locale de l'association des éleveurs de bovins de la Colombie-Britannique ■ Conseil de l'agriculture de C.-B. ■ Commission canadienne du blé ■ Collège Okanagan (campus de Salmon Arm) ■ Université Thompson Rivers ■ BC Hydro ■ Ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique ■ Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique ■ Environnement Canada
Rivière Lower Little Bow	■ Comté de Lethbridge ■ Université de l'Alberta	■ Canards Illimités Canada ■ Ministère de l'Agriculture et du Développement rural de l'Alberta ■ Ministère de l'Environnement et du Développement durable des ressources de l'Alberta ■ Environnement Canada ■ Pêches et Océans Canada ■ Santé Canada ■ Agence de la santé publique du Canada
Ruisseau Pipestone	■ Lower Souris Watershed Committee Inc. ■ Université de l'Alberta ■ Université de Regina ■ Agence de la sécurité de l'approvisionnement en eau de la Saskatchewan	■ Université de la Saskatchewan ■ Environnement Canada
Ruisseau Tobacco Sud	■ Deerwood Soil and Water Management Association ■ Université de Guelph ■ Université de l'Alberta	■ Canards Illimités Canada ■ Université du Manitoba ■ Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et du Développement rural du Manitoba ■ Ministère de la Conservation et de la Gestion des ressources hydriques du Manitoba ■ Environnement Canada ■ Pêches et Océans Canada

BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE L'EPBH	PARTENAIRES LIÉS PAR UN ACCORD DE CONTRIBUTION AVEC AAC	AUTRES PARTENAIRES
Nation Sud	■ Conservation de la Nation Sud	■ Fédération de l'agriculture de l'Ontario ■ Association pour l'amélioration des sols et des récoltes de l'Ontario ■ Comité des ressources en eau de l'Est de l'Ontario ■ Université de Waterloo ■ Université de Guelph ■ Université d'Ottawa ■ Université de Calgary ■ Université de l'Alberta ■ Ville d'Ottawa ■ Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario ■ Ministère de l'Environnement et de l'Action en matière de changement climatique de l'Ontario ■ Environnement Canada ■ Santé Canada ■ Agence de la santé publique du Canada ■ Département de l'Agriculture des États-Unis ■ Institut national de la recherche agronomique (INRA) ■ Université de Bourgogne, France ■ Université suédoise des sciences agricoles ■ Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF (Eawag) (Suisse) ■ North Carolina State University ■ Lincoln University (Nouvelle-Zélande) ■ University of Minnesota ■ Lapointe Drainage ■ Agri-Drain USA
Bras d'Henri et Fourchette	■ Club de fertilisation de la Beauce (CFB) ■ Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) ■ Institut national de la recherche scientifique-Centre Eau Terre Environnement (INRS-Centre ETE) ■ Université McGill ■ Université Laval	■ Fédération de l'UPA de la Côte-du-Sud ■ Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) ■ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec ■ Environnement Canada ■ Ressources naturelles Canada ■ Agence spatiale canadienne

BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE L'EPBH	PARTENAIRES LIÉS PAR UN ACCORD DE CONTRIBUTION AVEC AAC	AUTRES PARTENAIRES
Ruisseau Black	■ Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada ■ Université du Nouveau-Brunswick	■ Pommes de terre Nouveau-Brunswick ■ Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) ■ Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick ■ Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux du Nouveau-Brunswick ■ Environnement Canada ■ Pêches et Océans Canada ■ Santé Canada ■ Département de l'Agriculture des États-Unis
Ruisseau Thomas	■ Cornwallis Headwaters Society ■ Fédération de l'agriculture de la Nouvelle-Écosse ■ Nova Scotia Agricultural College –campus agronomique de l'Université Dalhousie ■ Université Dalhousie	■ Réseau canadien de l'eau ■ Groupe de recherche appliquée en géomatique du Centre des sciences géographiques ■ Acadia Centre for Estuarine Research, Université Acadia ■ Perennia (anciennement AgraPoint International) ■ Ministère de l'Agriculture de la Nouvelle-Écosse ■ Ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse ■ Ressources naturelles Canada
Rivière Souris	■ Fédération de la faune de l'Île-du-Prince-Édouard ■ Collège d'agriculture de la Nouvelle-Écosse – campus agronomique de l'Université Dalhousie ■ Ministère de l'Environnement, du Travail et de la Justice de l'Île-du-Prince-Édouard	■ Institut canadien des rivières ■ Université de l'Île-du-Prince-Édouard ■ Université Dalhousie ■ Ministère de l'Agriculture et des Forêts de l'Île-du-Prince-Édouard ■ Ressources naturelles Canada

On a préparé des représentations schématiques des volets, des partenariats et des résultats de la recherche pour plusieurs projets de l'EPBH. Ces schémas illustrent la complexité des projets de l'EPBH et la façon dont chaque projet chapeaute diverses activités de recherche complémentaires.

Les équipes de projet ont utilisé ces schémas durant leurs exposés et pour planifier les activités et collaborations futures. La figure 9 est un modèle de schéma de recherche et de collaboration qui illustre les volets, les partenariats et les résultats de recherche pour un bassin type de l'EPBH. La figure 10 montre une partie du schéma pour le projet du bassin de la rivière Lower Little Bow, qui porte sur quelques-unes des composantes de la recherche biophysique. Les points de couleur représentent des organismes partenaires précis.

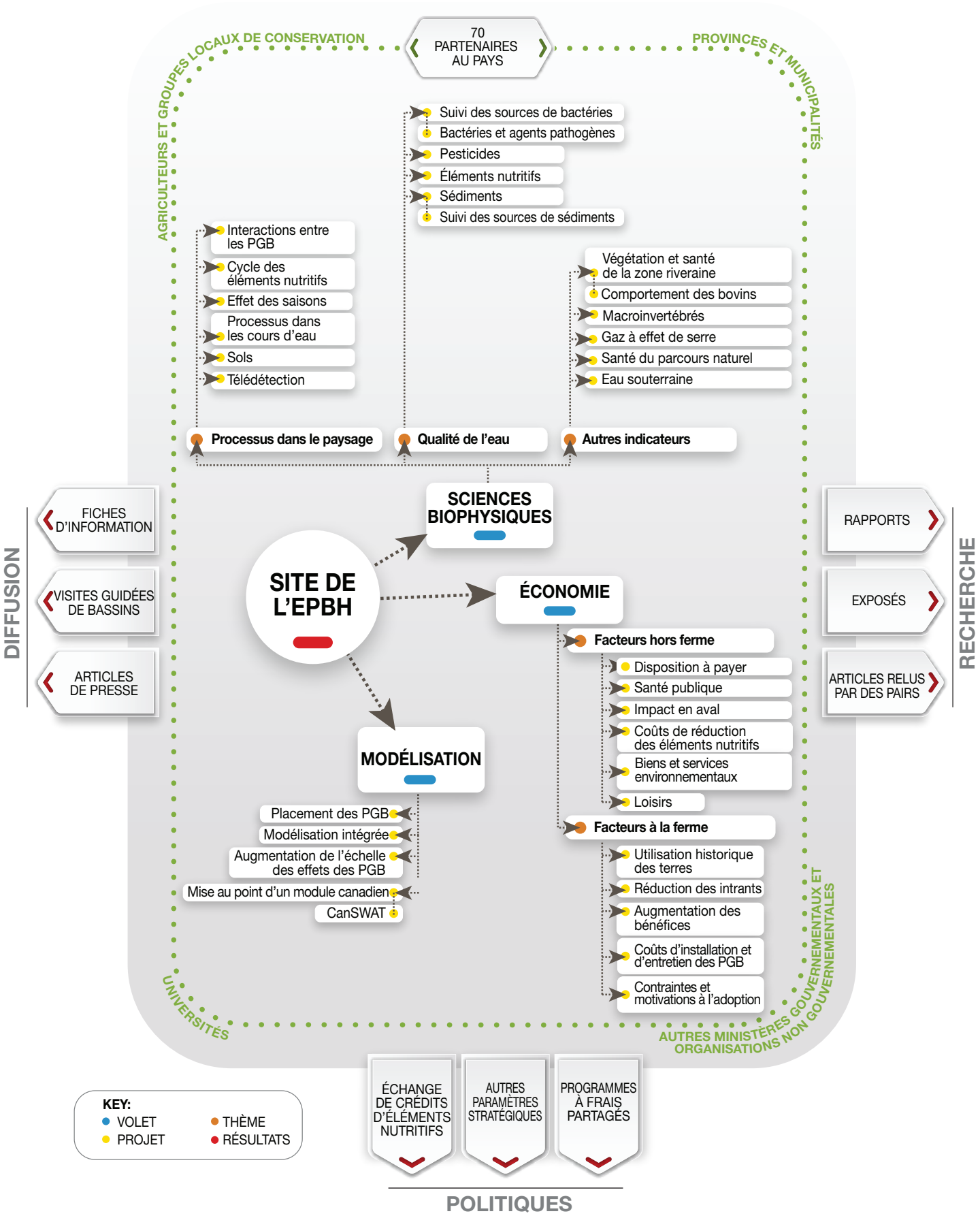


FIGURE 9

Modèle schématisé de la recherche et de la collaboration dans le cadre de l'EPBH

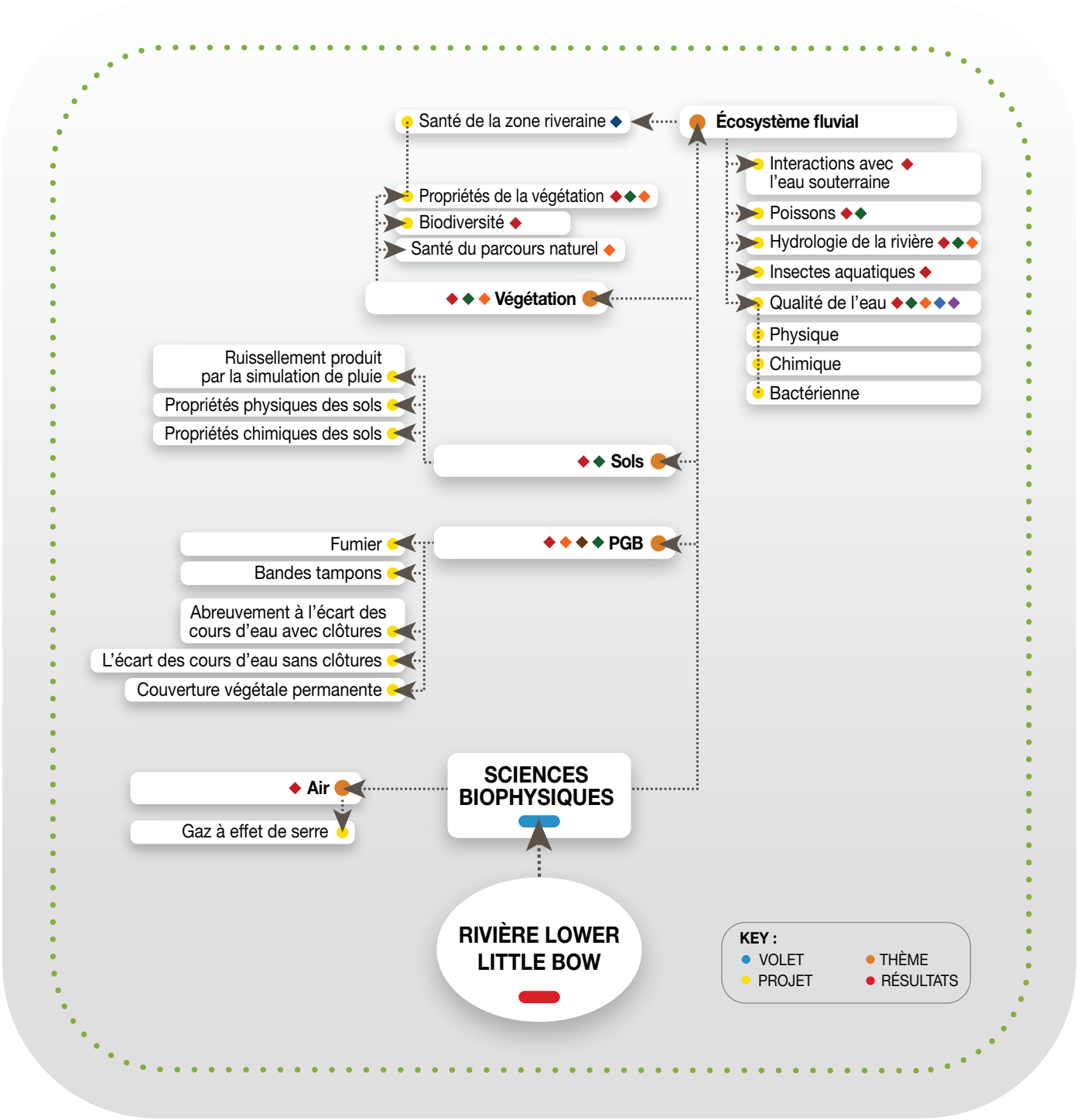


FIGURE 10

Partie du schéma sur la recherche et la collaboration dans le cadre du projet de la rivière Lower Little Bow, avec l'accent sur le volet de la recherche biophysique. (Les diamants colorés représentent les organisations partenaires.)

AUTRES COLLABORATIONS

Le programme d'EPBH a aussi collaboré à d'autres initiatives par l'échange de données. Pour ces initiatives, la recherche était menée sur les sites des bassins de l'EPBH. Voir le tableau 12 pour la liste des autres collaborations.

TABLEAU 12

Autres initiatives auxquelles l'EPBH a collaboré

ORGANISME	INITIATIVE	DESCRIPTION
AAC	Systèmes environnementaux pour une agriculture durable (SEAD)	L'initiative SEAD a donné aux producteurs et aux décideurs des renseignements sur les pratiques agricoles nouvelles et améliorées destinées à résoudre les problèmes environnementaux, dont ceux entourant la variabilité du climat et la gestion des cultures, du bétail et de l'eau, d'une manière économiquement viable. Des projets SEAD ont été menés dans plusieurs bassins de l'EPBH. En voici des exemples : ■ Des échantillons d'eau ont été prélevés dans les bassins de la Nation Sud et de la rivière Bras d'Henri pour un projet SEAD portant sur l'étude des risques pour la qualité de l'eau et de l'air associés à l'utilisation d'engrais organiques. ■ Des données du bassin du ruisseau Black ont été utilisées dans un projet SEAD pour élaborer des normes de performance environnementale relatives aux sédiments, aux éléments nutritifs et aux pesticides dans les cours d'eau.
AAC	Données et informations précises sur les sols des sites de l'EPBH	On a élaboré des cartes des sols pour les projets du ruisseau Tobacco Sud et de la rivière Bras d'Henri avec de nouvelles méthodes basées sur une combinaison d'altitude numérique, d'analyse de la topographie et d'autres propriétés, comme la texture du sol. Les cartes ont été utilisées avec l'analyse de la topographie pour localiser les points d'échantillonnage de référence en vue des évaluations futures des effets des PGB, de la topographie et des propriétés des sols sur la qualité de l'eau. Pour d'autres sites de l'EPBH, on a compilé et traité les données thématiques requises aux fins de la cartographie prévisionnelle des sols. Des levés pédologiques détaillés ont été menés dans les bassins de la Nation Sud, de la rivière Souris et du ruisseau Black.
Réseau canadien de l'eau[8] (RCE)	Diverses initiatives dans plusieurs bassins de l'EPBH	Le RCE a financé différentes études dans les bassins de l'EPBH. En voici des exemples : ■ Le projet d'EPBH dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud a fourni des données pour exécuter un modèle hydrologique dans le plus grand bassin du ruisseau Tobacco. ■ Des indicateurs aquatiques ont été développés dans le modèle du bassin du ruisseau Tobacco pour diagnostiquer les effets cumulatifs. ■ Les répercussions des eaux usées du site sur la qualité de l'eau ont été quantifiées dans le bassin du ruisseau Thomas. ■ Un cadre de surveillance régional pour l'évaluation des effets cumulatifs dans le détroit de Northumberland a établi un lien entre les contraintes de l'utilisation du territoire et l'intégrité biologique en zone côtière dans le bassin de la rivière Souris.

8 http://www.cwn-rce.ca/accueil/

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie[9] (CRSNG)	Caractérisation des sédiments	Une étude du CRSNG dirigée par David Lobb (Ph. D.) de l'Université du Manitoba, en partenariat avec AAC, a mené à l'élaboration de techniques de caractérisation des sédiments visant à déterminer les sources de sédiments et de phosphore dans les champs et les cours d'eau de bassins agricoles du Canada. Cette étude s'est déroulée dans quatre bassins de l'EPBH (Alberta, Manitoba, Québec et Nouveau-Brunswick).
Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA)	Conservation Effects Assessment Project (CEAP)[10]	Le CEAP quantifie les effets environnementaux des pratiques et programmes de conservation et il établit les fondements scientifiques de la gestion du paysage agricole axée sur la qualité de l'environnement. Les résultats serviront à orienter les politiques et les programmes de conservation de l'USDA et aideront les agents de protection de la nature, les agriculteurs et les éleveurs à prendre des décisions plus éclairées sur la conservation. Les chercheurs de l'EPBH et du CEAP et les gestionnaires de programme ont collaboré en se communiquant leurs approches et leurs conclusions.
AAC et Environnement Canada	Initiative nationale d'élaboration de normes agroenvironnementales[11] (INENA)	L'INENA, qui s'est déroulée de 2004 à 2009, a servi à étudier les relations entre l'agriculture et l'environnement et à élaborer des normes scientifiques de performance agroenvironnementale concernant l'eau, l'air, la biodiversité et les pesticides. Dans le volet sur l'eau, des études sur les agents pathogènes ont été réalisées dans les bassins de la rivière Lower Little Bow, de la Nation Sud et de la rivière Bras d'Henri. L'échantillonnage de l'eau aux fins d'analyse des éléments nutritifs et des sédiments a aussi été réalisé dans les bassins du ruisseau Tobacco Sud, de la Nation Sud et du ruisseau Black. Dans le volet sur les pesticides, on a procédé à des échantillonnages d'eau dans les bassins de la rivière Salmon, de la Nation Sud et de la rivière Bras d'Henri.
AAC	Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale (PNARSA)	Dans le contexte du PNARSA, des expériences ont été menées dans certains bassins de l'EPBH pour évaluer les indicateurs agroenvironnementaux. Ainsi, un chercheur de l'Université du Manitoba a mené des expériences dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud pour élaborer un indicateur de l'érosion attribuable au travail du sol. Dans le site de la rivière Bras d'Henri, les données sur la qualité de l'eau ont contribué à l'évaluation des indicateurs des agents pathogènes microbiens. De plus, une étude d'évaluation économique a été menée le long du ruisseau Thomas et dans tout le bassin de la rivière Cornwallis pour estimer la valeur que les habitants accordent aux changements de la qualité de l'eau découlant de la mise en œuvre de PGB.
Santé Canada, Environnement Canada et AAC	Programme national de surveillance de la qualité de l'eau[12]	Le dépistage des sources de pollution microbienne dans les écosystèmes aquatiques a été mené dans trois grands bassins hydrographiques (ruisseau Black, Nation Sud et rivière Oldman en Alberta), qui incluent les plus petits sites d'étude de l'EPBH. Les conclusions ont aidé à préciser l'effet possible sur la qualité de l'eau de la réduction des charges microbiennes provenant de sources agricoles.

9 http://www.nserc-crsng.gc.ca/index_fra.asp

10 http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/nra/ceap/

11 http://ec.gc.ca/doc/ae-ve/2008-09/979/index_f.htm

12 http://www.ec.gc.ca/inre-nwri/default.asp?lang=Fr&n=D575CDF5-1

CHAPITRE

8

Bassin hydrographique de la rivière Salmon (Colombie-Britannique)

Responsables du bassin hydrographique : Klaas Broersma et Bruce Roddan (AAC)
Économiste de site : Terry Peterson (entrepreneur)
Spécialiste de la modélisation du site : Zhanxue (John) Zhu (Université de Victoria)

FAITS SAILLANTS

- ***Clôtures d'exclusion des bovins*** – L'étude a montré que la PGB a réduit significativement les charges d'*E. coli* et de sédiments fins dans la rivière et qu'elle a eu un effet positif sur la végétation riveraine et la santé des invertébrés aquatiques. Toutefois, les chercheurs n'ont pas été en mesure de déceler une réduction significative des concentrations d'éléments nutritifs. Ces résultats soulignent l'importance d'examiner de multiples variables, puisque ce ne sont pas toutes les variables étudiées qui donneront des résultats concluants.
- ***Dépistage des sources bactériennes*** – L'étude a donné certains résultats intéressants et surprenants. Contrairement à ce qu'on aurait pu penser, la faune était à l'origine de plus de 60 % des bactéries *E. coli* dans la rivière, tandis que les animaux d'élevage en expliquaient à peine 20 %. Les chiens, les humains et les autres sources sont à l'origine du reste.
- ***Gestion de l'irrigation*** – Les données obtenues par les capteurs d'humidité du sol ont indiqué que les agriculteurs de la zone d'étude pratiquant l'irrigation ne stockaient pas plus d'eau que nécessaire pour les cultures, et que leurs pratiques d'irrigation ne contribuaient pas au lessivage des éléments nutritifs dans l'eau souterraine. En fait, la surveillance de l'irrigation a révélé qu'en moyenne, ces agriculteurs sous-irriguaient.
- ***Économie*** – L'économiste de site de l'EPBH a collaboré avec des éleveurs locaux à l'élaboration d'un modèle de « ranch type » pour le bassin. On a utilisé ce modèle de ferme représentative pour déterminer les coûts et les avantages des PGB. D'après le modèle, les clôtures d'exclusion des bovins n'étaient pas rentables. La gestion de l'irrigation était plus abordable, mais son adoption nécessiterait probablement des incitatifs.
- ***Modélisation*** – Le projet comprenait un aspect unique de modélisation hydrologique, soit les répercussions environnementales d'une infestation de dendroctones du pin ponderosa. Les résultats du modèle ont prévu que l'infestation se traduirait par une augmentation du débit, par un ruissellement printanier plus précoce et par une baisse hâtive du niveau de la rivière à la fin de l'été et à l'automne. Ces changements pourraient avoir des conséquences négatives sur l'approvisionnement en eau nécessaire à l'irrigation et aux processus naturels.

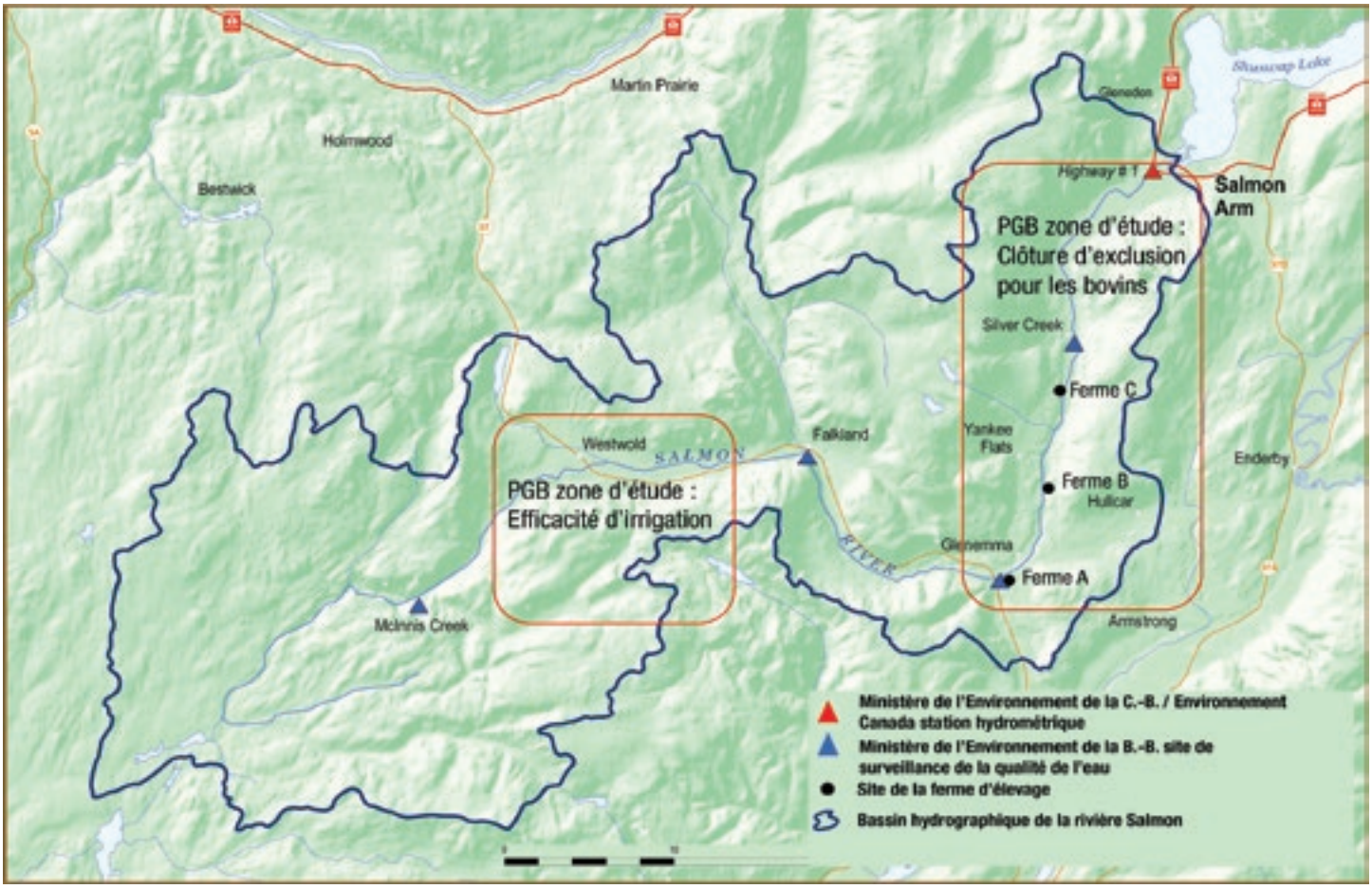


FIGURE 11
Bassin hydrographique de la rivière Salmon

CONTEXTE ET ENJEUX

D'une superficie de 1 500 km^2, le bassin de la rivière Salmon (figure 11), situé dans les régions montagneuses de l'intérieur de la Colombie-Britannique, se draine vers le nord-est, depuis les eaux d'amont jusqu'au lac Shuswap, une zone récréative populaire. Le bassin est boisé à plus de 90 %; il contient une rivière importante pour la fraie du saumon; il abrite des mines ainsi que des collectivités agricoles et rurales. Les terres agricoles ne comptent que pour 8 % du bassin, avec 325 fermes le long de la vallée de la rivière. Les principales activités agricoles sont l'élevage, la production laitière et la production fourragère sous irrigation, qui est une grande consommatrice d'eau dans la vallée. Ces activités ont toutes un effet sur la qualité et la disponibilité de l'eau, et celles-ci ont un effet sur elles.

Dans cette région, la production bovine nécessite un déplacement saisonnier des animaux, de part et d'autre de la vallée. L'été, les bovins sont loin de la rivière, paissant dans les hautes terres boisées. Ils passent le reste de l'année dans la vallée fluviale.

Ces dernières années, la dégradation de la qualité de l'eau de la rivière a suscité d'importantes préoccupations. Protéger la qualité de l'eau et de l'habitat aquatique et riverain tout en gérant l'utilisation humaine de l'eau aux fins de l'agriculture, des activités récréatives et des besoins domestiques représente un défi. Dans le bassin, les problèmes de qualité de l'eau sont causés par les charges de sédiments, les bactéries fécales et les éléments nutritifs comme l'azote (N) et le phosphore (P). Le ruissellement superficiel, l'émergence des eaux souterraines, l'érosion des berges, la sédimentation dans le cours d'eau et l'accès direct des bovins à la rivière sont tous des causes de contamination.

Une autre source de préoccupation dans la région est l'absence de barrages-réservoirs. Les volumes d'eau abondants de la rivière Salmon en juin ne sont pas emmagasinés pour être utilisés plus tard pendant la période de végétation. En outre, les faibles débits en été et en automne coïncident avec la demande d'irrigation ainsi que la migration et la fraie du saumon. Il arrive que le gouvernement fédéral demande aux détenteurs de licence d'irrigation de cesser de dériver l'eau de la rivière Salmon quand le débit risque de devenir trop faible pour la vie aquatique. Les éleveurs de bovins de boucherie et de bovins laitiers sont tributaires de l'eau d'irrigation pour produire le foin nécessaire à l'engraissement de bovin durant l'hiver, et les besoins en eau des plantes sont à leur plus haut à la fin de l'été.

VOLET BIOPHYSIQUE

Entre 2004 et 2008, le volet biophysique de l'étude visait à évaluer la performance environnementale des clôtures d'exclusion des bovins et de l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau. De 2009 à 2013, l'étude portait surtout sur la gestion de l'irrigation.

Description des PGB et résultats

Clôtures d'exclusion des bovins et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau

La PGB qui consiste à clôturer le long des berges riveraines pour tenir les bovins à l'écart des rivières est une pratique souvent vantée auprès des producteurs pour réduire les impacts environnementaux. De 2004 à 2008, la zone d'étude de l'EPBH englobait trois fermes d'élevage bovin aux abords de la rivière Salmon. Une clôture riveraine avait été installée sur les trois fermes pour empêcher les bovins d'accéder à la rivière. Au cours des deux premières années de l'étude, seul le secteur amont des fermes avait été clôturé, tandis que le secteur aval laissait un libre accès à la rivière. On a comparé l'état de santé de la zone riveraine ainsi que plusieurs paramètres de la qualité de l'eau entre les tronçons amont et aval. Par la suite, tout le secteur riverain des trois fermes a été clôturé, et les bovins s'abreuvaient hors du cours d'eau ou dans la rivière à des points d'accès contrôlés.

Les résultats de l'étude sur les clôtures d'exclusion des bovins soulignent l'importance d'examiner de multiples variables, car ce ne sont pas toutes les variables étudiées qui donneront des résultats concluants.

Les clôtures d'exclusion des bovins ont réduit de façon significative la contamination de l'eau de la rivière par *E. coli* et les sédiments fins, et elles ont eu un effet positif sur la végétation riveraine et la santé des invertébrés aquatiques. Toutefois, les suivis effectués dans ce bassin n'ont pu prouver que les clôtures d'exclusion réduisaient les concentrations d'éléments nutritifs dans la rivière.

Autres études biophysiques

Comme on s'attendait à ce que les changements dans la qualité de l'eau soient difficiles à détecter, surtout à court terme, on a eu recours à plusieurs méthodes de recherche durant cette étude. Les méthodes ont servi à quantifier l'effet des PGB sur la qualité de l'eau et d'autres paramètres biophysiques, et ont aidé à mieux comprendre l'effet des divers facteurs sur l'efficacité des PGB.

- ***Suivis des insectes aquatiques*** – On a effectué des suivis des communautés d'insectes aquatiques (macroinvertébrés) à 20 endroits le long de la rivière Salmon caractérisés par divers degrés d'intensité des activités agricoles; le but était de déterminer l'incidence des activités agricoles et de la santé de la zone riveraine sur les organismes aquatiques. Les résultats ont été comparés avec ceux de sites de référence où l'exploitation forestière est minimale et où il n'y a aucune activité agricole en amont. Les sites agricoles aux zones riveraines les plus saines avaient les communautés d'insectes les plus semblables, en termes d'espèces et d'abondance, à celles des sites de référence non agricoles. Ces résultats donnent à penser que les clôtures, qui améliorent la végétation riveraine grâce à la diminution du passage des bovins, jouent probablement un rôle positif sur l'état de santé de la communauté d'insectes aquatiques adjacente.
- ***Suivi des sources bactériennes*** – On a effectué des suivis des sources bactériennes dans les échantillons d'eau prélevés chaque mois à cinq sites représentatifs de la rivière Salmon pour déterminer l'origine des bactéries *E. coli* dans le bassin. Les résultats ont révélé que la faune est à l'origine de plus de 60 % des bactéries *E. coli* présentes dans la rivière : les espèces aviaires sauvages, comme les oiseaux chanteurs, les canards et les oies, apportent 52 % des bactéries, tandis que 8 % proviennent des grands animaux sauvages, comme l'orignal, le cerf, le cougar et l'ours. Les autres sources d'*E. coli* sont les espèces canines (5 %), des sources inconnues (7 %) et les humains (8 %). Les animaux d'élevage sont la source de seulement 20 % des *E. coli* qui entrent dans la rivière.
- ***Étude des éléments nutritifs dans les champs*** – Le risque que la qualité de l'eau de la rivière soit dégradée par le lessivage ou le ruissellement des éléments nutritifs des sols agricoles dépend de la teneur en éléments nutritifs des champs. Pour évaluer ce risque, on a échantillonné le sol de 15 fermes, représentant 32 000 ha. À l'exception des enclos à densité élevée de bétail (surtout présents sur les fermes récréatives), les champs adjacents à la rivière n'ont généralement pas des teneurs élevées en éléments nutritifs. Plus de 75 % des champs échantillonnés présentaient des carences en N, et seulement 1 %avaient trop de N. Les teneurs en P étaient déficientes dans 11 % des champs analysés, faibles dans 20 % et optimales dans 67 %. Un excès de P n'a été détecté que dans 2 % des champs analysés (les enclos à densité élevée). Il est donc peu probable que des teneurs excessives en éléments nutritifs dans les sols altèrent à elles seules la qualité de l'eau, sauf dans une petite partie du bassin.

Des échantillons d'eau ont été prélevés et envoyés à un laboratoire pour être analysés.

Gestion de l'irrigation

En 2009, la zone d'étude a été déplacée en amont pour suivre neuf producteurs de fourrages sous irrigation qui sont tributaires du pompage d'eau souterraine, car le lit de la rivière est à sec durant la saison de croissance. Une PGB de la gestion de l'irrigation a été mise en œuvre dans chacune de ces fermes, et on en a étudié les effets sur le sol ainsi que sur les ressources hydriques et financières des fermes. La programmation de l'irrigation peut contribuer à protéger les ressources en eau souterraine et en eau de surface, et réduire les coûts pour les producteurs.

La programmation de l'irrigation peut contribuer à protéger les ressources en eau souterraine et en eau de surface, et réduire les coûts pour les producteurs.

Dans cette PGB, l'irrigation se faisait en fonction des lectures d'humidité du sol au champ, lesquelles étaient transmises du champ à l'ordinateur de ferme, aux trois secondes. Dans chaque champ étudié, des transmetteurs avaient été installés à deux endroits et à quatre profondeurs. Une interface informatique sur mesure affichait les conditions actuelles de temps, d'humidité du sol et de température pour faciliter les décisions d'irrigation des agriculteurs, à savoir où, quand et comment irriguer. Un programme intégré au logiciel enregistrait la fréquence et la durée des consultations des données sur la météo et l'humidité du sol par les producteurs. Les renseignements sur l'utilisation du logiciel, conjugués aux suivis d'irrigation et à des entrevues annuelles avec les producteurs, ont servi à déterminer le degré d'adoption de la PGB et l'influence de cette technologie sur la programmation de l'irrigation.

Les résultats ont révélé que les producteurs participants consultaient l'interface en moyenne trois ou quatre jours par semaine pour leurs décisions d'irrigation. L'emploi de cette technologie de PGB est demeuré assez stable pendant les trois ans, et aucun des systèmes n'a été abandonné. Les données météorologiques étaient consultées plus fréquemment que les données sur l'humidité du sol. La plupart des neuf producteurs participants consultaient l'interface pour confirmer que les données témoignaient de leurs pratiques de planification, mais deux d'entre eux ont indiqué s'être fié uniquement aux données pour programmer l'irrigation au début et à la fin de la saison, et la reprendre après la récolte. En général, les données sur l'humidité du sol et les précipitations ont servi à prendre des décisions relatives à la programmation de l'irrigation, mais elles n'étaient pas les seuls facteurs décisifs. La PGB complémentait et améliorait les techniques de gestion existantes.

Le moment de l'irrigation et les volumes d'eau appliqués ont été comparés entre 2011 et 2012 pour voir si l'on pouvait dégager des tendances de modification de la programmation de l'irrigation en raison de l'adoption de la PGB. On n'a détecté aucune différence significative de volume d'eau appliqué, car la plupart des producteurs n'avaient pas modifié leurs pratiques d'irrigation suite à cette PGB. D'après les conclusions, les irrigants sont en général satisfaits de leur programmation actuelle. Ils sont réticents à la modifier en raison des subventions à l'irrigation offertes, des impératifs climatiques commandant d'irriguer, de l'investissement nécessaire pour l'achat d'équipement et du manque de souplesse des systèmes d'irrigation sur roues. Ils ont aussi indiqué qu'ils n'irrigueraient pas moins en cas de hausse des tarifs d'électricité, même s'ils en redoutent les incidences financières d'une telle augmentation. Même si la PGB a incité certaines irrigants à modifier leur programmation, on n'a pu déterminer si la PGB avait modifié significativement la programmation moyenne de l'ensemble des fermes.

Selon l'analyse des données des capteurs d'humidité du sol, les irrigants ne conservaient pas des réserves d'eau supérieures aux besoins de leurs cultures, et leurs pratiques d'irrigation ne contribuaient pas au lessivage des éléments nutritifs dans les eaux souterraines. En moyenne, la consommation d'eau des irrigants était très efficace pour maximiser le rendement des cultures et produire des fourrages de qualité.

Les données des stations météorologiques, des suivis de l'humidité du sol et des analyses de sol ont indiqué un important déficit hydrique saisonnier. L'irrigation des cultures fourragères est donc nécessaire dans cette région. Les précipitations sont généralement inefficaces, et la programmation devrait être basée sur l'évapotranspiration seulement pour le calcul des besoins en irrigation. Les suivis d'irrigation ont indiqué qu'en moyenne, les producteurs sous-irriguaient leurs champs.

D'un champ à l'autre, les sols avaient des teneurs en nitrates qui allaient de déficientes à optimales. Selon les valeurs chimiques des sols et des plantes fourragères, les champs

sont gérés en fonction d'une production optimale. Les analyses d'eau de puits indiquaient qu'aucun des paramètres mesurés ne dépassait les normes provinciales pour l'eau potable. En regard des normes provinciales pour l'eau potable ou l'irrigation, les concentrations en N, en P et en potassium des eaux souterraines étaient faibles. Étant donné la sous-irrigation et les tendances moyennes d'assèchement des sols durant toute la saison de croissance, le lessivage d'éléments nutritifs dans les eaux souterraines est peu probable.

VOLET ÉCONOMIQUE

Le volet économique du projet d'EPBH dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon comportait deux études sur les PGB. La première examinait la capacité des éleveurs locaux à financer les clôtures d'exclusion des bovins. La deuxième évaluait la disposition des producteurs à payer pour l'acquisition de systèmes de surveillance des conditions météorologiques et de l'humidité du sol. Les deux études ont utilisé un modèle de la ferme représentative.

Clôtures d'exclusion des bovins

Dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon, beaucoup d'éleveurs ont indiqué qu'ils étaient très favorables à l'utilisation de clôtures d'exclusion des bovins et d'abreuvoirs à l'écart des cours d'eau, surtout en raison de leurs effets sur la santé de la zone riveraine ou sur la qualité de l'eau. Pourtant, les études économiques à la ferme du programme d'EPBH ont permis de constater que l'adoption de cette PGB serait inabordable pour l'industrie de l'élevage, qui était en difficulté pendant l'étude en raison de la fluctuation des prix des produits agricoles et de l'augmentation des coûts des intrants.

Après avoir discuté avec les éleveurs de la région, les économistes du programme d'EPBH ont élaboré un modèle de la ferme représentative (taille et type de ferme typique) dans le bassin. Ils ont déterminé qu'en 2007 (à titre d'exemple) le ranch type accusait une perte nette de 17 000 $ avant même d'adopter une PGB. Selon une analyse plus poussée, il en coûterait au ranch type environ 19 000 $ pour clôturer les berges et 6 000 $ pour aménager des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau.

Les éleveurs qui adoptent cette PGB auraient aussi des coûts d'entretien à supporter, notamment de main-d'œuvre et de matériaux pour la réparation des dommages causés aux clôtures par le bétail, la végétation, les inondations ou les conditions météorologiques. Il leur faudrait aussi peut-être installer d'autres clôtures transversales pour empêcher le bétail de se déplacer le long des cours d'eau et d'entrer dans les zones non clôturées. Les éleveurs de la région ont indiqué aux économistes qu'ils ne s'attendaient pas à des gains économiques du fait de l'amélioration de la santé des animaux. Un incitatif financier serait probablement nécessaire pour encourager l'adoption de cette PGB.

Toutefois, les clôtures peuvent apporter certains avantages économiques qui compenseraient en partie les coûts. Les clôtures qui contribuent au rétablissement de la végétation peuvent stabiliser les berges, réduisant ainsi l'effondrement (éboulement) des sols riverains. Avec le temps, ces pertes de sols peuvent s'ajouter aux plus grandes pertes de terres agricoles. D'autres études[13] suggèrent que même si la qualité de l'eau des cours d'eau ne présente pas de risque pour la santé des animaux, l'installation d'une aire d'abreuvement à l'écart des cours d'eau peut, par l'augmentation de leur consommation en eau, favoriser un gain de poids chez les bovins.

Comme l'utilisation de l'eau à des fins domestiques et récréatives, dont la pêche, sont très importantes dans cette région de la Colombie-Britannique, on pourrait s'attendre à ce que cette PGB produise d'importants avantages hors ferme, comme l'amélioration de la qualité de l'eau et de la santé des zones riveraines et aquatiques; toutefois ces avantages n'ont pas été évalués dans le cadre de la présente étude.

Gestion de l'irrigation

Avec la collaboration des producteurs participants, les économistes ont établi un autre modèle de ferme représentative pour estimer les revenus et les coûts détaillés de la production fourragère et de l'irrigation en 2010 et en 2012. Bien que les coûts et les revenus varient d'une ferme à l'autre, ceux de la ferme type étaient légèrement rentables. La ferme type pouvait absorber le coût d'environ 5 000 $ en coûts d'équipement de surveillance des conditions météorologiques et de l'humidité du sol.

Les économistes ont évalué la disposition des producteurs à payer pour la technologie de gestion de l'irrigation.

Les résultats d'un sondage mené en 2010 indiquaient que le montant moyen que les producteurs étaient disposés à payer pour l'acquisition de matériel de surveillance était de 1 587 $, montant qui a augmenté à 1 656 $ en 2011. Malgré l'amélioration de leur disposition à payer, les producteurs auront sans doute besoin d'une subvention pour adopter cette technologie. Les avantages de cette PGB pour la ferme peuvent être un gain de l'efficacité d'irrigation et un rendement fourrager accru.

13 Lardner, H.A., B.D. Kirychuk, L. Braul, W.D. Willms et J. Yarotski. 2005. The effect of water quality on cattle performance on pasture. Australian Journal of Agricultural Research, 56:97-104.
Willms, W.D., O.R. Kenzie, T.A. McAllister, D. Colwell, D. Veira, J.F. Wilmshurst, T. Entz et M.E. Olson. 2002. Effects of water quality on cattle performance. Journal of Range Management, 55(5):452-460.

VOLET DE MODÉLISATION

Étude sur les clôtures d'exclusion des bovins

On a utilisé trois modèles pour prédire les changements quantitatifs et qualitatifs de l'eau en réponse à des scénarios actuels et futurs de PGB et à des changements climatiques.

Outil d'évaluation du sol et de l'eau (Soil and Water Assessment Tool [SWAT])

On a utilisé le modèle SWAT pour évaluer les taux d'exportation d'éléments nutritifs (N et P) à partir de terres utilisées à différentes fins vers le cours d'eau, ainsi que les effets d'épandage d'engrais chimiques et de fumier sur les charges d'éléments nutritifs dans les cours d'eau. Les simulations de débit mensuel et de charges d'éléments nutritifs du modèle SWAT concordaient assez bien avec les données réelles prises à chaque exutoire du sous-bassin. Le modèle a estimé que les fermes d'élevage du bassin exportaient les plus grandes quantités d'azote organique dans le cours d'eau, et que les terres affectées à la production de foin exportaient les plus grandes quantités de nitrates dans le cours d'eau. Il a aussi calculé que les déjections des vaches qui sont au pâturage du printemps à l'automne font augmenter les charges d'éléments nutritifs du cours d'eau, de même que le défrichage de boisés à des fins agricoles.

Modèle de la qualité bactériologique de l'eau (BWQM)

Le modèle BWQM a été mis au point pour évaluer les effets de l'élevage (et d'autres sources) et des changements climatiques sur les concentrations de coliformes fécaux dans le bassin. Le modèle a simulé avec exactitude les données observées sur le terrain et a estimé que de 70 % à 80 % des coliformes fécaux étaient transportés au cours d'eau par ruissellement nival. Le modèle a aussi révélé que les concentrations de coliformes fécaux dans le cours d'eau sont sensibles au nombre d'animaux et à la distance entre la ferme et le cours d'eau et que les tampons riverains réduisent les concentrations de coliformes fécaux dans le cours d'eau. Le modèle a aussi prévu qu'une augmentation de 1 °C de la température quotidienne de l'air pouvait se traduire par une légère diminution des concentrations de coliformes fécaux en été, mais aussi par une légère augmentation au printemps, en automne et en hiver. L'étude n'a tiré aucune conclusion sur les répercussions à long terme d'un changement aussi modeste.

Modèle d'hydrologie forestière ForHyM (Forest Hydrology Model)

Au moyen du modèle ForHyM, on a analysé les incidences hydrologiques d'une infestation de dendroctones du pin ponderosa. La modélisation, réalisée durant les deux phases du projet du bassin de la rivière Salmon, est décrite plus loin.

Étude sur la gestion de l'irrigation

Dans le cadre de cette étude, on a mis au point trois nouveaux modèles – un pour le rendement des cultures, un pour le cycle du phosphore et l'autre pour l'eau souterraine – et on a apporté des améliorations aux modèles existants. On a étalonné les modèles au moyen de données de terrain, puis on s'en est servi pour étudier les effets de l'irrigation et de la fertilisation sur le rendement en biomasse fourragère et sur la quantité et la qualité de l'eau en aval.

Selon les prédictions des modèles, on pourrait accroître le rendement fourrager d'environ 4 t/ha par an en irrigant en fonction de la capacité au champ, et d'environ 2,5 t/ha par an en apportant 100 kg/ha d'engrais azotés. Les simulations des incidences du moment de la fertilisation sur la qualité de l'eau, qui ont été effectuées pour différents scénarios de PGB, ont indiqué que l'apport de N et de P en une seule fois au printemps se traduisait par des charges supérieures d'éléments nutritifs dans le cours d'eau comparativement à la fertilisation scindée en trois applications au printemps et en été. De plus, elles ont révélé que la dose d'engrais appliquée était corrélée aux charges d'éléments nutritifs dans le cours d'eau. Il est aussi ressorti des simulations que les réserves d'eau souterraine augmentaient du printemps jusqu'au début de l'été pour ensuite diminuer en été en raison d'une faible recharge de la nappe et des pertes par évaporation.

Infestation de dendroctones du pin ponderosa

La forêt recouvre jusqu'à 90 % du territoire du bassin. Ces dernières années, une infestation de dendroctones du pin ponderosa a causé une importante défoliation et la mort de nombreux arbres dans certains sous-bassins. En simulant les impacts hydrologiques d'une infestation au moyen du modèle ForHyM, on constate une augmentation du débit en raison de la réduction de l'interception des précipitations par le couvert forestier et de l'évapotranspiration. Toutefois, le modèle prédit aussi que l'infestation hâte le ruissellement printanier et abaisse le niveau de la rivière à la fin de l'été et en automne, ce qui a des incidences négatives sur l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et les processus naturels, dont la fraie du poisson.

On a évalué, par modélisation, les impacts hydrologiques d'une infestation de dendroctones du pin ponderosa dans le bassin.

CONCLUSIONS

Les clôtures d'exclusion des bovins et la gestion de l'irrigation sont les PGB qui ont été étudiées dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon.

Pour les clôtures, les résultats de la recherche biophysique sont mitigés. La végétation riveraine et la santé des communautés d'insectes aquatiques ont été améliorées et la contamination du cours d'eau par les sédiments et *E. coli* a été réduite, mais les concentrations d'éléments nutritifs dans la rivière ne semblent pas avoir changé.

Les producteurs participants se sont servis régulièrement des technologies fournies pour la détection de l'humidité du sol et des conditions météorologiques dans le cadre de l'étude sur la gestion de l'irrigation. Les résultats donnent à penser que les producteurs utilisent ces renseignements pour décider de l'utilisation de l'eau d'irrigation, leur permettant ainsi d'être plus efficace dans leur gestion de l'irrigation.

L'analyse économique, au moyen de modèles de ferme représentative, a déterminé qu'il faudrait probablement des incitatifs monétaires ou réglementaires pour encourager l'adoption des deux PGB à l'étude.

Dans le cadre de l'étude sur les clôtures d'exclusion des bovins, on a utilisé des modèles pour prédire des changements quantitatifs et qualitatifs de l'eau dans divers scénarios de PGB et de changements climatiques. Pour l'étude sur la gestion de l'irrigation, on a mis au point trois modèles pour étudier les effets de l'irrigation et de l'épandage d'engrais sur le rendement en biomasse fourragère et sur la quantité et la qualité de l'eau en aval. On a aussi simulé les impacts hydrologiques d'une infestation de dendroctones du pin ponderosa dans le bassin par modélisation.

Le projet de la rivière Salmon est terminé.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : l'Université de Victoria, le Conseil du bassin du Fraser, la Table ronde sur le bassin de la rivière Salmon, le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, la Commission canadienne du blé, le ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique, des étudiants et des producteurs.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA RIVIÈRE SALMON

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2011. Model assessment of cattle and climate impacts on stream fecal coliform pollution in the Salmon River Watershed, British Columbia, Canada. *Water Air Soil Pollut*, 215:155-176.

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2012. Impacts of land use, fertilizer and manure application on the stream nutrient loadings in the Salmon River Watershed, south-central British Columbia, Canada. *J Environ Protection*, 3:809-822.

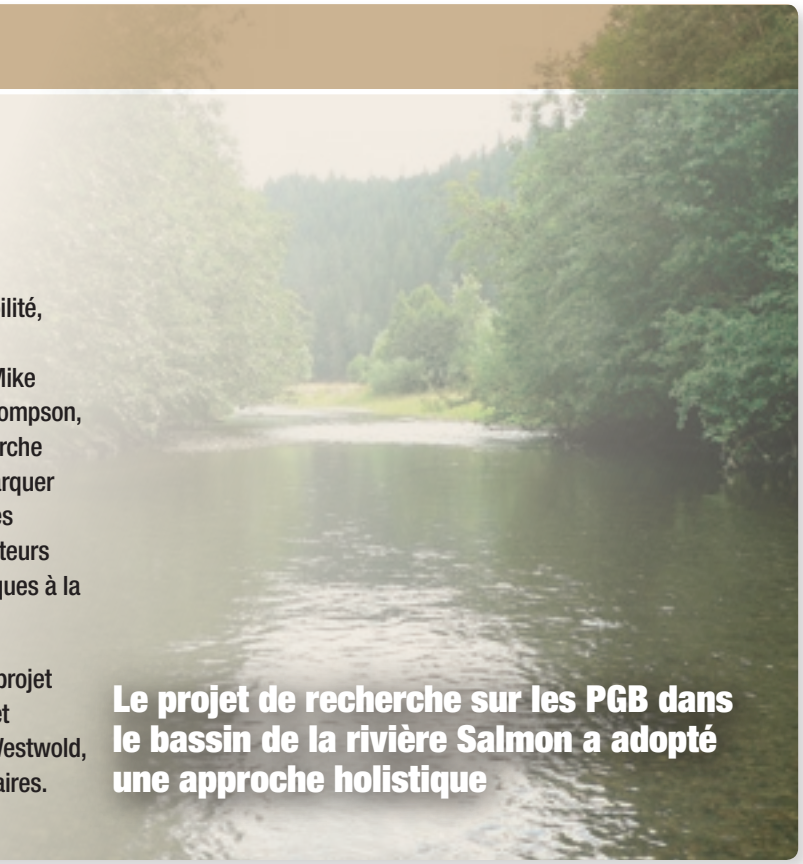
TÉMOIGNAGE D'UN PARTENAIRE

Mike Simpson
Conseil du bassin du Fraser
Kamloops (C.-B.)

Les projets d'EPBH offrent une perspective holistique

Le Conseil du bassin du Fraser a le mandat de promouvoir la durabilité, c'est-à-dire d'intégrer et de concilier les aspects économiques, environnementaux et sociaux dans les prises de décisions. Selon Mike Simpson, cadre supérieur du Conseil pour le bureau régional de Thompson, il est rare que des sources de financement ou des projets de recherche visent à intégrer cette perspective holistique. M. Simpson fait remarquer que le programme d'EPBH a étudié les effets environnementaux des PGB, ainsi que leur incidence financière sur les marges des producteurs agricoles. L'équipe du projet de la rivière Salmon a étudié les pratiques à la ferme et leurs effets sur l'eau dans tout le bassin.

Il a ajouté que cela fut un plaisir de travailler à la réalisation de ce projet de recherche à volets multiples, de 2009 à 2013, avec Agriculture et Agroalimentaire Canada, les producteurs agricoles du secteur de Westwold, la Table ronde sur le bassin de la rivière Salmon et d'autres partenaires.



Le projet de recherche sur les PGB dans le bassin de la rivière Salmon a adopté une approche holistique

CHAPITRE

9

Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (Alberta)

Responsable du bassin hydrographique : Jim Miller (AAC)
Économistes de site : Carlyle Ross et Elwin Smith (AAC), Scott Jeffrey et Jim Unterschultz (Université de l'Alberta)
Spécialistes de la modélisation hydrologique : Michel Rahbeh et David Chanasyk (Université de l'Alberta)

FAITS SAILLANTS

- ***Clôture le long des berges*** – La clôture le long des berges a de nombreux avantages pour l'environnement, mais elle est coûteuse pour les producteurs. Pour cette PGB, il faudrait probablement cibler les nombreux tronçons dégradés de la rivière qui ont besoin d'être rétablis. Le pâturage contrôlé dans les zones riveraines et l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau pourraient être les PGB les plus appropriées pour la plupart des autres tronçons de la rivière.
- ***Abreuvoirs à l'écart des cours d'eau*** – L'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau sans clôture le long des berges coûte moins cher que celui avec clôture le long des berges. Il peut offrir des avantages à la ferme, comme un gain de productivité des veaux ou une meilleure utilisation des pâturages; dans ce cas, un incitatif minimal serait suffisant pour encourager l'adoption de la PGB.
- ***Économie*** – Les PGB fondées sur la planification de la gestion du fumier de bovins et des éléments nutritifs produisaient des avantages nets positifs pour la ferme représentative.
- ***Modélisation hydrologique*** – Selon la modélisation hydrologique, l'émergence des eaux souterraines apporte plus d'eau, d'éléments nutritifs et de contaminants dans la rivière Lower Little Bow que le ruissellement superficiel. Puisque le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain peuvent tous deux constituer des voies importantes d'entrée d'eau dans la rivière, les PGB doivent cibler la voie de transport la plus pertinente pour le contaminant le plus préoccupant.

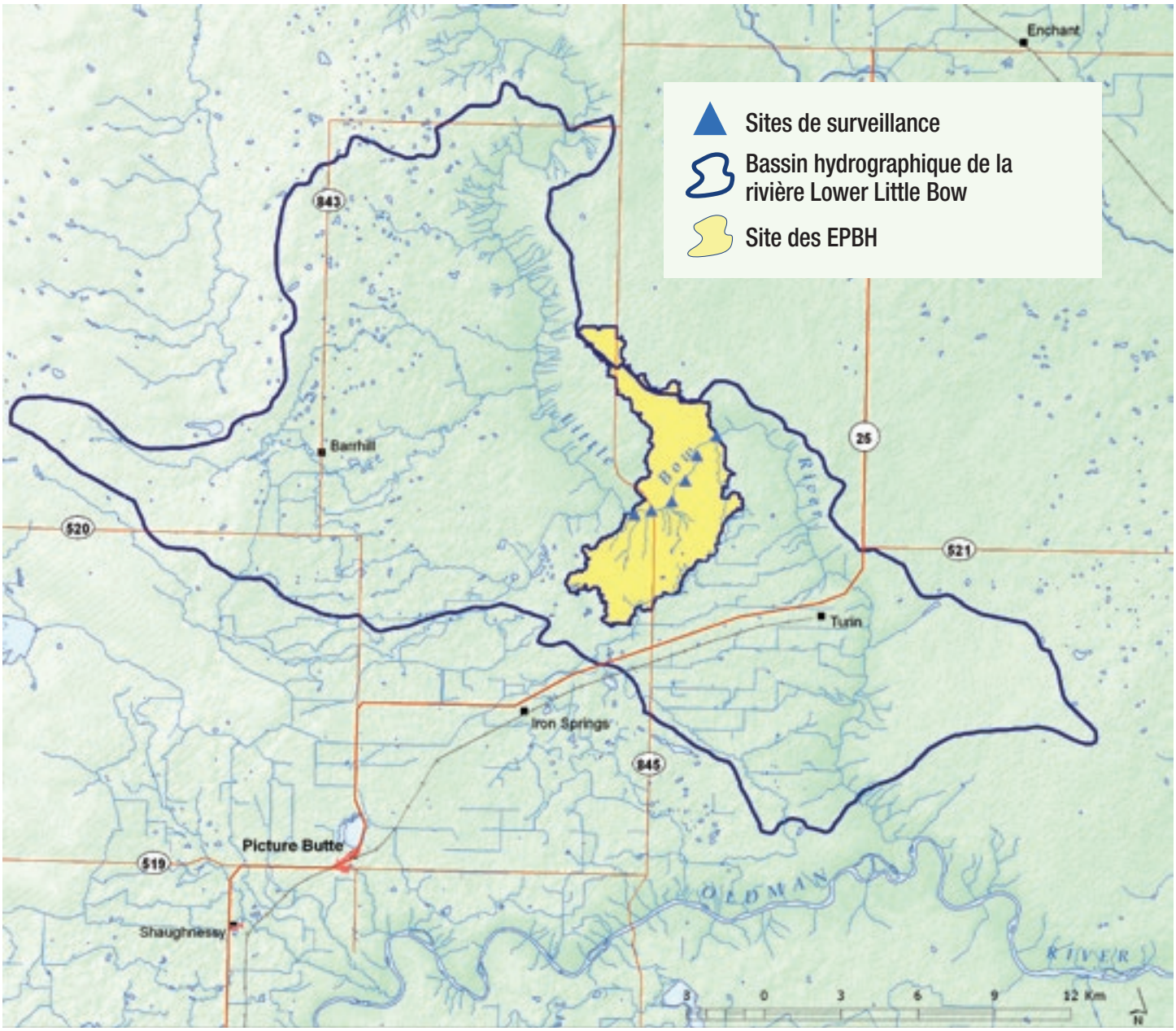


FIGURE 12
Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow

CONTEXTE ET ENJEUX

D'une superficie de 557 km^2, le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (figure 12) est situé dans le plus grand bassin de la rivière Oldman, à environ 35 km au nord-est de Lethbridge, dans le sud de l'Alberta. Ce bassin est unique, parce que le débit de la rivière est régularisé par des réservoirs d'irrigation aménagés dans le cours d'eau et que le climat local est dominé par le souffle fort du chinook. Dans le plus grand bassin, les terres sont utilisées à diverses fins – cultures irriguées, cultures non irriguées et parcours naturels où paissent des bovins. Les études d'EPBH ont été menées dans un microbassin de 2 565 ha.

Depuis 1999, la Oldman River Basin Water Quality Initiative étudie le bassin de la rivière Lower Little Bow. Les résultats de cette initiative et d'autres études indiquent que les éléments nutritifs du fumier et des engrais ainsi que les bactéries du fumier peuvent avoir des incidences sur la qualité de l'eau de la rivière. Les principaux contaminants de l'eau sont les bactéries, le phosphore (P) et, dans une moindre mesure, l'azote (N).

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des cinq PGB suivantes :

- clôture le long des berges avec un passage de bétail;
- aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau sans clôture le long des berges;
- conversion à une couverture végétale pérenne;
- gestion du fumier;
- bandes tampons.

Description des PGB et résultats

Clôture le long des berges avec un passage de bétail

On a clôturé les deux rives d'un tronçon de 800 m de la rivière pour empêcher les bovins d'accéder à la rivière, d'y déféquer et d'éroder les berges. On a aménagé un passage de bétail et une aire d'abreuvement à l'écart du cours d'eau.

La qualité de l'eau en amont et en aval de l'aire clôturée faisait l'objet de suivis. On a eu recours à un simulateur de pluie portatif pour simuler le ruissellement dans cette PGB et quatre autres.

On a constaté que la clôture le long des berges empêchait la contamination du tronçon clôturé, ce qui indique un effet bénéfique sur la qualité de l'eau de la rivière.

On a évalué l'état de santé de la zone riveraine avant et après la mise en œuvre de la PGB au moyen de six facteurs relatifs à la végétation et de cinq facteurs relatifs au sol et à l'hydrologie. On a ensuite classé la zone riveraine dans l'une des trois catégories suivantes : en santé, en santé mais avec des problèmes et en mauvaise santé. La santé de la zone riveraine du tronçon clôturé s'était grandement améliorée (de 16 %) quatre ans après la pose de clôture, mais elle s'est ensuite légèrement détériorée (de 7 %) au bout de huit ans, en raison des plantes envahissantes et de l'incapacité des arbustes privilégiés (ceux dont le système racinaire peut stabiliser les rives et les rivages, et absorber les éléments nutritifs susceptibles de dégrader la qualité de l'eau) à s'établir dans la zone riveraine.

On a évalué l'état de santé du parcours naturel dans le pâturage riverain non accessible aux bovins. Six ans après la clôture le long des berges, on a pu constater que cette PGB avait amélioré de 55 % à 72 % l'état de santé des pâturages des hautes terres inaccessibles aux bovins. Cette amélioration était attribuable à l'état de l'écosystème, à la structure des communautés végétales (ou écologiques) et à l'abondance de la litière végétale.

D'après les résultats d'une étude menée en juin et en octobre 2012, la clôture le long des berges visant à empêcher le broutage peut réduire ou augmenter la densité de la mésofaune du sol (invertébrés d'une taille de 0,1 à 2 mm qui vivent dans le sol) dans les pâturages riverains et des hautes terres, selon les espèces. On a aussi constaté que cette protection augmentait la diversité et la richesse des espèces, ce qui peut influer sur la décomposition et le renouvellement des éléments nutritifs dans le sol, et donc la résilience du sol aux perturbations anthropiques. L'emplacement (pâturages riverains ou des hautes terres) et la saison (printemps ou automne) influaient aussi sur la répartition et la densité de la mésofaune du sol et sur les attributs de la communauté. Ces invertébrés jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique et des éléments nutritifs dans le sol, et certaines espèces peuvent être des indicateurs utiles pour la gestion des pâturages.

Selon les résultats non publiés d'une étude, un accès libre des bovins au cours d'eau avait eu des effets négatifs sur certaines espèces de macroinvertébrés benthiques. La clôture le long des berges avait empêché ou atténué ces effets négatifs en créant un tampon riverain assez large (80 m), en empêchant la pollution de la rivière et en améliorant la santé de la zone riveraine. Les densités de certains invertébrés aquatiques (insectes) avaient aussi un lien avec certains paramètres de la qualité de l'eau. Un recensement des poissons sur deux ans a permis de constater que le tronçon clôturé présentait une richesse supérieure d'espèces, tant sur le plan de l'équitabilité que la diversité, comparativement aux tronçons non clôturés en aval, en 2009, mais pas en 2012, ce qui laisse croire que l'effet bénéfique de la clôture le long des berges sur l'écologie des poissons dépend du moment de l'échantillonnage.

Dans une étude de trois ans, on a découvert que les propriétés du sol avaient été influencées par le pâturage, l'accès des bovins au cours d'eau et la distance de la berge, et qu'elles dépendaient des interactions entre ces facteurs. Toutes les propriétés du sol, à l'exception de la teneur en eau du sol, ont confirmé l'hypothèse selon laquelle les tronçons non clôturés sont plus compactés et enrichis en éléments nutritifs que les tronçons clôturés, ce qui vaut aussi pour les zones accessibles aux bovins par rapport aux zones témoins.

Les résultats d'une étude non publiée de quatre ans (2009–2012) sur l'érosion des berges indiquent que l'érosion était de deux à trois fois moins élevée dans le tronçon clôturé que dans les deux tronçons non clôturés.

Aire d'abreuvement à l'écart des cours d'eau sans clôture le long des berges

On a étudié l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau sans clôture le long des berges pour voir si on pouvait réduire les problèmes de qualité de l'eau associés aux animaux du pâturage tout en s'épargnant les dépenses et l'entretien liés aux clôtures d'exclusion des bovins. La qualité de l'eau a été évaluée en amont et en aval du tronçon de la rivière où on avait aménagé les aires d'abreuvement.

L'installation d'abreuvoirs a amélioré légèrement la santé de la zone riveraine, a empêché la contamination de la rivière par les bovins et a amélioré certaines propriétés de la végétation (couvert végétal, surface terrière totale, paillis, sol nu) et du sol (azote nitrique). Toutefois, elle n'a pas amélioré les autres propriétés de la végétation et du sol, ni la qualité des eaux de ruissellement près de la rivière.

L'installation d'abreuvoirs à l'écart des cours d'eau a donné des résultats mitigés en ce qui concerne la qualité de l'eau et les propriétés du sol et de la végétation. (Photo : Dwayne Rogness, comté de Lethbridge)

On a observé le comportement des bovins et on a mesuré la quantité de bouse le long de la rivière, avant et après la mise en œuvre de la PGB. Le nombre de bovins sur les berges, dans le cours d'eau, ou s'abreuvant dans le cours d'eau n'a pas beaucoup diminué après la mise en œuvre de la PGB. Toutefois, les effets de la PGB pourraient avoir été masqués par les différences dans les niveaux de précipitations durant les phases préalables et postérieures à la PGB. Même s'il n'est pas prouvé statistiquement que les avantages positifs des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sur certaines variables environnementales sont attribuables à la réduction de l'activité des bovins, les réductions non significatives de l'activité des bovins font croire à cette possibilité.

L'enrichissement plus élevé du P assimilable dosé et en azote nitrique aux abords des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau par rapport à l'abreuvement en rivière donne à penser que cette PGB est efficace pour redistribuer les éléments nutritifs hors de la rivière. Une étude subséquente a comparé neuf propriétés chimiques (teneur totale en P, teneur en P assimilable dosé, teneur totale en azote, NO_3-N, NH_4-N, teneur totale en carbone : ratio total d'azote, chlorure) et physiques (densité apparente du sol) du sol en tant qu'indicateurs possibles de l'activité des bovins dans les sites d'abreuvement artificiels et naturels. Cette étude a révélé que la teneur du P assimilable dosé était le meilleur indicateur de l'activité des bovins. Certaines propriétés du sol ont également été influencées par la distance par rapport au site d'abreuvement, le taux d'ensemencement, les précipitations et l'âge du bassin à eau.

Conversion à une couverture végétale pérenne

On a pris des mesures quantitatives et qualitatives des eaux de ruissellement dans deux champs, l'un cultivé en orge (culture annuelle), et l'autre en luzerne (culture pérenne), pour voir si la conversion à une couverture végétale pérenne réduisait le ruissellement et la quantité de contaminants dans les eaux de ruissellement.

La conversion à la luzerne n'a pas amélioré la qualité des eaux de ruissellement. Toutefois, de nombreux facteurs agronomiques et environnementaux peuvent avoir eu des incidences sur ces résultats. Par exemple, l'orge laisse une plus grande quantité de résidus de surface (paillis) que la luzerne. De plus, le semis imprévu de triticale d'hiver dans les chaumes d'orge dans un des champs peut avoir empêché les améliorations significatives de la qualité de l'eau. D'autres facteurs comme l'année, le moment des simulations de pluie, le couvert végétal ou le broutage des animaux peuvent aussi avoir joué.

Gestion du fumier

Une étude de terrain de trois ans (2005–2007) a été réalisée pour évaluer une pratique d'épandage de fumier fondée sur les besoins des cultures en P. Auparavant, les producteurs appliquaient le fumier en fonction des besoins des cultures en N, ce qui favorisait l'accumulation de P dans le sol. Pour évaluer la PGB, on a comparé trois traitements d'épandage de fumier, fondés respectivement sur : les besoins annuels des cultures en N; les besoins annuels des cultures en P; les besoins triennaux des cultures en P.

Dans les traitements fondés sur les besoins annuels ou triennaux en P, les concentrations ou charges de fractions de P principalement dissous dans les eaux de ruissellement ont été significativement plus faibles (de 50 % à 94 %) certaines années, comparativement au traitement fondé sur les besoins annuels en N. Ces résultats s'expliquent par le fait que dans le traitement fondé sur les besoins annuels en P, les doses d'épandage de fumier sont réduites. En revanche, les autres fractions de P dans les eaux de ruissellement n'ont pas été affectées par ce traitement. L'étude n'a détecté aucune avantage environnemental de l'épandage fondé sur les besoins annuels en P au niveau des charges de P et de N dans les eaux de ruissellement par rapport à l'épandage fondé sur les besoins triennaux en P. Toutefois, le traitement fondé sur les besoins triennaux en P a parfois provoqué un pic du P total dans les eaux de ruissellement durant l'année d'épandage. Les concentrations et les charges semblables des fractions de N dans les eaux de ruissellement des traitements fondés sur les besoins en P et en N indiquent que l'adoption de l'épandage de fumier fondé sur les besoins en P n'aurait pas beaucoup d'effets sur le N dans les eaux de ruissellement.

Bandes tampons

Trois études distinctes sur les bandes tampons ont été menées.

Dans la première étude de trois ans (2005–2007), on a évalué l'effet de l'aménagement de tampons riverains végétalisés sur la qualité des eaux de surface à partir du ruissellement naturel des champs et au moyen de simulations de pluie. Les combinaisons de végétaux plantés dans les bandes étaient les suivantes : des graminées

indigènes; des graminées cultivées et de la luzerne; de l'orge (culture témoin); un mélange de graminées et d'arbustes. On a étudié trois largeurs de bande tampon (3 m, 6 m et 9 m). Les résultats donnent à penser que, dans ce bassin, il n'est généralement pas nécessaire d'aménager des bandes tampons en raison du faible ruissellement en nappe (provenant de la fonte de la neige ou la pluie). Toutefois, lors de pluies abondantes, une bande tampon de 6 m de large peut réduire les pertes de sédiments et de N qui proviennent des terres cultivées fertilisées.

En raison du faible ruissellement en nappe, l'aménagement de bandes tampons ne serait pas nécessaire dans ce bassin. Toutefois, lors de pluies abondantes, une bande tampon de 6 m de large peut réduire les pertes de sédiments et de N qui proviennent des terres cultivées fertilisées.

Dans une deuxième étude de deux ans (2011-2012), on a comparé la qualité des eaux de ruissellement (teneur en sédiments, en éléments nutritifs et en bactéries) issues de bandes tampons étroites (1,5 m, 3 m ou 6 m) plantées en graminées indigènes pour deux scénarios de gestion (graminées fauchées et graminées non fauchées). Les résultats préliminaires donnent à penser que les bandes tampons étroites ne réduisent pas de façon significative les contaminants dans les eaux de ruissellement.

Dans une troisième étude non publiée de deux ans (2011–2012), on a examiné l'efficacité de chenaux tampons enherbés à filtrer le N et le P contenus dans les eaux de ruissellement. L'intérieur du chenal enherbé semblait enrichi considérablement en éléments nutritifs et en sédiments par rapport aux surfaces extérieures. D'après les analyses de P préliminaires, l'aménagement de chenaux enherbés anti-érosion à la lisière des cultures annuelles pourrait être efficace s'ils sont implantés à une distance minimale d'au moins 50 m.

Autres études biophysiques

Comme on s'attendait à ce que les changements dans la qualité de l'eau soient difficiles à détecter, en particulier à court terme, plusieurs méthodes de recherche ont été employées. Ces méthodes ont quantifié l'effet des PGB sur la qualité de l'eau et d'autres paramètres biophysiques et ont amélioré les connaissances sur l'effet des divers facteurs qui ont une incidence sur l'efficacité des PGB.

- ***Analyse spatiale*** – On a effectué une analyse spatiale de l'utilisation des terres, de la topographie et de l'hydrologie dans le bassin à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). L'information obtenue a été utile à la compréhension de l'hydrologie et de la distribution des éléments nutritifs dans le bassin et à l'affinage de la modélisation hydrologique.
- ***Bilan des éléments nutritifs*** – Le bilan d'azote et de P dressé à l'échelle du bassin à l'aide des données agronomiques fournies par les producteurs indiquait un excédent d'éléments nutritifs, principalement attribuable au fumier et aux engrais. Cette information peut aider à déterminer les sites optimaux d'implantation de PGB pour gérer les excédents d'éléments nutritifs, et protéger ainsi la qualité de l'eau.
- ***Flux en rivière*** – On a mesuré les flux d'eau (volume d'eau traversant une surface par unité de temps) à l'interface du lit de la rivière et des sédiments pendant deux ans (2010-2011). Les flux d'eau étaient généralement positifs à la plupart des sites, ce qui indique une décharge d'eaux souterraines dans la rivière. Ces résultats concordent avec les résultats de la modélisation hydrologique.
- ***Caractérisation des sédiments*** – Pour concevoir des PGB efficaces à réduire les impacts négatifs sur la qualité de l'eau, il faut bien comprendre les sources de sédiments et de P dans les écosystèmes agricoles. À partir de 2012, on a procédé au traçage des sources de sédiments en installant dans la rivière des échantillonneurs de sédiments en suspension. On a aussi prélevé des échantillons de sols dans les zones sources possibles. D'après les résultats préliminaires d'analyses des sédiments au césium 137, un isotope radioactif, la majorité des sédiments en déplacement dans le bassin provenait de l'érosion des berges plutôt que du ruissellement des champs agricoles. Des travaux semblables menés dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud (Manitoba) ont donné des résultats similaires. On s'attend aussi à ce que les études en cours dans les bassins du programme d'EPBH au Québec et au Nouveau-Brunswick révèlent que les processus se produisant au niveau des cours d'eau fournissent beaucoup de sédiments.
- ***Indice de la qualité de l'eau et indice biotique*** – Au moyen de données sur la qualité de l'eau de la rivière (2004–2007), on a évalué les résultats de différents indices en regard de l'Indice canadien de qualité des eaux (ICQE) pour deux scénarios : un indice saisonnier par rapport à un indice annuel, et un indice global par rapport à des sous-indices (biologique, chimique, physique). D'après les conclusions, il est recommandé d'utiliser les méthodes fondées sur des indices saisonniers et des sous-indices pour l'étude de microbassins, car leur échelle de cotation est plus grande que celle de l'ICQE

standard (non publié). Parmi les cinq tronçons étudiés, celui où une clôture d'exclusion des bovins avait été posée comptait le plus grand nombre d'espèces de poissons dominantes.

L'échantillonnage de l'eau de la rivière a été effectué pour aider à déterminer l'efficacité des PGB.

VOLET ÉCONOMIQUE

Dans le projet de la rivière Lower Little Bow, l'évaluation économique comportait diverses analyses pour déterminer l'incidence des PGB sur les flux de trésorerie, une évaluation de la propension des producteurs à accepter une compensation en échange de l'adoption d'une PGB et une analyse de transférabilité.

Incidence des PGB sur les flux de trésorerie de la ferme

Les économistes ont établi des modèles représentatifs d'une entreprise vache-veau et d'un parc d'engraissement en se basant sur les fermes types de la région pour faire l'analyse économique des PGB. Les entreprises de référence étaient rentables avant l'adoption des PGB. Ils ont utilisés ces modèles pour évaluer la faisabilité économique de l'implantation des PGB. Ils ont pris comme indicateur financier la marge brute modifiée ou le flux de trésorerie (c.-à-d. excédent sur les recettes moins les déboursées) dans leur analyse. Le modèle d'entreprise vache-veau a indiqué que la mise en œuvre des PGB pouvait se traduire par une réduction significative des flux de trésorerie de la ferme, selon le niveau relatif de protection de la qualité de l'eau offert, par exemple, par la largeur variable de la bande tampon riveraine.

Les économistes ont établi des modèles représentatifs d'une entreprise vache-veau et d'un parc d'engraissement en se basant sur les fermes types de la région pour faire l'analyse économique des PGB.

Aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau et bandes tampons

Il faudrait probablement avoir recours à des incitatifs financiers pour encourager l'installation d'abreuvoirs à l'écart des cours d'eau et l'aménagement de bandes tampons. Toutefois, il est moins coûteux de poser des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôturer les berges, et cette option peut même générer des avantages à la ferme, comme un gain de productivité des veaux ou une meilleure utilisation du pâturage, et cette PGB ne nécessiterait alors qu'un incitatif minimal.

Conversion à un couvert végétal permanent

La conversion d'une culture d'orge à une culture pérenne (luzerne) a légèrement réduit les flux de trésorerie de la ferme. Un incitatif monétaire ou réglementaire minimal serait probablement nécessaire pour amener les producteurs à adopter cette pratique.

Tampons végétalisés et clôtures

Une analyse antérieure avait indiqué que le remplacement d'une parcelle de terre en production par une bande tampon végétalisée de 9,1 m qui était clôturée avait d'importants impacts négatifs sur les flux de trésorerie de la ferme. Comme les précipitations dans la zone étudiée sont plutôt faibles, on a effectué une analyse de sensibilité pour évaluer les effets des bandes tampons à largeur variable (2 à 10 m) sur les flux de trésorerie de l'entreprise vache-veau représentative. Les quatre PGB suivantes ont été examinées : bande tampon végétalisée clôturée; bande tampon végétalisée non clôturée; bande tampon végétalisée clôturée combinée à une culture pérenne; bande tampon végétalisée non clôturée combinée à une culture pérenne.

Toutes les PGB ont réduit les profits agricoles par rapport à la situation de référence (aucune PGB). L'aménagement d'une bande tampon végétalisée qui retire des terres agricoles de la production en vue d'améliorer la qualité de l'eau correspond à un coût de renonciation élevé ou à une perte de revenus pour les producteurs. Les effets négatifs augmentaient quand la perte de terre cultivable était combinée à la pose coûteuse de clôtures d'exclusion des bovins. Étant donné les effets négatifs sur les revenus de la ferme et le fait que la plupart des avantages pour la qualité de l'eau sont générés hors de la ferme, des incitatifs pourraient être nécessaires pour encourager l'adoption volontaire de ces PGB dans le sud de l'Alberta.

Autres PGB

On a créé un modèle d'irrigation à l'échelle de la ferme pour évaluer l'efficacité d'autres PGB par rapport aux trois rotations culturales de référence sans PGB. Les cinq PGB étaient :

- l'ajout de luzerne dans la rotation culturale;
- la culture d'engrais verts;
- l'incorporation de fumier de bovins dans le sol;
- la gestion des résidus de culture;
- la planification de la gestion des éléments nutritifs.

L'analyse par simulation montre que le fumier de bovins et la planification de la gestion des éléments nutritifs génèrent des avantages nets positifs pour la ferme représentative, tandis que l'adoption des trois autres PGB occasionne un coût net.

Épandage de fumier

On s'est servi d'un modèle de programmation non linéaire pour analyser les coûts liés au transport du fumier et aux cultures dans les traitements d'épandage fondés sur : les besoins annuels des cultures en N; les besoins annuels des cultures en P; l'apport d'une triple dose de P dans un épandage de fumier aux trois ans. On a constaté que les coûts étaient fonction du rapport N:P du fumier appliqué. L'épandage de fumier fondé sur les besoins en P des cultures était beaucoup plus coûteux en frais de transport et en perte de rendement. Toutefois, l'épandage de fumier aux trois ans avec une triple dose de P réduisait quelque peu les coûts.

Analyse de transférabilité des PGB

Les économistes ont examiné le degré auquel les coûts financiers d'adoption des PGB représentaient des estimations précises des coûts « véritables » d'adoption des PGB pour les producteurs, mesurés par l'évaluation de leur propension à accepter une compensation en échange de l'adoption d'une PGB. Cette étude, effectuée en conjonction avec celle du projet du bassin du ruisseau Pipestone (Sask.), a aussi examiné la transférabilité spatiale des valeurs de coûts d'un endroit à l'autre. L'étude se poursuit grâce à des fonds d'autres sources.

VOLET DE MODÉLISATION

Dans le bassin de la rivière Lower Little Bow, la modélisation hydrologique a été réalisée avec l'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool). La plupart des études de modélisation de bassins hydrographiques types, en forme de poire, calent et valident le modèle pour l'écoulement superficiel à l'exutoire du bassin. Dans la présente étude, on a plutôt modélisé la différence nette de débit fluvial le long du tronçon, entre l'affluent et l'émissaire. La première étape de la modélisation SWAT consistait à évaluer des méthodes d'étalonnage unidirectionnel et bidirectionnel et l'influence des années humides et des années sèches sur l'étalonnage et la validation. La deuxième étape consistait à modéliser l'influence de l'irrigation sur l'hydrologie du bassin.

On a comparé trois scénarios d'étalonnage et de validation au moyen des données hydrologiques collectées sur une courte période (2004–2007) dans le bassin. Dans le scénario n° 1, l'étalonnage était fondé sur les données de 2004 et 2005 et la validation, sur les données de 2006 et 2007. Le scénario n° 2 était l'inverse du scénario n° 1. Dans le scénario n° 3, les données de 2004 et 2006 ont été utilisées pour l'étalonnage et la validation a été effectuée à l'aide des données de 2007. On a eu recours à un étalonnage bidirectionnel dans les scénarios nos 1 et 2, et à un étalonnage unidirectionnel classique dans le scénario n° 3. L'étalonnage était satisfaisant dans les scénarios nos 1 et 3. L'étalonnage dans le scénario n° 2 ainsi que les résultats de validation des trois scénarios étaient insatisfaisants.

Une conclusion importante de l'étude est que les résultats d'étalonnage du modèle SWAT ont été satisfaisants seulement pour 2005, la seule année où des précipitations supérieures à la normale ont été enregistrées. L'étalonnage et la validation ont été satisfaisants uniquement lorsque les précipitations avaient une faible variabilité. Ainsi, l'étalonnage du modèle SWAT fondé sur des conditions humides et sèches reflétera les processus hydrologiques qui sont dominants dans les conditions humides plutôt que dans les conditions sèches. L'incapacité de valider le modèle SWAT peut être expliquée par la variation climatique extrême entre 2004 et 2007, par la courte période de collecte de données (quatre ans), par la difficulté de modéliser la différence nette des débits fluviaux plutôt que le débit à un seul exutoire du bassin, par la régularisation du tronçon à des fins d'irrigation, par le manque de données précises sur l'irrigation intensive dans le bassin (y compris sur le prélèvement d'eau dans la rivière) et par la non-comptabilisation des émergences dans la rivière.

Le modèle SWAT a aussi été utilisé pour étudier l'effet de l'irrigation sur l'hydrologie dans le bassin. On a constaté que l'irrigation augmentait la profondeur de ruissellement, mais les différences entre les zones irriguées et non irriguées n'étaient pas statistiquement significatives. L'irrigation n'a pas modifié le partage des eaux entre les voies hydrologiques existantes. Toutefois, elle a eu des effets temporels sur l'intensité du ruissellement et, plus important,

sur la percolation profonde et sur l'émergence subséquente des eaux souterraines dans le tronçon principal.

Le modèle SWAT a été utilisé pour étudier l'effet de l'irrigation sur l'hydrologie dans le bassin.

Le modèle a estimé que l'émergence d'eau souterraine apportait plus d'eau et d'éléments nutritifs et de contaminants dans la rivière Lower Little Bow que le ruissellement superficiel. On devrait cibler des PGB qui agissent sur la voie de transport la plus pertinente pour le transport des contaminants (eau souterraine ou eau de surface). De plus, selon les prédictions de modélisation, la contribution du ruissellement en eau et en contaminants est minime. Le seul ruissellement apparent s'est produit après des pluies abondantes, avec une profondeur cumulée de plus de 200 mm.

Bien qu'il n'y ait pas eu d'intégration officielle des modèles économiques et hydrologiques dans le projet de la rivière Lower Little Bow, les économistes et les modélisateurs se sont rencontrés régulièrement pour échanger de l'information et communiquer leurs progrès, de manière à pouvoir intégrer les résultats d'un volet dans l'analyse des résultats des autres volets du projet.

CONCLUSIONS

Les résultats des PGB implantées dans le bassin de la rivière Lower Little Bow ont été mitigés. C'est la clôture le long des berges qui a eu le plus d'effets bénéfiques sur la qualité de l'eau et les autres indicateurs environnementaux, suivie des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôtures des berges. Les épandages de fumier fondés sur les besoins annuels ou triennaux des cultures en P ont réduit certaines années les concentrations ou les charges de P principalement dissous dans les eaux de ruissellement, comparativement à l'épandage fondé sur les besoins annuels en N. La conversion de cultures annuelles en luzerne n'a pas amélioré la qualité des eaux de ruissellement. En raison du faible ruissellement en nappe, les résultats suggèrent qu'il n'est généralement pas nécessaire d'aménager des bandes tampons dans ce bassin.

De nombreux facteurs pourraient avoir compliqué l'interprétation des résultats des PGB sur la qualité de l'eau, comme l'absence de ruissellement naturel, la régularisation de la rivière, les retours d'eau d'irrigation dans la rivière, la contamination de la rivière par la faune ou d'autres sources d'eau souterraine, ou le peu d'années de suivis après la mise en œuvre des PGB. On a constaté que la santé de la zone riveraine était un indicateur environnemental plus sensible que la qualité de l'eau de la rivière pour l'évaluation des clôtures d'exclusion des bovins et des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau.

L'analyse économique a conclu qu'un incitatif monétaire serait probablement nécessaire pour favoriser l'adoption de toutes les PGB, mais, dans le cas des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sans clôture le long des berges et de la conversion à une culture pérenne, les incitatifs requis pourraient être moins élevés que pour les autres PGB, car ces PGB peuvent avoir des avantages pour la ferme ou des coûts moindres de mise en œuvre.

Cette étude de modélisation SWAT fondée sur des méthodes d'étalonnage unidirectionnel et bidirectionnel a produit des résultats variables. Dans l'étude de l'influence des années humides et sèches sur l'étalonnage et la validation du modèle SWAT, les résultats étaient meilleurs dans les années humides que dans les années normales. On a aussi étudié l'influence de l'irrigation sur l'hydrologie au moyen du modèle étalonné et validé. Les résultats de modélisation donnent aussi à penser qu'il faudrait axer les PGB sur la voie de transport des contaminants la plus pertinente (eau de surface ou eau souterraine).

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

La recherche sur les PGB dans le bassin de la rivière Lower Little Bow se continue grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*, et plusieurs évaluations de PGB sont presque terminées. Le grand réseau de surveillance et les données historiques sur divers champs qui sont disponibles demeureront utiles pour de futures études.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont aussi contribué à cette étude : Tony Curtis, Dennis Lastuka, Murray Lewis, Sharon Reedyk et Walter Willms (AAC); Andrea Kalischuk, Joanne Little, Barry Olson, Sandi Riemersma et Janelle Villeneuve (ministère de l'Agriculture et du Développement rural de l'Alberta); Troy Ormann et Dwayne Rogness (comté de Lethbridge); Gary Kindrat et Kim Schmitt (Canards Illimités Canada); Shane Petry (Pêches et Océans Canada); Kevin France (ministère de l'Environnement et du Développement durable des ressources de l'Alberta); d'autres membres du comité directeur du projet EPBH de la rivière Lower Little Bow; étudiants et producteurs participants.

TÉMOIGNAGE D'UN PARTENAIRE

David Chanasyk (Ph. D.)
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta

Projet d'EPBH : un travail d'équipe

Le professeur d'hydrologie David Chanasyk affirme que de travailler au projet EPBH de la rivière Lower Little Bow a été l'une des expériences les plus positives de sa carrière de chercheur.

« C'était un projet exceptionnel », a-t-il indiqué. « Le travail d'équipe de tous les partenaires a contribué à sa réussite. Nous n'aurions certainement pas pu accomplir tout ce que nous avons accompli sans le projet d'EPBH ». M. Chanasyk a indiqué que les chercheurs réalisent rarement la complexité d'un projet avant d'y être plongés. « Les ressources et les connaissances apportées par chaque membre de l'équipe ont sans aucun doute été le point fort. C'était la réalisation d'un rêve! »

Le projet de la rivière Lower Little Bow : un travail d'équipe.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA RIVIÈRE LOWER LITTLE BOW

Khan, I.U.H., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D.T. Medeiros, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, H. Schreier, E. Topp, É. van Bochove, G.A. Wilkes et T.A. Edge. 2014. A national investigation of the prevalence and diversity of Thermophilic Campylobacter species in agricultural watersheds in Canada. *Water Res*, 61:243-252.

Miller, J. 2010. Influence of streambank fencing on the environmental quality of cattle-excluded pastures. *J Environ Qual*, 39:991-1000.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2010. Influence of streambank fencing with a cattle crossing on riparian health and water quality of the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Agr Water Manag*, 97(2):247-258.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2011. Environmental quality of Lower Little Bow River and riparian zone along an unfenced reach with off-stream watering. *Agr Water Manag*, 98(10):1505-1515.

Miller, J.J., D.S. Chanasyk, T.W. Curtis et B.M. Olson. 2011. Phosphorus and nitrogen in runoff after phosphorus- or nitrogen-based manure applications. *J Environ Qual*, 40(3):949-958.

Miller, J.J., J.P. Battigelli et W.D. Willms. 2014. Grazing protection influences soil mesofauna in ungrazed and grazed riparian and upland pastures. *Rangeland Ecol Manag*, 67(4):429-434.

Miller, J.J., T. Curtis et D.S. Chanasyk. 2013. Comparison of runoff quantity and quality under annual cropping and forages. *Water Qual Res J Can*, 48(1):40-54.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et S. Reedyk. 2015. Influence of mowing and narrow grass buffer widths on reductions in sediment, nutrients, and bacteria in surface runoff. *Rev. can. de la science du sol*, 95:139-151.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2014. Influence of streambank fencing and river access for cattle on riparian zone soils adjacent to the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Rev. can. de la science du sol,* 94:209-222.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2010. Soil test phosphorus and nitrate adjacent to artificial and natural cattle watering sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 90(2):331-340.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2013. Evaluation of selected soil properties for indicating cattle activity at off-stream watering and river access sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 93(3):343-358.

Rahbeh, M., D. Chanasyk et J. Miller. 2011. Two-way calibration-validation of SWAT model for a small prairie watershed with short observed record. *Rev. can. des ressources hydriques*, 36(3):247-270.

Rahbeh, M., D.S. Chanasyk et J. Miller. 2013. Modelling the effect of irrigation on the hydrological output from a small prairie watershed. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(4):280-295.

Smith, E.G., X. Hao et J.J. Miller. 2014. Economics of utilizing biodigested beef feedlot manure to manage nutrient application to cropland. *Int J Renewable Energy and Biofuels*, 2014 (2014), Article ID 371507: 15 pages.

CHAPITRE

10

Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (Sask.)

Responsable du bassin hydrographique : Barbara Cade-Menun (AAC)
Économistes de site : Jim Unterschultz et Scott Jeffrey (Université de l'Alberta) et Ken Belcher (Université de Saskatchewan)
Spécialiste de la modélisation hydrologique du site : Kangsheng Wu (Agence de la sécurité de l'approvisionnement en eau de la Saskatchewan)

FAITS SAILLANTS

- ***Exportation d'éléments nutritifs de cultures annuelles et de cultures fourragères pérennes*** – Les résultats préliminaires montrent que les cultures annuelles et les cultures fourragères pérennes ont autant perdu d'éléments nutritifs durant le ruissellement nival, mais que les formes physiques et chimiques des éléments nutritifs exportés variaient selon la culture, ce qui indique que certaines PGB adaptées à la culture pourraient être nécessaires pour limiter la perte d'éléments nutritifs durant la fonte des neiges au printemps.
- ***Aspects économiques*** – L'analyse économique montre que la planification de la gestion des éléments nutritifs et le pâturage sur balles peuvent procurer des avantages nets à une exploitation agricole mixte. Inversement, les changements d'affectation de terres comme la conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes ou la restauration de milieu humide sont moins susceptibles de générer des avantages nets en raison du coût de renonciation associé au retrait de ces terres d'une production plus rentable.
- ***Modélisation hydrologique*** – L'utilisation de bassins hydrographiques équivalents pour la prise en compte des milieux humides et de la variabilité de l'aire d'alimentation en eau, lesquels sont typiques des cours d'eau des Prairies, a été très utile pour modéliser les cours d'eau de la région des fondrières.

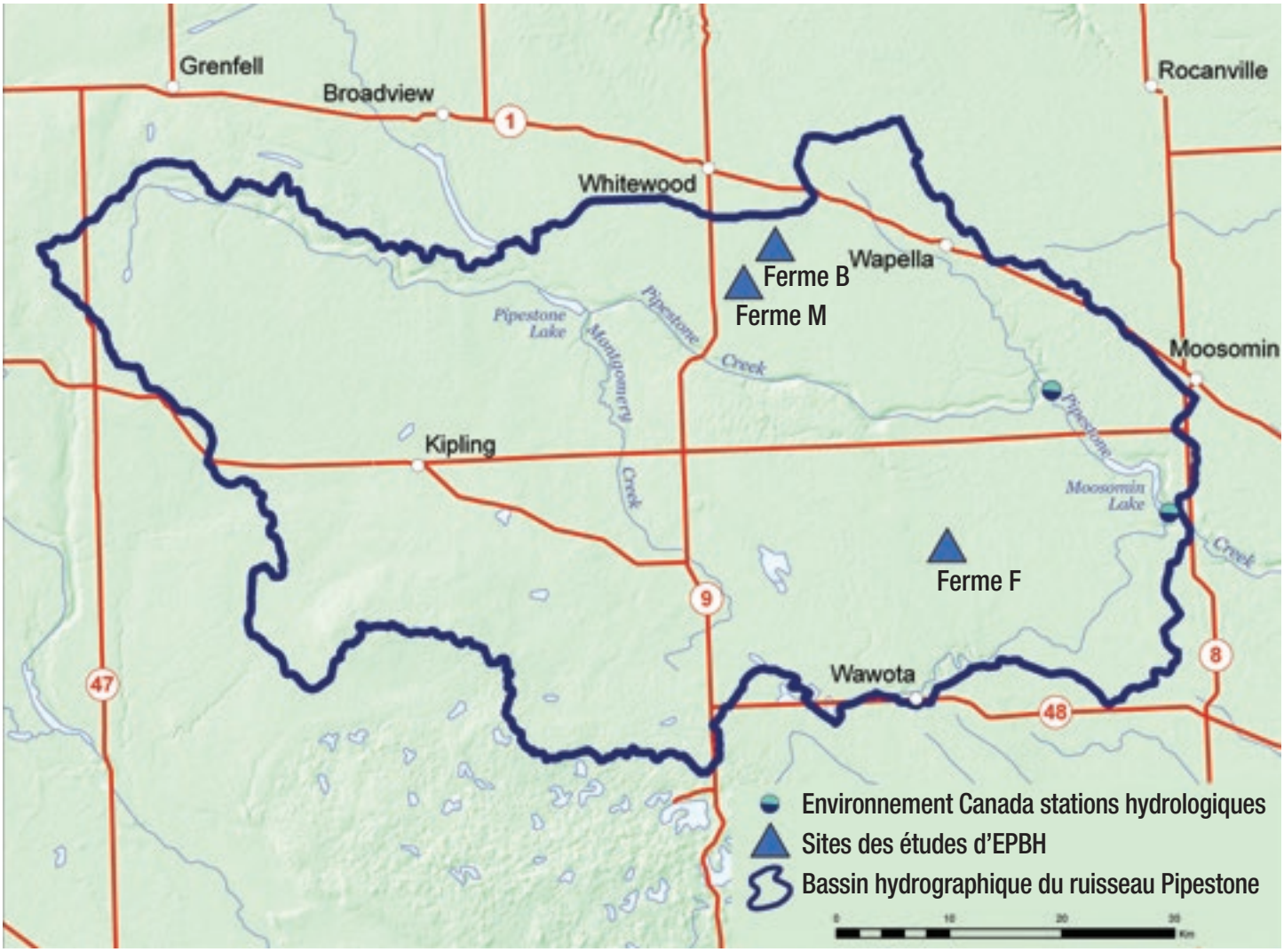


FIGURE 13
Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone

CONTEXTE ET ENJEUX

Le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone se trouve dans la région des fondrières des Prairies, laquelle s'étend du centre-nord de l'Iowa jusqu'au centre de l'Alberta. Le paysage est parsemé de milieux humides occupant des dépressions ou fondrières laissées par le retrait des glaciers il y a environ 12 000 ans. Il s'agit, pour la plupart, de milieux humides saisonniers qui se remplissent, débordent et alimentent des cours d'eau seulement dans les années les plus humides. Durant les années sèches, ils ne se remplissent pas. Le paysage comporte également des milieux humides permanents.

Le ruisseau Pipestone présente une faible pente et draine une superficie de 3 684 km^2 de tremblaie-parc dans la partie sud-est de la Saskatchewan (figure 13). Deux barrages sur le ruisseau ont créé les lacs Pipestone et Moosomin. Le lac Moosomin présente une forte croissance d'algues et parfois des efflorescences algales durant la saison d'eau libre. Cette situation serait en partie attribuable à de fortes concentrations de phosphore (P). De fortes concentrations d'ammonium et une turbidité élevée ont également été signalées dans le lac.

Environ 90 % de la superficie du bassin hydrographique est exploitée à des fins agricoles, dont 52 % pour des cultures annuelles et 31 % pour des cultures fourragères vivaces et des prairies indigènes. La région connaît de longs hivers qui durent de quatre à six mois. La fonte des neiges au printemps est la principale source de ruissellement vers les cours d'eau.

Il existe jusqu'à 40 ans de données environnementales, recueillies par divers organismes fédéraux, sur ce bassin hydrographique. Environnement Canada exploite cinq stations hydrologiques le long du ruisseau Pipestone, et huit stations météorologiques se trouvent dans la région.

Quatorze petits sous-bassins hydrographiques d'une superficie d'environ 1 à 3 ha ont été retenus comme sites d'étude; certains ont servi de sites d'essai de PGB, et les autres, de sites témoins.

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des quatre PGB suivantes :

- conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes;
- gestion des éléments nutritifs dans les cultures annuelles;
- restauration de milieux humides;
- pâturage hivernal en champ avec balles de foin.

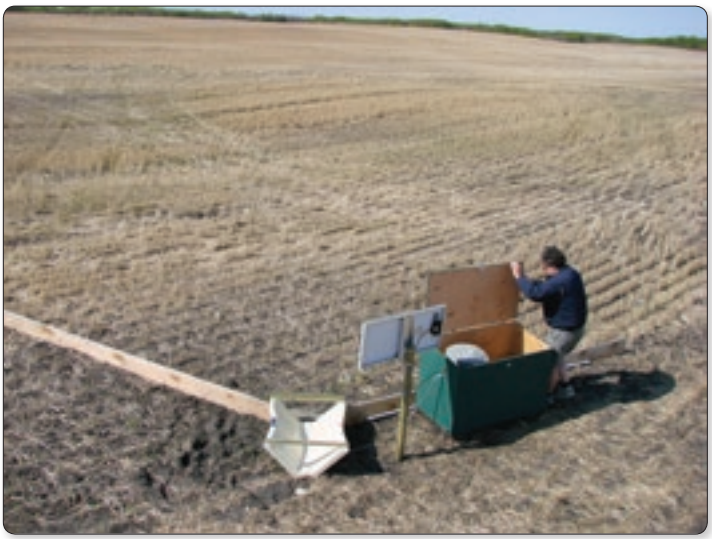
Description des PGB et résultats

Les études sur les PGB ont été menées dans trois exploitations agricoles du bassin hydrographique du ruisseau Pipestone. Les producteurs locaux ont assuré la gestion des terres et des champs en collaboration avec l'équipe de recherche du programme d'EPBH. En raison de la courte durée des études menées dans le bassin (deux à trois années de données), les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont préliminaires et, la plupart ne sont pas abordés dans les paragraphes qui suivent. L'étude de ces PGB se poursuit grâce à de nouveaux fonds de programme, et d'autres résultats sont à venir.

Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes

La conversion de cultures annuelles en cultures fourragères vivaces protège le sol toute l'année contre l'érosion éolienne et hydrique tout en permettant de récolter du foin ou d'utiliser ces superficies en pâturage. La maturité des fourrages et leur gestion efficace ont des incidences sur la performance des sites. La conversion de terres de piètre qualité (p. ex. des sols trop salins) à la production fourragère élimine le besoin de fertiliser, ce qui réduit les pertes d'engrais dans les eaux de ruissellement.

Dans un champ de cultures annuelles, deux sous-bassins hydrographiques ont été soumis à la pratique de travail du sol usuelle de l'exploitation agricole, soit le semis direct. Deux autres sous-bassins, où le sol présentait une forte salinité, ont été ensemencés en plantes fourragères vivaces. Une enquête de salinité du sol a été menée après la récolte de 2009 pour déterminer les niveaux de salinité et leur variabilité dans le champ. Par la suite, on a semé un mélange de graminées et de luzerne qui était tolérant à la salinité. Durant la fonte des neiges du printemps 2010, on a comparé les teneurs en éléments nutritifs et en sédiments des eaux de ruissellement provenant des parties du champ ensemencées en culture annuelle et en culture fourragère pérenne.



L'étude sur l'exportation d'éléments nutritifs des cultures annuelles et des cultures fourragères pérennes indique que certaines pratiques adaptées au type de culture pourraient être nécessaires pour limiter la perte d'éléments nutritifs durant la fonte des neiges au printemps.

Les résultats préliminaires montrent que, durant le ruissellement nival, les cultures annuelles et les pâturages permanents ont perdu autant d'éléments nutritifs, souvent à des concentrations qui excèdent les recommandations pour la qualité de l'eau. Toutefois, comme les formes physiques et chimiques des éléments nutritifs exportés variaient selon la culture, il pourrait être nécessaire d'avoir des PGB adaptées à la culture pour limiter la perte d'éléments nutritifs durant la fonte des neiges au printemps. Les résultats montrent que les PGB visant à limiter l'érosion et le mouvement de particules de sol sont peu susceptibles de prévenir les pertes d'éléments nutritifs dans les champs durant le ruissellement nival. Il faut toutefois s'assurer que les PGB visant à atténuer les pertes dans le ruissellement nival n'augmentent pas les pertes d'éléments nutritifs à d'autres moments de l'année.

Ces résultats portent sur le ruissellement nival d'une seule année. Or, il peut y avoir des différences considérables d'une année à l'autre, selon les conditions d'humidité à l'automne, les chutes de neige et la redistribution de la neige par le vent. Il faudra mener plus de recherche sur les processus hydrologiques ainsi que sur les mécanismes et les voies de transport des éléments nutritifs durant les épisodes de ruissellement nival afin de développer des PGB adaptées à la région.

L'étude se poursuit grâce à de nouveaux fonds de programme.

Gestion des éléments nutritifs dans les cultures annuelles

Les producteurs appliquent généralement l'engrais avant de semer, ou plus souvent au semis. Les doses de fertilisation sont souvent déterminées en fonction de rendements assez élevés, et l'engrais est appliqué à la même dose partout dans le champ. Le champ de cultures annuelles a été soumis à une gestion sur mesure des éléments nutritifs pour l'étude de la conversion des cultures. Les taux d'application d'engrais ont été établis en fonction des analyses de sol, de conditions de croissance optimales et d'un rendement élevé escompté. Dans deux sous-bassins du site cultivés en cultures annuelles, les doses d'engrais ont été réduites d'un tiers, selon l'hypothèse que les conditions ne sont pas toujours optimales. Les résultats ont été comparés à ceux des deux sous-bassins témoins qui avaient reçues des doses normales.

Les quatre sous-bassins du site étaient cultivés selon une rotation culturale sur deux ans constituée d'une culture de céréale (blé) et d'une culture oléagineuse (canola). Comme les conditions optimales associées à la pleine fertilisation sont sans doute peu fréquentes, le rendement sera rarement affecté par la fertilisation réduite. Par contre, la réduction des doses d'engrais pourrait se traduire par une baisse des charges d'éléments nutritifs des eaux de ruissellement nival et pluvial.

La fertilisation réduite a été appliquée aux printemps 2010 et 2012; aucune culture n'a été semée au printemps de 2011 en raison de conditions extrêmement humides. Le prélèvement d'échantillons et l'analyse des données se poursuivent grâce à de nouveaux fonds de programme. Aucun résultat n'a encore été publié.

Restauration de milieux humides

Des producteurs agricoles ont drainé des milieux humides pour accroître leurs superficies cultivables et gagner en efficacité dans leurs opérations. Le drainage fait toutefois perdre aux milieux humides naturels leurs fonctions de rétention des éléments nutritifs et des sédiments. De plus, on craint des pertes supplémentaires d'éléments nutritifs et de sédiments si les fossés de drainage sont mal conçus.

Une étude a été menée pour comparer deux sites drainés (anciens milieux humides) et deux milieux humides qui avaient été restaurés durant la saison de croissance 2010. On a érigé un barrage de terre assez élevé dans un fossé pour retenir les eaux de ruissellement. En 2011, on a réduit la taille d'un des milieux humides restaurés à la demande du producteur. Cette étude sur le transport des éléments nutritifs et des sédiments a été menée dans deux fermes bovines qui avaient chacune un milieu humide restauré et un ancien milieu humide. Tous les sites étaient entourés de couvertures fourragères pérennes.

Les chercheurs ont comparé deux milieux humides drainés et deux milieux humides restaurés.

Le prélèvement d'échantillons et l'analyse de données se poursuivent grâce à de nouveaux fonds de programme. Aucun résultat n'a encore été publié.

Pâturage hivernal en champ avec balles de foin

Les systèmes extensifs d'alimentation au champ l'hiver visent à répartir uniformément les bovins, leur nourriture et le fumier dans le champ afin d'accroître la fertilité et la teneur en matière organique du sol ainsi que le rendement fourrager. L'utilisation réduite de carburants et d'engrais chimique qui en résulte pourrait diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Bien que la pratique présente des avantages pour la fertilité du sol, elle comporte également des risques pour l'environnement. En effet, il y a un risque élevé de contamination des plans d'eau voisins avec des éléments nutritifs ou des bactéries par ruissellement nival lorsque les balles de foin et les excréments des bovins sont déposés sur un sol gelé, moment où l'infiltration dans le sol est très limitée.

Les avantages possibles sur le plan de la fertilité du sol et les risques pour la qualité de l'eau des systèmes d'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver ont été étudiés dans ce bassin hydrographique.

À partir de l'hiver 2010-2011, on a comparé la qualité de l'eau de ruissellement (formes et concentrations des éléments nutritifs et des bactéries) de deux sous-bassins où se pratique le pâturage hivernal en champ avec balles de foin avec celle de deux pâturages témoins différents. L'un des sites témoins était un pâturage d'été, et l'autre, un pâturage sur lequel on épandait du fumier d'enclos à l'automne à une dose fertilisante en P correspondante à celle que le pâturage en champ avec balles de foin recevait chaque année. On a aussi prélevé des échantillons de fumier et de balles de foin à des fins d'analyses.

Étant donné que l'on en sait peu sur la survie, le devenir et le transport des bactéries pathogènes, dont *E. coli*, qui sont présentes dans les excréments hivernaux, on a mené une étude pour comparer les effets du ruissellement nival sur les charges de coliformes fécaux entre le pâturage hivernal en champ et les deux pâturages témoins, dont l'un sans pâturage hivernal, et l'autre avec apport de fumier à l'automne. Les chercheurs ont examiné la libération et la survie des coliformes fécaux à mesure que les bouses bovines vieillissent dans des conditions météorologiques extrêmes. Les résultats préliminaires de l'échantillonnage printanier indiquent des taux très élevés de survie et de transport de bactéries vivantes d'*E. coli* dans les eaux de ruissellement nival.

Le prélèvement d'échantillons et l'analyse de données se poursuivent grâce à de nouveaux fonds de programme. Aucun résultat n'a encore été publié.

Étude biophysique supplémentaire

Les effets des cycles de gel-dégel et de la teneur du sol en eau sur le taux d'infiltration ont été étudiés sur trois sols de la Saskatchewan (un sol argileux, un sol vaseux et un sol de sable loameux). Les cycles de gel-dégel fréquents peuvent modifier les propriétés physiques du sol et influer sur l'écoulement de l'eau dans le milieu terrestre. La vitesse à laquelle l'eau s'infiltre à la surface du sol détermine la quantité d'eau qui pénètre dans la zone racinaire et la quantité qui s'écoulera. De nombreuses conditions de sol et conditions climatiques peuvent influer sur le taux d'infiltration.

Les résultats indiquent que la texture du sol et la teneur initiale en eau ont des effets significatifs sur le taux d'infiltration et que les cycles de gel-dégel maintiennent ou réduisent ce taux, peut-être en raison de la viscosité accrue de l'eau lorsque la température avoisine le point de congélation ou lorsqu'il y a formation de glace dans les pores du sol. L'étude montre que la texture du sol et la distribution de la taille des pores constituent d'importants indicateurs de la formation potentielle de glace, du colmatage des pores et des faibles taux d'infiltration après de fréquents cycles de gel-dégel. Comme on anticipe que les cycles de gel-dégel deviendront plus fréquents aux latitudes et altitudes élevées, les sols de la Saskatchewan subiront des changements structuraux, et deviendront plus poreux. La compréhension et la surveillance de ces changements nous permettraient d'enrichir nos connaissances sur l'hydrologie et sur les impacts environnementaux de l'agriculture et d'autres pratiques.

VOLET ÉCONOMIQUE

L'analyse économique effectuée dans le cadre du projet d'EPBH du ruisseau Pipestone a débuté en 2009 et comprenait deux volets : une analyse à l'échelle de la ferme et une analyse de la propension des producteurs à accepter une compensation.

On a utilisé l'analyse à l'échelle de la ferme et les modèles de simulation pour évaluer les coûts et les avantages des PGB pour deux fermes représentatives, soit une exploitation de grandes cultures et une exploitation mixte (production de vaches-veaux et de grandes cultures), toutes deux situées dans le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone. Les résultats laissent croire que certaines des PGB procureraient des avantages nets à la ferme. La planification de la gestion des éléments nutritifs et le pâturage sur balles (pour l'exploitation mixte) sont les PGB les plus susceptibles de procurer des avantages nets à la ferme. À l'inverse, les PGB que sont la conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes et le rétablissement de milieux humides sont moins susceptibles d'offrir des avantages nets à la ferme représentative, en raison principalement du coût de renonciation associé au retrait de terres affectées auparavant à des productions plus lucratives.

Les économistes ont évalué dans quelle mesure les coûts financiers de l'adoption de PGB représentaient des estimations exactes des coûts d'adoption « véritables » pour les producteurs, tels que mesurés par les évaluations de leur propension à accepter une compensation en échange de l'adoption d'une PGB. Cette étude, réalisée en conjonction avec le projet d'EPBH du bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow, a également examiné la transférabilité des valeurs de coûts d'un endroit à l'autre. La recherche se poursuit grâce à des fonds d'autres sources.

Résultats économiques des PGB

Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères pérennes

L'adoption de cette PGB s'est traduite par un coût net annuel de 225,85 $/ha pour l'entreprise de grandes cultures et de 163,06 $/ha pour l'entreprise agricole mixte. Ce coût net généré est attribuable au coût de renonciation associé à l'abandon de cultures annuelles plus rentables, même si les terres converties sont encore exploitées.

Gestion des éléments nutritifs dans les cultures annuelles

Une bonne planification de la gestion des éléments nutritifs permet de réduire les quantités d'engrais utilisés tout en maintenant la productivité du sol et le rendement des cultures. On a modélisé trois versions de planification de la gestion des éléments nutritifs aux fins de l'analyse économique des deux exploitations représentatives :

- ***Version 1*** – Fertilisation à une dose équivalant aux besoins de la culture fondés sur le rendement visé moins

les éléments nutritifs fournis par le sol. L'année suivante, rajustement de la fertilisation en fonction des éléments nutritifs résiduels du sol.

- ***Version 2*** – Réduction d'un tiers des doses de fertilisation par rapport au scénario de base de l'exploitation en supposant que l'azote (N) est le seul élément limitatif.
- ***Version 3*** – Épandage en couverture de N au printemps suivant les mêmes critères de décision que la version 1, soit en fonction du rendement visé.

Cette PGB entraînait une modification des pratiques de fertilisation pour les exploitations représentatives. Si le rendement de la culture de l'année précédente avait été inférieur au rendement visé, on réduisait les doses d'engrais. Cette PGB est donc associée à des économies du coût des engrais, la seule dépense étant le coût des analyses de sol (version 1).

Les trois versions ont donné des avantages nets positifs pour les deux exploitations agricoles représentatives. Les avantages annuels nets de la version 1 se sont chiffrés à 3,78 $/ha pour l'entreprise de grandes cultures et à 3,08 $/ha pour l'entreprise agricole mixte et ces gains étaient attribuables à la réduction des doses de fertilisation dans les années où le sol contenait des éléments nutritifs résiduels de l'année précédente. Les avantages annuels nets de la version 2 se sont chiffrés à 26,71 $/ha pour l'entreprise de grandes cultures et à 21,49 $/ha pour l'exploitation mixte. En pratique, cette version signifie que le producteur a réduit l'apport d'engrais chimique d'autant que les excédents d'éléments nutritifs contenus dans le sol. Les avantages annuels nets de la version 3 se sont chiffrés à 7,91 $/ha pour l'entreprise de grandes cultures et à 6,03 $/ha pour l'exploitation mixte.

La gestion plus étroite de la fertilisation en fonction des besoins des cultures, en tenant compte des éléments nutritifs résiduels, permet de réduire les coûts de production d'une culture sans diminuer les rendements attendus. Ainsi, cette PGB est économiquement viable et peut être bénéfique pour l'environnement.

La planification de la gestion des éléments nutritifs et le pâturage hivernal en champ avec balles de foin peuvent procurer des avantages nets à une exploitation agricole mixte.

Restauration de milieux humides

La PGB a été appliquée seulement aux pâturages aux fins de la recherche biophysique et hydrologique, mais l'analyse économique a porté sur les deux exploitations agricoles représentatives. La PGB a entraîné un coût net pour les deux exploitations. Pour l'entreprise de grandes cultures, la restauration de milieux humides a entraîné un coût annuel de 120,56 $ par hectare restauré. Pour l'exploitation mixte, le coût net était de 37,20 $/ha pour la superficie cultivée et de 101,37 $/ha pour la superficie en pâturage. L'analyse des résultats se poursuit. Les déboursés associés à cette PGB étaient les coûts de construction et les frais administratifs liés au projet. La restauration de milieux humides sur des terres cultivées implique un coût de nuisance pour l'obligation de contourner les milieux humides avec la machinerie agricole. Toutefois, le coût le plus important est le coût de renonciation associé au retrait de terres cultivables. Des incitatifs financiers ou réglementaires seront sans doute nécessaires pour encourager l'adoption de cette PGB.

Pâturage hivernal en champ avec balles de foin

Aux fins de l'analyse économique, on a comparé le pâturage hivernal avec balles de foin et la stabulation des bovins en enclos où ils sont abrités et nourris l'hiver. L'adoption de cette PGB réduit les coûts de nettoyage des enclos et de transport du fumier, mais elle augmente les coûts de transport du foin ainsi que les coûts d'installation de clôtures, d'abreuvoirs et de brise-vent. Cette PGB a procuré un avantage net pour la ferme. Le profit net annualisé a été de 33,59 $ par vache de boucherie.

VOLET DE MODÉLISATION

Les modélisateurs se sont servis de l'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) pour modéliser les processus hydrologiques, la qualité de l'eau et le transport des sédiments dans le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone.

Les objectifs étaient d'étalonner et de valider le modèle à des intervalles journaliers et mensuels à l'échelle du bassin et de représenter les caractéristiques géographiques du bassin (c.-à-d. le stockage interne et l'aire d'alimentation variable du bassin).

Les modélisateurs ont d'abord compilé les données d'entrée requises pour la modélisation hydrologique au moyen de l'outil SWAT, notamment les données météorologiques et hydrométriques d'Environnement Canada et les données de réanalyse du modèle. Un modèle altimétrique numérique a été mis au point pour interpréter les propriétés physiques et les données sur l'affectation des terres et la classification des sols du bassin. Le bassin hydrographique a été divisé en 25 sous-bassins et en 1 611 unités de réponse hydrologique (URH).

Chaque sous-bassin renfermait plusieurs milieux humides et une grande superficie qui n'alimentait pas les cours d'eau en temps normal. L'eau qui provient de cette superficie non

contributive coule dans des dépressions ou dans des milieux humides, et n'alimente le cours d'eau principal que lorsque les dépressions sont remplies. Les hydrologues spécialistes des Prairies nomment la superficie qui alimente le cours d'eau au cours d'une année moyenne *superficie effective de drainage* et la superficie totale du bassin hydrographique *superficie brute de drainage.*

On a ajouté, pour chaque sous-bassin, des bassins hydrographiques équivalents (BHE), notion récemment intégrée au modèle SWAT, afin de prendre en compte les abondants milieux humides du bassin et les effets des aires d'alimentation variables. La superficie a été obtenue à partir de données publiées, et le volume d'eau stockée a été calculé à l'aide de formules publiées dans la littérature. La superficie de drainage alimentant les BHE équivalait à la différence entre la superficie brute de drainage et la superficie effective de drainage.

La modélisation SWAT de ce bassin a intégré des bassins hydrographiques équivalents pour tenir compte des milieux humides abondants et de l'effet des aires d'alimentation variables.

Le modèle SWAT a été étalonné et validé pour les débits journaliers et mensuels de la période 1997-2005, alors que les étalonnages ont été effectués sur la période 1997-2001 et les validations sont la période 2002-2005. Les étalonnages journaliers et mensuels ont donné de très bons résultats d'évaluation. Les résultats de la période de validation des débits journaliers et mensuels ont été moins bons que les mesures d'étalonnage, mais sont tout de même considérés bons. Il y a toutefois eu des différences significatives entre les hydrogrammes modélisé et observé à plusieurs occasions, ce qui mérite une étude plus poussée.

CONCLUSIONS

Le projet du ruisseau Pipestone est l'un des deux projets qui ont été ajoutés au réseau d'EPBH en 2009.

L'analyse de bon nombre des PGB n'était pas terminée à la fin du programme d'EPBH, mais d'importants progrès ont été accomplis pour mieux comprendre le rôle des PGB dans la région des fondrières des Prairies. L'étude met en évidence le besoin d'adapter les PGB au système cultural et de tenir compte du moment de l'année où le ruissellement est à son maximum pour maximiser la réduction des pertes d'éléments nutritifs.

Les économistes ont examiné les coûts et les avantages à la ferme des PGB et ont constaté que leurs effets sur le revenu agricole variaient selon le type de PGB et le type d'exploitation agricole. L'étude des coûts « véritables » de l'adoption des PGB se poursuit.

Les résultats de modélisation hydrologique servent de référence pour la modélisation des processus liés à la qualité de l'eau et au transport de sédiments dans le bassin. L'utilisation de BHE pour tenir compte des milieux humides abondants et de l'aire d'alimentation variable, caractéristiques typiques des cours d'eau dans les Prairies, a grandement contribué à la modélisation des cours d'eau dans ces paysages de fondrières.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

La collecte de données concernant les effets des PGB sur la qualité de l'eau et l'environnement en général se poursuit dans le bassin du ruisseau Pipestone grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*. Le vaste réseau de surveillance ainsi que les données historiques sur les divers champs seront précieux pour de futures études. Les données de rendement continueront d'être collectées et combinées avec les résultats économiques de la phase EPBH du projet afin de déterminer les coûts et les avantages des PGB. Au terme de la phase actuelle du projet, des recherches semblables pourraient être menées près de Swift Current (Sask.).

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Sheldon Kyle, Brandy Woods, Mandy Hummel et Jena Holden (Lower Souris Watershed Committee); Dena McMartin, Kyle Hodder, Samar Baker-Ismail et Dave Barrett (Université de Regina); Étienne Soulodre et Cesar Perez-Valdivia (Agence de sécurité de l'eau de la Saskatchewan); Kara Barnes et Mani Kanjilal (Université de l'Alberta); Ymène Fouli, Gordon Bell, Jim Daschle, Anna Cole, Craig Gatzke, Katie Hagman, Mitch Froyman, Alvin Anderson, Henry Wilson, Alan Cessna, Terry Kowalchuk, Karen Benjaminson et Dean James (AAC).

TÉMOIGNAGE DE PARTENAIRES

Dena McMartin (Ph. D.) et Kyle Hodder (Ph. D.)
Université de Regina
Regina (Saskatchewan)

Semer les graines de la découverte et de l'innovation

Grâce au programme d'EPBH, Dena McMartin, Kyle Hodder et leur équipe de recherche de l'Université de Regina ont établi des collaborations et de nouvelles techniques de recherche, ont produit de précieuses informations sur la salubrité de l'eau et le transport des contaminants et ont soutenu la démonstration des incidences économiques possibles des PGB étudiées. « Nous semons les graines de la découverte et de l'innovation chez les producteurs et les industries à l'échelle locale, nationale et mondiale », estime M^me^ McMartin.

Un projet important a consisté à étudier la capacité des bactéries *E. coli* potentiellement dangereuses présentes dans le fumier bovin à survivre aux températures très froides des Prairies. L'utilisation du toit de l'université comme laboratoire extérieur a offert un milieu non perturbé ainsi qu'un accès aux données météorologiques collectées à toutes les heures par l'une des stations météo de l'université. Axée principalement sur le pâturage hivernal en champ avec balles de foin et l'épandage de fumier, cette étude a montré des taux étonnamment élevés de survie et de transport d'*E. coli* vivants dans les eaux de ruissellement nival au printemps.

« Notre recherche vise à mieux comprendre la capacité de survie des bactéries *E. coli* et les conditions environnementales qui favorisent cette survie et à déterminer de meilleures mesures pour limiter le transport des bactéries dans les eaux de ruissellement provenant de sources diffuses (comme les terres agricoles) », explique M^me^ McMartin. Ces travaux ont d'importantes répercussions économiques et environnementales pour les producteurs, les collectivités et les gouvernements.

Les projets de recherche appliquée comme ceux du programme d'EPBH procurent d'importants avantages pour les universités et les producteurs agricoles, parce que les résultats sont axés sur des défis du monde réel qui nécessitent une réflexion sérieuse et beaucoup d'évaluation. M^me^ McMartin souligne que l'EPBH a constitué une initiative de recherche de classe mondiale qui a servi de moteur économique et d'incubateur d'idées novatrices.

Les résultats d'études d'EPBH comme l'étude sur la survie hivernale des bactéries *E. coli* dans les Prairies ont d'importantes répercussions économiques et environnementales.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU RUISSEAU PIPESTONE

Cade-Menun, B.J., G. Bell, S. Baker-Ismail, Y. Fouli, K. Hodder, D.W. McMartin, C. Perez-Valdivia et K. Wu. 2013. Nutrient loss from Saskatchewan cropland and pasture in spring snowmelt runoff. *Rev. can. de la science du sol* 93:445-458.

Fouli, Y., B.J. Cade-Menun et H.W. Cutforth. 2013. Freeze-thaw cycles and soil water content effects on infiltration rate of three Saskatchewan soils. *Rev. can. de la science du sol*, 93:485-496.

CHAPITRE

11

Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Manitoba)

Responsable du bassin hydrographique : Jim Yarotski (AAC)
Économistes de site : Mohammad Khakbazan (AAC) et Peter Boxall (Université de l'Alberta)
Spécialistes de la modélisation hydrologique et intégrée du site : Wanhong Yang et Yongbo Liu (Université de Guelph)

FAITS SAILLANTS

- ***Travail de conservation du sol*** – Dans ce bassin hydrographique, le travail de conservation du sol s'est traduit par une importante réduction de l'exportation de sédiments et d'azote (N) par rapport au travail conventionnel du sol. Par contre, le phosphore (P) dissous a présenté une tendance inverse, son exportation ayant augmenté significativement dans ce bassin dont l'hydrologie est dominée par les eaux de fonte des neiges, sans doute en raison de l'accumulation de P près de la surface du sol et de la libération de P soluble à partir des résidus végétaux durant les cycles de gel-dégel.
- ***Étangs de retenue*** – Les étangs de retenue se trouvant en aval des parcs d'engraissement de bovins se sont avérés très efficaces pour capter les eaux de ruissellement à fortes teneurs en éléments nutritifs et en *E. coli*.
- ***Petits barrages*** – Les petits barrages en terre peuvent réduire les débits de pointe en aval et les inondations connexes dans les bassins hydrographiques et diminuer considérablement les charges en sédiments, en N et en P dans le ruisseau.
- ***Caractérisation des sédiments*** – La caractérisation des sédiments a montré que la majeure partie des sédiments dans ce bassin provenaient de processus d'érosion dans le ruisseau et non de l'érosion des terres agricoles. Ce type de résultat est particulièrement utile pour la conception de PGB efficaces.
- ***Effets cumulatifs de plusieurs PGB*** – Les PGB mises en œuvre dans ce bassin ont cumulativement réduit les exportations totales de N et de P de 41 % et de 38 %. L'étang de retenue et la gestion des éléments nutritifs semblent être les PGB qui contribuent le plus à la réduction de ces exportations.
- ***Aspects économiques*** – Une étude économique de différentes intensités de travail du sol a montré que les producteurs qui cultivent une rotation céréale-oléagineux avec travail réduit du sol ont tendance à en tirer de plus grands avantages financiers.
- ***Modélisation intégrée*** – Un modèle hydrologique utilisant des données locales a été adapté aux conditions froides des Prairies pour la modélisation des PGB dans ce bassin. Le modèle a été intégré à un modèle économique pour évaluer les effets environnementaux et économiques des PGB à l'échelle du bassin. Un modèle hydrologique pleinement distribué fondé sur des cellules a été mis au point pour évaluer les effets des PGB à l'échelle du champ et de la ferme.

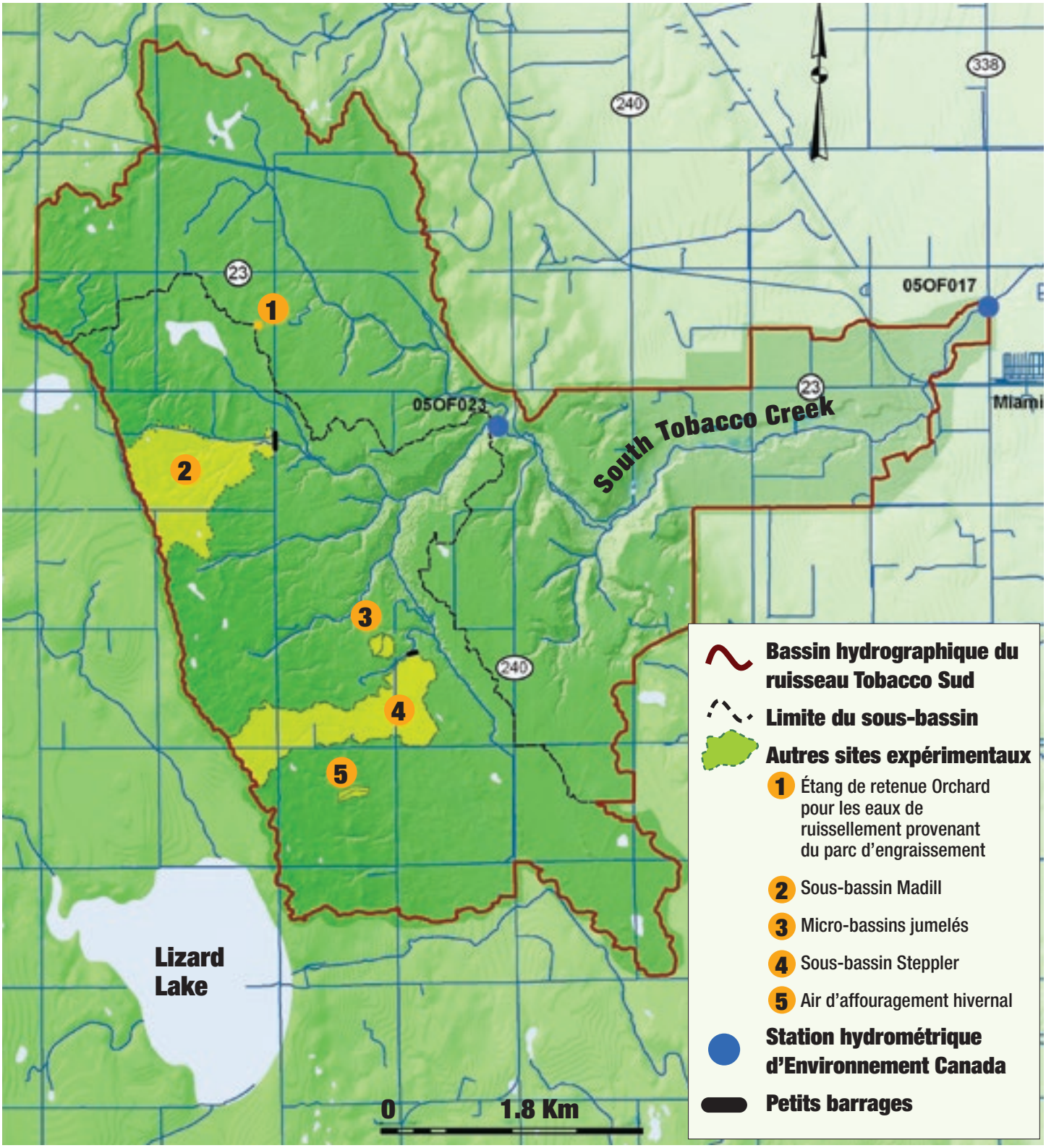


FIGURE 14
Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud

CONTEXTE ET ENJEUX

Le microbassin Steppler couvre 206 ha dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, qui occupe une superficie de 75 km^2 près du village de Miami, au sud-ouest de Winnipeg, au Manitoba (figure 14). Le bassin du ruisseau Tobacco Sud est essentiellement agricole, 71 % de sa superficie étant affectée à la production de cultures annuelles. Le blé et le canola sont les deux cultures principales dans la région; les cultures d'avoine et de canola et la production fourragère y ont augmenté de façon appréciable ces dernières années.

Le ruisseau Tobacco Sud se jette dans la rivière Morris, un affluent de la rivière Rouge qui coule vers le nord pour se jeter dans le lac Winnipeg. La charge nutritive provenant du bassin du ruisseau Tobacco Sud et d'autres bassins hydrographiques d'amont semblables peut contribuer au cumul des apports nutritifs dans les grands écosystèmes de la rivière Rouge et du lac Winnipeg.

Le gouvernement du Manitoba s'est engagé à réduire les quantités de N et de P qui parviennent au lac Winnipeg à leurs niveaux d'avant les années 1970[14]. Pour ce faire, il faut avant tout s'attaquer aux sources diffuses en amont.

Une bonne validation des PGB permettrait de déterminer où et comment réduire les charges en N et en P. Les PGB ont donc été choisies pour l'étude en fonction de leur caractère adéquat dans le paysage local et de la probabilité que les producteurs les acceptent et les adoptent.

Le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud fait l'objet d'études scientifiques depuis plus de 20 ans, ce qui a permis d'obtenir de précieuses données agronomiques et environnementales de base. La recherche sur les PGB dans le bassin a été menée à la ferme Steppler, où les chercheurs ont évalué la performance environnementale et économique des PGB qui y ont été appliquées. Les suivis effectués dans l'ensemble du bassin ont permis d'extrapoler les données biophysiques et économiques obtenues à la ferme à l'échelle du bassin au moyen d'un modèle hydrologique et économique intégré.

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des six PGB suivantes :

- conversion de cultures annuelles en cultures fourragères;
- étangs de retenue (captage des eaux de ruissellement des parcs d'engraissement de bovins);
- petits réservoirs;
- travail de conservation du sol;
- engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver;
- gestion améliorée de la zone riveraine avec récolte mécanique du fourrage.

Description des PGB et résultats

Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères

Les effets de la conversion de cultures annuelles en cultures fourragères sur la quantité et la qualité de l'eau ont été évalués pour deux paires de sous-bassins hydrographiques. Deux champs ont été laissés en cultures annuelles et deux autres ont été convertis en culture fourragère (mélange de graminées et de luzerne). Après une période initiale de trois ans, les cultures fourragères ont été retournées en cultures annuelles, et les cultures annuelles ont été ensemencées en plantes fourragères, et l'étude s'est poursuivie sur trois autres années.

Tout au long de la période de l'étude, plus de 80 % du ruissellement des sous-bassins provenait de la fonte des neiges. Durant la fonte, les éléments nutritifs sous forme particulaire et les sédiments présents dans les eaux de ruissellement étaient les mêmes pour les champs de fourrage et les champs de cultures annuelles. Les concentrations de N total et de N total dissous étaient plus élevées dans les eaux de ruissellement provenant des cultures annuelles que celles provenant des cultures fourragères, mais l'exportation de N (dissous, total ou particulaire) ne différait pas entre les deux types de champ, car le ruissellement plus élevé provenant des cultures fourragères compensait les différences de concentration. Les concentrations et les charges de nitrates étaient plus élevées pour les cultures annuelles, tandis que les concentrations et les charges d'ammoniac étaient plus élevées pour les cultures fourragères vivaces. L'exportation et les concentrations de P total et de P total dissous dans les eaux de ruissellement étaient plus grandes dans le cas des cultures fourragères que dans celui des cultures annuelles. Les pertes supérieures de P observées dans les cultures fourragères étaient attribuables à l'effet du gel sur les résidus fourragers qui ont libéré des éléments nutritifs.

Étangs de retenue

Le ruissellement et l'exportation d'éléments nutritifs provenant d'aires d'engraissement ou de confinement des bovins de deux exploitations agricoles dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud ont fait l'objet de suivis. Un petit étang de retenue a été construit en aval de chacune des aires pour intercepter l'écoulement et empêcher l'eau de ruissellement riche en éléments nutritifs d'atteindre le ruisseau. Les eaux ainsi captées d'un des étangs ont servi à l'irrigation, et celles de l'autre étang ont été traitées par un système de filtration.

Les étangs de retenue se sont révélés très efficaces pour capter les eaux de ruissellement fortement chargées en éléments nutritifs et en *E. coli* provenant du parc d'engraissement et pour empêcher ces polluants de s'écouler

14 Plan d'action pour la protection du lac Winnipeg (2003) : http://www.gov.mb.ca/waterstewardship/water_quality/lake_winnipeg/action_plan.fr.html.

vers le ruisseau. Avant la construction des étangs de retenue, les processus naturels faisaient rapidement baisser les concentrations de bactéries à mesure que l'eau s'écoulait vers l'aval. Toutefois, les concentrations d'éléments nutritifs et d'*E. coli* ont diminué davantage après la construction des étangs. Les résultats des évaluations se fondent sur l'analyse initiale des données.

Les étangs de retenue en aval des parcs d'engraissement de bovins se sont révélés très efficaces pour capter les eaux de ruissellement fortement chargées en éléments nutritifs et en *E. coli*.

Dans une autre étude sur les effets cumulatifs de diverses PGB dans le sous-bassin Steppler, on a estimé que l'étang de retenue contribuait au maximum à 26 % de la réduction du P total et à 22 % de celle du N total.

Petits réservoirs

Vingt-six petits barrages ont été construits dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud dans les années 1980 et au début des années 1990, de sorte que presque 30 % de la superficie du bassin fait l'objet d'une gestion visant à réduire les débits de pointe. Les chercheurs ont étudié deux réservoirs aménagés dans le ruisseau pour déterminer leur efficacité à réduire la charge en éléments nutritifs et en sédiments et les pointes de crue en aval. En tant qu'exutoire du sous-bassin Steppler, le réservoir Steppler offre un site en aval pour surveiller le ruissellement agricole, l'exportation d'éléments nutritifs et les effets cumulatifs de toutes les PGB de l'étude, exception faite de la PGB du travail de conservation du sol. Les chercheurs ont surveillé le réservoir Madill construit dans un sous-bassin adjacent afin d'obtenir des données supplémentaires sur l'efficacité de cette pratique.

L'étude montre que la construction d'un réservoir permet de réduire considérablement la charge en éléments nutritifs et en sédiments en aval, tout en y atténuant les risques d'inondation. Ainsi, les réservoirs ont réduit l'exportation annuelle moyenne en aval de P total, de N total et de sédiments, respectivement de 11 %, 17 % et 70 %.

Les petits barrages de terre permettent de réduire les débits de pointe en aval et les inondations dans les bassins hydrographiques agricoles et de diminuer considérablement les charges en sédiments, en N et en P dans le ruisseau.

Les deux barrages ont diminué efficacement les débits de pointe, car les eaux de ruissellement passaient par leurs réservoirs. Comme prévu, une faible proportion du volume global des eaux de ruissellement a été retenue dans les réservoirs. On estime que l'ensemble du réseau des 26 petits barrages a diminué de 9 % à 19 % le débit de pointe attribuable au ruissellement nival et de 13 % à 25 % le débit de pointe du ruissellement pluvial.

Travail de conservation du sol

Deux petits bassins hydrographiques adjacents appariés ont servi à comparer les effets du travail de conservation du sol[15] et du travail conventionnel du sol (au moins un labour au printemps et un à l'automne) dans une rotation céréale-canola. Afin de pouvoir disposer d'une base de comparaison, les chercheurs ont étudié les deux bassins cultivés au moyen de travail conventionnel du sol pendant les quatre premières années. Après le passage au travail de conservation du sol dans l'un des bassins, suivi d'une certaine période de stabilisation, les chercheurs ont pu comparer les données sur le transport des sédiments et des éléments nutritifs entre les deux bassins.

Aucune différence significative n'a été constatée dans la quantité annuelle de ruissellement provenant des deux

15 Le terme « travail de conservation du sol » s'applique à des pratiques aratoires allant du travail minimal au semis direct. Il s'agissait de semis direct dans l'analyse économique pour le bassin du ruisseau Tobacco Sud. Dans l'étude biophysique connexe (bassins appariés), le travail de conservation du sol s'approchait de semis direct : il n'y avait pas de labour à l'automne, mais le sol était parfois perturbé juste avant l'ensemencement au printemps, soit par l'injection d'engrais ammoniacal dans une opération distincte, soit par du hersage pour briser la couverture de paille.

champs. Par contre, le travail de conservation du sol s'est avéré très efficace pour réduire l'exportation annuelle de sédiments (réduction moyenne de 65 %) et l'exportation de N total (réduction moyenne de 69 %), comparativement au travail conventionnel du sol. Toutefois, contrairement à ce qu'on aurait pu penser, les données semblent indiquer que sous les climats où l'hydrologie est dominée par la fonte des neiges, comme dans l'Ouest canadien, les pratiques de travail réduit du sol favorisent davantage l'exportation de P total. En effet, le travail de conservation du sol a donné lieu à une hausse de 12 % de l'exportation de P total, en grande partie attribuable à l'exportation de P dissous dans le ruissellement nival.

Pour limiter cette exportation accrue de P dissous causée par l'accumulation de P dans les résidus et le sol de surface en raison du travail de conservation du sol, la culture avec travail intermittent du sol (travail à l'automne, tous les deux ans) a été évaluée à partir de 2008. Le travail intermittent du sol a réduit l'exportation de P, mais n'a pas augmenté l'exportation de N et de carbone, de sorte que l'exportation de N et de P n'était pas significativement différente entre le travail intermittent du sol et le travail conventionnel du sol.

Engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver

Les effets de l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver sur la quantité et la qualité (exportation de sédiments et d'éléments nutritifs et *E. coli*) de l'eau ont été évalués par une approche de bassins appariés à partir de 2008. Un champ a servi de site témoin, et l'autre de site d'essai.

Soixante-deux bovins adultes ont été parqués dans le champ d'essai durant 30 jours en novembre ou décembre une année sur deux. On les a nourris de fourrage déchiqueté et disposé en andains et on leur a fourni de l'eau et des abris contre le vent. Une clôture électrique confinait les bovins à l'intérieur du champ d'essai. Ils ont été amenés au parc d'engraissement confiné à l'intérieur de la cour en janvier pour le vêlage.

Des échantillons d'eau de ruissellement, de sol et de résidus ont été analysés pour déterminer les effets de la pratique sur la qualité de l'eau. Les résultats de l'étude ne sont pas encore connus, car une bonne partie des données collectées n'ont pas encore été analysées, mais les chercheurs espèrent que l'étude renseignera sur le comportement des éléments nutritifs et des pathogènes durant la saison de ruissellement nival et permettra de formuler des conseils et des recommandations sur cette pratique. L'étude se poursuit grâce à de nouveaux fonds de programme.

Gestion améliorée de la zone riveraine avec récolte mécanique du fourrage

Le ruissellement et les charges nutritives ont été comparés entre deux sous-bassins hydrographiques faisant l'objet de deux types de gestion de la zone riveraine. Une zone riveraine était gérée selon un plan de pâturage en rotation, dans lequel les bovins étaient gardés hors du sous-bassin après la mi-août. L'autre, à laquelle les bovins n'avaient pas accès, a été élargie et ensemencée en plantes fourragères, qu'on récoltait mécaniquement.

L'étude a été abandonnée après deux ans parce que le système s'est révélé plus complexe que prévu. Des contraintes de temps et de ressources ont empêché d'apporter au plan expérimental les modifications nécessaires pour déterminer l'efficacité de la PGB.

Méthodes biophysiques

En plus de surveiller le ruissellement, les chercheurs ont utilisé diverses méthodes d'échantillonnage et d'analyse pour évaluer l'efficacité des PGB et comprendre les cycles des éléments nutritifs et les processus par lesquels ces éléments passent dans l'eau de ruissellement.

- ***Échantillonnage des résidus*** – Les résidus végétaux ont été échantillonnés dans plusieurs champs afin d'évaluer leurs effets sur le ruissellement après un processus de gel-dégel. Les résultats ont confirmé que les cycles de gel-dégel durant l'hiver et le printemps dans les Prairies peuvent favoriser la libération de P soluble à partir des résidus végétaux. Ce P soluble peut rester à la surface du sol, être lessivé dans la colonne de sol ou être entraîné par le ruissellement. Ainsi, des pratiques comme le semis direct peuvent donner lieu à des charges nutritives considérables dans le ruissellement.
- ***Échantillonnage des sols*** – Les sols ont été échantillonnés dans les divers champs afin de suivre les changements des niveaux de fertilité entraînés par les PGB. Par exemple, le champ cultivé avec travail de conservation du sol a présenté des concentrations accrues de P, particulièrement dans la couche supérieure du sol. Des analyses plus poussées ont montré que le P était sous forme dissoute.
- ***Échantillonnage de la neige*** – Des relevés de l'enneigement et des échantillonnages de la neige ont été effectués dans plusieurs champs. Les résultats indiquent que moins de 10 % de la charge en éléments nutritifs du ruissellement provenait de la neige.
- ***Données climatiques*** – Une quantité limitée de données climatiques (notamment la pluviosité et la température de l'air mesurée à intervalles de cinq minutes) ont été recueillies. Ces données ont permis de mieux comprendre le cycle hydrologique et son effet sur le ruissellement des éléments nutritifs.

Autres études biophysiques

D'autres études ont été menées à l'aide du jeu de données sur le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, en conjonction avec la recherche menée dans le cadre du programme d'EPBH. Ces études, qui visaient à quantifier les effets des PGB sur la qualité de l'eau, ont permis de mieux comprendre les effets de divers facteurs sur l'efficacité des PGB.

- ***Effets cumulatifs de plusieurs PGB*** – La qualité de l'eau et le ruissellement à l'exutoire du sous-bassin Steppler ont été comparés aux mesures prises à l'exutoire d'un sous-bassin témoin, où aucune PGB n'avait été mise en œuvre. Dans le sous-bassin Steppler, deux PGB ont été évaluées individuellement : l'étang de retenue des eaux et la conversion des cultures annuelles en cultures fourragères. Les effets collectifs de trois autres PGB, soit la gestion des zones riveraines et des voies d'eau gazonnées, la gestion du pâturage et la gestion des éléments nutritifs, ont aussi été surveillés à l'exutoire du sous-bassin. Les deux exutoires ont également fait l'objet d'une surveillance de la qualité de l'eau et du ruissellement avant la mise en œuvre des PGB. Les PGB ont réduit les exportations totales de N et de P de 41 % et de 38 %. Parmi les PGB mises en œuvre, l'étang de retenue des eaux et la gestion des éléments nutritifs semblent expliquer la plus grande partie de la réduction des éléments nutritifs.
- ***Facteurs influant sur l'exportation d'éléments nutritifs à l'échelle du champ dans les eaux de ruissellement printanier*** – Les chercheurs ont évalué les facteurs déterminants des exportations de N et de P d'un petit sous-bassin hydrographique. Les résultats indiquent que les principaux facteurs qui déterminent les teneurs et les charges en éléments nutritifs sont ceux associés au volume du ruissellement (équivalent en eau de la neige, débit et durée du ruissellement).
- ***Caractérisation des sédiments*** – La mise au point de PGB efficaces pour réduire les effets néfastes sur la qualité de l'eau nécessite une bonne compréhension des sources de sédiments et du P associé dans les écosystèmes agricoles. Des échantillons de sédiments recueillis dans le ruisseau ont été comparés à ceux des profils des berges et des sols de surface dans les champs et les zones riveraines afin de déterminer les sources de sédiments et de P. Les résultats indiquent qu'environ 80 % des sédiments dans le bassin hydrographique provenaient de l'érosion fluviale et non de l'érosion des terres agricoles. Une étude semblable a été menée dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (Alberta) et a donné des résultats semblables. Des études en cours dans les bassins du programme EPBH au Québec et au Nouveau-Brunswick devraient aussi montrer qu'une grande part des sédiments charriés par les cours d'eau provient de processus fluviaux.
- ***Données et information précises sur les sols des sites d'EPBH*** – Des cartes des teneurs des sols en carbone organique, en N et en P ont été produites grâce à de nouvelles méthodes fondées sur la combinaison de données altimétriques numériques, de données d'analyse du relief et de données sur des propriétés du sol, comme sa texture. Les séries de sol dans le sous-bassin Steppler ont été cartographiées et utilisées de concert avec les données d'analyse du relief pour déterminer l'emplacement des échantillons de référence en vue des évaluations futures des effets des PGB, de la topographie et des propriétés du sol sur la qualité de l'eau.

La caractérisation des sédiments montre que la majeure partie des sédiments exportés du bassin proviennent de l'érosion fluviale et non de l'érosion des terres agricoles. Ce type de résultat est utile pour concevoir des PGB efficaces.

VOLET ÉCONOMIQUE

Des budgets d'entreprise, des fonctions de rendement et de coût et des modèles de simulation ont été élaborés pour le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud afin d'effectuer des analyses économiques des PGB. Une nouvelle technique du domaine de l'économie expérimentale a été utilisée pour évaluer la propension des producteurs à accepter une compensation en échange de l'adoption d'une PGB. Cette technique est décrite dans la section sur les aspects socioéconomiques plus loin.

Des budgets d'entreprise, des fonctions de rendement et de coût et des modèles de simulation ont été élaborés pour le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud afin d'effectuer des analyses économiques sur les PGB.

Conversion de cultures annuelles en cultures fourragères

Un modèle de simulation des cultures fourragères a été développé à l'aide de l'ensemble de données locales afin de générer différents scénarios avec cette PGB. Les résultats laissent croire que l'inclusion d'une culture fourragère dans la rotation des cultures réduit significativement le revenu annuel net moyen par rapport à une rotation blé-canola ou à une autre rotation semblable. L'inclusion d'une culture fourragère dans la rotation blé-canola a réduit certains coûts annuels moyens. Ainsi, les coûts des travaux du sol ont diminué d'environ 42 %, les coûts de carburant de 17 %, les coûts des intrants chimiques de presque 50 % et les coûts des engrais d'environ 30 %, grâce aux cultures de légumineuses fixatrices de N. Ces économies n'étaient cependant pas suffisantes pour compenser la baisse du revenu annuel tiré des cultures annuelles. La perte annuelle nette de l'adoption de la PGB varierait de 64 à 160 $/ha, selon la rotation pratiquée.

Des incitatifs financiers ou réglementaires pourraient être nécessaires pour encourager l'adoption de cette PGB. Toutefois, si la demande en fourrage et les prix augmentent, il pourrait devenir économiquement avantageux d'inclure une culture fourragère dans la rotation.

Étangs de retenue

L'analyse économique de la PGB a consisté à comparer les coûts fixes moyens et les coûts annuels d'entretien (vidange annuelle, entretien de clôture le cas échéant, élimination des boues, etc.) selon la taille de l'exploitation d'élevage, mesurée par le nombre de bovins passant l'hiver dans le parc d'engraissement. Si on ne tient compte que des coûts financiers, cette PGB imposerait des coûts fixes de plus de 450 $ par animal (ou d'environ 19 % par tête par an dans l'hypothèse d'un étang de retenue d'une durée de vie de 25 ans) pour les plus petits élevages (moins de 40 animaux), en plus des coûts d'entretien annuels moyens d'environ 5 $ par animal. Pour les élevages de 40 à 140 animaux, les coûts fixes sont de 125 à 145 $ par animal (environ 5 $ par tête par an), et les coûts d'entretien annuels, de 2,50 $ par animal. Pour les élevages plus grands, les coûts fixes sont de 45 à 85 $ par animal (2,80 $ par tête par an), et les coûts d'entretien annuels, de 2 $ par animal.

L'adoption de cette PGB coûterait trop cher aux petits élevages, même si on tient compte de l'amélioration de la qualité de l'eau. Les dépenses pourraient se justifier pour les grandes fermes d'élevage, qui sont donc plus susceptibles d'adopter cette PGB.

La règlementation provinciale concernant l'utilisation des eaux captées limite la possibilité d'irriguer l'eau des champs adjacents avec l'eau de l'étang de retenue. Il faudrait pomper l'eau de l'étang peu après sa captation pour faire de la place à l'eau du prochain épisode de ruissellement. Selon les résultats du modèle de simulation, l'irrigation avec l'eau stockée dans l'étang pourrait accroître les rendements en luzerne et en autres plantes fourragères de 10 % dans les conditions actuelles.

Petits réservoirs

L'analyse économique de cette PGB a consisté à en estimer les coûts et à évaluer certains des avantages théoriques des petits barrages et réservoirs.

Le coût estimé d'un barrage varie de 11 000 à 64 000 $ selon sa taille, pour une moyenne de 23 000 $. La valeur de remplacement actuelle des 26 barrages construits dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud est estimée à 600 000 $, sans tenir compte des avantages qu'ils procurent.

Voici certains des avantages possibles des petits barrages et réservoirs. Ils ont été évalués grâce à des données publiées concernant des bassins hydrographiques semblables :

- ***Source d'eau d'irrigation*** – Calculée selon le prix des cultures de 2012, la hausse potentielle du revenu brut par millimètre d'eau d'irrigation se chiffre à 3,50 $/ha pour le blé, à 7,80 $/ha pour le canola et à 3,38 $/ha pour l'avoine. Pour un déficit hydrique moyen des cultures de 80 mm, l'irrigation pourrait augmenter le revenu brut de 280 $/ha pour le blé et de 624 $/ha pour le canola. On peut raisonnablement supposer que 50 % de la capacité d'un barrage pourrait servir à l'irrigation, mais il faudrait que les coûts supplémentaires liés à l'irrigation soient de beaucoup inférieurs à ces valeurs pour justifier les avantages que procurerait l'irrigation. En fait, les réservoirs créés dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud ne servent pas à l'irrigation, et bon nombre d'entre eux n'ont pas été conçus pour stocker de l'eau à cette fin.
- ***Réduction des inondations*** – On a estimé que la valeur des barrages à réduire les inondations donnerait un délai de récupération d'environ 35 ans en supposant une valeur de 25 $/ha pour les dommages causés par une inondation (valeur publiée pour un bassin hydrographique semblable dans le Dakota du Nord). Cette valeur, valable surtout pour les champs de foin et les terres agricoles peu productives, serait plus élevée dans le cas de cultures annuelles.
- ***Réduction des sédiments*** – La valeur des petits réservoirs est attribuable en partie aux économies réalisées du fait de ne pas avoir à enlever les sédiments dans les fossés de drainage. Toutefois, dans ce bassin, environ 80 % des sédiments proviennent de l'érosion fluviale et non de l'érosion des champs. Les chercheurs n'ont pas trouvé de grandes quantités de sédiments au fond des réservoirs du bassin. La documentation indique que, là où les barrages de ce genre éliminent des quantités importantes de sédiments, la valeur de cet avantage est estimée à 1,85 $/ha.
- ***Activités récréatives*** – Le réseau de petits barrages procure peut-être des avantages sociaux, mais ceux-ci sont difficiles à quantifier. Ces avantages comprennent des valeurs éducatives, récréatives, esthétiques, spirituelles et des valeurs liées à la faune et à la qualité de vie. La valeur estimée de l'habitat faunique pour des milieux humides semblables dans le bassin

hydrographique de la rivière Rouge varie de 8 à 18 $/ha par an. Cette valeur pourrait aller jusqu'à 30 $/ha par an selon la taille et la fonction des barrages.

Travail de conservation du sol

Trois méthodes ont été utilisées pour examiner les aspects économiques des modifications de l'intensité du travail du sol : l'analyse des pratiques agronomiques signalées, l'élaboration de fonctions de rendement et de coût liées au degré de travail du sol et la création d'un modèle de simulation économique de la croissance des cultures qui calcule simultanément les effets du travail du sol sur 50 ans pour trois rotations de cultures. Le modèle indique qu'il serait financièrement plus avantageux pour les producteurs pratiquant la rotation céréale-oléagineux, courante dans la région, d'appliquer un régime de travail réduit du sol (un labour au printemps ou à l'automne). La plupart des producteurs dans le bassin hydrographique pratiquent le travail conventionnel ou réduit du sol, surtout en raison des coûts élevés de la machinerie requise pour le semis direct. Peu de producteurs recourent systématiquement au semis direct dans la région. Le revenu net accru que procure la culture avec travail réduit du sol incite des producteurs dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud à adopter cette méthode de travail du sol.

Les résultats de modélisation montrent qu'en comparaison avec le travail conventionnel du sol, le travail réduit accroît la teneur en matière organique du sol et qu'il réduit l'érosion et les émissions de dioxyde de carbone. Ainsi, en plus de réduire la consommation d'huile et de carburant, le passage du travail conventionnel du sol au travail réduit du sol ou aux semis direct pourrait réduire les émissions de gaz à effet de serre attribuables aux cultures annuelles.

Exportation d'éléments nutritifs

Les aspects économiques de l'exportation de N et de P ont été évalués à trois échelles : celle des deux sous-bassins appariés, celle du sous-bassin Steppler et celle du bassin du ruisseau Tobacco Sud. On a constaté que l'exportation d'éléments nutritifs était liée aux taux d'application d'engrais, au travail du sol et au débit. À l'exception de l'application de N (fertilisation), toutes les variables ont présenté une relation significative. L'accroissement de la quantité de P appliqué dans le bassin et l'adoption accrue de la pratique de semis direct ont tous les deux entraîné une hausse de l'exportation de P. La quantité totale de N appliqué n'a pas eu d'effet significatif, mais le travail du sol était positivement corrélé avec l'exportation de N.

La valeur de la perte d'éléments nutritifs a été établie comme la valeur de remplacement de ces éléments nutritifs, soit le coût d'achat d'engrais supplémentaire. En réalité, la perte d'éléments nutritifs ne peut être complètement évitée, même avec les meilleures PGB. Cette mesure donne néanmoins une idée du coût de renonciation associée à la perte d'éléments nutritifs. La valeur de cette perte a été estimée selon les prix des engrais de 2009 au Manitoba. La valeur de remplacement moyenne des éléments nutritifs exportés hors du bassin du ruisseau Tobacco Sud sur 10 ans s'est chiffrée à environ 7 $/ha par an, dont près de 90 % concernaient les pertes de N. Autrement dit, le bassin entier perd en moyenne 37 000 $ d'éléments nutritifs chaque année. Il faut remarquer que la valeur de remplacement n'inclut pas les coûts d'application d'engrais et qu'elle sous-estime les coûts réels de la perte d'éléments nutritifs puisqu'elle ne tient pas compte des coûts pour la société des dommages causés à l'environnement. L'effet du régime de travail du sol sur la valeur de remplacement a été estimé grâce aux données sur les sous-bassins appariés : la valeur annuelle moyenne de la perte d'éléments nutritifs, ou du coût de remplacement, était d'environ 5 $/ha pour le travail conventionnel du sol et de 3 $/ha pour le travail réduit du sol.

Engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver

Pour estimer l'avantage net du pâturage hivernal en champ avec balles de foin ou en andains par rapport à la stabulation en enclos, les économistes ont appliqué des valeurs publiées des coûts de fourrage et des gains de poids des bovins au nombre de vaches dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud. Dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, environ 965 vaches reproductrices pourraient être mises en pâturage en champ avec balles de foin durant environ 100 jours l'hiver. En multipliant les économies de coûts tirées des études publiées au nombre de vaches reproductrices dans le bassin, on calcule que le pâturage sur balles pourrait procurer un avantage net de 36 670 à 47 285 $ par an (soit de 38 à 49 $ par tête par an) aux éleveurs-naisseurs. Il faudra obtenir plus de données pour achever l'évaluation de cette PGB.

Gestion des zones riveraines

Le coût d'installation de clôtures a été estimé pour les champs de pâturage adjacents au cours d'eau. Les coûts élevés des clôtures, des abreuvoirs, des autres mesures de gestion et de la perte de terres cultivables pour l'aménagement de bandes tampons pourraient constituer des obstacles à l'adoption de la PGB. La gestion des zones riveraines peut procurer des avantages à la ferme, comme une amélioration de la santé des bovins ou une hausse de leurs gains de poids, et des avantages hors de la ferme, comme une réduction de l'érosion et de l'apport d'éléments nutritifs au cours d'eau. Des incitatifs financiers ou réglementaires seront sans doute nécessaires pour encourager l'adoption de cette PGB.

Des travaux de modélisation ont été entrepris pour simuler et évaluer l'efficacité des tampons riverains en fonction de leur largeur et des propriétés du paysage adjacent, notamment le type de sol ainsi que la longueur et la pente du terrain. Le modèle visait à optimiser la largeur du tampon, puis à appliquer des variables économiques pour déterminer les coûts et les avantages pour la ferme. Les travaux de modélisation ont toutefois cessé lorsque l'étude de cette PGB a été abandonnée.

Aspects socioéconomiques

Une étude du comportement des producteurs agricoles a été menée pour examiner les enchères de conservation (aussi appelées enchères inversées) comme outil pour encourager les producteurs à adopter des PGB afin d'atteindre des objectifs de qualité de l'eau. Les chercheurs ont évalué la capacité financière des producteurs à adopter des PGB et les caractéristiques comportementales qui influent sur leurs décisions de les adopter ou non.

Différentes méthodes d'enchères ont été évaluées dans cette étude d'économie expérimentale. Les chercheurs ont étudié des enchères soumises à une contrainte budgétaire et adaptées au bassin du ruisseau Tobacco Sud. Ils ont également utilisé une étude de cas de restauration de milieux humides pour examiner une contrainte cible devant être respectée par les soumissionnaires, plutôt qu'une contrainte budgétaire. Ils ont comparé divers budgets et diverses cibles.

Dans une expérience, on a donné des renseignements sur la PGB de l'étang de retenue à des étudiants tenant le rôle de producteurs agricoles dans le bassin. Le budget fictif de l'adoption de la PGB dans l'expérience était de 56 232 $. Les résultats indiquent que les soumissionnaires retenus ont déterminé que le coût annuel de la réduction du P variait de 150 à 315 $/kg.

L'étude est décrite en détail au chapitre 3 et au chapitre 5.

VOLET DE MODÉLISATION

Modélisation hydrologique

L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a servi à extrapoler les résultats biophysiques, de l'échelle du sous-bassin à celle du bassin hydrographique, afin de donner une vision plus large des effets des PGB. Les modélisateurs ont apporté de nombreuses modifications pour adapter le modèle aux conditions froides des Prairies et améliorer ses capacités de modélisation des PGB étudiées dans le bassin. Désignée CanSWAT, cette version améliorée du modèle SWAT comprend de meilleurs algorithmes de redistribution de la neige, de sol gelé et de la fonte des neiges, ainsi que des modules pour cinq PGB étudiées dans le bassin, soit les petits barrages, les étangs de retenue, le travail de conservation du sol, la conversion en cultures fourragères et la gestion des pâturages riverains. Des données agronomiques et environnementales locales et à long terme (données sur les débits, les sédiments et les éléments nutritifs) ont servi à étalonner et à valider le modèle CanSWAT pour le bassin.

Le modèle CanSWAT a simulé le débit et les charges en sédiments et en éléments nutritifs du cours d'eau à l'exutoire du bassin. Les résultats d'étalonnage et de validation du modèle montrent que celui-ci peut représenter les processus hydrologiques dans le bassin et reproduire le débit et la charge en polluants à l'échelle du sous-bassin et du bassin.

La comparaison entre les résultats et les données de surveillance indique que les résultats du modèle CanSWAT étaient très bons pour l'exutoire du bassin et acceptables pour les sous-bassins en amont et les stations en bordure de champs. Ainsi, le modèle permet d'évaluer les PGB tant à l'échelle du bassin qu'à celle des sous-bassins.

De plus, un modèle hydrologique distribué fondé sur des cellules, appelé imWEBs (modélisation intégrée pour l'évaluation des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques), a été développé pour évaluer les effets des PGB à l'échelle du champ et de la ferme. Ce modèle a été mis à l'essai pour le sous-bassin Steppler (à pas de temps horaire). Les restrictions sur les données horaires (précipitations et température) ont posé une grande contrainte à l'amélioration de l'efficacité du modèle. Les résultats du modèle étaient raisonnables à l'exutoire du sous-bassin, mais mauvais pour certaines stations de surveillance dans le sous-bassin.

Les modèles CanSWAT et imWEBs se complètent l'un l'autre, ce qui procure l'avantage d'une caractérisation détaillée des conditions du site tout en offrant la possibilité d'extrapoler les simulations des effets des PGB à l'échelle de grands bassins hydrographiques.

Modélisation hydrologique et économique intégrée

Un modèle hydroéconomique intégré avec une interface SIG (système d'information géographique) a été mis au point et appliqué au bassin du ruisseau Tobacco Sud afin d'examiner de façon interactive les coûts et les avantages des scénarios de mise en œuvre de PGB. Un modèle économique agricole a été intégré avec le modèle CanSWAT afin de permettre à l'utilisateur d'évaluer les effets environnementaux et économiques des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques.

Le modèle hydrologique SWAT a été adapté aux conditions froides des Prairies et intégré avec un modèle économique afin d'évaluer les effets environnementaux et économiques des PGB dans ce bassin hydrographique.

Cet outil d'aide à la décision aide à déterminer quelle combinaison de PGB améliorerait le plus la qualité de l'eau au moindre coût, tant à la ferme qu'en aval. Les producteurs et le groupe local chargé de la conservation du bassin peuvent tirer profit de cet outil de modélisation libre et gratuit pour la gestion des PGB et la prise de décision connexe. Certains chercheurs ont commencé à adapter ce modèle aux conditions locales dans d'autres bassins du Manitoba.

La modélisation intégrée dans ce bassin hydrographique est décrite en détail au chapitre 5.

CONCLUSIONS

Le projet du bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud a permis d'acquérir des connaissances utiles sur l'efficacité des PGB sur les plans environnemental et économique. Il a montré que plusieurs PGB ainsi que les effets cumulatifs de PGB multiples ont procuré d'importants avantages environnementaux en réduisant les charges d'éléments nutritifs et de sédiments.

L'analyse économique a montré que le travail de conservation du sol, les petits réservoirs et le pâturage hivernal sur balles de foin procureraient des avantages supérieurs aux coûts de mise en œuvre de ces PGB. Il faudrait sans doute des incitatifs financiers ou réglementaires pour encourager les producteurs à adopter d'autres PGB.

La modélisation hydrologique a été effectuée avec succès dans le bassin grâce à des données agronomiques et environnementales locales à long terme et à des modifications pour tenir compte des conditions froides des Prairies. Un outil de modélisation hydrologique et économique intégré a été mis au point pour examiner les coûts et les effets sur la qualité de l'eau de divers scénarios de mise en œuvre de PGB à différentes échelles.

TÉMOIGNAGE D'UN PARTENAIRE

Jane Elliott (Ph. D.)
Environnement Canada
Saskatoon (Saskatchewan)

Davantage de possibilités de recherche grâce aux données à long terme

Jane Elliott est enthousiasmée par les collaborations et les données à long terme du projet d'EPBH du ruisseau Tobacco Sud. « La participation à ce projet a grandement profité à mon programme de recherche; en tant que membre de l'équipe multidisciplinaire, j'ai élargi mes connaissances et appris à voir le système comme un tout plutôt que de ne voir que la partie sur laquelle je me concentre », explique-t-elle.

M^me^ Elliott croit que les données à long terme de qualité recueillies dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud constituent une merveilleuse ressource pour les chercheurs. L'équipe de recherche a pu non seulement évaluer les PGB, mais aussi se servir des données historiques pour étudier les processus à l'origine de la perte d'éléments nutritifs. Les projets de recherche complémentaires comprennent une étude du rôle que jouent la végétation et les résidus de culture dans les apports d'éléments nutritifs au ruissellement nival et une évaluation des facteurs qui déterminent la perte d'éléments nutritifs à la fonte des neiges.

D'autres chercheurs qui ne participent pas directement au projet se servent également des données pour établir le contexte de leurs études et mettre à l'essai des modèles hydrologiques et des modèles de qualité de l'eau. Selon M^me^ Elliott, « plus il y a de personnes qui utilisent les données, plus nous en apprendrons sur le fonctionnement du système, et cela nous aidera à déterminer quelles pratiques agricoles favorisent la qualité de l'eau ».

Le projet du bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud profite de données à long terme de qualité.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

La recherche sur les PGB se poursuit dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*; l'évaluation de plusieurs PGB est presque terminée. Le vaste réseau de surveillance et les données historiques multidisciplinaires recueillies s'avéreront inestimables pour les études à venir.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Jane Elliott (Environnement Canada); Don Flaten, David Lobb, Kevin Tiessen, Sheng Li et Kui Liu (Université du Manitoba); David Green (Conservation et Gestion des ressources hydriques Manitoba); Bill Turner, Don Cruikshank, Kelvin Hildebrandt et Cliff Hamilton (Deerwood Soil and Water Conservation Association); Dale Timmerman (AAC); Mike Stainton (Pêches et Océans Canada); Dana Hill et Marla Riekman (Agriculture, Alimentation et Développement rural Manitoba); Pascal Badiou (Canards Illimités Canada); Dale et Caroline Steppler, Gordon Orchard et d'autres producteurs locaux; étudiants participants.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU RUISSEAU TOBACCO SUD

Barthod, L.R.M., K. Liu, D.A. Lobb, P.N. Owens, N. Martínez-Carreras, A.J. Koiter, E.L. Petticrew, G.K. McCullough, C. Liu et L. Gaspar. 2015. Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamics using sediment source fingerprinting. *J Environ Qual*, 44(5):1605-1616.

Boxall, P.C., O. Perger et M. Weber. 2013. Reverse auctions for agri-environmental improvements: bid-selection rules and pricing for beneficial management practice adoption. *Analyse de politiques*, 39(s2):23-36.

Khakbazan, M., et C. Hamilton. 2012. Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba. *Soil Till Res*, 118:40-51.

Khakbazan, M., C. Hamilton, J. Elliott et J. Yarotski. 2013. Economic analysis of agricultural nutrient management practices in the South Tobacco Creek Watershed in Manitoba, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(4):257-269.

Kits, G., W.L. Adamowicz et P.C. Boxall. 2014. Do conservation auctions crowd out voluntary environmentally friendly activities? *Ecol Econ*, 105:118-123.

Koiter, A.J. D.A. Lobb, P.N. Owens, E.L. Petticrew, K.H.D. Tiessen et L. Sheng. 2013. Investigating the role of connectivity and scale in assessing the sources of sediment in an agricultural watershed in the Canadian Prairies using sediment source fingerprinting. *J Soils Sediments*, 13:1676-1691.

Li, S., J.A. Elliott, K.H.D. Tiessen, J. Yarotski, D.A. Lobb et D.N. Flaten. 2011. The effects of multiple beneficial management practices on hydrology and nutrient losses in a small watershed in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 40(5):1627-1642.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2013. Critical factors affecting field-scale losses of nitrogen and phosphorus in spring snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 42(2):484-496.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Conversion of conservation tillage du sol to rotational tillage to reduce phosphorus losses during snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 43:1679-1689.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Nutrient and sediment losses in snowmelt runoff from perennial forage and annual cropland in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 43:1644-1655.

Liu, Y, W. Yang, Z. Yu, I. Lung et B. Gharabaghi. 2015. Estimating sediment yield from upland and channel erosion at a watershed scale using SWAT. *Water Resour Manag*, 29:1399-1412.

Liu, Y.B., H. Shen, W. Yang et J. Yang. 2013. Optimization of agricultural BMPs using a parallel computing based multi-objective optimization algorithm. *Int J Environ Resour Res*, 1(1):39-50.

Liu, Y.B., W. Yang et X. Wang. 2008. Development of a SWAT extension module to simulate riparian wetland hydrologic processes at a watershed scale. *Hydrol Process*. 22(16):2901-2915.

Liu, Y.B., W. Yang, B. Gharabaghi, J.Z. Liu, H. Wu et J. Yarotski. 2012. Characterizing snow redistribution in SWAT for simulating spatially distributed snowmelt runoff in cold regions. *Nonlinear Science Letters C*, 2(1):1-8.

Liu, Y.B., W. Yang, Z.Q. Yu, I. Lung, J. Yarotski, J.A. Elliott et K.H.D. Tiessen. 2014. Assessing effects of small dams on stream flow and water quality in an agricultural watershed. *J Hydrol Eng*, 19(10):05014015.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, J. Yarotski, D.A. Lobb, D.N. Flaten et N.E. Glozier. 2010. Conventional and conservation tillage – influence on seasonal runoff, sediment and nutrient losses in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 39(3):964-980.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, M. Stainton, J. Yarotski, D.N. Flaten et D.A. Lobb. 2011. The effectiveness of small-scale headwater storage dams and reservoirs on stream water quality and quantity in the Canadian Prairies. *J Soil Water Conserv*, 6(3):158-171.

Yang, W., A. Rousseau et P.C. Boxall. 2007. An integrated economic-hydrologic modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *J Soil Water Conserv*, 62(6):423-432.

Yang, W., W. Liu, Y.B. Liu, R.C. Corry et R.D. Kreutzwiser. 2014. Cost-effective targeting of riparian buffers to achieve water quality and wildlife habitat benefits. *Int J of River Basin Management*, 12(1):43-55.

CHAPITRE
12

Bassin hydrographique de la Nation Sud (Ontario)

Responsable du bassin hydrographique : David Lapen (AAC)
Économiste de site : Philippe Crabbé (Université d'Ottawa)
Spécialiste de la modélisation hydrologique du site : David Lapen (AAC)

FAITS SAILLANTS

- ***Drainage souterrain contrôlé*** – Le drainage souterrain contrôlé a amélioré la qualité de l'eau de surface en réduisant considérablement les charges en ammonium, en nitrates et en phosphore (P) total du cours d'eau. Grâce aux rendements accrus des cultures, les coûts d'installation des dispositifs de contrôle pourraient être amortis au bout de trois ou quatre ans seulement. Procurant à la fois des avantages environnementaux et des gains économiques, cette PGB constitue un véritable exemple d'une situation gagnant-gagnant.
- ***Clôtures d'exclusion des bovins*** – Ces clôtures permettent de réduire considérablement les charges en éléments nutritifs et en bactéries du cours d'eau et d'améliorer la végétation riveraine, les habitats fauniques et la morphologie du cours d'eau. On a toutefois détecté une hausse de la charge d'agents pathogènes, sans doute en raison de la présence accrue du rat musqué dans la zone d'exclusion des bovins. Il s'agit là d'un exemple d'effet confondant qui se produit parfois dans le milieu naturel. Si les clôtures d'exclusion des bovins procurent des avantages environnementaux, leur adoption nécessiterait des incitatifs ou une règlementation.

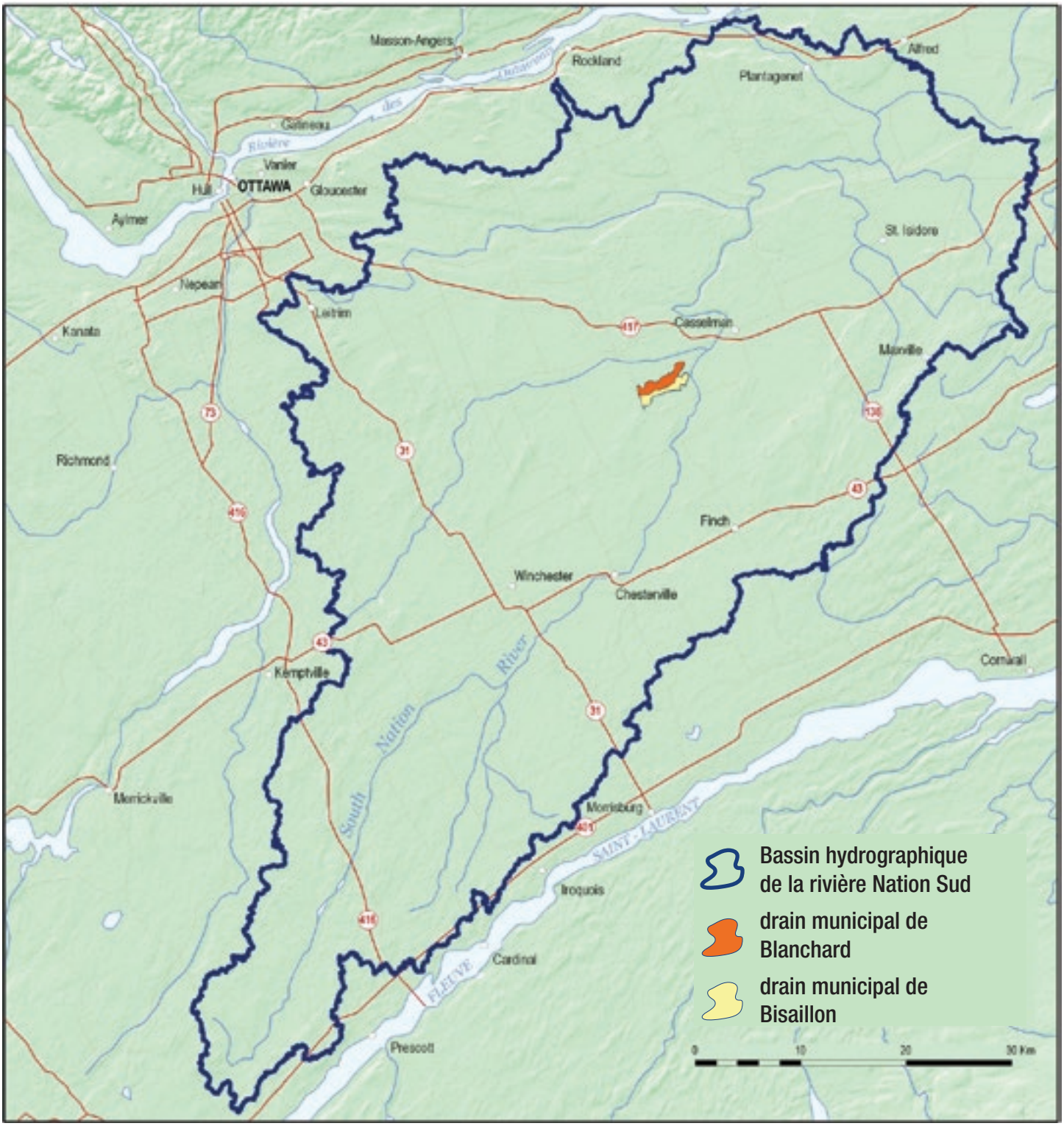


FIGURE 15
Bassin hydrographique de la Nation Sud

CONTEXTE ET ENJEUX

Drainant une superficie d'environ 3 900 km^2 dans l'est de l'Ontario, la rivière Nation Sud prend naissance juste au nord du fleuve Saint-Laurent, près de la ville de Brockville (Ontario), et coule vers le nord pour se jeter dans la rivière des Outaouais, près de Plantagenet. Le bassin hydrographique de la Nation Sud (figure 15) est une région agricole très productive; mélange d'élevages et de cultures commerciales, l'agriculture occupe environ 60 % du bassin,

surtout dans des champs plats drainés par des canalisations souterraines.

La contamination de la rivière Nation Sud par les éléments nutritifs et les bactéries a été rapportée aux activités agricoles.

L'efficacité des deux PGB a été évaluée dans deux microbassins adjacents appariés situés dans le bassin de la Nation Sud, soit les microbassins du drain municipal Blanchard (480 ha) et du drain municipal Bisaillon (230 ha).

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des deux PGB suivantes :

- drainage souterrain contrôlé;
- clôtures d'exclusion des bovins (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau).

Description des PGB et résultats

Drainage souterrain contrôlé

La plupart des champs de l'est de l'Ontario sont dotés d'un système de drainage souterrain, c'est-à-dire d'un réseau de tuyaux perforés installés dans le sol pour drainer l'eau souterraine afin d'éviter que le sol ne devienne trop mouillé pour la croissance de la culture. Le drainage souterrain contrôlé comprend des dispositifs de contrôle qui élèvent la hauteur de l'exutoire de façon à accroître la rétention de l'eau souterraine et des éléments nutritifs dans le champ afin de favoriser la croissance de la culture tout en empêchant les éléments nutritifs en excès de s'écouler vers les cours d'eau à proximité.

Les effets du drainage souterrain contrôlé ont été surveillés par une approche de bassins appariés dans les deux microbassins adjacents. Plus de 90 dispositifs de contrôle du drainage souterrain ont été installés dans le bassin traité (microbassin Blanchard, d'une superficie de 480 ha) sur une période de quatre ans et assurent la régularisation d'environ 80 % du drainage. Aucun dispositif de contrôle n'a été installé dans le bassin témoin (microbassin Bisaillon).

Au début du printemps, les dispositifs de contrôle ont été abaissés afin de permettre à l'eau de s'écouler librement pour améliorer l'aération du sol jusqu'à ce que les cultures soient ensemencées ou bien établies. Les dispositifs de contrôle ont ensuite été haussés pour restreindre le drainage dans le bassin traité.

Les effets du drainage souterrain contrôlé sur la quantité et la qualité de l'eau ont été étudiés de 2006 à 2011, principalement en évaluant les charges en azote (N) et P, le rendement des cultures et l'hydrologie souterraine. Les effets sur la qualité de l'eau de surface ont été surveillés en bordure de champ (sorties des drains) et dans le cours d'eau, notamment à l'exutoire du microbassin.

Perte d'éléments nutritifs

Cette PGB a réduit significativement la perte d'éléments nutritifs dans l'eau s'écoulant à la sortie des drains durant la saison de croissance. Les charges en ammonium, en nitrates et en P total de l'eau provenant des champs à drainage souterrain contrôlé ont été réduites respectivement en moyenne de 56 %, de 59 % et de 37 % pour les champs de maïs et de 72 %, de 46 % et de 51 % pour les champs de soja, par rapport aux champs témoins dont les cultures étaient gérées de façon semblable.

Rendement des cultures

Les rendements des cultures de huit champs situés dans le bassin traité ont été estimés de 2005 à 2009 (cinq ans pour le maïs et trois ans pour le soja). La région a connu toute une gamme de conditions climatiques durant cette période. Les rendements ont augmenté modestement, d'environ 5 % pour le maïs et de 3 % pour le soja, dans les champs traités par rapport aux champs témoins, sans doute en raison de l'absorption accrue d'éléments nutritifs par les cultures lorsque les dispositifs de contrôle du drainage ont retenu l'eau riche en éléments nutritifs dans les champs.

Les chercheurs se sont également servis de la télédétection par satellite pour évaluer la réponse des cultures au drainage souterrain contrôlé de 2005 à 2008. Les résultats semblent indiquer une croissance plus uniforme des cultures et une plus grande biomasse dans les champs à drainage souterrain contrôlé que dans les champs à drainage souterrain non contrôlé.

Les cours d'eau et le rendement des cultures ont fait l'objet de suivis pour déterminer les effets du drainage souterrain contrôlé.

Hydrologie souterraine

Les pertes totales d'eau souterraine des champs à drainage souterrain contrôlé durant la saison de croissance ont été comparées à celles des champs à drainage souterrain non contrôlé. Les résultats montrent que le contrôle a substantiellement réduit l'écoulement souterrain et l'exportation d'éléments nutritifs (N et P) dans l'eau de drainage. Toutefois, le drainage souterrain contrôlé pourrait accroître les pertes de N par d'autres voies, comme les émissions gazeuses et la migration d'eau souterraine. Tant la migration latérale de N dans l'eau souterraine vers les fossés que la migration verticale de N dans l'eau souterraine ont augmenté significativement dans les champs à drainage souterrain contrôlé.

Clôtures d'exclusion des bovins (et abreuvoirs à l'écart des cours d'eau)

L'accès des bovins aux cours d'eau peut nuire à la qualité de l'eau en accroissant ses teneurs en éléments nutritifs, en sédiments et en bactéries. Les effets physiques des bovins peuvent influer sur l'hydrologie du bassin, la morphologie du cours d'eau, la compaction du sol, la végétation, la fonction écologique du cours d'eau et les habitats aquatiques. Les PGB qui gardent les bovins à l'écart des eaux de surface, comme des clôtures, peuvent améliorer la qualité de l'eau ou l'empêcher de se dégrader davantage. Ces PGB réduisent les apports directs de matières fécales au cours d'eau et peuvent réduire sa charge en contaminants provenant du ruissellement sur les terres adjacentes. Il faut comprendre les effets de l'accès des bovins aux cours d'eau sur la qualité de l'eau pour mieux gérer celle-ci.

De 2005 à 2009, un plan expérimental amont-aval a été employé pour comparer la qualité de l'eau (teneurs en éléments nutritifs et en microbes) entre un tronçon d'aval (longueur de 356 m) clôturé et un tronçon d'amont (longueur de 348 m) sans clôture d'un ruisseau intermittent qui traversait un petit pâturage où parquaient environ 2,5 bovins par hectare). Les clôtures empêchaient le bétail de s'approcher à moins de 3 à 5 m du ruisseau, mais les bêtes pouvaient accéder librement au tronçon non clôturé. Un petit pont permettait aux bovins de paître des deux côtés du ruisseau, et ils avaient accès à des abreuvoirs.

L'installation de clôtures d'exclusion des bovins améliore la qualité de l'eau, la végétation riveraine, les habitats fauniques et la morphologie du ruisseau, mais pourrait accroître la contamination de l'eau par des pathogènes provenant de la faune.

Les teneurs en éléments nutritifs et en microorganismes fécaux ont été mesurées dans des échantillons d'eau prélevés dans les deux tronçons. On a procédé au dépistage des sources de contamination microbienne pour déterminer l'origine des sources fécales.

L'étude a montré que les charges d'éléments nutritifs et de bactéries étaient significativement plus faibles dans le tronçon clôturé que dans le tronçon non clôturé et que la végétation riveraine, les habitats fauniques et la morphologie du ruisseau s'étaient améliorés dans le tronçon clôturé. Par contre, il y avait plus de matières fécales d'animaux sauvages dans ce tronçon, sans doute parce que ces animaux y étaient plus présents.

Autres études biophysiques

Comme on s'attendait à ce que les changements de la qualité de l'eau soient difficiles à déceler, particulièrement à court terme, plusieurs méthodes de recherche ont été employées. Elles ont permis de quantifier les effets de PGB sur la qualité de l'eau et d'autres paramètres biophysiques et de mieux connaître les effets de divers facteurs sur l'efficacité des PGB.

- ***Gaz à effet de serre*** – Le drainage souterrain contrôlé promet d'accroître le rendement des cultures et d'améliorer la qualité de l'eau, mais il peut aussi accroître les émissions de gaz à effet de serre. Une étude a été menée pour comparer les flux de méthane, d'oxyde d'azote et de dioxyde de carbone d'un sol loameux-limoneux cultivé en maïs et en soja avec drainage souterrain contrôlé ou non contrôlé. Le sol a constitué un puits de méthane dans la plupart des cas, mais il a parfois constitué une source de méthane dans les

champs à drainage souterrain contrôlé. Un modèle a servi à prédire les flux de N du sol provenant de la dénitrification et de la nitrification. Selon les résultats, les émissions de N étaient significativement plus élevées dans les champs à drainage souterrain contrôlé que dans les champs à drainage souterrain non contrôlé, ce qui porte à croire que des facteurs physiques, comme l'espace interstitiel rempli d'eau, imposés par le drainage souterrain contrôlé peuvent influer sur les flux de N. Les flux de carbone étaient également plus élevés dans les champs à drainage souterrain contrôlé, peut-être parce que la nappe phréatique y était moins profonde.

- ***Signatures isotopiques de l'azote*** – Les signatures isotopiques ont été examinées pour évaluer le recyclage du N dans les champs à drainage souterrain contrôlé ou non contrôlé. Les résultats montrent que le N restait plus longtemps dans l'eau souterraine dans les champs à drainage souterrain contrôlé, ce qui indique que la PGB réduisait l'exportation de nitrates vers l'eau de surface.
- ***Surveillance microbienne*** – Les effets des pratiques de gestion du drainage souterrain sur la qualité microbienne de l'eau ont été étudiés afin de mieux comprendre les risques pour la santé publique liés aux espèces de bactéries qui causent la campylobactériose humaine, une maladie gastro-intestinale qui peut être transmise par des sources environnementales. Après deux ans de surveillance microbienne, il a été constaté que les concentrations moyennes de ces bactéries étaient plus élevées dans le bassin à drainage souterrain contrôlé que dans le bassin à drainage souterrain non contrôlé. Cette situation est peut-être attribuable à une dilution réduite dans le ruisseau. Par contre, les charges en *Campylobacter* étaient plus faibles dans le bassin à drainage souterrain contrôlé, mais les résultats ne sont pas statistiquement significatifs.

Les effets des pratiques de gestion du drainage souterrain sur la qualité microbienne de l'eau ont été étudiés afin de mieux comprendre les risques pour la santé publique.

VOLET ÉCONOMIQUE

L'analyse économique à la ferme a consisté à utiliser les budgets d'entreprise et les budgets provinciaux pour évaluer la situation financière des producteurs dans l'aire d'étude avant l'adoption des PGB ainsi que les coûts de la mise en œuvre des PGB pour les exploitations agricoles. Une enquête a été menée auprès des producteurs pour obtenir des renseignements sur leur situation financière. Il s'agissait de déterminer si les exploitations pourraient assumer les coûts de mise en œuvre des PGB.

Les économistes ont également étudié les avantages à l'échelle du bassin hydrographique de la mise en œuvre du drainage souterrain contrôlé, ainsi que les facteurs qui influent sur l'adoption du drainage souterrain contrôlé.

Drainage souterrain contrôlé

Durant la période de l'étude (2005–2009), les 14 champs à drainage souterrain contrôlé ont présenté une hausse de rendement moyenne de 3 % pour le maïs et de 4 % pour le soja. Le revenu annuel net moyen était de 48 $/ha pour le maïs et de 18 $/ha pour le soja, alors que le coût annuel de cette pratique a été estimé à 30 $/ha. La plupart des années, les hausses de rendement étaient plus que suffisantes pour couvrir les coûts d'installation et d'exploitation des dispositifs de contrôle du drainage en quelques années après l'installation. Les économistes ont estimé que le délai de récupération peut n'être que de trois à quatre ans si le producteur ne reçoit pas d'incitatif pour le partage des coûts.

Les économistes ont également estimé la valeur nette actuelle qu'aurait la PGB si elle était mise en œuvre dans toutes les terres agricoles qui s'y prêtent dans l'ensemble du bassin hydrographique de la Nation Sud. Ils se sont ensuite servis d'un multiplicateur de sortie pour estimer que la PGB pourrait générer plus de 4 millions de dollars (de 2006) d'activité économique en Ontario. Ils ont également estimé, d'après l'analyse de la disposition à payer pour la qualité de l'eau douce, que les avantages hors ferme se chiffreraient à 440 000 $ par an. Ces avantages comprennent une meilleure qualité de l'eau pour la consommation domestique et les utilisations récréatives, ainsi qu'une plus grande biodiversité aquatique.

Bien que le drainage souterrain contrôlé procure des avantages économiques et environnementaux documentés, la pratique n'est pas largement adoptée. Dans une étude fondée sur une enquête et des entrevues, on a examiné les motivations et obstacles à son adoption dans le bassin de la Nation Sud. Il semble que les producteurs seraient prêts à adopter la PGB s'il était démontré qu'elle procurerait toujours une hausse des rendements ou un avantage sur le plan de la rétention des éléments nutritifs. Si on leur faisait la preuve d'un rendement modéré du capital à court terme, les producteurs adopteraient le drainage souterrain contrôlé sans incitatifs ni règlementation. Les entrepreneurs en drainage ont recommandé d'effectuer davantage de recherches à l'échelle locale pour montrer l'utilité de la pratique et d'élaborer des lignes directrices de conception des réseaux de drainage souterrain.

En plus d'effectuer une analyse économique à la ferme, les économistes ont étudié les avantages à l'échelle du bassin hydrographique de la mise en œuvre du drainage souterrain contrôlé.

Clôtures d'exclusion des bovins

Les clôtures d'exclusion des bovins coûtent cher à installer (coûts variant de 9 $ à 25 $/m, selon le type de clôture). Or, les coûts d'installation et d'entretien des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau sont relativement faibles.

Selon des renseignements de la province, les fermes d'élevage bovin étaient en difficulté et il était peu probable qu'elles adoptent la PGB. Les exploitations agricoles mixtes dans la région avaient également de faibles revenus. Les fermes laitières étaient en meilleure position financière, mais les producteurs laitiers ne jugeaient souvent pas nécessaire d'exclure les bovins des zones riveraines. Ainsi, des incitatifs financiers ou réglementaires seront sans doute nécessaires pour encourager l'adoption de cette PGB. Dans bien des cas, l'exclusion partielle des bovins des zones sensibles pourrait suffire, plutôt qu'une exclusion complète.

VOLET DE MODÉLISATION

La PGB du drainage souterrain contrôlé dans le bassin hydrographique de la Nation Sud a d'abord été modélisée au moyen de modèles unidimensionnels modifiés de l'écoulement d'eau dans le sol pour caractériser les processus d'écoulement dans les tuyaux souterrains et les effets de la gestion du drainage souterrain et pour modéliser les concentrations et les charges en pesticides dans l'eau de drainage. Des essais ont été réalisés en Suède, où le modèle a été mis au point, et en Ontario, où on a utilisé les données obtenues en Suède. Un résultat notable de ce travail de modélisation a été la mise en évidence d'une baisse rapide du débit de drainage après un épisode de pluie.

Deux modèles ont par la suite été utilisés pour déterminer dans quelle mesure la mise en œuvre du drainage souterrain contrôlé dans l'ensemble du bassin de la Nation Sud permettrait d'améliorer la qualité de l'eau. Le modèle annualisé de pollution agricole diffuse AnnAGNPS (Annualized AGricultural Non-Point Source) a été étalonné et validé avec succès au moyen de données locales, et les valeurs calculées se comparaient avantageusement avec les valeurs publiées typiques. L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a également été modifié pour rendre compte des effets de la gestion du drainage souterrain.

La modélisation a montré que le contrôle du drainage souterrain durant la saison de culture améliorerait considérablement la qualité de l'eau de surface et réduirait le ruissellement et l'exportation de sédiments.

Les résultats montrent que le contrôle du drainage souterrain durant la saison de culture améliorerait considérablement la qualité de l'eau de surface en réduisant les pertes de N des champs. Des réductions du ruissellement et de l'exportation de sédiments ont aussi été détectées.

En outre, l'hydrologie du site d'étude a été simulée au moyen du modèle DRAINMOD-N pour évaluer dans quelle mesure la migration latérale et la migration verticale de l'eau dans le sol contribuent à réduire les débits dans un réseau de drainage souterrain contrôlé. Enfin, le modèle NEMIS-NOE a servi à prédire les flux d'oxyde d'azote dans l'étude sur les gaz à effet de serre.

La PGB des clôtures d'exclusion des bovins n'a pas été modélisée dans la présente étude.

CONCLUSIONS

Le projet Nation Sud a examiné la performance économique et environnementale de deux PGB en vue de résoudre des problèmes de qualités de l'eau dans la région.

Le drainage souterrain contrôlé a amélioré la qualité de l'eau et le rendement des cultures. Par contre, cette pratique réduit le débit de drainage, ce qui peut accroître les pertes de N (par émissions gazeuses ou par migration d'eau dans le sol) et les concentrations de certains microorganismes.

La PGB s'est avérée rentable à la ferme et pourrait accroître l'activité économique hors ferme dans la province.

S'appuyant sur ces travaux d'EPBH, la Société d'aménagement de la rivière Nation-Sud et la Ville d'Ottawa ont inclus le drainage souterrain contrôlé à la liste des PGB admissibles au partage des frais dans leur programme respectif d'assainissement de l'eau. Le gouvernement de l'Ontario a également ajouté la pratique à sa liste des PGB approuvées, ce qui confirme que les résultats du projet sont pertinents et utiles.

L'installation de clôtures d'exclusion des bovins a amélioré la qualité de l'eau, la végétation riveraine, les habitats fauniques et la morphologie du ruisseau, mais pourrait accroître la contamination de l'eau par des pathogènes provenant de la faune. Il s'agit là d'un exemple d'effet confondant qui se produit parfois dans le milieu naturel. Cette PGB coûte cher, et son adoption nécessiterait un incitatif financier ou une règlementation.

La modélisation du drainage souterrain contrôlé révèle que la PGB peut améliorer considérablement la qualité de l'eau de surface et réduire le ruissellement et l'exportation de sédiments.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

La recherche et la modélisation concernant les effets sur la qualité de l'eau et d'autres aspects environnementaux des PGB étudiées se poursuivent dans le bassin hydrographique de la Nation Sud grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*. Le vaste réseau de surveillance et les données historiques multidisciplinaires recueillies s'avéreront inestimables pour les études à venir.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Josée Brizard et Ronda Boutz (South Nation Conservation), autres membres du comité directeur du programme d'EPBH de la Nation Sud, ainsi qu'étudiants et producteurs participants.

TÉMOIGNAGE D'UN PRODUCTEUR PARTICIPANT

Christian Laflèche
Producteur laitier
St-Albert (Ontario)

Gagnant-gagnant, le drainage souterrain contrôlé

Voici ce qu'avait à dire Christian Laflèche, producteur laitier de St-Albert (Ontario) qui participe au projet d'EPBH de la Nation Sud depuis le début, au sujet du drainage souterrain contrôlé : « Nous utilisons ce système dans nos champs depuis quelques années maintenant, et il semble fonctionner à merveille. Notre rendement en maïs a légèrement augmenté, ce qui nous permettra probablement de récupérer le coût d'installation des dispositifs de contrôle en quelques années. C'est vraiment une situation gagnant-gagnant pour notre ferme et le milieu environnant ».

Les dispositifs de contrôle se sont avérés économiquement avantageux pour les producteurs en raison du rendement accru des cultures.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA NATION SUD

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, J.T. Tambong, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of three Arcobacter strains of pig and dairy cattle manure origin. Genome Announc, 2(3):e00377-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequence of Arcobacter cibarius Strain LMG21996T isolated from broiler carcasses. Genome Announc, 2(1):e00034-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of two Arcobacter strains isolated from human feces. Genome Announc, 2(2):e00113-14.

Cicek, H., M. Sunohara, G. Wilkes, H. McNairn, F. Pick, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Using vegetation indices from satellite remote sensing to assess corn and soybean response to controlled tile drainage. Agr Water Manag, 98:261-270.

Crabbé, P., D.R. Lapen, H. Clark, M. Sunohara et Y. Liu. 2012. Economic benefits of controlled tile drainage: Watershed Evaluation of Beneficial Management Practices, South Nation river basin, Ontario. Water Qual Res J Can, 47(1):30-41.

Dring, C., J.F. Devlin, G. Boag, M. Sunohara, J. Fitzgibbon, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Incentives and disincentives identified by producers and drainage contractors/experts on the adoption of controlled tile drainage in eastern Ontario, Canada. Water Qual Res J Can (sous presse), DOI: 10.2166/wqrjc.2015.047.

El-Khoury, A., O. Seidou, D.R. Lapen, M. Sunohara, Z. Que, M. Mohammadian et D. Bahram. 2014. Prediction of land-use conversions for use in watershed-scale hydrological modeling: a Canadian case study. Le Géographe Can., 58(4):499-516.

Frey, S.K., B. Ball, M. Edwards, N. Gottschall, M. Sunohara, E.D. Zoski et D.R. Lapen. 2013. Tile drainage management influences on surface-water and groundwater quality following liquid manure application. J Environ Qual, 42(3):881-892.

Frey, S.K., E. Topp, T.A. Edge, C. Fall, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, G.A. Wilkes et D.R. Lapen. 2013. Using SWAT, Bacteroidales microbial source tracking markers, and fecal indicator bacteria to predict waterborne pathogen occurrence in an agricultural watershed. Water Res, 47(16):6326-6337.

Frey, S.K., N. Gottschall, G. Wilkes, D.S. Grégoire, E. Topp, K.D.M. Pintar, M. Sunohara, R. Marti et D.R. Lapen. 2015. Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. J Environ Qual, 44:236–247.

Jokinen, C.C., T.A. Edge, W. Koning, C.R. Laing, D.R. Lapen, J.J. Miller, S.K. Mutschall, A. Scott, E.N. Taboada, J.E. Thomas, E. Topp, G.A. Wilkes et V.P.J. Gannon. 2012. Spatial and temporal drivers of zoonotic pathogen contamination of an agricultural watershed. J Environ Qual, 41(1):242-252.

Khan, I.U.H., V. Gannon, A. Loughborough, C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D. Medeiros, J. Miller, N. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, H. Schreier, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2009. A methods comparison for the isolation and detection of thermophilic Campylobacter in agricultural watersheds. J Microbiol Methods, 79(3):307-313.

Khan, I.U.H., V. Gannon, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2007. Development of a rapid quantitative PCR assay for direct detection and quantification of culturable and non-culturable Escherichia coli from agriculture watersheds. J Microbiol Methods, 69(3):480-488.

Khan, I.U.H., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D.T. Medeiros, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, H. Schreier, E. Topp, É. van Bochove, G.A. Wilkes et T.A. Edge. 2014. A national investigation of the prevalence and diversity of Thermophilic Campylobacter species in agricultural watersheds in Canada. Water Res, 61:243-252.

Kross, A., H. McNairn, D.R. Lapen, M. Sunohara et C. Champagne. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. Int J Appl Earth Obs Geoinf, 34:235-248.

Lanthier, M., A. Scott, D.R. Lapen, Y. Zhang et E. Topp. 2010. Frequency of virulence genes and antibiotic resistances in Enterococcus spp. isolates from wastewater and feces of domesticated mammals and birds, and wildlife. Rev. can de microbiologie, 56(9):715-729.

Lanthier, M., A. Scott, M. Cloutier, D. Durie, V.C. Henderson, G.A. Wilkes, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Distribution of selected virulence genes and antibiotic resistance in Enterococcus species isolated from the South Nation River drainage basin, Ontario, Canada. J Appl Microbiol, 110(2):407-421.

Lyautey, E., A. Hartmann, D.R. Lapen et E. Topp. 2012. A comparison of enrichment and direct-plating methods for isolation of Listeria monocytogenes from surface water. Rev. can de microbiologie, 58(12):1405-1410.

Lyautey, E., A. Hartmann, F. Pagotto, K. Tyler, D.R. Lapen, G. Wilkes, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Meideros, T. Edge, V. Gannon et E. Topp. 2007. Characteristics and frequency of detection of fecal Listeria monocytogenes shed by livestock, wildlife, and humans. Rev. can de microbiologie, 53(10): 1158-1167.

Lyautey, E., D.R. Lapen, G. Wilkes, K. McCleary, F. Pagotto, K. Tyler, A. Hartmann, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Medeiros, T. Edge, V. Gannon et E. Topp. 2007. Distribution and characteristics of Listeria monocytogenes isolates from surface waters of the South Nation River Watershed, Ontario, Canada. Appl Environ Microbiol, 73 (17): 5401-5410.

Lyautey, E., G.A. Wilkes, J.J. Miller, É. van Bochove, H. Schreier, W. Koning, T.A. Edge, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Variation of an indicator of Escherichia coli persistence from surface waters of mixed-use watersheds, and relationship with population density and other factors. Ann Limnol-Int J Lim, 47(01):11-19.

Lyautey, E., Z. Lu, D.R. Lapen, G. Wilkes, A. Scott, T. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Distribution and diversity of Escherichia coli populations in the South Nation River drainage basin, eastern Ontario, Canada. Appl Environ Microbiol, 76(5):1486-1496.

Lyautey, E., Z.X. Lu, D.R. Lapen, T.E. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Optimization and validation of rep-PCR genotypic libraries for microbial source tracking of environmental Escherichia coli isolates. Rev. can de microbiologie, 56(1):8-17.

Marti, R., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Lanthier, D.R. Lapen, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, G.A. Wilkes, Y. Zhang et E. Topp. 2013. Quantitative multi-year elucidation of fecal sources of waterborne pathogen contamination in the South Nation River basin using Bacteroidales microbial source tracking markers. Water Res, 47(7):2315-2324.

Marti, R., Y. Zhang, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Development and validation of a microbial source tracking marker for the detection of fecal pollution by muskrats. J Microbiol Methods, 87(1):82-88.

Marti, R., Y. Zhang, Y.C. Tien, D.R. Lapen et E. Topp. 2013. Assessment of a new Bacteroidales marker targeting North American beaver (Castor Canadensis) fecal pollution by real-time PCR. J Microbiol Methods, 95(2):201-206.

McNairn, H., A. Kross, D.R. Lapen, R. Caves et J. Shang. 2014. Early season monitoring of corn and soybeans with TerraSAR-X and RADARSAT-2. Int J Appl Earth Obs Geoinf, 28:252-259.

Nangia V, M.D. Sunohara, E. Topp, E.G. Gregorich, C.F. Drury, N. Gottschall et D.R. Lapen. 2013. Measuring and modeling the effects of drainage water management on soil greenhouse gas fluxes from corn and soybean fields. J Environ Manag, 129:652-664.

Ouellet, G., D.R. Lapen, E. Topp, M. Edwards et M. Sawada. 2008. A heuristic model to predict earthworm biomass in agroecosystems based on selected management and soil properties. App Soil Ecology, 39:35-45.

Parmley, E.J., K.D.M. Pintar, S.E. Majowicz, B. Avery, A. Cook, C.C. Jokinen, V.P.J. Gannon, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, M. Gilmour, F. Pollari, R. Reid-Smith et R. Irwin. 2013. A Canadian application of One Health: Integration of Salmonella data from various Canadian surveillance programs (2005–2010). Foodborne Pathog Dis, 10(9):747-756.

Que, Z., O. Seidou, R.L. Droste, G. Wilkes, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Using AnnAGNPS to predict the effects of tile drainage control on nutrient and sediment loads for a river basin. J Environ Qual, 44(2):629-641.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge et N.F. Neumann. 2013. The detection of Cryptosporidium and the resolution of mixtures of species and genotypes from water. Infect Genet Evol, 15:3-9.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, G.A. Wilkes, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, C.W. Sensen, L. Xiao et N.F. Neumann. 2012. Molecular and phylogenetic approaches for assessing sources of Cryptosporidium contamination in water. Water Res, 46(16):5135-5150.

Ruecker, N.J., S.L. Braithwaite, E. Topp, T. Edge, D.R. Lapen, G. Wilkes, W. Robertson, D. Medeiros, C.W. Sensen et N.F. Neumann. 2007. Tracking host sources of Cryptosporidium spp. in raw water for improved health risk assessment. Appl Environ Microbiol, 73(12): 3945-3957.

Schmidt, P.J., K.D.M. Pintar, A.M. Fazil, C.A. Flemming, M. Lanthier, M. Laprade, M. Sunohara, A. Simhon, J.L. Thomas, G.A. Wilkes, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Using Campylobacter spp. and Escherichia coli data and Bayesian microbial risk assessment to examine public health risks in agricultural watersheds under tile drainage management. Water Res, 47(10): 3255-3272.

Sunohara, M., E. Topp, G.A. Wilkes, N. Gottschall, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, T.H. Jones, T.A. Edge, R. Marti et D.R. Lapen. 2012. Impact of riparian zone protection from cattle on nutrient, bacteria, F5 coliphage, Cryptosporidium, and Giardia loading of an intermittent stream. J. Environ. Quality, 41(4): 1301-1314.

Sunohara, M., M. Youssef, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Measured effect of agricultural drainage water management on hydrology, water quality, and crop yield. Dans les annales du XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR). CSBE100175. http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100175.pdf.

Sunohara, M.D., E. Craiovan, E. Topp, N. Gottschall, C.F. Drury et D.R. Lapen. 2014. Comprehensive nitrogen budgets for controlled tile drainage fields in eastern Ontario, Canada. J Environ Qual, 43:617-630.

Sunohara, M.D., N. Gottschall, G. Wilkes, E. Craiovan, E. Topp, Z. Que, O. Seidou, S.K. Frey et D.R. Lapen. 2015. Long-term observations of nitrogen and phosphorus export in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage. J Environ Qual (sous presse), 44(5):1589-16041604.

Topp, E., A. Scott, D.R. Lapen, E. Lyautey et P. Duriez. 2009. Livestock waste treatment systems for reducing environmental exposure to hazardous enteric pathogens: Some considerations. Bioresour Technol, 100(22):5395-5398.

Wilkes, G., T. Edge, V. Gannon, C. Jokinen, E. Lyautey, D. Medeirose, N. Neumann, N. Ruecker, E. Topp et D.R. Lapen. 2009. Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, Cryptosporidium oocysts, Giardia cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. Water Res, 43(8): 2209-2223.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Coherence among different microbial source tracking markers in a small agricultural stream with and without livestock exclusion practices. Appl Environ Microbiol, 79(20):6207-6219.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, N.F. Neumann, K.D.M. Pintar, N.J. Ruecker, P.J. Schmidt, M. Sunohara et D.R. Lapen. 2013. Bacteria, viruses, and parasites in an intermittent stream protected from and exposed to pasturing cattle: Prevalence, densities, and quantitative microbial risk assessment. Water Res, 47(16):6244-6257.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, N. Gottschall, C.C. Jokinen, T.H. Jones, I.U.H. Khan, R. Marti, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2014. Long-term monitoring of waterborne pathogens and microbial source tracking markers in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage management. Appl Environ Microbiol, 80(12):3708-3720.

Wilkes, G.A., N.J. Ruecker, N.F. Neumann, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Sunohara, E. Topp, K.D.M. Pintar, T.A. Edge et D.R. Lapen. 2013. Spatiotemporal analysis of Cryptosporidium species/genotypes and relationships with other zoonotic pathogens in surface water from mixed use watersheds. Appl Environ Microbiol, 79(2):434-448.

Wilkes, G.A., T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, E. Lyautey, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2011. Associations among pathogenic bacteria, parasites, and environmental and land use factors in multiple mixed-use watersheds, eastern Ontario Canada. Water Res, 45(18):5807-5825.

Zoski, E.D., D.R. Lapen, N. Gottschall, R.S. Murrell et B. Schuba. 2013. Nitrogen, phosphorus, and bacteria removal in laboratory-scale woodchip bioreactors amended with drinking water treatment residuals. Transactions of the ASABE, 56(4):1339-1347.

CHAPITRE

13

Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette (Québec)

Responsables du bassin hydrographique Bras d'Henri : Eric van Bochove et Georges Thériault (AAC)
Responsable du bassin hydrographique de la Fourchette : Aubert Michaud (IRDA)
Économistes de site : Paul Thomassin (Université McGill) et Bruno Larue (Université Laval)
Spécialiste de la modélisation hydrologique et intégrée du site : Alain N. Rousseau (INRS-Centre ETE)

FAITS SAILLANTS

- ***Facteurs liés au paysage*** – La principale conclusion de l'étude est que les facteurs liés au paysage comme le type de sol, l'hydrologie et le climat influent tous sur l'efficacité des PGB. Les chercheurs ont constaté que les PGB donnent des résultats différents d'un site d'étude à l'autre, voire dans un même site, selon les interactions avec le type de sol, le paysage et d'autres facteurs environnementaux.
- ***PGB de lutte contre le ruissellement et l'érosion*** – L'aménagement de bandes tampons et d'ouvrages anti-ruissellement sur toutes les berges de cours d'eau dans le microbassin a donné lieu à une réduction significative de la charge en sédiments et de la concentration de nitrates.
- ***Outil d'analyse spatiale*** – Un outil convivial d'analyse spatiale créé à l'intention du personnel de vulgarisation et des propriétaires fonciers leur permet de simuler les effets des PGB afin de déterminer les PGB qui conviennent à chaque site et leur emplacement optimal.
- ***Facteurs influant sur l'adoption de PGB*** – Les facteurs influant sur l'adoption des PGB étudiés comprennent le niveau d'instruction, l'âge, le sexe, la résidence ou non à la ferme, la taille de l'exploitation, la certification biologique, l'appartenance à un groupe de conservation de bassin hydrographique et le coût de la main-d'œuvre.
- ***Aspects économiques*** – Un modèle économique a montré qu'il est plus rentable de réduire la pollution à l'échelle du bassin hydrographique qu'à l'échelle de la ferme.
- ***Modélisation intégrée –*** La modélisation a été réalisée à diverses échelles au moyen d'une combinaison de modèles. Le modèle GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) a servi à modéliser le bassin hydrographique du Bras d'Henri et celui de la rivière Beaurivage qui englobe le premier, tandis que des modèles plus précis et perfectionnés ont été utilisés à l'échelle des microbassins hydrographiques. Le cadre économique du modèle GIBSI a servi à réaliser une analyse des avantages environnementaux et des coûts à la ferme des politiques de mise en œuvre des PGB.

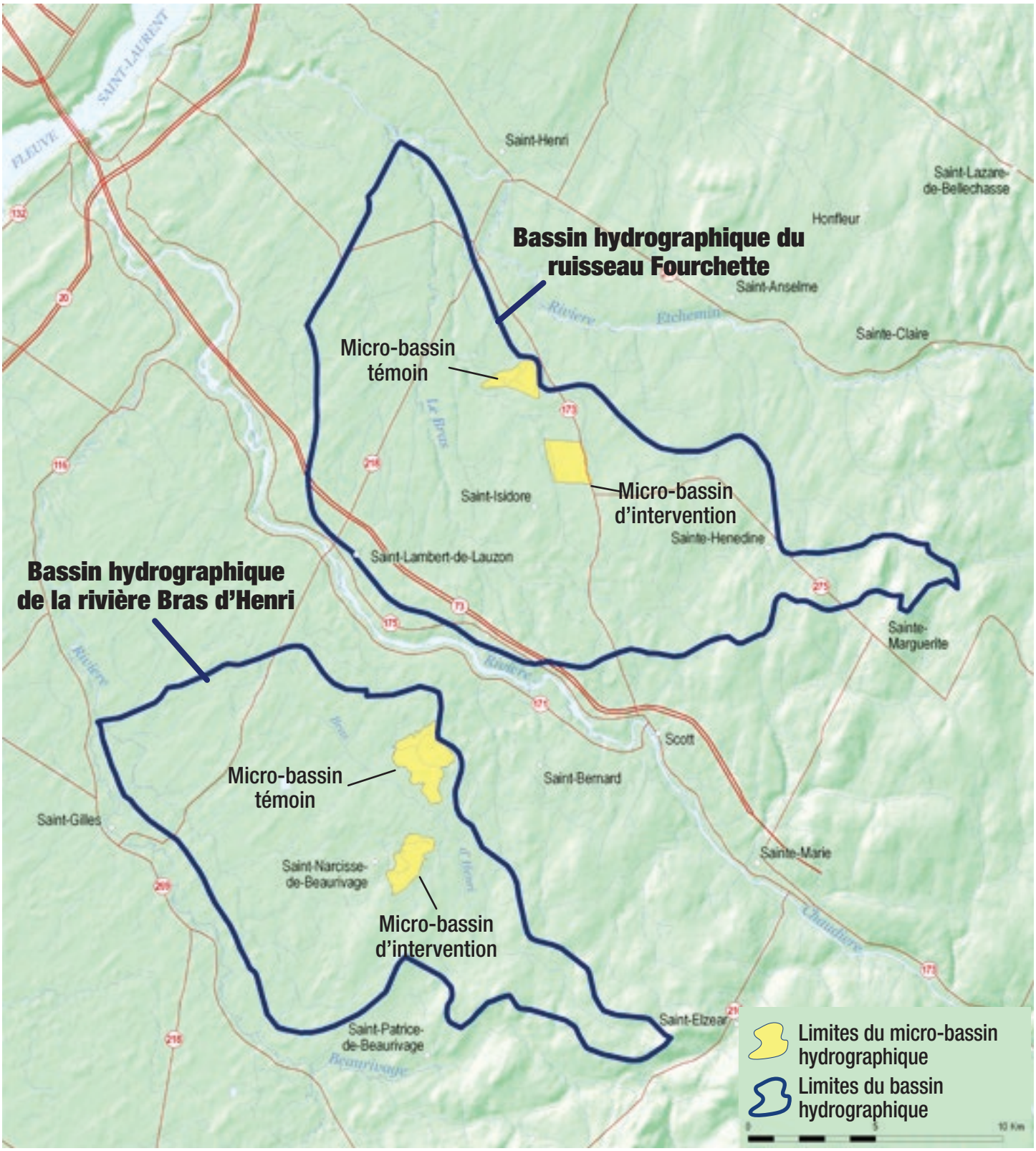


FIGURE 16
Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette

CONTEXTE ET ENJEUX

L'étude porte sur deux paires de microbassins hydrographiques appariés (d'environ 300 ha chacun), soit une paire dans le bassin de la rivière Bras d'Henri et l'autre dans le bassin du ruisseau Fourchette (figure 16).

La rivière Bras d'Henri, qui draine un territoire de 167 km^2, prend sa source dans le piémont des Appalaches et traverse les basses terres fertiles du Saint-Laurent, dans le bassin hydrographique de la rivière Beaurivage. Ce sous-bassin présente une des plus grandes concentrations de fermes d'élevage au Québec, et près des deux tiers de sa superficie sont cultivés.

Le ruisseau Fourchette draine un bassin de 120 km^2 dans le bassin de la rivière Le Bras qui se jette dans la rivière Etchemin. La qualité de l'eau dans le bassin de la rivière Etchemin est une des plus mauvaises au Québec pour ce qui est de la charge en phosphore (P).

La production porcine intensive dans la région produit de grands volumes de fumier dont on se sert pour fertiliser les cultures. Depuis 1997, le gouvernement du Québec tente d'améliorer la gestion du fumier en appliquant des plans agroenvironnementaux de fertilisation qui sont fondés sur les quantités d'azote (N) et de P nécessaires à la croissance des cultures et qui tiennent compte du P déjà présent dans le sol.

En raison de la progression de l'intensité de la production porcine depuis quelques décennies, une grande proportion des terres qui étaient auparavant en pâturage ou en fourrage ont été converties en cultures annuelles (maïs-grain, maïs à ensilage, autres céréales et soja) pour l'alimentation des porcs. L'application d'herbicides et d'engrais dans ces cultures a contribué à l'accroissement de la pollution diffuse de l'eau de surface. L'épandage intensif de fumier et de purin a accru les niveaux d'éléments nutritifs et de pathogènes entériques.

Il faut donc des PGB qui réduisent la charge polluante des terres agricoles et le transport des polluants vers les cours d'eau voisins.

Il existe des données historiques sur la qualité de l'eau, la qualité du sol et les pratiques agricoles pour les deux bassins hydrographiques. Le choix du microbassin d'intervention et du microbassin témoin dans le bassin de la rivière Bras d'Henri a reposé sur la comparaison de paramètres hydrologiques et géophysiques, y compris la topographie, l'utilisation du sol et les propriétés du sol.

Gérée par l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), l'étude sur les microbassins appariés du ruisseau Fourchette est en cours depuis 2001. Comme il s'agissait d'une étude établie de bassin hydrographique dont le mandat était semblable à celui du projet d'EPBH de la rivière Bras d'Henri, les deux études ont été reliées dans le cadre du programme d'EPBH. AAC a géré le projet de la rivière Bras d'Henri, et l'IRDA, celui du ruisseau Fourchette.

VOLET BIOPHYSIQUE

Les deux projets ont chacun porté sur deux microbassins hydrographiques appariés, soit un site témoin et un site d'intervention où les PGB ont été appliquées. L'installation et l'étalonnage des appareils de surveillance et la collecte de données de référence sur les débits et la qualité de l'eau ont été effectués de 2004 à 2007 dans le bassin de la rivière Bras d'Henri, où l'évaluation des PGB a débuté en 2008. Comme l'étude du bassin du ruisseau Fourchette était déjà bien établie, l'évaluation des PGB y a débuté en 2004.

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des PGB suivantes :

- contrôle du ruissellement;
- bande riveraine implantée en panic érigé;
- gestion du lisier de porc (application de précision en post-levée);
- utilisation réduite d'herbicides;
- inclusion de cultures vivaces dans la rotation des cultures.

Lutte contre le ruissellement et l'érosion et pratiques de conservation du sol

Un certain nombre de mesures de lutte contre le ruissellement et l'érosion ont été mises en œuvre et évaluées dans les microbassins d'intervention afin de réduire le transport de sédiments et de contaminant des sols agricoles vers les fossés et les cours d'eau. Ces mesures étaient les suivantes : bandes tampons riveraines, réduction de la pente des berges et des fossés, stabilisation des sorties des drains souterrains, aménagement de voies d'eau gazonnées et de tranchées filtrantes. Le travail de conservation du sol a également été étudié dans le bassin du ruisseau Fourchette.

Sortie de drain souterrain érodée (à gauche) qui a été stabilisée (à droite).

Étude des microbassins appariés du bassin du ruisseau Fourchette

La surveillance des écosystèmes terrestre et aquatique dans cette étude a permis de mieux comprendre les processus de transport des contaminants du sol vers le cours d'eau, ainsi que l'efficacité avec laquelle les PGB des ouvrages de contrôle du ruissellement et du travail du sol réduisent les exportations de sédiments et d'éléments nutritifs à l'exutoire des microbassins.

L'aménagement de bandes tampons et d'ouvrages de contrôle du ruissellement le long de l'ensemble du ruisseau a entraîné une réduction significative de la charge en sédiments et de la concentration de nitrates dans le microbassin d'intervention du ruisseau Fourchette. Les exportations de P n'ont cependant pas suivi la même tendance. On peut présumer que les PGB ont réduit l'érosion des berges, mais ils ont eu un effet négligeable sur les charges de sédiments riches en P provenant des champs.

De même, le travail de conservation du sol effectué sur les terres de cultures annuelles dans le microbassin d'intervention de 2008 à 2012 n'a pas réduit la charge en P, peut être en raison de l'effet de stratification du P à la surface du sol dû au fumier non incorporé. La forte densité animale dans l'aire d'étude, où la plupart des sols cultivés reçoivent deux épandages de fumier chaque année, appuie cette hypothèse.

Tous les paramètres de qualité de l'eau dépendaient fortement de la saison.

L'étude a montré l'importance de combiner des PGB liés au développement foncier, aux cultures et à la gestion des éléments nutritifs pour réduire de façon significative les charges en P des cours d'eau drainant des bassins hydrographiques agricoles. Il est important de limiter les teneurs du sol en P et de prévenir les pertes saisonnières de P dans le ruissellement en incorporant bien le fumier au sol. Les systèmes de culture de conservation, notamment le travail de conservation du sol, les cultures de couverture et les cultures de plantes vivaces, constituent des lignes de défense pour réduire l'exportation de sédiments. Les ouvrages de contrôle du ruissellement et les zones tampons jouent un important rôle complémentaire en rompant la connectivité hydrologique entre les champs et le cours d'eau.

Bassins hydrographiques des rivières Bras d'Henri et Beaurivage

Les données sur le sol et l'eau recueillies depuis la mise en œuvre des PGB en 2007 ont été présentées à l'équipe de modélisation pour qu'elle évalue les effets des tampons riverains et de la conversion des cultures sur les charges transportées par le ruissellement et les cours d'eau ainsi que sur la probabilité de dépassement des valeurs recommandées pour la qualité de l'eau. La modélisation laisse croire que les bandes tampons riveraines constituent la plus efficace des PGB étudiées pour ce qui est de réduire les charges en N, en P et en sédiments dans l'exutoire du bassin hydrographique. Toutefois, même si elles réduisent significativement les charges, aucune des PGB n'a significativement réduit la probabilité de dépassement des valeurs recommandées pour la qualité de l'eau dans la rivière Beaurivage.

L'équipe de modélisation a également évalué les effets des tampons riverains et de la gestion des éléments nutritifs sur la qualité de l'eau dans le microbassin d'intervention de la rivière Bras d'Henri. La comparaison des concentrations et des charges avant (2005–2006) et après (2008–2012) l'établissement des bandes tampons a montré des réductions significatives des concentrations et des charges de N total, de P total, de P particulaire et de nitrates. En outre, les charges en ammonium, en N sous forme de nitrite et en total des solides en suspension ont significativement diminué après la mise en œuvre de la PGB. Une comparaison spatiale du rapport entre les charges totales et le bilan annuel des éléments nutritifs intégrant les données sur les intrants agricoles appliqués aux champs a montré une baisse significative du rapport en aval des bandes tampons en 2009 (pour le N total et le P total). Ainsi, les bandes tampons riveraines ont donné des réductions de 25,4 % du flux de N total et de 10,7 % du flux de P total. L'étude a également montré que ces tampons captent moins efficacement les contaminants au printemps et durant les pluies intenses.

Bande riveraine de panic érigé

Une bande riveraine de panic érigé a été établie en 2011. Comme il s'agissait de la première bande du genre dans la région Chaudière-Appalaches, elle a servi de site de démonstration. Elle visait à capter les éléments nutritifs et les sédiments provenant du champ adjacent et à exporter des éléments nutritifs en fournissant au producteur de la biomasse (paille) servant de litière pour animaux.

Un protocole a été élaboré afin d'évaluer la capacité de la bande riveraine à intercepter les sédiments et les éléments nutritifs. Toutefois, comme les fortes pluies de l'été de 2011 ont causé l'érosion des champs et des conditions d'ensemencement sous-optimales, il n'y a pas eu de culture au printemps de 2012. On a ensemencé une petite parcelle en juillet de 2012, mais l'évaluation de l'efficacité de cette PGB n'était pas terminée à la fin du projet.

Gestion du lisier de porc

Dans les élevages porcins à forte densité, les pertes de N du lisier dans l'atmosphère et les eaux de ruissellement peuvent atteindre des niveaux excessifs. Afin de réduire ces pertes, on a épandu du lisier de porc sur des champs de cultures fourragères et de maïs avec un épandeur équipé de tuyaux traînants, puis on l'a enfoui peu après au moyen d'un travail superficiel du sol. Du lisier a également été épandu sur des cultures au stade de post-levée afin d'optimiser l'absorption de N et de P et de réduire davantage les risques de pollution de l'eau et de l'air.

On a observé que cette PGB permettait de réduire systématiquement la contamination du ruisseau par le N et les coliformes fécaux. Cette PGB a également permis de réduire les pertes de N et de P dans les eaux de ruissellement certaines années. Par contre, cette pratique a fait augmenter la teneur résiduelle en P du sol. Les résultats mitigés de cette pratique indiquent qu'il faudrait réduire davantage les éléments nutritifs à la source, par des techniques comme l'alimentation de précision et la gestion des réservoirs de lisier, de façon à séparer les différentes phases des éléments nutritifs.

L'utilisation de tuyaux traînants pour épandre le lisier a eu pour effet secondaire de réduire les odeurs, bien qu'on n'ait pas quantifié cette réduction. Cette PGB n'a pas encore été adaptée à un large éventail de conditions de sol et de pente.

L'étude de cette PGB a cessé après 2007, parce que la machinerie requise n'était plus disponible. Les producteurs ont cependant continué à effectuer de multiples épandages plutôt qu'un épandage massif au moment de l'ensemencement. Cette méthode optimise l'absorption d'éléments nutritifs par les cultures annuelles. Toutefois, durant les années pluvieuses ou les années où des orages se sont produits peu après les épandages, cette PGB a eu moins d'effet sur les pertes d'éléments nutritifs.

Utilisation réduite d'herbicides

Cette PGB visait les cultures de maïs et de soja. Dans ces cultures en rangs très espacés, les mauvaises herbes font l'objet d'une lutte intensive dans laquelle l'utilisation d'herbicides occupe une grande place. Plusieurs approches ont été étudiées. La première approche a consisté à mettre à l'essai un système d'aide à la décision, mis au point par AAC, pour réduire le recours aux herbicides. Après deux ans d'essai, on a dû admettre que le système ne convenait pas au site à l'étude en raison de la forte concurrence exercée par les mauvaises herbes dans les cultures et de la difficulté de recommander des taux réduits d'application d'herbicides. Par conséquent, l'approche a été abandonnée pour cette étude. Les autres approches comprenaient l'étalonnage des pulvérisateurs, le désherbage mécanique ou chimique et des relevés des mauvaises herbes conjugués à un outil Internet (mis au point par le gouvernement provincial) permettant de recommander un plan d'application d'herbicides visant à en réduire les incidences environnementales.

L'étalonnage des pulvérisateurs et les plans recommandés d'application d'herbicides ont été mis en œuvre en 2007, mais il faudra plus de temps pour mesurer leurs effets. Comme le désherbage mécanique nécessite des changements majeurs dans les pratiques culturales, la PGB n'a pas encore été mise en œuvre. Certains producteurs envisagent de l'adopter. La recommandation faite aux producteurs après le premier relevé des mauvaises herbes était d'inclure des cultures de variétés

Roundup Ready® dans leurs rotations. Ils ont par la suite systématiquement utilisé ces cultures, ce qui, dans un premier temps, a réduit les incidences sur la qualité de l'eau. Toutefois, les mauvaises herbes ont fini par développer une résistance à l'herbicide, obligeant les producteurs à revenir aux herbicides qu'ils utilisaient au départ.

Dans une étude distincte de quatre ans, des échantillons d'eau de ruissellement et d'eau de rivière ont été recueillis durant trois tempêtes de pluie consécutives après l'application d'herbicide, et ils ont été analysés afin d'évaluer si le passage du ruissellement par des voies d'eau gazonnées et des bandes tampons a réduit la contamination. Les résultats préliminaires montrent que les concentrations de glyphosate étaient variables, mais significativement plus faibles après chaque épisode de pluie. La réduction des concentrations d'herbicide n'a été observée que dans certaines conditions. Malgré la forte variabilité des résultats, la voie d'eau gazonnée s'est révélée légèrement plus efficace que la bande tampon riveraine pour réduire les pertes d'herbicide dans l'eau de ruissellement. Les voies d'écoulement préférentiel qui se sont formées sur ou sous la bande tampon ont réduit son efficacité.

Rotation des cultures

Les rotations de maïs à long terme peuvent nuire à la qualité de l'eau en raison de l'érosion et du compactage du sol et de son enrichissement en P. L'inclusion de cultures vivaces, p. ex. la luzerne, dans la rotation peut protéger les sols de surface et accroître l'absorption des éléments nutritifs, améliorant ainsi la qualité de l'eau. La luzerne récoltée peut exporter un volume de nitrates jusqu'à deux fois plus élevé que le maïs pour une même quantité de matière sèche enlevée. En outre, les cultures annuelles pratiquées en rotation avec le maïs peuvent aider à briser les cycles des ravageurs des cultures.

La PGB de la rotation des cultures a été mise en œuvre dans les microbassins d'intervention de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Fourchette, en plus des rotations déjà prévues dans les plans des exploitations agricoles participantes. Cette PGB visait à trouver d'autres cultures pour réduire au minimum les effets néfastes sur l'environnement des rotations de maïs à long terme.

On a effectué une surveillance pour comparer les effets sur la qualité de l'eau de cultures annuelles et de cultures vivaces à l'échelle du microbassin. Or, comme les stratégies de rotation des cultures des producteurs couvraient l'ensemble de leur exploitation agricole,- et dans certains cas, elles s'étendaient au-delà des limites du bassin hydrographique à l'étude - la surveillance n'a pas été faite à l'échelle de la ferme. Il a donc été impossible de procéder à l'interprétation statistique des résultats selon la rotation des cultures, et les résultats ne sont pertinents qu'à l'échelle du microbassin.

Autres études biophysiques

Comme les chercheurs s'attendaient à avoir plus de difficulté à déceler des changements dans la qualité de l'eau pour certaines PGB que pour d'autres, particulièrement à court terme, ils se sont servis de plusieurs méthodes d'étude. Ces méthodes ont permis de quantifier les effets des PGB sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres biophysiques et de mieux comprendre les effets de divers facteurs sur l'efficacité des PGB.

- ***Caractérisation des sols*** – Quatre levés pédologiques existants (échelles de 1/50 000 à 1/63 360) ont servi à déterminer où établir les microbassins appariés pour l'EPBH de la rivière Bras d'Henri, ainsi que les PGB à y mettre en œuvre. Or, des levés pédologiques plus détaillés (échelle de 1/20 000) réalisés après la mise en œuvre des PGB ont montré que les caractéristiques des sols, notamment leur potentiel agronomique, différaient beaucoup plus entre les deux microbassins que ce que les premiers levés montraient. Ces nouvelles données expliquent mieux comment les conditions de sol et leurs effets sur le transport des éléments nutritifs vers le cours d'eau influent sur l'efficacité des PGB.
- ***Caractérisation des effets de la fonte des neiges*** – Les chercheurs ont également étudié les deux bassins hydrographiques pour déterminer comment la couverture de neige interagit avec les sols gelés et les zones vulnérables à l'érosion du sol pendant la fonte des neiges. Les résultats montrent que les moments où se produit le transport d'éléments nutritifs et de sédiments dépendaient des conditions météorologiques et de l'hydrologie saisonnière, et que la fonte des neiges contribuait beaucoup à la charge nutritive. Les PGB visent principalement les pertes d'éléments nutritifs durant la saison de croissance, mais diverses PGB devraient être conjuguées et structurées de manière à réduire ces pertes aux moments critiques de l'année sur le plan hydrologique, soit durant le ruissellement nival.
- ***Caractérisation des sédiments*** – Le traçage des sources de sédiments dans les bassins hydrographiques du programme d'EPBH en Alberta et au Manitoba montre que la majeure partie des sédiments transportés dans les cours d'eau des bassins provient de l'érosion des berges plutôt que du ruissellement sur les champs. Les études se poursuivent dans le bassin de la rivière Bras d'Henri et dans le bassin du projet EPBH au Nouveau-Brunswick. Elles devraient également montrer que les processus se déroulant dans le cours d'eau contribuent beaucoup à l'exportation de sédiments.
- ***Bilans de masse des éléments nutritifs*** – Les chercheurs ont calculé ces bilans de 2004 à 2012 à l'échelle de l'exploitation agricole et à celle du microbassin d'intervention et du microbassin témoin de la rivière Bras d'Henri. Ils ont mis au point une méthode utilisant les données de rendement des trois exploitations agricoles participantes pour calculer les bilans réels pour chacune. Brossant un tableau clair des quantités d'éléments nutritifs

importés et exportés par la production agricole dans les microbassins, les résultats permettront sans doute d'expliquer certains des résultats de qualité de l'eau et les variations des bilans d'éléments nutritifs d'une année à l'autre. Les données ont été transmises à l'équipe de modélisation intégrée.

- ***Données et information précises sur les sols des sites d'EPBH*** – Des cartes des sols ont été produites pour le projet de la rivière Bras d'Henri par de nouvelles méthodes combinant données altimétriques numériques, analyse du relief et d'autres propriétés, comme la texture du sol. De concert avec l'analyse du relief, les cartes ont servi à positionner où les échantillons de référence avaient été prélevés aux fins des futures évaluations des effets des PGB, de la topographie et des propriétés du sol sur la qualité de l'eau.

Une importante conclusion de l'étude est que les facteurs liés au paysage comme le type de sol, l'hydrologie et le climat influent tous sur l'efficacité des PGB.

Scénarios de PGB

Comme l'efficacité d'une PGB peut varier d'une ferme à l'autre, trois exploitations agricoles dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri ont été caractérisées en fonction des facteurs suivants : relief, types de cultures, pratiques agricoles et autres facteurs. Trois scénarios de PGB ont ensuite été établis pour ces exploitations : le scénario actuel (PGB que les producteurs avaient déjà adoptées avant l'EPBH ou qu'ils ont adoptées durant l'étude), le scénario projeté (PGB qui sont adoptées dans la région ou à l'échelle d'une exploitation, comme les cultures d'engrais vert et la gestion des résidus de culture) et le scénario optimal (pratiques antiruissellement et antiérosion et PGB visant à diminuer les contaminants à la source). Ces scénarios étaient destinés à être utilisés par les équipes d'analyse économique et de modélisation hydrologique avec des données recueillies par l'équipe d'analyse biophysique. À la fin du projet d'EPBH, la caractérisation des exploitations était terminée, et les scénarios recommandés étaient presque prêts à être appliqués. Voici les pratiques incluses dans les scénarios :

- Pratiques de conservation
  - application de précision de lisier de porc en post-levée;
  - rotation des cultures;
  - culture d'engrais vert;
  - gestion des résidus de culture.
- Réduction de contaminants à la source (éléments nutritifs, herbicides)
  - alimentation de précision des porcs;
  - utilisation d'herbicides moins toxiques.
- Lutte contre le ruissellement et l'érosion
  - puisards, enrochement des sorties de drain, adoucissement des berges;
  - bandes tampons riveraines (arbres, arbustes, panic érigé);
  - voies d'eau gazonnées.

Détermination des zones sources critiques

L'outil spatial GéODEP a été créé pour les bassins hydrographiques de la rivière Bras d'Henri et du ruisseau Fourchette, à l'aide de données de télédétection et de données de surveillance des milieux aquatiques et terrestres recueillies à l'échelle du microbassin, afin de localiser les zones à risque de produire une pollution diffuse (zones sources critiques). En simulant les effets de multiples PGB sur le transport de sédiments, d'éléments nutritifs et de pathogènes vers les eaux de surface, l'outil permet de recommander des PGB en fonction du site et leur emplacement optimal. Les PGB ont été évaluées à l'échelle de la ferme, du microbassin et du bassin. L'outil GéODEP consiste en un atlas électronique convivial, en un logiciel gratuit et en des manuels d'utilisation destinés au personnel de vulgarisation et aux propriétaires fonciers. Il peut être appliqué à toute autre région du Canada pour laquelle on dispose de données spatiales adéquates dans un format semblable. Le Comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC) s'est servi de l'outil en 2013 et en 2014 durant la réalisation d'un projet de gestion intégrée de l'eau dans le bassin de la rivière Bras d'Henri.

L'outil spatial GéODEP a été créé à l'aide de données de surveillance par télédétection recueillies à l'échelle du microbassin afin de localiser les zones sources critiques de contamination diffuse des eaux de surface.

VOLET ÉCONOMIQUE

Les résultats de plusieurs études économiques menées par deux équipes universitaires dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri peuvent aider les décideurs à déterminer des incitatifs qui encourageraient les producteurs à adopter des PGB.

Université Laval

Facteurs influant sur l'adoption de PGB

Une équipe de l'Université Laval a sondé des producteurs agricoles pour étudier les facteurs qui influencent leurs décisions concernant l'adoption de PGB. L'analyse économétrique des résultats du sondage montre que le niveau d'instruction, l'âge, le sexe, la résidence ou non à la ferme, la taille de l'exploitation, la certification biologique, l'appartenance à un groupe de conservation d'un bassin hydrographique et le coût de la main-d'œuvre influent sur l'adoption des PGB étudiées. Un niveau d'instruction élevé était associé à une probabilité significativement plus élevée d'adoption de la plupart des PGB. Plus les producteurs sont âgés, plus ils sont susceptibles de mettre en œuvre les PGB de la rotation des cultures et des bandes tampons riveraines. Les productrices, les producteurs résidant à la ferme et les producteurs biologiques certifiés sont plus susceptibles d'adopter des pratiques de gestion du fumier et du lisier. Les exploitations de grande taille sont également plus susceptibles d'adopter des PGB. Par conséquent, si les incidences sur la qualité de l'eau sont positivement corrélées avec la taille de l'exploitation, la qualité de l'eau pourrait s'améliorer considérablement même si le nombre de producteurs qui adoptent les PGB est faible. La participation à un groupe de conservation d'un bassin hydrographique accroît la probabilité que les producteurs adoptent la plupart des PGB étudiées même si cet effet varie selon la PGB.

Extrants bénéfiques et nocifs

L'équipe de l'Université Laval s'est servie d'une méthode de fonction de coût pour étudier la relation entre les extrants bénéfiques de la production agricole (cultures et bétail) et les extrants nocifs (dégradation de la qualité de l'eau). Les résultats de l'analyse fondée sur les données simulées du ruissellement agrochimique produites par le modèle intégré pour représenter les extrants nocifs indiquent qu'il coûterait cher de réduire ces extrants. Les coûts de réduction de la pollution ont tendance à être plus bas pour les grandes exploitations de production végétale et plus élevés pour les grandes exploitations d'élevage.

Efficience technique et efficience environnementale

L'efficience technique et l'efficience environnementale ont été analysées pour plusieurs exploitations agricoles dans le bassin hydrographique. La note d'efficience technique attribuée à une exploitation indique la quantité de production végétale ou animale qu'elle peut tirer de ses intrants par rapport à l'exploitation la plus efficiente de l'échantillon. L'efficience environnementale mesure la quantité de production végétale ou animale à laquelle il faut renoncer pour réduire un extrant nocif (p. ex. le ruissellement de phosphore). Les résultats montrent que les exploitations qui sont inefficientes sur le plan technique ont tendance à l'être également sur le plan environnemental. Des services de consultation agricole ciblée pourraient aider ces exploitations à devenir plus efficientes sur les plans technique et environnemental.

Disposition à payer pour améliorer la qualité de l'eau

L'équipe de l'Université Laval a mené deux sondages auprès de producteurs agricoles et de résidants non-agriculteurs de régions rurales pour déterminer dans quelle mesure ils sont prêts à payer pour améliorer la qualité de l'eau. Les résultats montrent que les producteurs plus âgés sont moins disposés à payer pour la qualité de l'eau. Les résidents non-agriculteurs de régions rurales qui ont des enfants vivant encore avec eux avaient tendance à être plus disposés à payer pour la qualité de l'eau. Les avantages d'une qualité de l'eau améliorée perçus par les répondants augmentaient avec leur niveau d'instruction. Comme les jeunes producteurs ont généralement moins besoin d'un incitatif financier que les producteurs âgés, il devrait devenir plus facile avec le temps d'encourager l'adoption de PGB.

Qualité de l'eau et santé

Les ménages agricoles qui se préoccupent des effets d'une mauvaise qualité de l'eau sur leur santé peuvent investir dans des mesures défensives comme un système de traitement de l'eau ou de l'eau embouteillée. Ils peuvent aussi investir dans des PGB dans le cadre d'une stratégie globale visant à procurer des avantages pour la santé et pour l'environnement. Un sondage a été mené auprès de producteurs agricoles pour étudier le lien de causalité entre l'investissement dans des mesures défensives et des PGB et le nombre de jours de symptômes autodéclarés de maladie liée à l'eau. Les investissements dans des mesures défensives et des PGB pouvant être considérés comme complémentaires, on peut s'attendre à ce qu'il y ait une corrélation positive entre les dépenses consacrées aux mesures défensives et celles consacrées aux PGB. Par contre, comme les systèmes de traitement de l'eau et les PGB coûtent cher, les contraintes qui pèsent sur le budget d'un ménage peuvent donner lieu à un effet de substitution, c'est-à-dire qu'une hausse des dépenses pour une de ces options se traduirait par une baisse des dépenses pour l'autre option. Les résultats montrent qu'il n'y avait aucun lien entre l'adoption de mesures défensives et l'adoption de PGB, mais que l'adoption de PGB a réduit le nombre de jours de maladie.

Université McGill

L'équipe de l'Université McGill a appliqué, à l'échelle de la ferme et du bassin hydrographique, un modèle d'optimisation économique interrégional mis au point à partir des coefficients de charge environnementale estimés par le modèle intégré. Elle a appliqué son modèle à 66 exploitations agricoles dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri afin d'estimer les quantités de polluants produites par chacune et par l'ensemble du bassin, ainsi que la réduction maximale possible de la pollution et les coûts connexes aux deux échelles. Le modèle repose sur l'hypothèse selon laquelle les producteurs adopteraient la combinaison de PGB la moins coûteuse pour réduire la pollution.

Le modèle indique qu'à l'échelle de l'exploitation, le polluant dont la réduction coûte le plus cher est le P, suivi des sédiments, d'*E. coli* et du N. Pour une réduction de 80 % du P, le coût moyen par point de pourcentage de réduction s'est chiffré à 14 086 $, soit un coût moyen de 17 074 $ par ferme. Le coût de réduction d'un polluant augmente à mesure que le taux de réduction augmente. À l'échelle du bassin, le polluant dont la réduction coûte le plus cher est l'*E. coli*, suivi du P (coût moyen de 7 690 $ par point de pourcentage de réduction pour une réduction de la pollution de 80 %, soit 9 321 $ par ferme).

Selon le modèle, il serait plus rentable de réduire la pollution à l'échelle du bassin hydrographique qu'à l'échelle de la ferme, et les compensations seraient plus rentables si elles s'appliquaient à l'ensemble du bassin. Les producteurs pourraient alors se répartir les compensations entre eux. Certaines exploitations agricoles pourraient réduire la pollution plus que prévu, ce qui pourrait compenser la pollution excédentaire des exploitations qui ont de la difficulté à respecter des normes exigeantes de réduction de la pollution.

Des études publiées indiquent que la stabilisation du sol et une meilleure gestion de l'eau de surface pourraient accroître les rendements des cultures, mais ces hausses de rendement n'ont pas encore été modélisées. Il faudrait des incitatifs financiers ou réglementaires pour encourager l'adoption de toutes les PGB examinées.

La modélisation économique montre qu'il serait plus rentable de réduire la pollution à l'échelle du bassin hydrographique qu'à l'échelle de la ferme.

VOLET DE MODÉLISATION

Modélisation hydrologique

Les bassins hydrographiques des rivières Bras d'Henri et Beaurivage font partie du bassin de la rivière Chaudière, qui fait l'objet de nombreux projets de modélisation depuis presque deux décennies. Dans le cadre de l'EPBH, le bassin de la rivière Beaurivage (superficie de 742 km^2) et son sous-bassin de la rivière Bras d'Henri (superficie de 167 km^2) ont été modélisés, tandis que le microbassin d'intervention a fait l'objet d'une modélisation plus précise à l'aide de certains modèles de précision. Dans cette étude, qui approfondit les études antérieures, le sous-bassin de la rivière Bras d'Henri a été modélisé à part avant d'être modélisé comme partie du bassin de la rivière Beaurivage.

La modélisation de l'hydrologie et de la qualité de l'eau a été effectuée au moyen du système de modélisation GIBSI, qui comprend un système d'information géographique (SIG), un système de gestion de bases de données relationnelles, un modèle hydrologique (HYDROTEL) et des modèles distincts pour le transport terrestre et aquatique de sédiments, d'éléments nutritifs, de pesticides et de pathogènes (coliformes fécaux).

Le système GIBSI a d'abord été étalonné à l'aide des jeux de données disponibles, notamment sur les débits de cours d'eau et la qualité de l'eau, et des valeurs tirées d'études publiées ou d'équations de régression. Les résultats biophysiques utilisés dans le modèle prototype du GIBSI étaient fondés d'abord sur des valeurs tirées d'études publiées ou sur des modèles simplifiés, puis sur des données de terrain locales. Les modèles ont été continuellement mis à jour et améliorés par l'ajout de données, de modules et de routines afin d'accroître la capacité du GIBSI à modéliser les processus environnementaux et à évaluer les PGB. Des modèles à haute résolution plus précis ont également été utilisés de concert avec le GIBSI, notamment :

- Un modèle de dimensionnement des filtres végétaux qui calcule la taille optimale des zones tampons riveraines en fonction de l'efficacité visée, de l'aire d'alimentation et de la pente. Le modèle calcule aussi l'efficacité d'un tampon riverain en fonction d'une largeur fixe, de l'aire d'alimentation et de la pente.
- Un modèle d'intégrité biologique des cours d'eau fondée sur les concentrations de N et de P qui permet d'évaluer les PGB au-delà des paramètres standard de qualité de l'eau.
- Le modèle événementiel d'érosion du sol MHYDAS-Érosion (Modélisation HYdrologique Des AgroSystèmes) qui évalue les effets de l'organisation spatiale des PGB sur la connectivité sédimentologique à l'échelle du bassin hydrographique.
- Le modèle hydrologique tridimensionnel CATHY (Catchment Hydrology) qui aide à comprendre les relations complexes entre l'eau souterraine et l'eau de surface, en mettant l'accent sur le rôle que jouent les propriétés du sol et les drains souterrains dans l'hydrologie d'un bassin hydrographique. Un module d'extraction d'eau par les racines a été ajouté au modèle CATHY pour évaluer les cycles des éléments nutritifs.

Les modèles MHYDAS-Érosion et CATHY ont permis de comprendre l'hydrologie et les sédiments à une échelle plus fine. Ces modèles perfectionnés permettent d'étudier plus en détail les zones sensibles définies par le GIBSI. Ils permettent également d'évaluer les PGB à l'échelle de la ferme (au niveau du champ).

Des outils secondaires ont été mis au point pour faciliter l'application du GIBSI à d'autres bassins hydrographiques. Ces outils ont été intégrés dans un assistant intelligent. Pour faciliter la distribution du GIBSI à d'autres équipes de recherche au Canada et ailleurs et pour réduire au minimum les coûts de mise en œuvre, les éléments commerciaux du GIBSI ont été remplacés par des options du domaine public (SIG et production de graphiques et de tableaux).

D'après des mesures statistiques et des observations visuelles, les modélisateurs avaient plus confiance dans les estimations des modèles pour le bassin de la rivière Beaurivage que dans celles pour le bassin plus petit de la rivière Bras d'Henri. Dans tous les cas, la modélisation des sédiments et de la qualité de l'eau était plus difficile à étalonner que celle de l'hydrologie (débit des cours d'eau). Néanmoins, les concentrations et charges simulées à l'échelle mensuelle, plutôt que journalière, pour le débit des cours d'eau ont été jugées adéquates à l'élaboration de divers scénarios de PGB.

Les résultats de modélisation pour le bassin de la rivière Beaurivage laissent croire que la gestion des éléments nutritifs est la façon la plus efficace de réduire la pollution des cours d'eau par les éléments nutritifs, mais les tampons riverains ont constitué le moyen le plus rentable pour atteindre des objectifs environnementaux raisonnables en matière de sédiments et d'éléments nutritifs.

Le modèle indique que les réductions des charges au champ découlant de l'adoption de PGB ne se traduiraient pas nécessairement par des réductions équivalentes des charges dans le ruisseau. Le modèle montre également que, si les PGB permettent de réduire les concentrations de contaminants, les valeurs absolues de ces réductions ne suffisent pas pour respecter systématiquement les recommandations pour la qualité de l'eau du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME).

Modélisation intégrée

Les bassins hydrographiques des rivières Beaurivage et Bras d'Henri ont fait l'objet d'une modélisation hydroéconomique intégrée qui a permis d'analyser les coûts et les avantages des scénarios de mise en œuvre de PGB.

Les données biophysiques calculées par le modèle intégré GIBSI ont été transmises aux chercheurs de l'Université McGill et de l'Université Laval qui les ont utilisées dans leurs modèles économiques.

Une interface SIG a été créée pour coupler le modèle GIBSI et le modèle économique mis au point à l'Université McGill afin de réaliser l'analyse coûts-avantages de la mise en œuvre des PGB. Bien que ce couplage n'était pas terminé à la fin du programme EPBH, le cadre économique du GIBSI a permis aux deux équipes de mener conjointement une analyse comparative des avantages environnementaux et des coûts à la ferme des politiques de mise en œuvre de divers scénarios de PGB dans les bassins des rivières Beaurivage et Bras d'Henri.

La modélisation hydrologique des bassins des rivières Beaurivage et Bras d'Henri a mis à profit des données agronomiques et environnementales à long terme recueillies dans ces bassins et des modifications apportées au progiciel de modélisation GIBSI.

La modélisation intégrée de ces bassins hydrographiques est décrite en détail au chapitre 5.

CONCLUSIONS

Une importante conclusion de l'étude sur le bassin hydrographique du Bras d'Henri est que les facteurs liés au paysage comme le type de sol, l'hydrologie et le climat influent sur l'efficacité des PGB. Les chercheurs ont constaté que les PGB donnent des résultats différents d'un site d'étude à l'autre, voire dans un même site, selon les interactions avec ces facteurs.

La recherche sur les PGB mises en œuvre dans le microbassin d'intervention du ruisseau avant le début de l'EPBH a montré une amélioration importante des paramètres de qualité de l'eau.

Un outil convivial a été mis au point à l'intention du personnel de vulgarisation et des propriétaires fonciers pour leur permettre de simuler les effets des PGB afin de déterminer les PGB qui conviennent à chaque site et leur emplacement optimal.

L'analyse économique a montré que la plupart des PGB étudiées se soldaient par des avantages nets négatifs et qu'il faudrait sans doute un incitatif financier ou réglementaire pour en encourager l'adoption. La PGB du ruissellement procurerait sans doute des avantages supplémentaires à la ferme au chapitre de la stabilisation des sols et des rendements accrus. Dans l'étude, le travail réduit du sol a procuré un plus grand avantage net que le travail conventionnel.

L'équipe de l'Université Laval a étudié les facteurs qui influencent les décisions des producteurs au sujet de l'adoption de PGB, les coûts de réduction de la pollution pour les exploitations de différents types et tailles, l'efficience technique et environnementale des exploitations dans le bassin hydrographique et la disposition des producteurs à payer pour améliorer la qualité de l'eau. Les chercheurs de l'Université McGill ont fait de la modélisation pour comparer l'efficience

économique de la réduction de la pollution à l'échelle du bassin et de la ferme. Ces études économiques aideront les décideurs à déterminer les incitatifs qui encourageraient les producteurs à adopter les PGB.

La modélisation hydrologique des bassins des rivières Beaurivage et Bras d'Henri a mis à profit les données agronomiques et environnementales à long terme recueillies dans ces bassins et les modifications apportées au progiciel de modélisation GIBSI. La modélisation a permis de caractériser les processus hydrologiques, les mécanismes de transport et les effets probables des PGB sur la qualité de l'eau. Les données biophysiques modélisées ont été intégrées à des modèles économiques existants pour effectuer une analyse des avantages environnementaux et des coûts à la ferme de diverses politiques de mise en œuvre des scénarios de PGB.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

Plusieurs nouvelles études se poursuivent dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*. Le vaste réseau de surveillance et les données historiques multidisciplinaires recueillies s'avéreront inestimables pour les études à venir.

TÉMOIGNAGE D'UN PARTENAIRE

Alain N. Rousseau (Ph. D.)
Institut national de la recherche scientifique-Centre Eau Terre Environnement (INRS-Centre ETE)
Québec (Québec)

Au moment de la publication du rapport EPBH précédent, Alain N. Rousseau, professeur de modélisation hydrologique, a reconnu que le programme favoriserait d'étroites collaborations avec les collègues d'autres universités canadiennes. Il a depuis constaté les effets positifs du programme sur ses étudiants et les autres chercheurs travaillant sous sa direction. M. Rousseau et son équipe effectuent de la modélisation hydrologique et intégrée pour évaluer les effets de divers scénarios de PGB dans les bassins des rivières Bras d'Henri et Beaurivage.

M. Rousseau explique : « Le programme de recherche EPBH a servi de tremplin à certains de mes anciens étudiants très qualifiés. Par exemple, l'un d'eux est maintenant membre du corps professoral de l'université Laval, et un autre occupe un poste d'hydrologiste de recherche au département de l'Agriculture des États-Unis (USDA). Un de mes ex-étudiants à la maîtrise travaille comme hydrogéologue dans une entreprise d'experts-conseils spécialisée dans les ressources hydriques, et un autre entreprend des études de doctorat. »

Selon M. Rousseau, les travaux scientifiques menés dans le cadre de l'EPBH ont offert un riche terreau pour la recherche fondamentale sur des sujets connexes comme la conception de filtres végétatifs riverains : « Il va sans dire que le programme d'EPBH a semé les graines de recherches en cours et à venir. Je suis persuadé que la plupart de nos collègues canadiens qui participent à l'EPBH pourraient donner des témoignages semblables. »

Mesure du débit pour étalonner le modèle

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Michel Nolin, Nadia Goussard, Martin Chantigny, Roger Lalande, Claudel Lemieux, Marie-Josée Simard, Allan Cessna, Jonathan Bailey, Jean-Thomas Denault, Julie Corriveau, Farida Dechmi, Beáta Novotná, Mario Deschênes, Isabelle Perron et Geneviève Bégin (AAC); Marielle Laferrière, Mathieu Gourdes Vachon, Geneviève Montminy et Catherine Bossé (Club de fertilisation de la Beauce); Jacques Desjardins (IRDA); Donald Lemelin, Armand Gagnon et Émilie Beaudoin (MAPAQ); Martine Savard et Daniel Paradis (Ressources naturelles Canada); Stéphane Savary, Pierre Lafrance et Sébastien Tremblay (INRS-Centre ETE); Laurie Baker (Université McGill, L.B. Consulting); Sebastien Rivest (Université McGill); Pascal Ghazalian (Université Laval); autres membres du comité directeur de l'EPBH Bras d'Henri et Fourchette; étudiants et producteurs participants.

BIBLIOGRAPHIE – BASSINS HYDROGRAPHIQUES DU BRAS D'HENRI ET DE LA FOURCHETTE

Corriveau, J., E. van Bochove et D. Cluis. 2010. Sources of nitrate in streams of an intensively cropped watershed. *Water Environ Res*, 82(7):622-632.

Corriveau, J., E. van Bochove, G. Bégin et D. Cluis. 2008. Effect of preservation techniques on the determination of nitrite in freshwater samples. *Water Air Soil Pollut*, 193(1-4):335-342.

Corriveau, J., E. van Bochove, M.M. Savard, D. Cluis et D. Paradis. 2010. Occurrence of high in-stream nitrite levels in a temperate region agricultural watershed. *Water Air Soil Pollut*, 206(1-4):335-347.

Ghazalian, P.L., B. Larue et G.E. West. 2009. Best management practices to enhance water quality: Who is adopting them? *J Agr Appl Econ*, 41(3):663-682.

Gumiere, S.J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema et P-E. Isabelle. 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(3):169-184..

Larue, B., G.E. West, L.D. Tamini, A. Singbo et J. Dangbedji. 2014. Willingness to pay for BMP-induced water quality benefits and deviations around expected water quality outcomes. *Rev. can. des ressources hydriques*, 39(4):437-448.

Muma, M., S.J. Gumiere et A.N. Rousseau. 2014. Analyse de sensibilité du modèle CATHY aux propriétés hydrodynamiques du sol d'un microbassin agricole drainé. *Hydrolog Sci J*, 59(8):1606-1623.

Muma, M., S.J. Gumiere, A.N. Rousseau, C. Scudeler et C. Paniconi. 2013. Implementation of a root water extraction module in CATHY: Comparison of four empirical root-density distribution models. Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges. *Procedia Environ Sci*, 19(2013):57-66.

Novotná, B., E. van Bochove et G. Thériault. 2014. Potential ecological impact of climate change on the water quality an intensively managed agricultural watershed in Quebec, Canada. *J Water Clim Change*, 5(1):81-99.

Quilbé, R. et A.N. Rousseau. 2007. GIBSI: An integrated modelling system for watershed management – Sample applications and current developments. *Hydrol Earth Syst Sci*, 11:1785-1795.

Rousseau, A.N., J.-P. Fortin, R. Turcotte, A. Royer, S. Savary, F. Quévy, P. Noël et C. Paniconi. 2011. PHYSITEL, a specialized GIS for supporting the implementation of distributed hydrological models. *CWRA Water News*, 31(1):18-20.

Rousseau, A.N., P. Lafrance, M-P Lavigne, S. Savary, B. Konan, R. Quilbé, P. Jiapizian et M. Amrani. 2012. A hydrological modeling framework for defining achievable performance standards for pesticides. *J Environ Qual*, 41(1):52-63.

Rousseau, A.N., S. Savary, D.W. Hallema, S.J. Gumiere et É. Foulon. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients, and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada). *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(2):99-120.

Su, J.J, E. van Bochove, G. Thériault, B. Novotna, J. Khaldoune, J.T. Denault, J. Zhou, M.C. Nolin, C.X. Hu, M. Bernier, G. Benoy, Z.S. Xing et L. Chow. 2011. Effects of snowmelt on phosphorus and sediment losses from agricultural watersheds in eastern Canada. *Agr Water Manag*, 98(5):867-876.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, C.X. Hu et X. Li. 2014. Phosphorus fluxes at the sediment-water interface in a temperate region agricultural catchment. *Water Air Soil Pollut*, 225(1):1-11.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, J.-T. Denault, C. Bossé, X. Li et C.X. Hu. 2014. Phosphorus algal availability and release potential in suspended and streambed sediments in relation to sediment and catchment characteristics. *Agric Ecosyst Environ*, 188:169-179.

Tamini, L., B. Larue et G. West. 2012. Technical and environmental efficiencies and best management practices in agriculture. *Appl Econ*, 44(13):1659-1672.

Yang, W., A. Rousseau et P.C. Boxall. 2007. An integrated economic-hydrologic modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *J Soil Water Conserv*, 62(6):423-432.

CHAPITRE

14

Bassin hydrographique du ruisseau Black (Nouveau-Brunswick)

Responsables du bassin hydrographique : Lien Chow, Herb Rees et Sheng Li (AAC)
Économistes de site : Jérôme Damboise (Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada) et Van Lantz (Université du Nouveau-Brunswick)
Spécialiste de la modélisation hydrologique du site : Fanrui Meng (Université du Nouveau-Brunswick)

FAITS SAILLANTS

- ***Résultats biophysiques mitigés*** – Les résultats mitigés des PGB dans le bassin du ruisseau Black constituent un exemple de la complexité des bassins hydrographiques et du besoin d'une approche systémique. Dans ce bassin, les déviations et les voies d'eau gazonnées ont efficacement réduit le ruissellement, l'érosion du sol et les concentrations de pesticides dans les cours d'eau, mais elles étaient moins efficaces lors des pluies diluviennes et semblaient contribuer aux charges en éléments nutritifs de l'eau souterraine.
- ***Aspects économiques*** – Il coûte cher aux producteurs d'aménager des déviations et des voies d'eau gazonnées, mais ces PGB procurent des avantages économiques nets positifs si on tient compte de leurs avantages publics comme l'amélioration de la qualité de l'eau. Ces résultats peuvent aider à concevoir des politiques et des programmes.
- ***Modélisation hydrologique*** – La modélisation hydrologique a montré que plus d'un tiers du débit annuel et des charges en sédiments dans ce bassin étaient attribuables à la fonte des neiges au printemps. Elle a également montré que les déviations et les voies d'eau gazonnées jouent un rôle important pour réduire le ruissellement et les charges sédimentaires et pour conserver de l'eau pour la croissance des plantes.

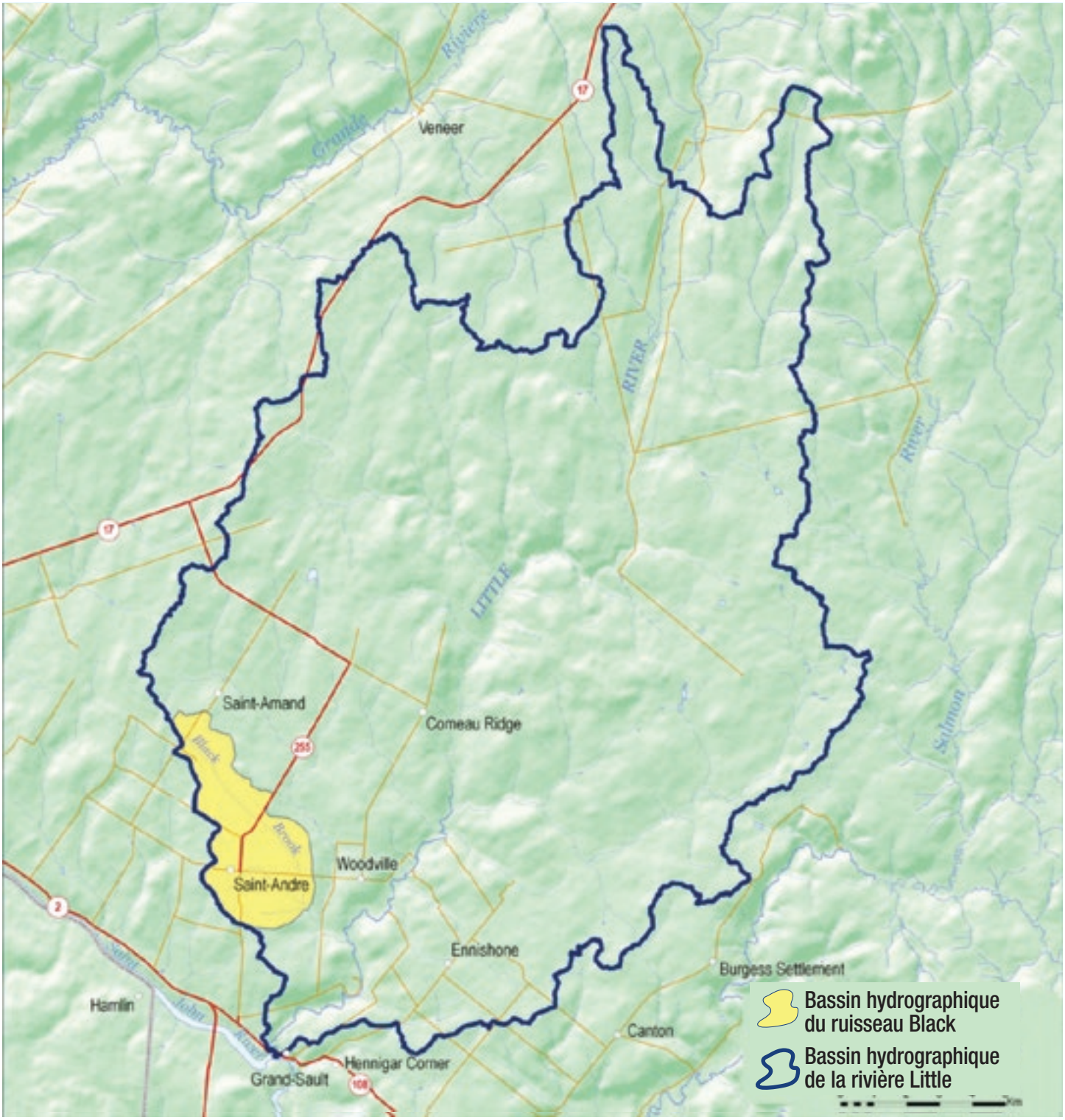


FIGURE 17
Bassin hydrographique du ruisseau Black

CONTEXTE ET ENJEUX

Le bassin hydrographique du ruisseau Black (figure 17), qui couvre une superficie de 14,5 km^2, se trouve au nord de Grand-Sault, dans la région de culture de la pomme de terre du Nouveau-Brunswick. Ce bassin fait partie du bassin de la rivière Little, d'une superficie de 380 km^2. Le relief y est vallonné; les pentes varient généralement de 2 à 9 %, mais elles atteignent plus de 15 % par endroits.

Les terres agricoles représentent environ 65 % de la superficie du bassin du ruisseau, et le reste est constitué de forêts ou de zones urbaines ou résidentielles. On y cultive principalement la pomme de terre en rotation avec des céréales et du foin fourrager. Chaque année, la pomme de terre est cultivée sur la moitié de la superficie des terres agricoles.

Comme la région se caractérise par un relief vallonné, des sols caillouteux et de fortes précipitations, le risque d'érosion hydrique y est élevé. La production de pomme de terre perturbe beaucoup le sol, ce qui entraîne une érosion considérable attribuable au travail du sol et à l'eau. Cette érosion peut donner lieu à des apports excessifs de sédiments et d'éléments nutritifs aux eaux de surface et aux eaux souterraines de la région, là où de bonnes pratiques de conservation des sols et de l'eau n'ont pas été adoptées. En raison de la perméabilité élevée du substratum rocheux fracturé, les eaux souterraines de la région sont aussi exposées à la contamination par les nitrates provenant des engrais.

Le bassin hydrographique du ruisseau Black est devenu un bassin expérimental au début des années 1990 afin qu'on y étudie les effets de la production intensive de pommes de terre sur la qualité de l'eau. Une grande quantité de données sur les sols, le relief, le climat, l'affectation des terres, les débits des cours d'eau et la qualité de l'eau ont été recueillies durant plusieurs années avant l'EPBH.

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des deux PGB suivantes :

- déviations et voies d'eau gazonnées;
- bandes riveraines gazonnées.

Description des PGB et résultats

Déviations et voies d'eau gazonnées

Les déviations et les voies d'eau gazonnées font partie d'une approche systémique visant à réduire l'érosion des sols et les pertes d'eau des terres à forte pente. Les déviations servent à diviser une longue pente en une série de courtes pentes. Le ruissellement sur chaque terrasse est intercepté et détourné dans une voie d'eau gazonnées.

Les voies d'eau gazonnées sont des canaux recouverts de végétation pérenne conçus pour acheminer l'eau à travers les terres agricoles de façon à réduire l'érosion du sol. Ces canaux sont habituellement aménagés en suivant les trajets d'écoulement naturel de l'eau dans les champs. L'herbe semée dans les canaux ralentit l'écoulement, filtre les sédiments charriés par l'eau de ruissellement et protège les canaux contre l'érosion.

Deux sous-bassins hydrographiques reliés, couvrant ensemble une superficie de 300 ha, ont été choisis pour l'étude dans le bassin hydrographique du ruisseau Black. Des déviations et des voies d'eau gazonnées avaient été aménagées dans les deux sous-bassins avant l'EPBH, et on leur a apporté des améliorations durant l'EPBH. La qualité de l'eau a été surveillée à l'exutoire du sous-bassin en aval, qui combine les débits des deux sous-bassins, et à l'exutoire du sous-bassin en amont, qui est beaucoup plus petit. Les résultats de cette surveillance (2005–2007) ont été comparés aux données historiques qui avaient été collectées avant l'aménagement des déviations et des voies d'eau gazonnées.

Les déviations et les voies d'eau gazonnées protègent les sols contre l'érosion hydrique, mais elles peuvent entraîner une hausse des charges en éléments nutritifs de l'eau souterraine.

Les résultats de l'étude montrent que les déviations et les voies d'eau gazonnées réduisent le ruissellement et l'exportation de sédiments et de polluants liés aux particules, comme le phosphate. Toutefois, les variations locales (emplacement de PGB, conditions météorologiques ou caractéristiques du paysage) jouent sur les résultats. Les résultats pour le sous-bassin en amont ne cadraient pas toujours avec ceux obtenus pour l'écoulement combiné des deux sous-bassins. Le débit et la charge en sédiments ont varié considérablement d'une année à l'autre selon les conditions météorologiques, et la PGB était moins efficace durant les fortes pluies.

L'analyse d'échantillons d'eau recueillis dans des puits domestiques, des puits de surveillance et des drains souterrains a révélé une hausse du lessivage d'azote (N) et de phosphore (P) solubles dans l'eau souterraine, peut-être en raison d'une infiltration d'eau accrue après la mise en œuvre de la PGB.

À l'aide d'isotopes environnementaux (isotopes de l'eau et isotopes stables du nitrate), on a étudié les mécanismes de production du débit des cours d'eau ainsi que les sources et voies de transport des solutés. Les résultats montrent que, même durant les pointes, le débit de base contribue beaucoup au débit. Les concentrations de N sous forme de nitrates ont dépassé la valeur recommandée par Santé Canada pour la qualité de l'eau (10 mg/l) dans 19 % des puits échantillonnés ainsi que la valeur recommandée par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) pour la protection de la vie aquatique (3,0 mg/l) dans 82 % des puits. Il n'y a eu aucun signe de dénitrification dans l'aquifère profond. Les signatures isotopiques du N montrent que la majeure partie du nitrate qui a atteint l'eau souterraine provenait d'engrais ou avait été produite dans les sols. À certains endroits, l'eau souterraine semblait contaminée par des contaminants organiques provenant de fuites d'installations septiques ou d'étables de bovins mal scellées. Ainsi, les chercheurs croient que l'eau souterraine était touchée par des sources de pollution ponctuelles et diffuses.

Bandes riveraines gazonnées

En 2005, des zones tampons riveraines gazonnées ont été aménagées dans un sous-bassin où peu de travaux de conservation avaient été effectués. Ces zones tampons se trouvent de part et d'autre d'un canal enherbé amélioré et de voies d'eau gazonnées nouvellement aménagées. L'efficacité avec laquelle ces tampons réduisaient l'apport de sédiments et d'éléments nutritifs à l'eau s'écoulant dans les canaux de drainage a été évaluée par une surveillance en bordure des champs et à l'échelle du sous-bassin.

Les bandes riveraines gazonnées réduisent le ruissellement et l'exportation de sédiments, mais le degré de réduction varie beaucoup d'une année à l'autre.

Comme les déviations et les voies d'eau gazonnées, cette PGB a réduit le ruissellement et l'exportation de sédiments, mais les résultats pour les éléments nutritifs n'étaient pas concluants. Dans ce cas-ci encore, le degré de réduction du débit et de la charge sédimentaire varie beaucoup d'une année à l'autre selon la quantité, l'intensité et la répartition temporelle des précipitations.

De même, les bandes riveraines gazonnées étaient moins efficaces pour réduire les charges provenant de pluie de forte intensité. Les tampons se trouvant au pied de champs cultivés en courbes de niveau présentant une pente de longueur raisonnable recevaient très peu de ruissellement durant les pluies légères.

Autres études biophysiques

La recherche s'est concentrée sur l'évaluation des deux principales PGB, mais d'autres pratiques ont été mises en œuvre et évaluées dans le cadre du projet d'EPBH du ruisseau Black, soit le drainage souterrain, le labour et la culture en courbes de niveau, le labour au chisel et la gestion des résidus de culture. Les résultats préliminaires de la surveillance de quatre réseaux de drainage souterrain de champs dans une rotation céréale-pomme de terre indiquent que les concentrations de nitrates étaient plus élevées dans l'eau de drainage que dans l'eau échantillonnée à des sites de surveillance de l'eau du ruisseau et de l'eau souterraine.

Études complémentaires

D'autres études menées de concert avec le projet d'EPBH ont utilisé le vaste réseau de surveillance du bassin hydrographique du ruisseau Black et les jeux de données qui y avaient été recueillies. Ces études ont quantifié les effets de PGB sur la qualité de l'eau et ont permis de mieux comprendre les effets de divers facteurs sur l'efficacité des PGB.

- ***Normes de performance écologique*** – Le bassin du ruisseau Black et plusieurs autres bassins dans les bassins hydrographiques des rivières Little et Salmon (Nouveau-Brunswick) ont fait l'objet de suivis pour la mise au point d'indicateurs écologiques et biologiques des effets des sédiments et des éléments nutritifs le long d'un gradient d'intensité agricole. L'étude a examiné comment l'interaction de stresseurs multiples (sédiments, éléments nutritifs et insecticides) dans les paysages agricoles influe sur les communautés biologiques et sur l'interprétation des normes. Ce projet, qui faisait suite au programme de recherche sur l'eau de l'Initiative nationale d'élaboration de normes agroenvironnementales (INENA), a été mené conjointement par AAC, Environnement Canada et l'Université du Nouveau-Brunswick et financé par le programme Systèmes environnementaux pour une agriculture durable (SEAD) d'AAC.
- ***Caractérisation des sédiments*** – Le traçage des sources de sédiments mené dans les bassins hydrographiques de l'EPBH en Alberta et au Manitoba a révélé que la majeure partie des sédiments transportés dans ces bassins provenait de l'érosion des berges plutôt que du ruissellement dans les champs. Les études se poursuivent dans le bassin de la rivière Bras d'Henri et dans le bassin du projet EPBH au Québec. Elles devraient également montrer que les processus se déroulant dans le cours d'eau contribuent beaucoup aux sédiments qu'ils transportent.
- ***Dépistage des sources de pollution microbienne*** – Depuis 2007, dans un projet conjoint d'AAC et de Santé Canada, un certain nombre de puits dans le bassin du ruisseau Black sont constamment échantillonnés pour y mesurer les activités microbiennes. De nombreux échantillons ont présenté de fortes densités de coliformes, d'*E. coli* et d'autres bactéries, particulièrement durant les périodes de débit de pointe. Ces densités élevées seraient attribuables à un étang d'épuration d'eaux usées voisin ou à l'activité d'animaux sauvages.
- ***Résidus de pesticides*** – De 2003 à 2007, des échantillons d'eau prélevés à divers endroits dans le bassin hydrographique ont été analysés pour y déterminer la présence et les concentrations de pesticides afin d'évaluer les risques qu'ils présentent pour l'eau de surface dans les régions de production intensive de pommes de terre. Les données obtenues dans ce projet conjoint d'AAC et d'Environnement Canada peuvent aider à mettre au point des PGB pour réduire la pollution par les pesticides. Les déviations et les voies d'eau gazonnées ont réduit les concentrations de tous les pesticides étudiés de presque la moitié par rapport au site témoin.

Échantillonneur installé dans le bassin du ruisseau Black pour déterminer les sources des sédiments

VOLET ÉCONOMIQUE

L'analyse économique a consisté à évaluer le degré d'adoption de PGB ainsi que les coûts à la ferme, les effets sur la performance et les avantages publics des PGB.

Données historiques sur les exploitations agricoles

Des données sur la gestion des sols et des cultures par les exploitations agricoles sont recueillies dans le bassin hydrographique du ruisseau Black depuis 1988. L'analyse de ces données montre que des progrès ont été accomplis pour réduire le ruissellement et la pollution de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Les améliorations les plus importantes sont la réduction de l'intensité des cultures de pommes de terre et la construction d'ouvrages de conservation du sol. En 1988, les déviations ne protégeaient que 39 ha dans le bassin, soit 4 % de la superficie des terres agricoles. En 2011, la superficie protégée par les déviations se chiffrait à 505 ha, soit 52 % de la superficie des terres agricoles dans le bassin. On continue de construire des déviations dans le bassin, mais à un rythme plus lent.

Sondages sur le rendement et la qualité des pommes de terre

Des sondages menés auprès de producteurs de 2006 à 2012 ont permis de comparer les rendements et la qualité des pommes de terre Russet Burbank produites selon une de deux méthodes, soit la culture dans le sens de la pente et la culture en courbes de niveau (avec ou sans déviations). Les rendements et la qualité ont été excellents toutes ces années et n'ont pas différé entre les deux méthodes de culture. Toutefois, les producteurs continuent, dans la mesure du possible, d'aménager des ouvrages de conservation du sol. Ils maintiennent ainsi la productivité à long terme de leurs terres davantage que pour obtenir des gains économiques à court terme.

Effets des PGB sur le rendement en pommes de terre

Les données historiques et les données des sondages sur le rendement et la qualité ont servi à une série d'études concernant les effets des PGB sur le rendement en pommes de terre. Contrairement aux sondages sur le rendement et la qualité, ces études laissent croire que les déviations ont permis d'accroître le rendement moyen en pommes de terre.

Une étude portant sur 267 champs du bassin a montré que les ouvrages de conservation du sol et de l'eau avaient des effets mitigés sur le rendement en pommes de terre. Le travail du sol au printemps et les déviations ont augmenté le rendement moyen en pommes de terre, alors que d'autres pratiques comme les voies d'eau gazonnées, le drainage et le labour au chisel ont eu l'effet inverse.

Une autre étude a examiné les façons dont les PGB influent sur les effets des changements climatiques sur la production de pommes de terre. Les variables climatiques auraient l'effet le plus important sur le rendement moyen en pommes de terre; on s'attend à ce que les températures accrues projetées se traduisent par des hausses de rendement. Les chercheurs ont utilisé les résultats d'analyses de régression en combinaison avec trois scénarios de changements climatiques et les prévisions de quatre modèles de circulation générale pour trois périodes de 30 ans (2011–2100) afin d'estimer la plage des rendements en pommes de terre pour ces périodes. Les résultats montrent que la prise en compte des pratiques de conservation du sol et de l'eau dans les relations climat-rendement entraîne une augmentation des effets des changements climatiques sur le rendement en pommes de terre, l'augmentation du rendement atteignant jusqu'à 50 % pour la période 2071–2100. Ainsi, l'adoption de pratiques de conservation du sol et de l'eau pourrait stimuler la production de pommes de terre dans le contexte des changements climatiques au Canada.

Dans une troisième étude, les chercheurs ont utilisé des données recueillies dans 282 parcelles d'échantillonnage pour évaluer les effets des PGB sur le rendement en pommes de terre de 2006 à 2010. Dans cette étude encore, les PGB n'ont pas tous eu le même effet sur le rendement en pommes de terre – les déviations et le labour au chisel ont augmenté le rendement moyen, tandis que la gestion des pierres et les voies d'eau gazonnées l'ont réduit.

Coûts et avantages à la ferme des déviations

Les économistes ont estimé que les déviations coûtent aux producteurs environ 360 $/ha par an. Les déviations ont augmenté les rendements moyens en pommes de terre, mais leurs coûts l'ont emporté sur la hausse de rendement estimée. Des incitatifs financiers ou réglementaires seront sans doute nécessaires pour encourager l'adoption et le maintien de cette PGB.

Avantages publics des déviations

En plus de calculer les avantages privés (à la ferme) en fonction des gains de rendement et des prix moyens des pommes de terre, les économistes ont examiné les avantages publics de la PGB. Ils ont agrégé les avantages publics en reliant les hausses de la qualité de l'eau et l'étendue de la mise en œuvre de la pratique. Ils ont estimé la valeur financière des avantages publics en menant des sondages par choix expérimentaux reliant la disposition du public à payer (taxes foncières) à l'intendance environnementale et aux améliorations de la qualité de l'eau. L'étude a permis de conclure que, si on tient compte des coûts et avantages privés et des avantages publics, la protection de 80 % de la superficie du bassin hydrographique du ruisseau Black par des déviations procurerait un avantage net de 2 624 $ et qu'une protection à 100 % procurerait un avantage net de 2 683 $.

Lorsqu'on tient compte des avantages publics, comme l'amélioration de la qualité de l'eau, dans l'analyse économique des déviations et des voies d'eau gazonnées, leurs avantages économiques nets sont positifs.

Bandes riveraines gazonnées

Cette PGB coûte cher et a un effet négatif sur le rendement des cultures, de sorte qu'elle se solde par un avantage net négatif d'environ 131 $/ha.

Labour au printemps ou à l'automne

Les aspects économiques du labour au printemps ou à l'automne dans les systèmes de production de pommes de terre ont également été évalués, dans l'hypothèse qu'un labour plus tardif réduit l'érosion du sol et la perte de N durant l'hiver. De fait, le labour au printemps a procuré des avantages nets positifs, parce que cette PGB a eu un effet positif sur les rendements. Selon les conditions météorologiques, jusqu'à 80 % des champs dans le bassin hydrographique du ruisseau Black sont labourés à l'automne au moyen d'une charrue à versoirs ou d'un chisel. La comparaison entre le labour à l'automne et le labour au printemps dans deux exploitations agricoles montre qu'il n'y a eu aucune différence significative du rendement ou de la qualité des pommes de terre Russet Burbank, mais que le labour au printemps a diminué le rendement commercialisable des pommes de terre Russet Norkotah en raison de la pourriture et de la maladie du cœur creux. On soupçonne que les champs labourés au printemps contenaient trop d'humidité durant la saison de croissance très pluvieuse de 2011.

VOLET DE MODÉLISATION

La modélisation hydrologique des PGB étudiées a été effectuée au moyen de l'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) avec des modules propres à chaque PGB. Des données de terrain ont servi à étalonner et à valider le modèle pour les prévisions concernant l'hydrologie et les charges en N, en P et en sédiments. Ces prévisions ont été bien validées.

Le modèle montre que les déviations et les voies d'eau gazonnées jouent un rôle important pour réduire le ruissellement annuel et les charges sédimentaires et pour conserver l'eau pour la croissance des plantes. Le modèle prévoit que les déviations pourraient réduire les charges en sédiments de 60 % à l'échelle du bassin hydrographique.

Un modèle événementiel des zones tampons et voies d'eau gazonnées indique que l'efficacité des bandes riveraines gazonnées augmente lorsque leur largeur passe de 15 à 35 m, selon l'intensité de la pluie. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour les simulations qui incluaient aussi une baisse du taux d'application d'engrais et la culture de pommes de terre en rotation avec le pâturage.

La modélisation hydrologique montre que les déviations et les voies d'eau gazonnées jouent un rôle important pour réduire le ruissellement et les charges sédimentaires et pour conserver l'eau pour la croissance des plantes.

Améliorations apportées au modèle SWAT

Un modèle altimétrique numérique fondé sur des données LiDAR à haute résolution a servi à redéfinir les paramètres du modèle SWAT pour le bassin, ce qui a amélioré la capacité du SWAT à prédire les paramètres de qualité de l'eau. D'autres améliorations ont consisté à mettre au point et à vérifier des modules et des procédures pour estimer le débit de base, modéliser les déplacements de l'eau souterraine, ainsi que pour calculer la température du sol et la qualité de l'eau l'hiver. En outre, les chercheurs ont déterminé les méthodes optimales de représentation de l'altitude et de la pente et ont adapté le modèle de la gestion des écosystèmes riverains REMM (*Riparian Ecosystem Management Model*) pour l'appliquer à des tampons de largeurs variables dans les conditions qui prévalent dans le Canada atlantique.

Débit de base et eau souterraine

Le modèle d'eau souterraine FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW) a été étalonné pour le bassin du ruisseau Black et les environs, et une nouvelle méthode a été mise au point afin d'estimer le débit de base et l'alimentation en eau souterraine par des mesures de la conductivité de l'eau du cours d'eau. Le modèle d'eau souterraine utilisé dans le projet a évolué au fil du temps pour donner comme produit final le modèle Visual MODFLOW.

Module de température du sol

Un nouveau module a été intégré au modèle pour calculer les températures du sol couvert de neige afin d'améliorer les prévisions de l'infiltration d'eau dans le sol, de l'alimentation en eau souterraine et des processus de transformation et de lessivage du N. On a constaté que plus du tiers du débit annuel et des charges en sédiments était attribuable à la fonte des neiges en avril.

Modèle de gestion des écosystèmes riverains REMM (Riparian Ecosystem Management Model)

Les chercheurs ont couplé les modèles REMM et SWAT pour modéliser l'efficacité des tampons riverains. Les prévisions obtenues ont varié en fonction de l'échelle, mais une zone de sous-bassins acceptable a été trouvée, et le REMM a été appliqué au bassin hydrographique du ruisseau Black. La modélisation indique que la PGB des tampons riverains pourrait réduire le ruissellement de 7 %, la charge sédimentaire de 55 % et les charges en N et en P de 40 %. Les résultats varient cependant beaucoup entre les huit sous-bassins modélisés.

Augmentation d'échelle

Le modèle SWAT a été appliqué au bassin hydrographique de la rivière Little et à son sous-bassin de la rivière Upper Little à l'aide de paramètres établis pour le bassin hydrographique du ruisseau Black. Les données existantes relatives au bassin de la rivière Little ont été complétées par des cartes des sols très précises. Les résultats concernant le bassin de la rivière Upper Little étaient très mauvais pour toutes les variables de sortie (hydrologie, qualité de l'eau et transport de sédiments). Les résultats concernant le bassin plus grand de la rivière Little étaient meilleurs, allant de passables à bons pour la charge sédimentaire, le débit de base et le débit spécifique. Ces résultats signifient que le modèle SWAT ne peut être appliqué au bassin plus grand sans effectuer un étalonnage supplémentaire.

Système d'aide à la décision

Un cadre spatial de système d'aide à la décision a été élaboré pour les bassins hydrographiques du ruisseau Black et de la rivière Little River afin d'évaluer les effets de l'affectation des terres et des PGB sur l'érosion du sol et la qualité de l'eau de surface. Le cadre a été conçu pour combiner des simulations du modèle SWAT, des mesures prises sur le terrain et des résultats d'analyse documentaire. L'objectif est de créer un outil convivial qui aidera les décideurs à élaborer des politiques agroenvironnementales et des plans optimaux de PGB.

CONCLUSIONS

Une importante conclusion de l'étude sur le bassin hydrographique du ruisseau Black est que les PGB destinées à atténuer des problèmes environnementaux précis peuvent parfois causer d'autres problèmes. Par exemple, les déviations et les voies d'eau gazonnées ont protégé les sols contre l'érosion hydrique, mais elles peuvent faire augmenter les charges nutritives dans l'eau souterraine. Par conséquent, les PGB doivent être conçues de façon à tenir compte d'objectifs et de priorités et doivent être considérées comme faisant partie d'une approche holistique de concert avec d'autres PGB ou mesures de conservation.

Les chercheurs ont constaté que l'efficacité des PGB dans ce bassin était réduite durant les pluies extrêmes. Les ouvrages des PGB structurales étaient parfois endommagés par de fortes pluies et devaient alors être réparés. Il est essentiel d'entretenir ces ouvrages pour éviter qu'ils ne fassent défaillance à long terme.

L'analyse économique a permis de conclure que les pratiques de conservation du sol et de l'eau peuvent être efficaces pour maintenir la fertilité du sol et améliorer le rendement en pommes de terre. Il n'existe toutefois pas de solution universelle pour améliorer le rendement. Comme les coûts de l'aménagement de terrasses annuleraient tout gain de rendement, des incitatifs financiers ou réglementaires seront sans doute nécessaires pour encourager l'adoption et le maintien de cette PGB. Toutefois, si on tient compte des avantages publics de la PGB, leurs avantages économiques nets sont positifs.

Le modèle SWAT a été bien étalonné et validé pour le bassin hydrographique du ruisseau Black. Les paramètres du modèle ont été redéfinis, et de nouveaux modules ont été intégrés au modèle pour accroître sa capacité de prévision pour ce bassin. D'autres modèles ont servi à évaluer l'hydrologie des eaux souterraines et l'efficacité des zones tampons.

Le modèle SWAT a été appliqué à un bassin hydrographique adjacent avec un succès limité; les résultats étaient un peu meilleurs à l'échelle du bassin plus étendu. Il faudrait mieux étalonner le modèle pour améliorer les résultats de l'augmentation d'échelle.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

La recherche sur les PGB se poursuit dans le bassin hydrographique du ruisseau Black grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*, et elle met davantage l'accent sur leur efficacité durant les pluies extrêmes. Le vaste réseau de surveillance et les données historiques multidisciplinaires recueillies s'avéreront inestimables pour les études à venir.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Glenn Benoy et Serban Danielescu (AAC et Environnement Canada), Jean-Louis Daigle (Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada), Zisheng Xing (Université du Nouveau-Brunswick), les autres membres du comité directeur de l'EPBH du ruisseau Black, le personnel de soutien technique et les étudiants et producteurs participants.

TÉMOIGNAGE D'UN PRODUCTEUR PARTICIPANT

Alyre Poitras
Producteur de pommes de terre
Saint-André (Nouveau-Brunswick)

Ralentir la perte de sol

Lorsque la terre de vos champs ne cesse d'être emportée par les eaux de ruissellement, vous savez que vous devez trouver un meilleur moyen de combattre l'érosion du sol. C'est la situation à laquelle était confronté Alyre Poitras, il y a plusieurs années, lorsqu'il a décidé de participer au projet d'EPBH du ruisseau Black. M. Poitras a proposé aux chercheurs d'utiliser sa ferme de production de pommes de terre, située à Saint-André, comme site expérimental. Pour réduire les pertes de sol entraîné par le ruissellement vers les cours d'eau voisins, il a terrassé ses champs et gazonné les voies d'eau de son exploitation. Les travaux ont porté leurs fruits. « Chaque année, je ramassais quatre ou cinq chargements de terre qui avait été emportée hors des champs par les eaux de ruissellement, et maintenant je ramasse moins d'un chargement tous les cinq ans », explique-t-il.

Les travaux visant à améliorer l'environnement à la ferme peuvent coûter cher. C'est pourquoi M. Poitras se réjouit des recherches qui permettent d'obtenir des données fiables sur les coûts et les avantages de diverses stratégies environnementales. Dans son cas, pour réduire l'érosion du sol, il a fallu retirer de la production une partie de ses terres afin d'y aménager des terrasses qui ralentissent les eaux de ruissellement. Il explique : « Cette décision a été payante à long terme, surtout avec les gros orages que nous avons connus ces derniers temps, car nous ne perdons plus autant de sol. »

Les voies d'eau gazonnées aident à réduire l'érosion du sol dans le bassin hydrographique du ruisseau Black.

BIBLIOGRAPHIE - BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU RUISSEAU BLACK BROOK

Ashraf, M. I., Z. Zhao, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2012. GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models. *Hydrol Process*, 26(8):1119-1133.

Chow, L., Z. Xing, G. Benoy, H.W. Rees, F. Meng, Y. Jiang et J.L. Daigle. 2011. Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 66(1):71-84.

Chow, T.L., H. W. Rees, J.O. Monteith, P. Toner et J. Lavoie. 2007. Effects of coarse fragment content on soil physical properties, soil erosion and potato production. *Rev. can. de la science du sol*, 87(5):565-577.

Ochuodho, T., E. Olale, V. Lantz, J. Damboise, T.L. Chow, F.R. Meng et J.L. Daigle. 2013. Impacts of soil and water conservation practices on potato yield in northwestern New Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(5):392-400.

Ochuodho, T.O., E. Olale, V.A. Lantz, J. Damboise, J.–L. Daigle, F.-R. Meng, S. Li et T.L. Chow. 2014. How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Reg Environ Chang*, 14:1563-1574.

Rees, H.R., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2008. Soil and crop responses to long-term potato production at a benchmark site in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 88(3):409-422.

Rees, H.W., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2007. Spatial and temporal trends in soil properties and crop yield at a site under intensive up-and-down-slope potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 87(4):383-398.

Rees, H.W., T.L. Chow, B.J. Zebarth, Z. Xing, P. Toner, J. Lavoie et J.L. Daigle. 2011. Effects of supplemental poultry manure applications on soil erosion and runoff water quality from a loam soil under potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 91:595-613.

Su, J.J, E. van Bochove, G. Thériault, B. Novotna, J. Khaldoune, J.T. Denault, J. Zhou, M.C. Nolin, C.X. Hu, M. Bernier, G. Benoy, Z.S. Xing et L. Chow. 2011. Effects of snowmelt on phosphorus and sediment losses from agricultural watersheds in eastern Canada. *Agr Water Manag*, 98(5):867-876.

Xing, Z., L. Chow, H. Rees, S. Li, B. Ernst, G. Benoy, T. Zha et M. Hewitt. 2013. Influences of sampling methodologies on pesticide residue detection in stream water. *Arch Environ Contam Toxicol*, 64(2):208-218.

Xing, Z., L.T. Chow, H.W. Rees, M. Hewitt, F.R. Meng, J. Monteith et L. Stevens. 2011. A comparison of effects of one-pass and conventional potato hilling on water runoff and soil erosion under simulated rainfall. *Rev. can. de la science du sol*, 91(2):279-290.

Xing, Z., P. Toner, T.L. Chow, H.W. Rees, S. Li et F. Meng. 2012. Impacts of hay mulch on soil properties and potato tuber yield under irrigation and non-irrigation in New Brunswick, Canada. *J Irrig Drain E*, 138(8):703-714.

Yang, Q., F-R. Meng, Z-Y. Zhao, T.L. Chow, G.A. Benoy, H.W. Rees et C.P.-A. Bourque. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream surface water yields and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agric Ecosyst Environ*, 132(1-2):23-31.

Yang, Q., G.A Benoy, T.L. Chow, J.L. Daigle, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2012. Using the Soil and Water Assessment Tool to estimate achievable water quality targets through implementation of beneficial management practices in an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 41(1):64-72.

Yang, Q., G.A. Benoy, Z. Zhao, T.L. Chow, C.P.-A. Bourque et F. Meng. 2011. Watershed-level analysis of exceedance frequencies for different management strategies. *Water Qual Res J Can*, 46(1):64-73.

Yang, Q., Z. Zhao, G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2010. A watershed-scale assessment of cost-effectiveness of sediment abatement with flow diversion terraces. *J Environ Qual*, 39(1):220-227.

Yang, Q., Z. Zhao, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2009. Using a GIS and digital elevation model to assess the effectiveness of variable grade flow diversion terraces for reducing soil erosion in north-western New Brunswick, Canada. *Hydrol Process*, 23:3271-3280.

Zhang, R., Q. Li, T.L. Chow, S. Li et S. Danielescu. 2013. Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick, Canada using a Recursive Digital Filter calibrated with the Conductivity Mass Balance method. *Hydrol Process*, 27(18): 2659-2665.

Zhao, Z., G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, J. Daigle et F. Meng. 2010. Impacts of accuracy and resolution of conventional and LiDAR based DEMs on parameters used in hydrologic modeling. *Water Resour Manage*, 24(7):1363-1380.

Zhao, Z., Q. Yang, G. Benoy, T.L. Chow, Z. Xing, H.W. Rees et F-R. Meng. 2010. Using artificial neural network models to produce soil organic carbon content distribution maps across landscapes. *Rev. can. de la science du sol*, 90(1):75-87.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, G. Benoy, Z. Xing et F-R. Meng. 2008. Model prediction of soil drainage classes based on digital elevation model parameters and soil attributes from coarse resolution soil maps. *Rev. can. de la science du sol*, 88(5):787-799.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, Z. Xing et F-R. Meng. 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Comput Electron Agric*, 65(1):36-48.

CHAPITRE

15

Bassin hydrographique du ruisseau Thomas (Nouvelle-Écosse)

Responsable du bassin hydrographique : Dale Hebb (AAC)
Économiste de site : Emmanuel Yiridoe (campus agronomique de l'Université Dalhousie)
Spécialiste de la modélisation hydrologique : Rob Jamieson (Université Dalhousie)

FAITS SAILLANTS

- ***Complexité de l'écosystème*** – En raison de la présence de plusieurs facteurs complexes, plusieurs années pourront être nécessaires avant de déceler la réaction de l'écosystème aux modifications d'application des éléments nutritifs dans ce bassin hydrographique.
- ***Déviation du ruissellement de la cour de ferme*** – La déviation du ruissellement de la cour de ferme est à l'origine de la réduction des concentrations en bactéries et en P total en aval.
- ***Économie*** – Un modèle économique a été utilisé en conjonction avec le modèle hydrologique afin de prévoir l'incidence de la mise en œuvre des pratiques de gestion bénéfiques (PGB) sur les marges brutes des exploitations agricoles. Les résultats indiquent que toutes les PGB ayant fait l'objet d'études réduisent les marges brutes, ce qui donne à penser que des incitatifs financiers ou des systèmes réglementaires seraient requis pour encourager les producteurs à les adopter. Cependant, la réduction de la marge brute associée à la PGB consistant à installer des clôtures d'exclusion des bovins peut être minimisée si une eau potable plus propre permet d'augmenter la production laitière.
- ***Modélisation hydrologique*** – Le modèle hydrologique a fait la preuve de son potentiel d'outil d'aide à la décision pour la gestion des bassins hydrographiques agricoles en Nouvelle-Écosse, lorsque quelques améliorations lui sont apportées. L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été jugé très efficace pour prévoir l'hydrologie, efficace pour simuler l'exportation de nitrates, et satisfaisant pour simuler l'exportation de sédiments et d'azote (N) total à partir du bassin hydrographique.

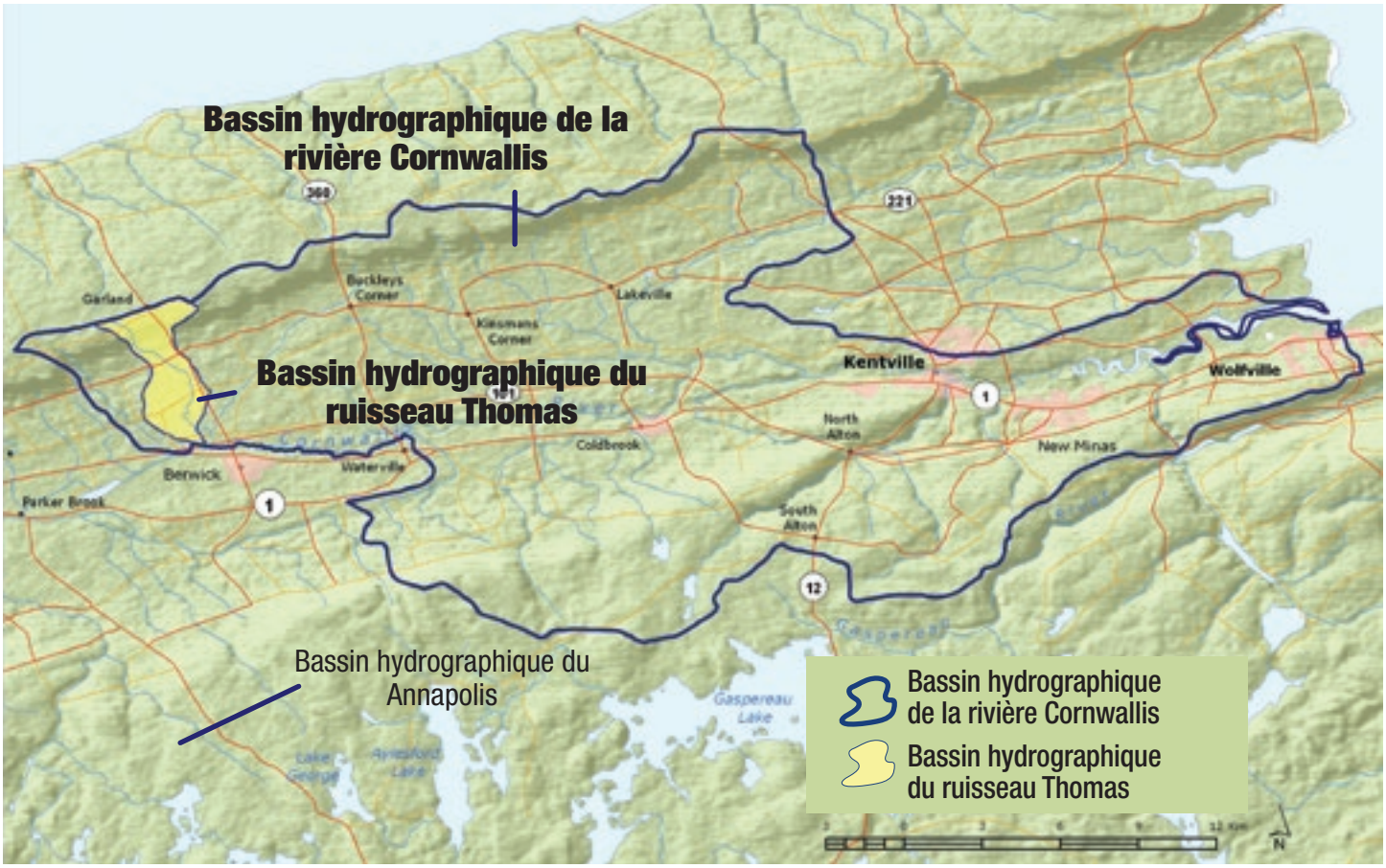


FIGURE 18
Bassin hydrographique du ruisseau Thomas

CONTEXTE ET ENJEUX

Le bassin hydrographique du ruisseau Thomas, qui occupe une superficie de 7,6 km^2, se situe au sein du bassin hydrographique de la rivière Cornwallis de la vallée d'Annapolis, rivière qui se déverse dans la baie de Fundy (figure 18). La vallée d'Annapolis comprend environ 20 % des terres agricoles de la Nouvelle-Écosse, et on en tire près de la moitié des recettes agricoles de la province, ce qui en fait une région agricole importante du Canada atlantique. Le bassin du ruisseau Thomas présente un ensemble complexe de paysages typiques de la région. La partie amont du bassin, principalement boisée, se caractérise par des pentes abruptes et un sol argileux, tandis que des sols de texture plus légère se trouvent dans les secteurs plus plats et plus cultivés du cours inférieur du ruisseau.

La production agricole du bassin hydrographique du ruisseau Thomas est diverse. Elle comprend l'élevage de bovins, la production de produits laitiers et des cultures de fruits et légumes de haute valeur. L'agriculture représente 57 % de l'utilisation des terres au sein du bassin, tandis que 30 % du bassin est boisé. Le bassin compte environ 90 résidences rurales.

Les concentrations en éléments nutritifs, en sédiments et en bactéries des eaux du bassin hydrographique dépassaient régulièrement les seuils recommandés en matière de qualité de l'eau par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) pour les activités récréatives, l'irrigation et la conservation de la santé aquatique. Compte tenu de l'utilisation mixte des terres, il est difficile de déterminer les sources de contamination et d'évaluer les impacts de l'agriculture sur la qualité de l'eau. En raison de la diminution de la qualité de l'eau et de l'importance de l'utilisation des terres à des fins agricoles dans le bassin hydrographique, il est jugé important de mettre en place des PGB pour améliorer la qualité de l'eau. Mieux comprendre les répercussions à plus grande échelle de l'agriculture sur un écosystème mixte est devenu un objectif sous-jacent du projet du ruisseau Thomas.

Le projet du ruisseau Thomas a été lancé en 2001, lorsque l'ancien Nova Scotia Agricultural College (désormais le campus agronomique de l'Université Dalhousie) a entrepris une surveillance des eaux de surface. En 2004, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a entrepris la mise en œuvre et l'évaluation des PGB dans le cadre du programme d'EPBH. La surveillance de la qualité de l'eau et de l'écoulement fluvial se déroulait au début pendant la saison de croissance (mai à octobre). À partir de 2007, l'échantillonnage a été réalisé tout au long de l'année à sept stations de surveillance permanentes situées le long du ruisseau Thomas et de ses affluents situés à proximité. La qualité de l'eau fait

l'objet d'une surveillance régulière afin de déterminer les concentrations d'éléments nutritifs, de sédiments et d'*E. coli*. Les sites d'échantillonnage dans la partie amont du bassin ont été placés dans des zones de pâturages permanents et principalement boisées, pour fournir des données de référence sur les conditions de qualité de l'eau. Les stations d'échantillonnage situées immédiatement en aval de l'emplacement des PGB permettaient d'examiner les apports des résidences et de l'agriculture. La surveillance a aussi été faite à l'exutoire du bassin dans le but de mesurer les effets cumulés en aval de l'ensemble des PGB.

Une base complète de données géospatiales a été mise au point afin de fournir une représentation géospatiale des observations biophysiques découlant de la recherche menée dans le cadre de l'EPBH. Cet outil a été utilisé pour la modélisation hydrologique et économique, l'analyse statistique et la planification de l'avenir. Les cartes des champs créées à l'aide de cette base de données ont été fournies aux producteurs locaux de manière à ce qu'ils s'en servent comme outil de planification agronomique pour visualiser leurs pratiques de culture, les quantités de phosphore, etc. Les cartes ont aussi appuyé des exposés et servi à créer des fiches d'information.

Le projet a servi de point de départ à la création d'un groupe d'intervenants du bassin hydrographique composé d'habitants et de producteurs du secteur d'intérêt. La Cornwallis Headwaters Society a été fondée en 2007 dans le but d'appuyer la recherche, la sensibilisation à la qualité de l'eau et les activités d'éducation et de conservation à l'échelle du bassin.

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale des quatre PGB suivantes :

- plans de gestion des éléments nutritifs;
- déviation du ruissellement agricole;
- clôtures d'exclusion des bovins;
- réfection d'un étang de retenue afin de recueillir le ruissellement et entreposer l'eau aux fins d'irrigation d'appoint.

Description des PGB et résultats

Planification de la gestion des éléments nutritifs

Le but de la PGB consiste à réduire le lessivage excessif d'éléments nutritifs en gérant les applications d'éléments nutritifs. Au début du projet d'EPBH, des professionnels certifiés de la gestion des éléments nutritifs ont mis au point des plans de gestion sur trois ans pour six exploitations agricoles possédant des terres dans le bassin du ruisseau Thomas. Les plans ont été renouvelés selon les besoins, en respectant les recommandations en vigueur. Les chercheurs du projet d'EPBH ont collecté des données détaillées sur les cultures, l'application d'engrais et les rendements, puis ils ont prélevé des échantillons de sol à titre de référence afin de suivre les tendances des éléments nutritifs dans le sol. L'échantillonnage de l'eau du ruisseau a permis de suivre les tendances de la qualité de l'eau dans le bassin et ses sous-bassins.

En raison de plusieurs facteurs naturels et agronomiques, des années peuvent être nécessaires pour déceler la réaction de l'écosystème aux modifications de l'application des éléments nutritifs.

Aucun changement de la qualité de l'eau n'a été décelé en faisant une comparaison de base des données avant et après la mise en œuvre de la PGB. Des concentrations excessives de phosphore ont été détectées dans le cours d'eau, mais aussi, à certains moments, dans les eaux d'amont où aucun élément nutritif n'a été appliqué. Les facteurs tels que l'effet tampon créé par les zones riveraines matures, la capacité du sol à retenir le P et la variabilité naturelle des conditions météorologiques ont masqué toute répercussion réelle sur la qualité de l'eau. De plus, d'autres facteurs agronomiques peuvent avoir eu une incidence sur l'efficacité de la PGB. Ainsi, certains producteurs ont augmenté leur production, tandis que d'autres l'ont réduite. En raison de ces facteurs, des années peuvent être nécessaires pour déceler la réaction de l'écosystème aux modifications de l'application des éléments nutritifs.

Déviation du ruissellement de la cour de ferme et clôtures d'exclusion des bovins

Un système de collecte du ruissellement de l'eau de pluie à partir du toit des granges a été installé dans une ferme laitière comptant 160 bovins en 2004. Le drainage souterrain a permis de détourner cette eau relativement propre vers une zone riveraine, à l'écart des zones de manutention du fumier et de circulation. Cette PGB ciblée visait à réduire la pénétration du ruissellement contaminé dans le cours d'eau et à améliorer les conditions du lieu de travail.

En 2005, des clôtures électriques et une aire d'abreuvement à l'écart du cours d'eau ont été installés de manière à limiter la circulation directe du bétail dans le ruisseau et à réduire au minimum les perturbations des rives.

Les résultats indiquent des concentrations réduites de bactéries en aval de la ferme, et la quantité de P total

amenée par des événements de fortes précipitations a diminué de plus de 50 % par rapport aux concentrations en cas de précipitations avant la mise en œuvre de la PGB. La diminution de la quantité de P est surtout attribuable à la déviation du ruissellement agricole.

On a seulement observé un effet limité de la PGB qui consistait à installer des clôtures d'exclusion des bovins et des abreuvoirs à l'écart des cours d'eau en raison des changements apportés aux activités de l'exploitation agricole. Seul un petit tronçon clôturé a été utilisé, et le nombre de bovins au pâturage a été réduit. Il s'agit d'un exemple de la manière dont les activités de l'exploitation agricole s'adaptent aux autres facteurs au-delà des préoccupations environnementales, ce qui rend l'évaluation des PGB plus complexe.

On a également observé que lorsque des travaux de construction importants ont été entrepris par l'exploitation agricole en 2008, des charges de sédiments importantes ont été observées directement en aval de la ferme, bien que l'exutoire ne présentait qu'une faible part de cette charge. Ce ruisseau à maturité, sinueux, semble absorber le mouvement de sédiments par l'érosion et les dépôts dans son cours.

Réfection du bassin de rétention

Un étang à la ferme a été mis à niveau en 2010 de manière à doubler sa capacité de rétention d'eau en ajoutant des talus et un ouvrage de contrôle du débit. On prévoyait que l'étang offre de nombreux avantages, y compris celui de réduire le transport des sédiments et du phosphore dans le ruisseau Thomas en provenance des champs cultivés d'un sous-bassin de 146 hectares et de fournir un lieu d'emmagasinage de l'eau pour la protection contre le gel et pour l'irrigation pendant la saison sèche de cultures de fraises sur une superficie de 21 hectares à proximité.

Un étang à la ferme a été mis à niveau de manière à doubler sa capacité de rétention d'eau. Les résultats de la modélisation font croire à une réduction des charges nutritive et sédimentaire en aval.

La modélisation et les analyses réalisées à l'aide du modèle SWAT révèlent que dans les conditions actuelles, le réservoir contiendrait suffisamment d'eau non seulement pour satisfaire à la demande actuelle de la fraisière, mais aussi pour augmenter la superficie irriguée de peut-être 30 %. On estime que le réservoir permettrait de réduire d'environ 36 % les charges moyennes de sédiments en aval. Pour ce qui est du piégeage des éléments nutritifs, les réductions seraient plus modestes, de l'ordre de 6 à 8 % dans le cas de l'azote et du phosphore. L'analyse des échantillons d'eau prélevés indique que le réservoir présente des concentrations de P et d'*E. coli* inférieures à celles dans le ruisseau Thomas situé à proximité. Il convient de développer cet emploi combiné d'un petit réservoir pour retenir les sédiments et le P et pour fournir de l'eau pour l'irrigation des cultures de grande valeur.

Autres études biophysiques

L'utilisation mixte des terres et les caractéristiques complexes du paysage dans le bassin hydrographique du ruisseau Thomas font qu'il est difficile d'évaluer l'efficacité des PGB en s'appuyant uniquement sur les modifications apportées à la qualité de l'eau. Les chercheurs ont employé d'autres approches novatrices pour évaluer leur efficacité.

- ***Évaluation de la santé de la zone riveraine*** – Environ un dixième du bassin est classé comme riverain. Dans cette partie, seulement 10 % de la superficie est considérée comme étant en mauvais état, généralement lorsqu'elle est utilisée pour le pâturage. Étant donné que les éléments nutritifs séjournent généralement plus longtemps dans le sol des zones riveraines, les effets des PGB mesurés au champ passent souvent inaperçus, ce qui minimise l'impact sur l'eau du ruisseau.
- ***Nitrates et bactéries entériques*** – Le projet a consisté à étudier le lessivage des nitrates à travers les nappes souterraines et les réseaux de drainage. Les résultats préliminaires montrent que les zones riveraines boisées contribuent à réduire les concentrations en nitrates dans les eaux souterraines. Une étude d'un an sur le terrain et en laboratoire a été menée en 2008 sur la persistance et le déplacement des bactéries entériques (intestinales). La bactérie *E. coli* a été décelée dans l'eau souterraine et dans l'effluent du drainage souterrain dans des concentrations qui dépassent les valeurs recommandées pour la qualité de l'eau destinée à l'irrigation et aux activités récréatives. Les résultats semblent indiquer qu'il existe dans le champ une source permanente de bactérie *E. coli*, qui peut inclure des souches naturalisées de la bactérie *E. coli*.
- ***Oxygène dissous*** – Des mesures de l'oxygène dissous, l'un des meilleurs indicateurs de la santé des cours d'eau, ont été prises de façon hebdomadaire dans le ruisseau Thomas pendant quatre ans. Les résultats indiquent que l'eau du ruisseau respecte les recommandations du CCME en matière de concentrations d'oxygène dissous dans les systèmes d'eau douce. La nature turbulente de l'hydrologie du ruisseau facilite l'aération et permet de mieux atténuer les effets de la pollution entrante.
- ***Invertébrés benthiques*** – Des échantillons d'invertébrés benthiques ont été prélevés afin d'évaluer l'état de la vie aquatique, un indicateur de la qualité de l'eau. La qualité de l'eau vérifiée au point de surveillance situé directement en aval de la déviation des eaux pluviales a été jugée « passable » à « très satisfaisante » et s'est stabilisée ou même améliorée avec le temps. La qualité de l'eau vérifiée à un point de surveillance situé plus en aval a été

jugée « passable » à « assez pauvre », mais encore là, elle est restée stable ou s'est améliorée avec le temps.

- ***Surveillance d'*E. coli** – La surveillance intensive a permis de déterminer que la majeure partie de la charge bactérienne dans ce bassin se constitue au cours des tempêtes de pluie. Cependant, des souches naturalisées d'*E. coli* ont été décelées dans les sols, l'eau souterraine et le réseau de drainage souterrain. Cela donne à penser que les concentrations d'*E. coli*, généralement utilisées comme indicateurs de la contamination récente par des bactéries fécales, peuvent ne pas être entièrement attribuables aux récents apports de fumier ou d'eaux usées. Une nouvelle technique de marqueur bactérien (Bactéroïdales) utilisée pour enquêter sur les sources d'apports de bactéries fécales a servi à détecter les apports récents de fumier provenant du bétail. La détection des bactéries fécales provenant du bétail a été associée à l'augmentation du ruissellement en raison des précipitations dans les secteurs occupés par des fermes d'élevage. Les mesures combinées des indicateurs classiques et de remplacement peuvent donc permettre de mieux comprendre les sources et la gravité des événements de contamination fécale. Ces résultats peuvent avoir d'importantes répercussions sur la surveillance et la gestion des réseaux hydrographiques qui sont situés à proximité de champs agricoles dans lesquels du fumier est appliqué, et permettre d'améliorer la capacité à protéger la santé publique et à conserver des écosystèmes aquatiques en bonne santé.
- ***Corrélation entre les pratiques agricoles et la qualité de l'eau*** – Dans une enquête statistique sur plusieurs années portant sur les facteurs de changement de la qualité de l'eau, on s'est intéressé aux cultures, à l'utilisation des terres et à l'application d'engrais et de fumier dans l'ensemble des sous-bassins du bassin du ruisseau Thomas. Pour l'ensemble des pratiques agricoles, telles que l'application de fumier, aucune corrélation n'a été établie avec la qualité de l'eau. Cette observation montre que l'écosystème robuste de ce bassin hydrographique n'est pas facilement influencé par les changements apportés aux pratiques agricoles normales.

Les chercheurs étudient plusieurs indicateurs de la qualité de l'eau, y compris les nitrates et les entérobactéries, l'oxygène dissous, les invertébrés benthiques et la bactérie *E. coli*.

VOLET ÉCONOMIQUE

Les économistes ont modélisé une exploitation agricole représentative pour étudier l'incidence des PGB sur les marges brutes et pour évaluer différents systèmes de culture.

Incidence des PGB sur les marges brutes des exploitations agricoles

Les données se rapportant aux facteurs économiques des PGB et aux facteurs qui ont une incidence sur l'adoption des PGB ont été recueillies et utilisées pour mettre au point un modèle d'optimisation pour une ferme représentative. Ce modèle a été utilisé conjointement avec le modèle de simulation biophysique SWAT pour prévoir l'incidence de la mise en œuvre des PGB sur les marges brutes des exploitations agricoles (estimées sous la forme du revenu de l'exploitation agricole moins les coûts variables de production).

Les résultats indiquent que les PGB (clôtures d'exclusion des bovins, déviation du ruissellement de la cour de ferme et planification de la gestion des éléments nutritifs) réduisent les marges brutes, ce qui laisse à penser que des incitatifs financiers ou des systèmes réglementaires seraient requis pour encourager les producteurs à les adopter. Cependant, la réduction des marges brutes associée à la PGB consistant à installer des clôtures d'exclusion des bovins peut être réduite au minimum si une eau potable plus propre permet d'augmenter la production laitière.

On a également déterminé que la réfection du bassin de rétention présentait un coût net, puisque les avantages associés à la PGB (irrigation d'appoint des fraises) étaient insuffisants pour compenser le coût en capital de la rénovation (plus de 40 000 $).

Les PGB consistant à installer des clôtures d'exclusion des bovins, à détourner le ruissellement agricole et à planifier la gestion des éléments nutritifs réduisent les marges brutes, ce qui fait croire que des incitatifs financiers ou réglementaires seraient requis pour encourager les producteurs à les adopter.

Évaluation du système de culture

Les modèles ont été également utilisés pour évaluer les effets du type de culture, de la séquence de rotation, du système de travail du sol et du niveau de fertilisation azotée sur le rendement des cultures, la perte de sédiments ou d'éléments nutritifs et la rentabilité. On a simulé deux

systèmes de culture basés sur du maïs-grain, deux systèmes de culture basés sur des pommes de terre et un système de culture horticole et de légumes avec travail du sol classique et sans travail du sol.

En règle générale, on prévoyait que la culture sans travail du sol apporterait une importante réduction de la charge sédimentaire, mais qu'elle n'aurait pas d'effet sur le rendement des cultures ou le lessivage des nitrates, qui sont déterminés par les niveaux de fertilisation azotée. Cependant, les résultats de la modélisation laissent entendre que les taux recommandés de fertilisation azotée pourraient être réduits de 10 à 25 % selon les cultures, limitant ainsi de beaucoup le lessivage des nitrates sans que cela ait d'incidence sur le rendement des cultures.

Le système de culture basé sur la pomme de terre le plus rentable qui répond aux exigences de Santé Canada quant aux limites maximales de contamination à l'azote sous forme de nitrates (10 mg/l) est celui qui prévoit la rotation pomme de terre-orge-blé d'hiver-pomme de terre-maïs sans travail du sol. Cette rotation permet de dégager la marge brute la plus élevée (6 973 $/ha) et le coût de dépollution de l'azote le plus faible (395 $/ha).

De même, parmi les systèmes de culture horticole et de légumes, la rotation pomme de terre-blé d'hiver-carotte-maïs avec travail conventionnel du sol a généré la marge brute la plus élevée et le coût de dépollution de l'azote le plus faible (680 $/ha). Cependant, puisque les restrictions liées à la pollution à l'azote sous forme de nitrates ont été assouplies (contraintes moins strictes concernant la pollution à l'azote), le système de culture basé sur le maïs le plus rentable passe de la rotation maïs-maïs-luzerne-luzerne avec travail du sol classique à la même rotation sans travail du sol.

VOLET DE MODÉLISATION

La modélisation hydrologique a été menée dans le bassin du ruisseau Thomas à l'aide du modèle SWAT à l'échelle du bassin hydrographique et du modèle DRAINMOD-N-II à l'échelle du champ dans le but de simuler les processus hydrologiques et la qualité de l'eau.

SWAT

Le modèle SWAT a été utilisé pour modéliser les charges de sédiments et d'azote provenant du bassin hydrographique. Les calendriers de rotation des cultures ont été ajoutés au modèle à l'aide des données de terrain recueillies dans le cadre du projet d'EPBH. Les données relatives au sol, à l'utilisation des terres et les autres données ont été converties dans des formats compatibles avec le modèle SWAT. L'étalonnage (2004-2006) et la validation (2007-2008) du modèle ont été réalisés mensuellement au moyen de mesures continues du débit, des sédiments et de l'exportation d'azote. Un étalonnage fondé sur les conditions locales a été effectué afin de prévoir les débits quotidiens, l'érosion, le transport des sédiments et la qualité de l'eau au niveau de l'exutoire du bassin hydrographique.

Performance

Le modèle SWAT a fait la preuve de son potentiel comme outil d'aide à la décision pour la gestion des bassins hydrographiques agricoles en Nouvelle-Écosse en ce qui a trait à l'atténuation des pertes de sédiments et d'azote. Selon les critères d'évaluation des résultats d'un modèle du département de l'Agriculture des États-Unis, le modèle SWAT a été jugé très efficace pour prévoir l'hydrologie, efficace pour simuler l'exportation de nitrates et satisfaisant pour simuler l'exportation de sédiments et d'azote total à partir du bassin hydrographique (mensuellement). Les critères retenus dans une ébauche de cadre d'évaluation établie dans l'EPBH, qui s'appuient sur des mesures telles que la durée et la qualité de l'enregistrement, la validation spatiale et la capacité à évaluer un ensemble de PGB, ont mis en évidence certaines faiblesses, ce qui dénote que le modèle doit encore être amélioré.

La mise au point du modèle hydrologique dans ce bassin a donné des outils qui promettent de faciliter les décisions en matière de gestion des bassins hydrographiques agricoles en Nouvelle-Écosse.

Augmentation d'échelle

Le modèle SWAT a été testé à l'aide de données de télédétection dans la partie amont du bassin hydrographique de la rivière Cornwallis de 37 km^2, qui comprend le bassin du ruisseau Thomas, afin d'évaluer la possibilité de l'utiliser à plus grande échelle. Les paramètres étalonnés du modèle SWAT dérivés du bassin du ruisseau Thomas ont été utilisés pour bâtir le modèle et lancer les simulations. Cependant, le modèle SWAT mis à l'échelle la partie amont du bassin hydrographique de la rivière Cornwallis n'a pas été validé en raison du manque de données disponibles sur le débit et la qualité de l'eau à cette échelle avant le terme du projet.

Systèmes d'assainissement autonomes

Le modèle SWAT n'a pas été conçu pour tenir compte des apports de polluants provenant des systèmes autonomes de traitement des eaux usées des habitations (fosses septiques) dans l'eau de surface avoisinante. En Nouvelle-Écosse, l'abondance de sols peu profonds à faible perméabilité et le nappe phréatique élevé peut causer le dysfonctionnement de ces systèmes. Puisque les terres dans le bassin du ruisseau Thomas sont affectées à l'agriculture et à l'habitation rurale, un module de calcul de la charge de phosphore du système

autonome de traitement des eaux usées a été élaboré et lié au modèle SWAT du ruisseau Thomas afin de bien tenir compte des apports de l'habitation rurale dans le bassin. L'ajout du module a amélioré la capacité de prévision du modèle SWAT, particulièrement au sein des sous-bassins présentant un important développement résidentiel.

Bassin de rétention

La PGB du bassin de rétention a été incorporée au modèle SWAT en utilisant les données spatiales et temporelles disponibles se rapportant au bassin. Selon les résultats de la modélisation, l'irrigation visant à protéger du gel les cultures de fraises entraîne une réduction plus importante (23 %) du volume d'eau du réservoir que l'irrigation d'appoint des cultures pendant les périodes de sécheresse (réduction de 3 %). Les résultats indiquent qu'un bassin de rétention agrandi peut éliminer des quantités importantes de sédiments et de polluants connexes comme le phosphore de l'eau de ruissellement qui provient des champs cultivés situés en amont. Les régimes de prélèvement de l'eau pour l'irrigation influeraient sur l'efficacité du piégeage des polluants.

DRAINMOD

On a choisi la modélisation à l'échelle du champ afin de simuler les effets des PGB de gestion des éléments nutritifs sur les pertes d'azote des champs drainés par canalisations souterraines.

Le modèle DRAINMOD 6.0 a été étalonné et validé pour l'hydrologie et les pertes d'azote (DRAINMOD-N II) dans le bassin du ruisseau Thomas à l'aide des données recueillies de trois champs drainés par canalisations souterraines. L'analyse statistique a généralement indiqué une bonne correspondance entre les débits mensuels et quotidiens observés et simulés par le modèle pour les trois réseaux de drainage souterrain. Bien que le modèle semble faire ses preuves pour la simulation des pertes d'azote sous forme de nitrates des champs drainés par canalisations souterraines, les simulations n'ont pas été jugées satisfaisantes. Des ensembles de données plus importants sont nécessaires pour améliorer la performance du modèle en ce qui concerne l'azote.

Au début, les modélisateurs avaient pensé relier le modèle DRAINMOD au modèle SWAT, mais il aurait été difficile d'obtenir les données nécessaires pour paramétrer le modèle DRAINMOD pour l'ensemble du bassin hydrographique. Cela dit, le modèle élaboré peut être utilisé comme outil d'évaluation de l'efficacité des PGB à l'échelle du champ.

CONCLUSIONS

Les recherches portant sur les PGB menées dans le bassin hydrographique du ruisseau Thomas se sont concentrées sur la prise en compte des enjeux environnementaux liés à l'intensification de l'agriculture combinée au développement résidentiel rural. Étant donné que les préoccupations liées à la qualité de l'eau dans ce bassin sont soulevées par des parties précises du paysage et par les tempêtes de pluie, les PGB de déviation du ruissellement et d'utilisation d'un bassin de rétention illustrent comment des pratiques de gestion ciblées peuvent avoir un effet marqué sur la qualité de l'eau.

Cependant, les avantages économiques à la ferme ne permettent pas de compenser les coûts de mise en œuvre de ces PGB. Il y a peut-être des avantages publics hors ferme (amélioration de la qualité de l'eau ou des secteurs riverains), mais ils n'ont pas encore été déterminés.

La mise au point du modèle hydrologique dans ce bassin a donné des outils qui promettent de faciliter les décisions en matière de gestion des bassins hydrographiques agricoles en Nouvelle-Écosse.

Le projet du bassin hydrographique du ruisseau Thomas est terminé.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Angela Garnett et Allison Healey (Cornwallis Headwaters Society); Hafiz Ahmad, Frederick Amon-Armah et Ali Madani (Nova Scotia Agricultural College/campus agronomique de l'Université Dalhousie); Andrew Sinclair et Tristan Goulden (Université Dalhousie); autres membres du comité directeur de l'EPBH pour le ruisseau Thomas et étudiants et producteurs participants.

TÉMOIGNAGE D'UN PRODUCTEUR PARTICIPANT

James Kinsman
Producteur laitier
Berwick, Nouvelle-Écosse

Bien travailler à la ferme

James Kinsman, un producteur qui participe au projet d'EPBH du ruisseau Thomas, a toujours eu à cœur la protection de l'environnement. Et les mesures que le jeune exploitant d'une ferme laitière a entreprises pour protéger la qualité de l'eau en sont la preuve.

« Nous avons toujours essayé de prendre les bonnes décisions », dit-il, « et le programme d'EPBH nous a encouragés à faire plus. »

Les bonnes décisions ont été de clôturer les berges du ruisseau et d'aménager une aire d'abreuvement à l'écart du cours d'eau pour son troupeau. Il applique du fumier dans ses champs selon un plan de gestion des éléments nutritifs. Plus récemment, M. Kinsman a lourdement investi pour gérer de manière plus efficace l'entreposage du fumier. Il a fait installer des silos-couloirs, construire une nouvelle étable et aménager un système d'entreposage du fumier à confinement intégral.

Grâce aux récentes améliorations apportées à sa ferme, M. Kinsman a été l'un des finalistes du prix Nova Scotia Farm Stewardship Award en 2012, et son épouse et lui-même ont été nommés Jeunes agriculteurs d'élite pour la région de l'Atlantique en 2013.

M. Kinsman reconnaît l'importance de ces mesures, mais il pense qu'il reste beaucoup à faire sous d'autres aspects pour protéger la qualité de l'eau. « Il y a d'autres sources d'éléments nutritifs dans le ruisseau que les bovins », déclare-t-il.

Un producteur a mis en œuvre des PGB dans son exploitation afin d'aider à protéger la qualité de l'eau.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU RUISSEAU THOMAS

Afari-Sefa, V., E.K. Yiridoe, R. Gordon et D. Hebb. 2008. Decision considerations and cost analysis of BMP implementation in Thomas Brook Watershed. *J International Farm Management*, 4(3):1-32.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, N.H.M. Ahmad, D. Hebb, R. Jamieson, D. Burton et A. Madani. 2013. Effect of nutrient management planning on crop yield, nitrate leaching, and sediment loading in Thomas Brook Watershed. *Environ Manag*, 52(5):1177-1191.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, R. Jamieson et D. Hebb. 2015. Comparison of crop yield and pollution production response to nitrogen fertilization models, accounting for crop rotation effect. *Agroecol Sust Food*, 39(3):245-275.

Brisbois, M.C., R. Jamieson, R. Gordon, G. Stratton et A. Madani. 2008. Stream ecosystem health in rural mixed land-use watersheds. *J Environ Eng Sci*, 7(5):439-452.

Garroway, K., C. Hopkinson et R. Jamieson. 2011. Surface moisture and vegetation influences on LiDAR intensity data in an agricultural watershed. *J. can de télédétection*, 37(3):275-284.

Goulden, T., C. Hopkinson, R. Jamieson, S. Sterling, A. Sinclair et D. Hebb. 2014. Sensitivity of hydrological outputs from SWAT to DEM spatial resolution. *Photogramm Eng Remote Sens*, 80:639-652.

Hafiz, M., N. Ahmad, A. Sinclair, R. Jamieson, A. Madani, D. Hebb, P. Havard et E.K. Yiridoe. 2011. Modeling sediment and nitrogen export from a rural watershed in eastern Canada using the Soil and Water Assessment Tool. *J Environ Qual*, 40(4):1182-1194.

Sinclair, A., D. Hebb, R. Jamieson, R. Gordon, K. Benedict, K. Fuller, G.W. Stratton et A. Madani. 2009. Growing season surface water loading of fecal indicator organisms within a rural watershed. *Water Res*, 43(5):1199-1206.

Sinclair, A., R. Jamieson, R. Gordon, A. Madani et W. Hart. 2014. A watershed modeling framework for phosphorus loading from agricultural and residential sources. *J Environ Qual*, 43:1356-1369.

VanderZaag, A.C., K.J. Campbell, R.C. Jamieson, A.C. Sinclair et L.G. Hynes. 2010. Survival of Escherichia coli in agricultural soil and presence in tile drainage and shallow groundwater. *Rev. can. de la science du sol*, 90(3):495-505.

CHAPITRE

16

Bassin hydrographique de la rivière Souris (Île-du-Prince-Édouard)

Responsables du bassin hydrographique : Rollin Andrew, Terra Jamieson et Yefang Jiang (AAC)
Économiste de site : Steven Russell (campus agronomique de l'Université Dalhousie)
Spécialiste de la modélisation hydrologique : Yefang Jiang (AAC)

FAITS SAILLANTS

- ***Concentrations réduites en nitrates*** – On a observé que la concentration de nitrates dans le drainage souterrain et l'eau souterraine liée aux champs labourés au printemps était inférieure à celle liée aux champs labourés à l'automne.
- ***Économie*** – Reporter le labour jusqu'au printemps occasionne des frais supplémentaires pour le producteur de pommes de terre et de soja.
- ***Modélisation hydrologique*** – Les résultats de la modélisation de départ révèlent que le fait de reporter le travail du sol au printemps peut réduire le lessivage des nitrates au cours de l'hiver de 25 à 50 %.

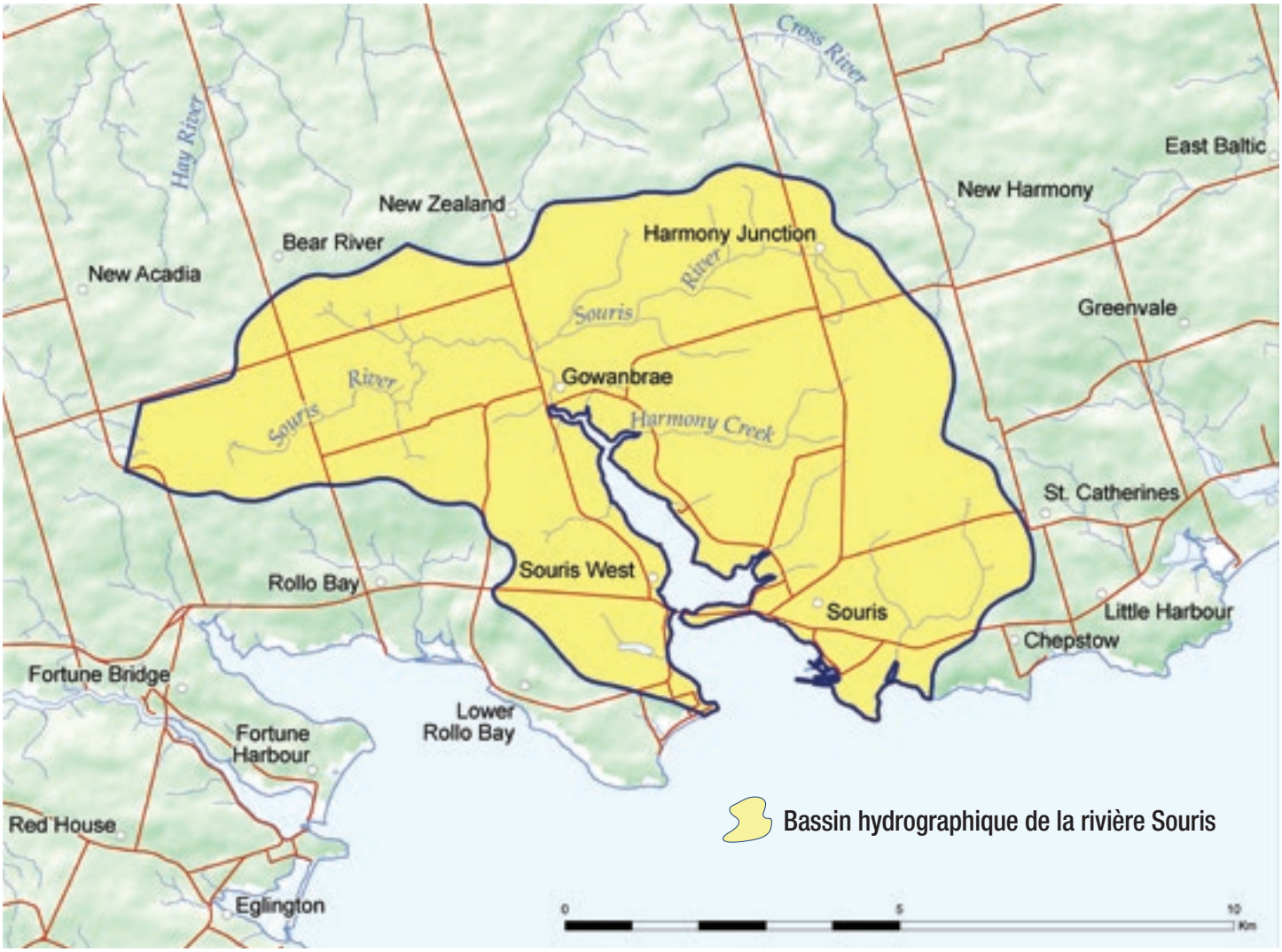


FIGURE 19
Bassin hydrographique de la rivière Souris

CONTEXTE ET ENJEUX

Bien qu'elle soit la plus petite province canadienne, l'Île-du-Prince-Édouard produit environ 25 % des pommes de terre au pays. Selon la législation provinciale, la production de pommes de terre doit faire l'objet d'une rotation triennale, habituellement en alternance avec des céréales et des plantes fourragères. Les pommes de terre ont besoin de doses d'engrais élevées, mais absorbent généralement mal l'azote (N), ce qui peut déboucher sur des pertes excessives de nitrates dans les sols sableux et bien drainés dans la région. Les concentrations de nitrates dans les cours d'eau et l'eau souterraine ont progressé de manière constante durant les dernières décennies, ce qui est préoccupant pour la qualité de l'eau potable et la santé des écosystèmes aquatiques de l'île. L'attention de la province en matière de gestion agricole s'est donc portée sur les pratiques de gestion des éléments nutritifs agricoles, et sur les rotations obligatoires des cultures et les zones tampons.

Le bassin hydrographique de la rivière Souris se trouve dans le comté Kings, dans l'est de l'Île-du-Prince-Édouard; il s'étend sur une superficie de 53 km^2 et se jette dans la baie Colville (figure 19). Environ 54 % des terres du bassin sont agricoles et 37 % sont boisées. La pomme de terre est la principale culture; la région soutient également une industrie de la pêche et des mollusques florissante.

Le projet d'EPBH pour la rivière Souris a commencé en 2009. La recherche s'est concentrée sur un sous-bassin de 500 hectares dans la section nord et sur le petit bassin adjacent de l'étang Norris.

VOLET BIOPHYSIQUE

Le volet biophysique de l'étude a consisté à évaluer la performance environnementale du travail retardé du sol sur la qualité de l'eau souterraine et de l'eau de drainage souterrain.

Description de PGB et résultats

Travail retardé du sol

Des chercheurs ont évalué l'efficacité du report du travail du sol pour les cultures fourragères, de l'automne au printemps, avant le semis. Une recherche récente portant sur l'Île-du-Prince-Édouard semble indiquer que le lessivage des nitrates intervient principalement à la fin de l'automne, à l'hiver et au début du printemps lorsque l'absorption par les cultures diminue et que des concentrations élevées de nitrates coïncident avec un mouvement d'eau provenant de la zone racinaire. Le moment où se produit le lessivage des nitrates correspond habituellement à des épisodes d'alimentation en eau souterraine de grande ampleur. Des chercheurs locaux ont formulé une théorie selon laquelle le fait de reporter le labour des cultures fourragères au printemps réduirait la libération de l'azote au cours de l'hiver à partir des résidus végétaux incorporés et de la matière organique du sol, réduisant ainsi les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine et l'eau de surface connexe.

On a observé la réduction des concentrations de nitrates dans l'eau de drainage et l'eau souterraine associées aux champs labourés au printemps plutôt qu'à l'automne.

La PGB du travail retardé du sol a été mise en œuvre à l'automne 2010 et au printemps 2011. Des champs appariés (l'un labouré au printemps, l'autre à l'automne) de deux fermes commerciales du bassin ont été comparés afin d'établir les avantages environnementaux et économiques du travail du sol de l'automne par rapport à celui du printemps. Ces fermes opèrent habituellement une rotation triennale en alternant le foin, la pomme de terre et les céréales, mais l'une d'elles a fait pousser du soja au cours de l'année de la pomme de terre (2011) en raison de conditions non prévues du marché. Des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés mensuellement dans les puits de surveillance.

Les résultats obtenus à ce jour doivent être considérés comme préliminaires dans la mesure où ils reposent sur un cadre temporel court et sont marqués d'incertitudes. Il est nécessaire d'obtenir des données portant sur plusieurs cycles de rotation de la pomme de terre afin de réaliser de meilleures évaluations et de tirer des conclusions plus rigoureuses. Les constatations suivantes sont néanmoins à retenir :

- Dans l'une des fermes, le lessivage des nitrates des champs de cultures fourragères (mélange de trèfle rouge et de fléole des prés ou de seigle) labourés à l'automne était élevé par rapport aux champs dont le labour avait été reporté au printemps. Les chercheurs estiment que le lessivage des nitrates pourra être réduit de 25 à 50 % en retardant le labour du fourrage au printemps, avant la plantation de pommes de terre ou de soja.
- Les pertes de nitrates provenant du drainage souterrain ont baissé, passant de 38 kg N/ha dans le champ labouré à l'automne à 20 kg N/ha dans le champ labouré au printemps dans la même ferme.
- Dans l'autre ferme, on a estimé que les pertes liées au lessivage de l'eau souterraine se situaient dans les fourchettes suivantes : de 40 à 71 kg N/ha pour le champ labouré à l'automne et de 30 à 38 kg N/ha pour le champ labouré au printemps. Ces fourchettes témoignent de l'incertitude des calculs du fait que cette ferme n'est pas dotée de canalisations de drainage souterrain et qu'il a fallu formuler des hypothèses concernant les caractéristiques de l'infiltration sous la surface du site.

Parmi les autres facteurs ayant pu conduire aux écarts entre les champs sur le plan des nitrates lessivés figurent le traitement par herbicides des cultures fourragères avant le labour et les pertes par dilution occasionnées par l'écoulement subsuperficiel. Ces constatations signifient que labourer les cultures fourragères au printemps constitue une PGB prometteuse pour la réduction des nitrates dans l'Île-du-Prince-Édouard. Il faudra toutefois mener des recherches sur une période plus longue pour formuler des recommandations plus solides.

Autres études biophysiques

D'autres études biophysiques ont été menées dans le bassin afin de connaître plus précisément les effets des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau et de mieux comprendre le fonctionnement et l'efficacité des PGB.

- ***Isotopes stables*** – Des analyses des isotopes stables ont été effectuées pour obtenir des renseignements de façon indépendante au sujet des processus de transfert de l'azote des sols à l'eau souterraine, avec pour objectif d'étayer les conclusions de l'évaluation du travail retardé du sol. Des échantillons saisonniers d'eau ont été prélevés dans les puits domestiques locaux, les puits de surveillance et les

eaux de drainage pour identifier les sources locales d'azote et comprendre la nature et le déroulement des processus présidant au mouvement de l'azote des sols agricoles vers l'eau souterraine. Les résultats corroborent l'importance des processus de sol (la minéralisation et la nitrification de la matière organique du sol, y compris des résidus de culture) pendant la saison sans croissance qui conduisent au transport de l'azote des sols agricoles vers l'eau souterraine. Ces résultats confortent les résultats d'autres études. La comparaison des résultats des traitements du labour d'automne par rapport à ceux de printemps étaye les conclusions tirées de la mesure des concentrations de nitrates dans les échantillons d'eaux de drainage et de puits de surveillance. Plus précisément, le fait de reporter le moment où intervient le travail du sol de l'automne au printemps réduit beaucoup l'étendue des pertes liées au lessivage de l'azote au cours de l'hiver durant la phase de culture fourragère d'une rotation typique des cultures de pommes de terre.

- ***Culture piège à nitrates d'hiver*** – Les cultures couvre-sol intermédiaires qu'on appelle « cultures pièges à nitrates » lorsqu'elles servent à capter l'azote disponible, peuvent freiner l'érosion, améliorer les propriétés du sol et accroître l'absorption d'éléments nutritifs solubles qui autrement se seraient déplacés vers les plans d'eau récepteurs. Une culture d'orge couvre-sol d'hiver a été semée à la fin du mois d'octobre 2011 lors de la récolte des pommes de terre dans deux champs où des puits de surveillance avaient été installés pour assurer le suivi du lessivage de l'azote. Des conditions météorologiques inhabituelles (printemps frais, automne chaud) ont provoqué une récolte tardive des pommes de terre et une mauvaise implantation des couvre-sol dans les deux champs. Par conséquent, les effets de cette PGB n'ont pu être évalués de manière quantitative. Il se peut que la PGB soit impossible à mettre en œuvre pour les variétés dont la date de récolte est tardive. Il faut mener d'autres recherches pour établir la faisabilité de faire pousser des cultures couvre-sol dans les conditions de culture de l'Île-du-Prince-Édouard et évaluer la capacité de ces cultures intermédiaires à diminuer le lessivage des nitrates après la récolte des pommes de terre, tout en tenant compte de la sélection des cultures.
- ***Caractérisations de l'écosystème de l'eau de source*** – Les cours d'eau de l'Île-du-Prince-Édouard sont principalement alimentés par des sources. Les répercussions des activités agricoles sur les sources froides du bassin de la rivière Souris et des bassins voisins ont fait l'objet d'examens entre 2010 et 2012 qui ont consisté à comparer la qualité de l'eau et la structure de la communauté d'invertébrés dans les zones boisées et agricoles. Des caractéristiques physiques telles que la température, la composition chimique de l'eau, l'hydrologie et la végétation ont été surveillées dans 20 sources froides (10 dans les sites agricoles et 10 dans les sites boisés); des échantillons d'invertébrés ont été prélevés et des relevés concernant l'habitat des sources ont été conduits dans un sous-ensemble de sources (dont quatre situées dans un site boisé et cinq dans un site agricole) afin d'évaluer les répercussions sur la biodiversité. On a établi que l'utilisation des terres avait une incidence sur le type de plantes existant dans les bassins de source, et que le type de plantes influait par la suite sur la diversité et l'abondance des invertébrés d'eau douce. Les sources situées dans des sites entourés par des exploitations agricoles avaient des concentrations d'azote plus élevées et des couverts ouverts plus importants. Il en découlait des communautés de plantes aquatiques dominées par les plantes vasculaires. À l'opposé, des sites boisés comportaient des couverts fermés, de faibles quantités d'éléments nutritifs, des substrats en gravier propres et un couvert végétal dominé par les bryophytes (plantes non vasculaires). La diversité et l'abondance des invertébrés ont été les plus élevées dans les sources en terrain boisé; la structure de la communauté des invertébrés différait entre les sites agricoles et les sites boisés. L'activité agricole jouait sur les formes d'invertébrés dans les sources étudiées, mais l'effet semblait passer par des modifications de la communauté végétale aquatique plutôt que de modifier directement les invertébrés.

Les analyses des isotopes stables corroborent l'importance des processus de sol au cours de la saison sans croissance dans le transport de l'azote des sols agricoles vers l'eau souterraine.

Il faut pousser la recherche pour établir la faisabilité de planter des couvre-sol dans les conditions de culture de l'Île-du-Prince-Édouard et la capacité de ces cultures intermédiaires de diminuer le lessivage des nitrates après la récolte des pommes de terre.

On a établi que l'utilisation des terres avait une incidence sur le type de plantes dans les bassins de source, et que le type de plantes influait sur la diversité et l'abondance des invertébrés d'eau douce.

VOLET ÉCONOMIQUE

Les économistes du bassin hydrographique de la rivière Souris ont mené des entrevues détaillées, observé des pratiques sur place à la ferme, amassé des données physiques et économiques sur des activités culturales précises et attribué une valeur économique aux modes de gestion de l'azote.

Analyse coûts-avantages

Des économistes ont mené une analyse coûts-avantages qui reposait sur l'évaluation différentielle, méthode qui mesure les avantages et coûts différentiels des diverses pratiques agricoles. Cette approche se concentre sur les coûts de production réels, échappant ainsi aux problèmes liés à l'affectation de coûts fixes et indirects sur une base unitaire.

Les producteurs de la première ferme ont cultivé du soja au lieu de pommes de terre en 2011 en raison de circonstances imprévues de mise en marché. D'après ce qui a été indiqué, il a fallu deux passages supplémentaires de herse pour le labour printanier, et les activités de plantation ont pris deux fois plus de temps en raison du sol raboteux. Des frais supplémentaires de 64 $/ha se sont ajoutés pour le carburant et l'usure des herses; on a considéré que tous les autres coûts étaient égaux pour les activités de printemps et d'automne. Les producteurs ont également signalé un rendement diminué dans le champ labouré au printemps correspondant à une perte de recette de 202 $/ha. Ils ont eu l'impression que les rendements inférieurs pouvaient être imputés à la perte de gousses lors de la récolte provenant de l'état bosselé du sol. En résumé, sur la base de deux années de production, une hausse des coûts (d'après les estimations, à hauteur de 266 $/ha) s'est produite durant la première année après le labour du foin; cependant, on n'a relevé aucune différence concernant les coûts supplémentaires l'année suivante.

Les producteurs ont cultivé des pommes de terre à la deuxième ferme en 2011. Sur ce site, un passage supplémentaire de la herse dans le champ labouré au printemps, pour un coût supplémentaire de 62 $, a été nécessaire pour aplanir les bosses. Les différences entre les estimations du rendement attribuables aux retards du labour étaient toutefois incertaines. Les estimations réalisées avant la récolte par les chercheurs en biophysique indiquaient que le rendement du champ labouré au printemps pouvait être inférieur d'environ 4 t/ha. Les producteurs n'ont cependant pas signalé de différence de rendement perceptible entre les deux champs, mais ils ne l'ont pas confirmé par les mesures de récolte. Par conséquent, on a estimé que le coût supplémentaire du labour printanier se situait dans une fourchette de 62 à 1 646 $/ha. Comme dans le cas de la première ferme, aucune autre différence relative aux coûts de production n'a été relevée l'année suivante.

L'analyse économique préliminaire révèle que le labour printanier constitue un coût net pour les producteurs, attribuable à la préparation supplémentaire des champs et aux baisses de rendements.

Entrevues auprès des producteurs

Plusieurs producteurs ont été interrogés au sujet des labours de printemps comparés à ceux d'automne. Ils ont indiqué plusieurs inconvénients du labour printanier tels que le moindre temps disponible, la main-d'œuvre plus rare, le temps nécessaire pour que les herbicides fassent effet et le temps nécessaire au séchage du sol après le labour. Ils ont déclaré que lorsque l'automne était trop humide pour le labour, on pouvait se replier sur le printemps, mais qu'il n'existait pas de solution de rechange pour le labour de printemps. Bien qu'il soit difficile d'apprécier la valeur à accorder à cette remarque, elle appuie la poursuite du labour automnal plutôt que l'adoption du labour printanier.

VOLET DE MODÉLISATION

La modélisation hydrologique dans le bassin de la rivière Souris s'est appuyée sur un modèle d'estimation et de composition chimique du lessivage pour l'azote LEACHM-N (Leaching Estimation and Chemistry Model for Nitrogen) et le modèle Visual MODFLOW. Le modèle LEACHM-N simule la dynamique sol-plante-eau-azote, simule l'effet de la gestion du sol et du climat sur le lessivage des nitrates et contribue à définir les concentrations de nitrates dans l'eau souterraine. Grâce à l'ajout du lessivage des nitrates provenant du modèle LEACHM-N, le modèle Visual MODFLOW (MT3D99) simule le devenir et le transport des nitrates dans l'eau souterraine et prévoit le moment et l'importance du déversement de nitrates dans les estuaires. Les modèles peuvent aussi montrer quelles modifications de l'utilisation des terres atteindront les cibles de qualité de l'eau pour l'eau souterraine et les estuaires. La province de l'Île-du-Prince-Édouard utilise ces modèles couplés pour orienter la planification du bassin hydrographique en vue de restaurer la qualité de l'eau.

Les modèles hydrologiques utilisés pour ce bassin peuvent montrer quelles modifications de l'utilisation des terres atteindront les cibles de qualité de l'eau pour l'eau souterraine et les estuaires.

Les données utilisées dans le modèle concernent les propriétés du sol, les propriétés hydrauliques du sol, les données de récolte, les applications d'éléments nutritifs, le travail du sol, les données météorologiques, l'utilisation des terres, les propriétés hydrauliques des aquifères, les propriétés du transport des eaux souterraines et les propriétés des eaux de surface. Des renseignements provenant du modèle de lessivage des nitrates ont été utilisés afin d'élaborer un modèle de transport et de devenir des nitrates qui serve à évaluer les répercussions de l'utilisation et de la gestion des terres sur la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine. Les résultats provenant des deux modèles peuvent être généralisés à d'autres zones de l'Île-du-Prince-Édouard qui connaissent une concentration élevée de nitrate et des conditions biophysiques similaires.

Le modèle LEACHM-N a été mis au point et affiné pour les pratiques de labour printanier et automnal dans les conditions de production dominantes. Les valeurs simulées de teneur en nitrates du sol et de concentration de nitrates dans l'eau du sol ont été comparées aux valeurs observées, pour l'étalonnage et la vérification. Le modèle étalonné et validé peut servir à examiner comment le labour printanier modifie les constantes de transformation de l'azote dans le sol, le moment et l'importance du lessivage des nitrates.

CONCLUSIONS

Le projet du bassin de la rivière Souris s'est ajouté au programme d'EPBH en 2009. La mise en œuvre des PGB y a donc été évaluée sur une rotation de production de trois ans. Selon les résultats préliminaires, les pratiques de travail retardé du sol sont prometteuses pour atténuer les pertes liées au lessivage de l'azote au cours de l'hiver. La mise en œuvre de la PGB de culture intermédiaire de l'orge pour piéger les nitrates a été entravée par la date tardive de la récolte des pommes de terre Russet Burbank.

Les résultats de la modélisation initiale montrent que reporter les régimes de labour au printemps peut réduire le lessivage des nitrates de 25 à 50 % au cours de l'hiver suivant. L'analyse économique préliminaire révèle toutefois que le labour printanier entraîne un coût net pour les producteurs qui est attribuable à la préparation supplémentaire des champs et aux baisses de rendements.

ORIENTATION FUTURE DE LA RECHERCHE

Le développement et le transfert technologiques aux producteurs des avantages de la PGB du travail retardé du sol pour améliorer la qualité de l'eau et la résilience économique de la production de pommes de terre se sont poursuivis dans le bassin hydrographique de la rivière Souris grâce à des fonds de programme de *Cultivons l'avenir 2*.

REMERCIEMENTS

Les personnes ou organismes suivants ont contribué à l'étude : Fred Cheverie (bureau de Souris et sa région de la Fédération de la faune de l'Île-du-Prince-Édouard); Robert Lewis, John Stackhouse et Stephen Clark (faculté d'agriculture de l'Université Dalhousie); George Somers (ministère de l'Environnement, du Travail et de la Justice de l'Île-du-Prince-Édouard); Barry Thompson (ministère de l'Agriculture et de la Forêt de l'Île-du-Prince-Édouard); l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard; les autres membres du comité directeur de l'EPBH pour la rivière Souris; les étudiants et les producteurs participants.

BIBLIOGRAPHIE – BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA RIVIÈRE SOURIS

Jiang, Y., B. Zebarth et J. Love. 2011. Long-term simulations of nitrate leaching from potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 91(3):307-325.

Jiang, Y., B.J. Zebarth, G.H. Somers, J.A. MacLeod et M.M. Savard. 2012. Nitrate leaching from potato production in eastern Canada. P. 233-250 dans He, Z., Larkin, R.P. et Honeycutt, C.W. (dir.), *Sustainable Potato Production: Global Case Studies*. Springer Science+Business Media B.V.

Jiang, Y., T. Jamieson, J. Nyiraneza, G. Somers, B. Thompson, B. Murray, M. Grimmett et X. Geng. 2015. Effects of fall vs. spring plowing forages on nitrate leaching losses to groundwater. *Ground Water Monit RW*, 35(1):43-54.

Zebarth, B.J., S. Danielescu, J. Nyiraneza, M.C. Ryan, Y. Jiang, M. Grimmett et D.L. Burton. 2015. Controls on nitrate loading and implications for BMPs under intensive potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Ground Water Monit RW*, 35(1):30-42.

CHAPITRE

17

Résumé et conclusions

À son terme en 2013, le programme d'EPBH avait acquis une réputation nationale et internationale pour la grande qualité de sa recherche au sujet de la performance environnementale et économique des PGB en agriculture à l'échelle des bassins hydrographiques. L'étude des sept projets initiaux était terminée après neuf années de recherche, et celle des deux nouveaux sites mené pendant quatre ans, avaient permis d'acquérir des connaissances importantes qui peuvent éclairer les décision relatives à l'adoption de PGB et l'élaboration de politiques et de programmes de financement connexes. Certaines des principales constatations sont résumées ci-dessous.

CONCLUSIONS DES VOLETS DE RECHERCHE

Recherche biophysique

Les chercheurs en biophysique de l'EPBH ont fait appel à différentes méthodes scientifiques pour mesurer l'effet des PGB sélectionnées localement sur la qualité de l'eau et sur d'autres paramètres environnementaux. Les études ont été menées à l'échelle de fermes en activité et à l'échelle de bassins hydrographiques. Les conclusions de la recherche biophysique de l'EPBH peuvent aider les producteurs à déterminer les meilleures PGB en fonction de leurs activités et de leur région.

La plupart des PGB évaluées dans le cadre de l'EPBH ont indiqué une **réduction des charges d'éléments nutritifs ou des sédiments dans les eaux de surface ou une amélioration d'autres indicateurs environnementaux.** Par exemple, un étang de retenue situé en aval d'un parc d'engraissement de bovins dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Man.) a pu capter les eaux de ruissellement fortement chargées en éléments nutritifs et un nombre élevé d'*E. coli*. Dans le bassin hydrographique du ruisseau Fourchette (Qué.), les mesures de contrôle du ruissellement superficiel ont permis de réduire considérablement l'apport de sédiments et la teneur en nitrates.

Certaines conclusions des PGB sont mitigées. Certaines concentrations de composés chimiques dans l'eau ainsi que d'autres indicateurs environnementaux ont été améliorés par les PGB, mais aucun changement n'a été décelé pour d'autres variables. Par exemple, dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (Alb.), l'aménagement d'une aire d'abreuvement à l'écart des cours d'eau pour les bovins au pâturage sans clôturer les berges a permis d'améliorer légèrement la santé de la zone riveraine, d'éviter la pollution de la rivière par les bovins et d'améliorer certaines propriétés des végétaux et du sol. Cependant, cette PGB n'a pas permis d'améliorer d'autres propriétés des végétaux et du sol, ni la qualité des eaux de ruissellement à proximité de la rivière. Les bandes riveraines gazonnées, qui ont été étudiées dans le bassin hydrographique du ruisseau Black (N-B.), ont permis de réduire le ruissellement et le transport de sédiments, mais leurs résultats ne sont pas concluants en ce qui concerne les éléments nutritifs. La PGB a également été jugée moins efficace à réduire les charges après des épisodes de pluies très intenses qu'après des chutes de pluie moins intenses.

La qualité de l'eau a fait l'objet de suivis et d'analyses en regard d'un ensemble minimal de normes, de paramètres physiques et d'organismes pathogènes.

La mise en œuvre de PGB visant à s'attaquer à des enjeux environnementaux précis a parfois des **incidences inattendues**, et les améliorations apportées à un indicateur peuvent se faire au détriment d'un autre. Par exemple, les déviations et les voies d'eau gazonnées mises en place dans le bassin du ruisseau Black, qui ont permis de réduire le ruissellement de surface, l'érosion des sols et les concentrations de pesticides dans le cours d'eau dans des conditions normales, peuvent contribuer à augmenter le lessivage des éléments nutritifs dans l'eau souterraine.

Voir le chapitre 2 pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes et les résultats du volet biophysique de l'EPBH.

Recherche économique

Les économistes de l'EPBH ont utilisé une gamme d'outils de budgétisation et de modèles économiques afin de déterminer les coûts économiques à la ferme et de repérer et d'évaluer les avantages à la ferme et hors ferme de la mise en œuvre des PGB sélectionnées. Les études socioéconomiques ont porté sur les attitudes et comportements des producteurs et de la population rurale non agricole à l'égard de l'adoption des PGB. Dans une étude du comportement à la ferme, les enchères de conservation ont été examinées comme moyen de payer les producteurs pour adopter les PGB.

La plupart des PGB évaluées présentaient des **coûts élevés de mise en œuvre ou d'entretien**. Les PGB structurales, comme les clôtures, les abreuvoirs à l'écart des cours d'eau, les étangs de retenue pour capter le ruissellement provenant d'une zone de confinement des bovins et les déviations, nécessitent généralement des investissements initiaux importants. Les PGB non structurales, comme la gestion des éléments nutritifs et la rotation des cultures, peuvent entraîner des coûts de fonctionnement et des frais de réglementation annuels.

En revanche, on a déterminé que la plupart des PGB étudiées apportaient certains **avantages à la ferme** qui pouvaient partiellement ou complètement compenser ces coûts à court ou à long terme. Par exemple, les clôtures d'exclusion des bovins avec l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau peuvent permettre une meilleure utilisation des pâturages et un meilleur gain de poids des animaux. Et il a été déterminé que le fait de remplacer les cultures annuelles par des cultures fourragères pérennes réduisait les coûts d'intrants comme les engrais.

On a déterminé que 9 des 38 PGB évaluées dans le volet économique de l'EPBH généraient des **avantages nets positifs pour la ferme**. Par exemple, l'étude du drainage souterrain contrôlé dans le bassin hydrographique de la Nation Sud a révélé que les profits liés à l'augmentation du rendement des cultures pouvaient permettre de rembourser le coût des dispositifs de contrôle en à peine trois à quatre ans. On a également déterminé que l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver dans les bassins du ruisseau Pipestone et du ruisseau Tobacco Sud offrait des avantages nets positifs à la ferme.

L'adoption de PGB qui se soldent par des avantages nets négatifs à la ferme devrait probablement être encouragée par un incitatif financier. Cependant, parmi ces PGB, plusieurs n'entraîneraient que des **avantages nets légèrement négatifs**, et il ne faudrait qu'un soutien financier minime pour en encourager l'adoption. Par exemple, selon les résultats des études, l'aménagement d'aire d'abreuvement à l'écart des cours d'eau sans clôturer les berges et la conversion des cultures annuelles à une culture pérenne n'ont donné lieu qu'à une légère réduction du flux de trésorerie à la ferme dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow.

Certains **avantages hors ferme (publics)** ont été relevés dans les études de l'EPBH portant sur les PGB. Les exemples comprennent l'amélioration de la qualité de l'eau en aval, le contrôle de l'érosion, la séquestration du carbone, la biodiversité et les possibilités d'activités récréatives. La plupart des PGB étudiées permettent une réduction de la charge polluante dans l'eau de surface en aval. Dans certains cas, tels que la PGB de l'aménagement de déviations dans le bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.), les avantages nets légèrement négatifs à la ferme deviennent parfois positifs si l'analyse prend en compte les valeurs pour la collectivité.

Les **études socioéconomique**s s'intéressent aux attitudes et aux comportements des producteurs en ce qui a trait à l'adoption des PGB. Par exemple, une étude menée dans le bassin hydrographique du Bras d'Henri a déterminé que certains des principaux facteurs influant sur l'adoption des PGB sont le niveau d'études, l'âge, le sexe, le lieu et la taille de l'exploitation. L'étude des enchères de conservation comme moyen de payer les producteurs pour adopter des PGB dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud a permis de mieux prévoir les tendances en matière d'adoption des PGB par les producteurs en examinant des variables sociales, telle que la coopération entre les participants aux enchères.

La recherche de l'EPBH sur les aspects économiques a permis de recueillir des informations crédibles sur les coûts et les avantages à la ferme et hors ferme que représentent la mise en œuvre et l'entretien des PGB. Ces informations peuvent servir aux producteurs pour décider d'adopter ou non les PGB, et éclairer les gouvernements et les autres organismes pour l'élaboration de politiques et de programmes qui soutiennent l'agriculture durable.

Voir le chapitre 3 pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes et les résultats du volet économique de l'EPBH.

Modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique de l'EPBH emploie des données qui proviennent des évaluations biophysiques pour évaluer les processus par lesquels les éléments nutritifs et les sédiments sont transportés dans l'eau, des terres agricoles aux cours d'eau récepteurs, ainsi que les conséquences de ces processus sur l'efficacité des PGB.

Les modèles hydrologiques de l'EPBH ont permis de mieux comprendre les conditions de fond et les processus des bassins hydrographiques. Les modélisateurs ont employé des modèles informatiques existants ou des modèles qu'ils ont développés ou adaptés afin de prendre en compte les conditions locales et les différentes PGB. L'outil d'évaluation du sol et de l'eau SWAT (Soil and Water Assessment Tool) a été utilisé dans la plupart des projets d'EPBH.

Les modélisateurs de l'EPBH ont été en mesure de simuler les processus hydrologiques et environnementaux et d'évaluer les PGB structurales et les PGB non structurales. Les études de modélisation ont souvent donné de bons résultats pour la simulation des débits et du transport des sédiments et des éléments nutritifs.

Cependant, les modélisateurs ont dû faire face à de nombreux défis, tels que le manque de données locales, la courte durée de collecte des données, l'incapacité des modèles à simuler l'effet des PGB structurales et les effets de saison et d'échelle. Ils ont fini par surmonter la plupart de ces défis en obtenant les données locales voulues et en modifiant leurs modèles.

Dans certains bassins hydrographiques, ces modèles ont permis d'extrapoler les renseignements liés aux répercussions des PGB au bassin de niveau supérieur, mais les résultats sont mitigés.

Les résultats de la modélisation effectuée dans le cadre de l'EPBH indiquent généralement une réduction des charges nutritives et sédimentaires par suite de la mise en œuvre des PGB. Au terme de travaux de modélisation supplémentaires, ces résultats pourraient être utiles aux fins de la conception, de la sélection et de l'évaluation des PGB, ou aux décisions relatives aux politiques et aux programmes.

Voir le chapitre 4 pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes et les résultats du volet de modélisation hydrologique de l'EPBH.

Modélisation intégrée

La modélisation intégrée facilite l'évaluation des avantages et des coûts des PGB dans les bassins hydrographiques agricoles. L'objectif du volet de modélisation intégrée de l'EPBH était d'incorporer les facteurs hydrologiques, économiques et sociaux (comportementaux) à un cadre décisionnel de manière à évaluer et à présenter les effets environnementaux (qualité de l'eau), économiques (coûts et avantages) et sociaux (probabilité d'adoption des PGB) combinés de la mise en œuvre des PGB.

Les renseignements apportés par les modèles peuvent aider à extrapoler les effets de la mise en œuvre d'une PGB ou d'une combinaison de PGB à différents sites d'un bassin hydrographique. Les modèles peuvent aider à cibler les zones où les PGB seraient les plus bénéfiques, pour ainsi permettre d'améliorer la qualité de l'eau à moindre coût. Ils peuvent également aider les décideurs des politiques et des programmes à déterminer des incitatifs financiers ou réglementaires efficaces à mettre en place dans les régions appropriées pour encourager les producteurs à adopter des PGB.

Un cadre de modélisation intégrée a été élaboré dans le cadre de projets pilote à deux sites de l'EPBH : le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Man.) et les bassins hydrographiques des rivières Bras d'Henri et Beaurivage (Qué.). Les données hydrologiques et économiques de ces sites ont été incorporées aux modèles.

Dans le projet pilote du ruisseau Tobacco Sud, le système de modélisation hydroéconomique intégrée a été élaboré en s'appuyant sur les modèles économiques à la ferme et sur le modèle CanSWAT, version du modèle hydrologique SWAT adaptée aux conditions canadiennes qui a été étalonnée et validée pour le bassin hydrographique. L'interface facilite l'échange d'informations entre les modèles économiques et hydrologiques et offre ainsi un outil important aux chercheurs et aux gestionnaires de la conservation.

Dans le projet pilote des rivières Bras d'Henri et Beaurivage, la modélisation fondée sur le modèle GIBSI (Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé) a permis de caractériser les processus hydrologiques, les mécanismes de transport et les incidences probables des PGB sur la qualité de l'eau. On a entré les données biophysiques générées par le modèle dans les modèles économiques en main, et effectué une analyse coûts-avantages à la ferme des différentes politiques liées à la mise en œuvre des scénarios de PGB.

Voir le chapitre 5 pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes et les résultats du volet de modélisation intégrée de l'EPBH.

FAITS SAILLANTS DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Voir les chapitres 8 à 16 pour consulter les résultats complets à l'égard de chacun des neuf bassins hydrographiques de l'EPBH. Les paragraphes qui suivent présentent les conclusions et les enseignements tirés de neuf années de recherche interdisciplinaire à l'échelle des bassins hydrographiques.

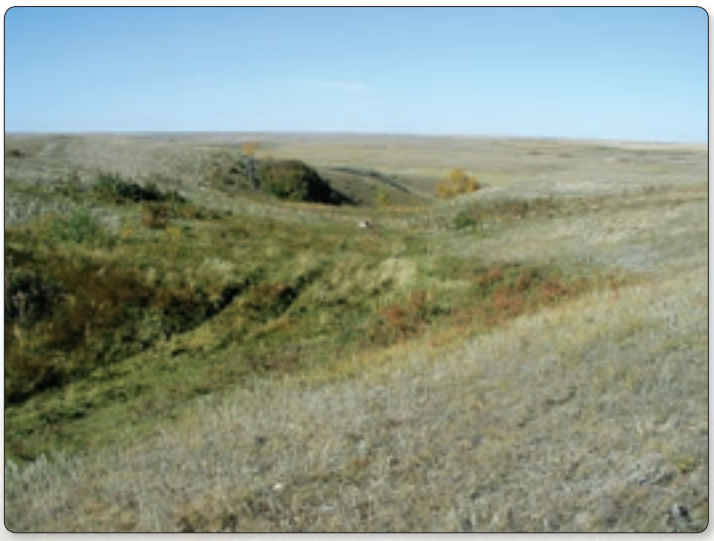
Juste équilibre entre les besoins du milieu aquatique et l'utilisation de l'eau en agriculture – bassin hydrographique de la rivière Salmon (C.-B.)

Puisque la rivière Salmon présente souvent un débit minimal l'été et l'automne, moment où de l'eau est nécessaire, à la fois pour la fraie du saumon, et pour l'irrigation, les chercheurs se sont intéressés aux aspects qualitatifs et quantitatifs de l'eau dans ce bassin. La clôture des berges afin d'exclure l'accès des bovins au cours d'eau a eu une incidence positive sur certaines variables de qualité de l'eau, les insectes aquatiques et la végétation riveraine. Les chercheurs de l'EPBH se sont également intéressés à la gestion efficace de l'irrigation pour une production fourragère rentable et l'utilisation durable de l'eau. Une irrigation plus efficace aidera à assurer l'approvisionnement en eau de la rivière, tant pour les irrigateurs que pour les espèces aquatiques. On a fourni aux producteurs un logiciel qui transmet les données relatives au sol et aux conditions météorologiques dans leurs champs, afin de les aider à décider à quel moment, à quel endroit et pour combien de temps irriguer. Voir le chapitre 8 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique de la rivière Salmon

PGB ciblant l'eau souterraine ou l'eau de surface – bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow (Alb.)

Alors que la plupart des PGB étudiées dans le cadre de l'EPBH se concentrent sur la qualité de l'eau de surface, la mise en œuvre de PGB qui ciblent l'eau de surface et d'autres qui ciblent l'eau souterraine pourrait constituer la meilleure approche à certains endroits. Par exemple, les résultats des recherches menées sur la modélisation hydrologique dans ce bassin hydrographique ont indiqué que l'écoulement souterrain constituait un mode plus important d'apport d'eau et d'éléments nutritifs et de contaminants que le ruissellement de surface. Par conséquent, puisque le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain peuvent tous les deux constituer des voies d'entrée importantes de l'eau dans la rivière, les PGB doivent cibler la voie d'entrée la plus pertinente en ce qui concerne le transport du contaminant le plus préoccupant. Ainsi, les PGB ciblant le ruissellement de surface seront vraisemblablement plus efficaces pour réduire les charges en sédiments et en P, tandis que les PGB ciblant l'eau souterraine seront vraisemblablement plus efficaces pour limiter le lessivage des nitrates. Voir le chapitre 9 pour obtenir plus de renseignements.



Bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow

Adaptation des PGB aux systèmes culturaux – bassin hydrographique du ruisseau Pipestone (Sask.)

Parfois, il arrive que les recherches menées dans le cadre de l'EPBH déterminent qu'il est nécessaire d'adapter les PGB en fonction d'un système de culture particulier. Les résultats préliminaires d'une étude comparant l'exportation d'éléments nutritifs à partir des cultures annuelles et de cultures fourragères pérennes ont indiqué que les formes physiques et chimiques des éléments nutritifs varient selon le système de culture. Il semble donc qu'il faille adapter les PGB au système cultural pour contrôler la perte d'éléments nutritifs lors du ruissellement nival au printemps. Voir le chapitre 10 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique du ruisseau Pipestone

Valeur des ensembles de données historiques – bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud (Man.)

Il faut observer un large éventail de conditions environnementales, y compris de variations climatiques, pour bien comprendre les effets des PGB. Les séries de données à long terme (pré-PGB et post-PGB) permettent d'observer les processus environnementaux et de repérer d'autres facteurs de confusion qui peuvent avoir une incidence sur l'efficacité des PGB. Par exemple, les changements apportés à la structure du sol par une pratique comme le travail de conservation du sol peuvent prendre du temps. Les répercussions biophysiques sont plus faciles à évaluer dans un bassin tel que celui du ruisseau Tobacco Sud, pour lequel on possède plus de 20 ans de données sur l'utilisation des terres et la qualité de l'eau et où les PGB, telles que les petits réservoirs placés dans les cours d'eau et le travail de conservation du sol, sont en place depuis longtemps. Voir le chapitre 11 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud

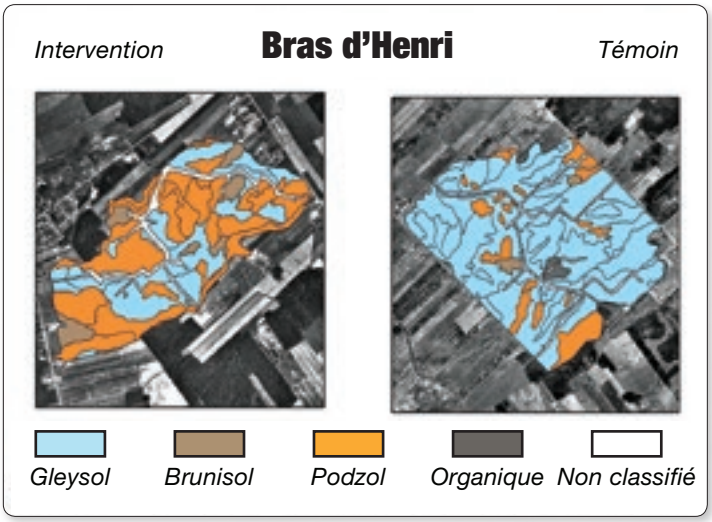
Étude d'une nouvelle PGB – bassin hydrographique de la Nation Sud (Ont.)

Les chercheurs de l'EPBH ont choisi d'étudier une nouvelle PGB dans le bassin – le drainage souterrain contrôlé – pour retenir l'eau et les éléments nutritifs dans le champ au cours de la saison de croissance. Selon les résultats, la pratique réduit les pertes d'éléments nutritifs dans les eaux de surface, tout en offrant aux producteurs un modeste gain économique. Voir le chapitre 12 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique de la Nation Sud

Facteurs liés au sol et au paysage influant sur l'efficacité des PGB – bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette (Qué.)

En étudiant deux microbassins hydrographiques appariés, les chercheurs ont découvert que les PGB pouvaient présenter une performance différente d'un site d'étude à l'autre en raison d'interactions avec le type de sol, le paysage ou d'autres facteurs environnementaux. Ces microbassins ont été choisis à la suite d'une comparaison des données disponibles sur l'hydrologie, les sols et l'utilisation des terres. Une étude détaillée du sol réalisée dans le cadre de l'EPBH a ensuite révélé que les sols de ces bassins « jumeaux » étaient en fait très différents. Il faut choisir une PGB ou une combinaison de PGB selon les facteurs propres aux différents sites. Ainsi, le potentiel de lessivage et les concentrations d'azote (N) plus élevés dans le site d'intervention (de traitement) de la rivière Bras d'Henri exigent des PGB qui contrôlent le bilan d'azote et le drainage. Par contre, les sols à faible capacité de rétention du P et fortement saturés en P au site témoin exigent des PGB qui réduisent les pertes de P dans les eaux de ruissellement de surface et l'eau de drainage.Voir le chapitre 13 pour obtenir plus de renseignements.



Bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette

Efficacité des PGB dans des conditions météorologiques exceptionnelles – bassin hydrographique du ruisseau Black (N.-B.)

Certaines PGB donnent de bons résultats en cas de précipitations normales, mais deviennent inefficaces en cas de précipitations extrêmes. La PGB qui combine des déviations et des voies d'eau gazonnées et la PGB des bandes riveraines gazonnées qui ont été étudiées dans le bassin du ruisseau Black n'ont pas réussi à réduire les charges amenées par les pluies intenses. De plus, les ouvrages ont parfois été endommagés par des orages et ont exigé des réparations. La possible augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes sera un facteur important à prendre en considération lors de la conception et de l'aménagement des PGB, afin d'aider les producteurs à s'adapter aux changements climatiques. Voir le chapitre 14 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique du ruisseau Black

Moment optimal de la prise de décision à la ferme – bassin hydrographique du ruisseau Thomas (N.-É.)

Le moment de la mise en œuvre par rapport au moment de la prise de décision à la ferme peut influer sur l'efficacité d'une PGB. Ainsi, une étude menée dans le bassin du ruisseau Thomas a permis de déterminer que, pour être efficace, la planification de la gestion des éléments nutritifs doit être réalisée à la même fréquence que celle de la planification et des décisions des cultures à produire à la ferme. Les producteurs du bassin ont indiqué que les plans de gestion des éléments nutritifs étaient effectués aux trois ans, tandis que le choix des cultures était souvent annuel, selon les prix du marché et d'autres facteurs à court terme. Cela signifie que nombre des recommandations relatives à la gestion à long terme des éléments nutritifs ne sont pas appliquées. Une solution serait de planifier la gestion des éléments nutritifs chaque année. Voir le chapitre 15 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique du ruisseau Thomas

Problèmes de nitrates à l'interface du milieu agricole et du milieu marin – bassin hydrographique de la rivière Souris (Î.-P.-É.)

En raison de sa petite taille, l'Île-du-Prince-Édouard est sensible aux conséquences environnementales de la culture intensive en rangs. L'augmentation des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines ces dernières décennies a nécessité l'adoption d'une loi qui impose la rotation des cultures, des pratiques de gestion des éléments nutritifs et l'aménagement de zones tampons dans de nombreuses parties de la province. Les PGB mises à l'étude dans le bassin de la rivière Souris ont été choisies dans le but de réduire les pertes d'azote dans l'eau souterraine peu profonde et l'eau de surface. Les résultats préliminaires indiquent que le fait de retarder le travail du sol jusqu'au printemps semble prometteur pour atténuer les pertes provenant du lessivage d'azote au cours de l'hiver. Les PGB dans la région auront une incidence sur l'eau

potable, la qualité de l'eau dans l'estuaire, la pêche récréative et l'industrie de l'aquaculture. Voir le chapitre 16 pour obtenir plus de renseignements.

Bassin hydrographique de la rivière Souris

COMPARAISONS ENTRE LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Même si l'EPBH ne visait pas à comparer les effets des PGB dans les conditions propres aux différents bassins hydrographiques, certaines PGB ont été mises en place dans plus d'un bassin. Puisque les PGB peuvent avoir des effets différents selon les zones climatiques ou les paysages, les méthodes d'étude et les résultats biophysiques varient d'un site à l'autre. La performance économique des PGB varie grandement à l'échelle du Canada en fonction des différences de conception des PGB, de climat, de type de sol et d'autres variables agronomiques. Les coûts de production, tels que la main-d'œuvre, et les prix des produits de base varient aussi selon les régions. Par ailleurs, les économistes des divers sites de projet ont parfois employé des méthodes de recherche différentes pour étudier la même PGB. Pour toutes ces raisons, il faut interpréter les comparaisons entre études avec prudence, et fonder toute recommandation ou décision relative à l'adoption de PGB sur les renseignements propres au bassin hydrographique.

Les exemples suivants illustrent les similitudes et divergences d'efficacité des PGB selon l'emplacement, les méthodes de recherche et d'autres facteurs environnementaux, agronomiques ou économiques. Voir le chapitre 2 et le chapitre 3 pour obtenir plus de renseignements sur ces comparaisons dans les volets biophysique et économique.

- ***Exclusion des bovins et clôture le long des berges*** (4 sites) – Les résultats biophysiques obtenus dans quatre bassins hydrographiques un peu partout au Canada semblent généralement indiquer une amélioration de l'état de santé de la zone riveraine. Cependant, les effets sur la qualité de l'eau varient en fonction de facteurs tels que la taille du cours d'eau et la taille des troupeaux de bovins, faisant ressortir davantage la nécessité d'adapter les PGB aux conditions particulières pour en maximiser l'effet. Les résultats économiques montrent que, même s'il peut y avoir certains avantages à la ferme, comme une productivité accrue des bovins, ils ne compensent pas tout à fait les coûts d'installation à court terme.
- ***Gestion du fumier et des éléments nutritifs*** (4 sites) – Cette PGB a été mise en place dans quatre sites très différents au Canada. Dans deux des sites, il y a eu une baisse des concentrations d'éléments nutritifs dans le cours d'eau pour certains paramètres. Les résultats concernant les deux autres sites ne sont pas concluants ou ne sont pas encore connus. La pratique a été jugée non profitable dans trois des bassins, mais économiquement réalisable dans le quatrième, où une réduction de l'utilisation d'engrais a été observée et où la seule dépense concernait l'analyse des sols.
- ***Travail du sol et gestion des résidus de culture*** (3 sites) – Plusieurs mesures de travail du sol et de gestion des résidus de cultures ont été étudiées dans trois sites. Puisque les pratiques de travail du sol ne sont pas nécessairement les mêmes, les résultats en matière de qualité de l'eau et les résultats économiques varient également d'un site à l'autre.
- ***Conversion à une culture fourragère pérenne*** (4 sites) – Les résultats de cette pratique sur la qualité de l'eau dans trois bassins hydrographiques des Prairies sont variables; certains paramètres s'améliorent, tandis que d'autres demeurent stables ou empirent. Dans le bassin de la rivière Bras d'Henri, des améliorations de la qualité de l'eau ont été relevées à l'échelle de la ferme, mais les résultats ne sont pas concluants à l'échelle du microbassin. Les avantages nets de cette PGB sont négatifs dans les quatre bassins hydrographiques étudiés.
- ***Engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver*** (2 sites) – Les études de cette pratique dans les deux bassins hydrographiques des Prairies dans lesquels elles ont été menées sont incomplètes, mais des recherches biophysiques sont en cours, grâce à de nouveaux fonds de programme. La pratique pourrait avoir des avantages nets positifs dans les deux bassins.
- ***Bandes tampons*** (3 sites) – Des pertes de sédiments ont été relevées dans les trois bassins hydrographiques. Les résultats concernant les éléments nutritifs varient. L'efficacité des bandes tampons dépend vraisemblablement du relief, du type de sol et des précipitations. Cette PGB présentait des avantages nets négatifs à la ferme, puisqu'elle est associée à la perte de terres cultivables, réduisant ainsi le revenu net de l'exploitation.

FAITS SAILLANTS DE LA RECHERCHE

Au cours des neuf années de recherche interdisciplinaire menée dans neuf bassins hydrographiques, l'EPBH a permis de recueillir un nombre considérable d'informations concernant les défis relevés et les leçons tirées par les chercheurs. Ces informations peuvent être utiles pour les études à venir à l'échelle de bassins hydrographiques. Voir les chapitres sur les différents volets (chapitres 2 à 5) et les chapitres sur les différents bassins (chapitres 8 à 16) pour obtenir plus de renseignements sur les méthodes de recherche et les résultats de l'EPBH.

PGB propres aux régions

Les études menées dans le cadre de l'EPBH ont confirmé que l'efficacité des PGB variait selon les régions et que les PGB devaient être conçues en fonction du transport des contaminants et des autres enjeux propres à la région étudiée. Par exemple, les études menées en Saskatchewan et au Manitoba ont déterminé que les PGB élaborées aux États-Unis ou dans des parties du Canada où les orages estivaux génèrent un ruissellement important sont susceptibles d'être moins efficaces dans les régions froides et sèches où les éléments nutritifs sont principalement emportés par la fonte des neiges et exportés sous forme dissoute. Dans ces régions, il peut être plus pertinent de mettre en œuvre des pratiques de gestion qui réduisent l'accumulation d'éléments nutritifs dans les résidus de culture et le sol de surface. Inversement, les PGB de la région de l'Atlantique doivent tenir compte des tempêtes de pluie, qui sont les principaux vecteurs hydrologiques du transport des éléments nutritifs et des sédiments. Les chercheurs du bassin du ruisseau Thomas ont mis en évidence la nécessité de disposer de directives pour la gestion scientifique des éléments nutritifs qui soient adaptées à une région donnée, puisque les recommandations actuelles se basent souvent sur des informations obtenues dans d'autres régions du Canada.

Défis posés par la recherche sur le terrain

Il peut être difficile de mener des recherches sur le terrain, en plein air. Par exemple, dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow, le manque de ruissellement naturel a obligé à utiliser un simulateur de pluie portatif pour étudier des PGB. Inversement, l'échantillonnage réalisé dans le bassin du ruisseau Pipestone, début 2011, a été compromis par des chutes de neige records, suivies de 12 jours de ruissellement qui ont emporté des canaux surélevés et des talus et inondé les routes. Pour ce qui est de l'étude portant sur l'engraissement de bovins dans les champs durant l'hiver dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, l'enneigement exceptionnel de l'hiver 2012-2013 a fait en sorte que les eaux de ruissellement du champ témoin se sont retrouvées dans le champ d'intervention, ce qui a compromis les résultats liés aux deux champs. Ces défis démontrent comment la variabilité des conditions météorologiques peut compliquer les recherches portant sur les PGB et mettent en lumière le caractère essentiel de la mise en œuvre d'un programme de recherche à long terme à l'échelle du paysage comme le programme d'EPBH pour l'évaluation efficace des PGB dans le monde réel.

Un simulateur de pluie a été utilisé pour le projet du bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow.

Facteurs ayant une incidence sur la détection des effets des PGB

Tandis que de nombreux facteurs, outre l'activité agricole, peuvent avoir une incidence sur l'efficacité des PGB à l'échelle des champs ou des bassins hydrographiques, certains bassins présentent une utilisation des terres plus diverse et des paysages plus complexes que d'autres, ce qui complique la détection des changements apportés à la qualité de l'eau par les PGB.

Le bassin du ruisseau Thomas présente un mélange complexe de divers systèmes agricoles, de boisés et de zones de développement résidentiel rural, et il comporte de petites parcelles de terre fragmentées entrecoupées de petits cours d'eau. Les boisés, l'activité faunique et les fosses septiques des habitations peuvent compromettre les résultats en participant à l'apport d'éléments nutritifs et de bactéries dans les eaux réceptrices.

Dans la rivière Lower Little Bow, ces autres facteurs comprennent le manque de ruissellement naturel, les prélèvements aux fins de l'irrigation et les écoulements restitués, la contamination par la faune et les autres sources d'eau souterraine. Il a été déterminé que la santé de la zone riveraine constitue un indicateur plus sensible que la qualité de l'eau de la rivière pour évaluer l'efficacité des PGB qui consistent à aménager une aire d'abreuvement à l'écart des cours d'eau et à clôturer les berges.

Il est également important d'examiner de multiples variables pour déterminer l'incidence des PGB sur la qualité de l'eau, puisque toutes les variables étudiées n'ont pas donné de résultats significatifs. L'étude des clôtures d'exclusion des bovins dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon n'a pas permis de démontrer de réduction significative des quantités d'éléments nutritifs dans la rivière. Cependant, les recherches portant sur d'autres paramètres ont indiqué une réduction importante du nombre d'*E. coli* et de la contamination de l'eau de la rivière par des sédiments fins, ainsi que l'amélioration de la santé de la végétation riveraine et des espèces invertébrées aquatiques. Les suivis du bassin

n'ont pas permis de démontrer que les clôtures d'exclusion des bovins se soldaient par une baisse des concentrations d'éléments nutritifs dans la rivière.

Les effets confondants de ces facteurs peuvent brouiller les résultats des PGB et empêcher de bien déterminer les sources de contamination et l'effet des PGB sur la qualité de l'eau. Les recherches menées dans les écosystèmes complexes du genre peuvent livrer des informations scientifiques qui serviront à élaborer de solides outils économiques et mécanismes d'intervention pour l'utilisation et la gestion durables des terres.

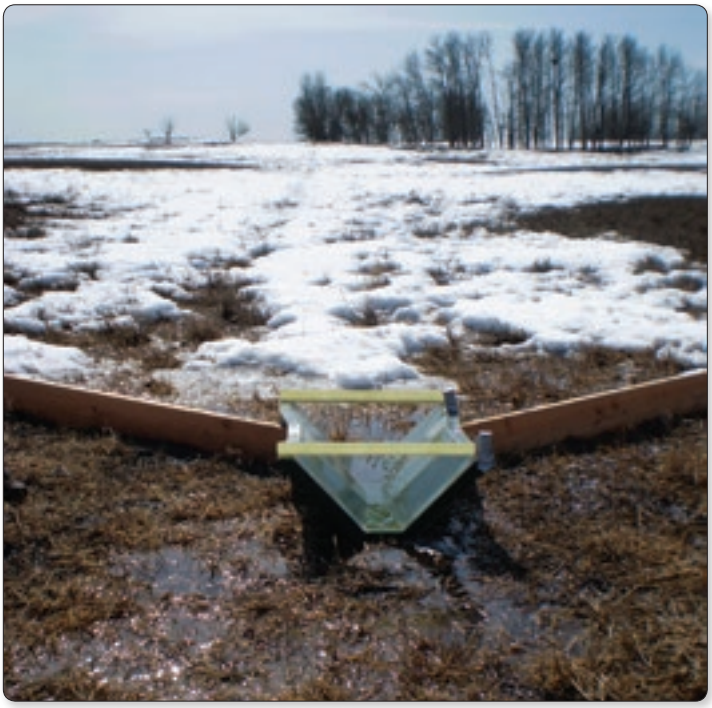
Résultats inattendus ou intéressants

Puisque les bassins hydrographiques sont des systèmes complexes et dynamiques, les recherches menées à leur échelle donnent lieu parfois à des résultats étonnants. Par exemple, le dépistage des sources de pollution bactérienne menée dans le bassin de la rivière Salmon a permis de déterminer que, contrairement à ce qu'on aurait pu penser, la faune explique plus de 60 % des quantités d'*E. coli* dans la rivière, alors que les animaux d'élevage n'en apportent que 20 %. Les chiens, les hommes et les autres sources constituent le reste des sources.

Les clôtures d'exclusion des bovins installées dans le bassin de la Nation Sud ont permis de réduire de manière significative les charges en éléments nutritifs et en bactéries dans le cours d'eau. Cependant, les matières fécales de la faune ont augmenté de manière importante dans la section clôturée par rapport à la section non clôturée, vraisemblablement en raison de la présence plus nombreuse des animaux sauvages dans la zone clôturée. Il s'agit d'un exemple du type d'effets confondants qui se produisent dans l'environnement naturel et qui peuvent influer sur l'efficacité d'une PGB.

Le travail de conservation du sol est une PGB utilisée avec succès dans de nombreuses régions pour réduire l'érosion du sol. Cependant, contrairement à l'idée reçue, les données provenant du bassin du ruisseau Tobacco Sud font croire que dans des climats présentant une importante fonte des neiges, comme l'ouest du Canada, le travail réduit du sol est en fait plus susceptible d'entraîner des pertes de P total. Le travail réduit du sol dans le bassin étudié a fait augmenter de 12 % l'exportation de P total, principalement en raison de l'exportation accrue de P dissous lors du ruissellement nival.

Les résultats préliminaires du printemps 2011 dans le bassin du ruisseau Pipestone ont indiqué la présence inattendue de glyphosate et de son produit de décomposition dans le ruissellement nival. On ne sait pas si cette présence est courante, ou si elle était imputable au volume élevé de ruissellement de ce printemps. L'origine de ces composés présents dans les eaux de ruissellement (p. ex. sol, résidus de culture) est inconnue. D'autres analyses sont en cours.



Les stations d'échantillonnage ont été équipées d'appareils de mesure du ruissellement nival dans le bassin hydrographique du ruisseau Pipestone.

Recherche adaptative

Dans le cadre de l'EPBH, les PGB et les méthodes de recherche ont été sélectionnées pour tenir compte des paysages, des climats, des pratiques agricoles et des enjeux socioéconomiques et agroenvironnementaux de l'endroit et de la région. Cependant, même si un projet de recherche repose sur des principes scientifiques corrects, les chercheurs doivent faire preuve de souplesse dans leur approche, particulièrement lorsqu'ils étudient des écosystèmes ou des exploitations agricoles. Les équipes de chercheurs de l'EPBH n'ont cessé d'évaluer quelles PGB il convenait le plus d'étudier dans leurs bassins hydrographiques, et comment.

Certaines études portant sur les PGB ont été modifiées ou suspendues, et de nouvelles PGB ont été ajoutées en cours d'étude. Par exemple, dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, les chercheurs ont commencé à évaluer une pratique modifiée de travail du sol intermittent, dans le but de résoudre le problème de l'exportation accrue de P dissous amené par le travail de conservation du sol, pratique qui était à l'étude au départ. Dans le bassin de la rivière Souris, les chercheurs ont dû abandonner l'étude d'une culture intermédiaire hivernale, car des conditions météorologiques anormales ont empêché l'établissement de la culture. Dans le bassin hydrographique du ruisseau Thomas, une étude portant sur une nouvelle PGB a été ajoutée en 2010 lors de la réfection d'un bassin de rétention à la ferme à plus que doubler sa capacité de rétention d'eau, dans le but de réduire le transport des sédiments et du P dans le cours d'eau à partir des champs cultivés et de permettre le stockage de l'eau aux fins d'irrigation.

Un bassin de rétention dans le bassin du ruisseau Thomas a été réaménagé pour en augmenter la capacité et réduire le transport des sédiments et du phosphore à partir des champs cultivés.

La nature interdisciplinaire des recherches menées dans le cadre de l'EPBH et l'aide apportée aux équipes par les multiples partenariats et collaborations ont permis d'adapter le projet en fonction des circonstances et de l'évolution des priorités.

RÉPERCUSSIONS POUR LES POLITIQUES ET PROGRAMMES

Les recherches menées dans le cadre de l'EPBH ont permis d'acquérir des connaissances utiles à propos des avantages et des coûts des PGB et de l'attitude et du comportement des producteurs vis-à-vis des PGB. Les informations peuvent aider les décideurs à élaborer des politiques et des programmes qui favorisent l'adoption de PGB efficaces.

Facteurs influençant l'adoption des PGB

Pour que les gouvernements et les autres organismes de financement élaborent des politiques et des programmes qui favoriseront l'adoption des PGB, il convient de mieux comprendre les facteurs qui amènent les producteurs à adopter ou non des PGB. Les économistes ont mené des enquêtes auprès des producteurs dans la région Chaudière, dans le sud du Québec, afin de déterminer l'incidence de certaines variables sur la probabilité d'adoption des PGB pour corriger des problèmes liés à la qualité de l'eau. Ils ont constaté que différents facteurs intervenaient dont le niveau d'études, l'âge, le sexe, le lieu et la taille de l'exploitation, la certification biologique, l'appartenance à un groupe de gestion ou de conservation des bassins hydrographiques et le coût de la main-d'œuvre. La connaissance de ces facteurs peut éclairer l'élaboration de politiques et de programmes à frais partagés qui encouragent l'adoption de PGB et aider à bien cibler les meilleures pratiques.

Besoin d'incitatifs financiers

Les coûts d'installation et d'entretien de la plupart des PGB étudiées dans le cadre de l'EPBH l'emportent sur les avantages à la ferme. Les producteurs peuvent subir des pertes s'ils ne reçoivent pas d'incitatifs financiers pour les aider à éponger les coûts de ces PGB.

L'adoption des PGB qui offrent surtout des avantages hors ferme devrait aussi faire l'objet d'incitatifs, car les avantages sont seulement appréciés par le public, tandis que les producteurs doivent en payer le prix. Par exemple, l'aménagement de déviations dans le bassin du ruisseau Black est coûteux pour les producteurs. Cependant, lorsqu'on a pris en compte les avantages pour la collectivité, comme l'amélioration de la qualité de l'eau, dans l'analyse coûts-avantages, les avantages économiques nets se sont révélés positifs. Ces résultats appuient la notion qu'il est dans l'intérêt public de voir aménager des déviations sur les terres agricoles, et puisque ces ouvrages ne sont pas rentables pour les fermes, les gouvernements ou les organisations non gouvernementales devraient aider à payer une partie des coûts.

Les provinces et les autres organismes de financement ont développé des programmes à frais partagés afin d'aider les producteurs à adopter les PGB. Par exemple, l'Office de protection de la nature de la Nation Sud et la Ville d'Ottawa ont inclus le drainage souterrain contrôlé dans les PGB admissibles à leur programme d'assainissement de l'eau à frais partagés. Toutefois, puisque les producteurs assument encore en grande partie les coûts liés à l'adoption des PGB dans le cadre des programmes à frais partagés, ces derniers n'offrant pas d'incitatifs financiers suffisants pour encourager l'adoption des PGB. Il faudrait envisager de proposer d'autres outils stratégiques pour inciter les producteurs à adopter des PGB bonnes pour l'environnement, dans les limites d'un budget donné. L'un de ces outils, les enchères de conservation, comme moyen rentable de payer les producteurs afin qu'ils adoptent les PGB, a fait l'objet d'une étude dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud. Les résultats ont permis de déterminer que les enchères de conservation offrent aux agriculteurs un moyen de révéler leurs coûts d'adoption « véritables » des PGB, ce qui permet d'assurer que les objectifs en matière de qualité de l'eau sont atteints à un coût minimal pour le gouvernement.

Le choix de l'échelle à laquelle la politique environnementale agira – le bassin hydrographique ou la ferme – doit également être pris en compte lors de la détermination des incitatifs visant à favoriser l'adoption de PGB par les producteurs. Selon les résultats de l'étude de modélisation économique dans le bassin de la rivière Bras d'Henri, il serait moins coûteux pour les producteurs que l'on cible un objectif précis de réduction de la pollution à l'échelle du l'ensemble du bassin, plutôt qu'à l'échelle de la ferme (et aussi l'option stratégique la moins coûteuse pour l'organisme bailleur de fonds chargé de fournir les incitatifs financiers visant à atténuer ces coûts). Une politique de réduction de la pollution à l'échelle du bassin pourrait permettre aux producteurs du bassin en question de négocier entre eux les réductions de pollution, mais cette approche serait difficile à contrôler.

Des 38 PGB évaluées dans le volet économique de l'EPBH, neuf ont été jugées économiquement viables à l'échelle de la ferme. D'autres PGB pourraient aussi être économiquement viables, mais leurs avantages à la ferme et hors ferme restent à démontrer. Lorsque les agriculteurs comprendront les avantages sur la ferme de telles PGB, l'adoption de celles-ci pourrait ne pas nécessiter d'incitatifs financiers.

Besoin de cibler les PGB

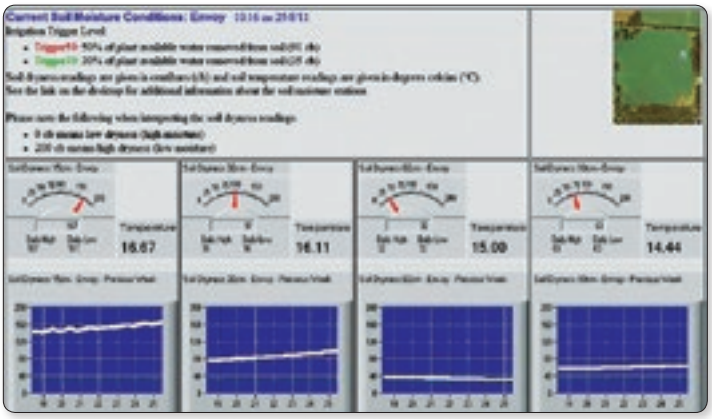
Lorsqu'une PGB présente des avantages pour l'environnement, mais qu'elle est coûteuse à mettre en œuvre, il peut être avantageux de cibler son emplacement dans le paysage. À titre d'exemple, l'installation de clôtures d'exclusion des bovins pourrait cibler les sections les plus sensibles sur le plan environnemental ou les plus dégradées du cours d'eau, tandis que la gestion des pâturages situés près des rives et l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau peuvent constituer des PGB plus adaptées pour les tronçons moins critiques des cours d'eau.

Les modèles intégrés et les autres outils mis en œuvre dans le cadre de l'EPBH aident à cibler les PGB dans les secteurs où elles seraient les plus bénéfiques, pour ainsi permettre d'améliorer la qualité de l'eau à moindre coût. Par exemple, dans le bassin de la rivière Bras d'Henri, un outil géospatial a été élaboré afin de repérer les secteurs sources critiques, de manière à déterminer l'emplacement optimal des PGB. De plus, une étude économique menée dans le même bassin hydrographique a déterminé que le fait de cibler les PGB dans des secteurs précis du bassin afin d'obtenir les résultats voulus d'amélioration de la qualité de l'eau pourrait se révéler plus rentable que de les aborder ferme par ferme.

Répercussions de l'EPBH sur le maintien ou l'adoption des PGB

Il peut être difficile de déterminer l'incidence de la recherche menée dans le cadre de l'EPBH et le rôle joué par le comportement des producteurs en ce qui concerne l'adoption des PGB, en raison du manque de données sur l'adoption et parce que de nombreuses variables influencent la prise de décision des producteurs. Cependant, certains chercheurs de l'EPBH ont indiqué que bon nombre des producteurs qui participaient aux études menées dans le cadre de l'EPBH devraient continuer de suivre les PGB mises en œuvre dans leurs exploitations agricoles. Par exemple :

- Les producteurs qui ont participé à l'étude portant sur la gestion de l'irrigation menée dans le bassin de la rivière Salmon vont sans doute continuer à utiliser l'équipement de surveillance de l'humidité du sol afin de planifier l'irrigation de leurs cultures. L'équipement a coûté un plus cher que ce qu'envisageaient les producteurs, mais ils ont tous dit souhaiter continuer à l'utiliser en raison des avantages qu'il procure à la ferme.
- Les dirigeants d'une exploitation agricole dans le bassin hydrographique de la rivière Lower Little Bow qui ont participé à l'étude sur l'aménagement d'aires d'abreuvement à l'écart des cours d'eau ont été tellement impressionnés par la PGB qu'ils ont installé d'autres abreuvoirs à l'écart des cours d'eau à leurs propres frais.
- On estime que les producteurs qui ont eu des dispositifs de contrôle du drainage souterrain d'installés dans le cadre du projet du bassin hydrographique de la Nation Sud vont continuer de les utiliser en raison des rendements accrus obtenus.



Équipement de suivi de l'humidité du sol utilisé pour l'étude de l'irrigation dans le bassin hydrographique de la rivière Salmon.

Cependant, lorsque certaines PGB, telles que l'installation de clôtures et l'aménagement de bandes tampons, présentent des coûts d'installation et d'entretien élevés qui ne sont pas compensés par des avantages à la ferme, les producteurs participant à l'EPBH pourraient décider de revenir aux pratiques traditionnelles.

RÉALISATIONS

La recherche interdisciplinaire, le développement et le transfert de technologie et de connaissances réalisés dans le cadre de l'EPBH à l'échelle des bassins hydrographiques ont été fréquemment cités comme modèle de collaboration efficace par des cadres supérieurs, des partenaires et d'autres collaborateurs. Les réalisations scientifiques du programme sont nombreuses. On a créé ou perfectionné de nombreux outils permettant d'aider les décideurs à utiliser les connaissances acquises grâce à l'EPBH, et les résultats de l'EPBH ont été communiqués aux intervenants sous de nombreuses formes.

Collaboration interdisciplinaire

L'EPBH est un programme multidisciplinaire qui s'appuie sur une équipe de spécialistes de la recherche en agriculture et en biophysique, de la recherche sur les bassins hydrographiques, de l'économie, de l'hydrologie et de la modélisation. L'expertise est venue de plus de 70 organismes, y compris des universités et des collèges du Canada et d'ailleurs, des groupes de conservation et d'autres organisations non gouvernementales, du département de l'Agriculture des États-Unis, de services provinciaux et municipaux et d'Agriculture et Agroalimentaire Canada ainsi que d'autres ministères fédéraux.

La diversité des compétences au sein de cette communauté de pratique constitue un élément fort du projet. L'interaction et les échanges d'informations entre les partenaires ont créé des possibilités d'apprentissage pour tous, augmenté les connaissances au sein des disciplines et entre elles, et donné lieu à une collaboration interdisciplinaire de haute qualité.

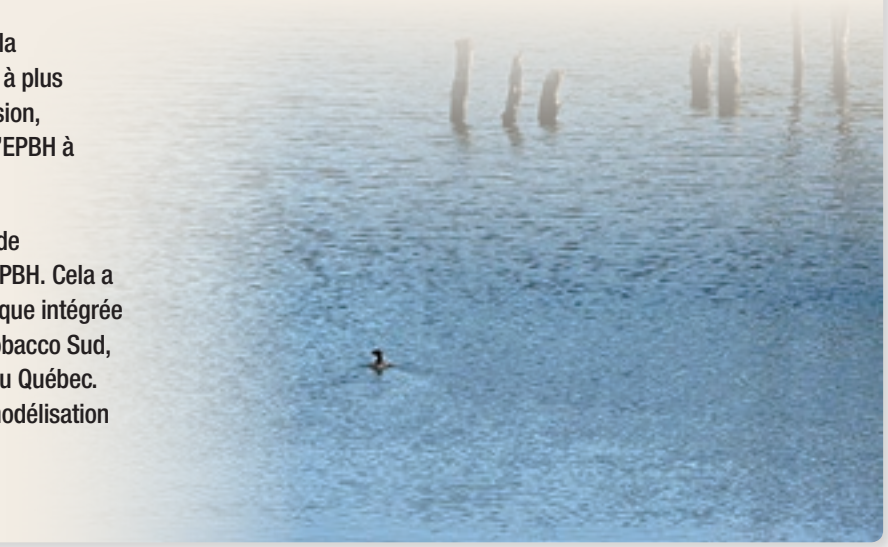
Canards Illimités Canada et l'EPBH

Canards Illimités Canada (CIC) a joué un rôle clé dans le lancement et le démarrage réussis du programme d'EPBH. L'intérêt, la prévoyance, la volonté de contribuer au financement et l'expertise de cette organisation nationale de conservation ont permis de transformer une idée en un programme viable et pertinent. Le personnel de CIC a fourni une expertise et des conseils de grande valeur en participant aux divers comités du programme (comité directeur national, comité technique, comité des communications, comité de modélisation et comités directeurs locaux).

Les deux intérêts principaux de CIC étaient l'utilisation de la modélisation pour comprendre les répercussions des PGB à plus grande échelle et la mise au point d'outils d'aide à la décision, ainsi que la contribution des résultats des recherches de l'EPBH à l'élaboration de politiques concernant les PGB.

Les apports considérables de CIC ont permis de lancer et de poursuivre les efforts de modélisation dans le cadre de l'EPBH. Cela a été le cas, en particulier, de la modélisation hydroéconomique intégrée de grande envergure menée dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud, au Manitoba, et dans le bassin de la rivière Bras d'Henri, au Québec. Voir le chapitre 5 pour obtenir plus d'informations sur la modélisation intégrée dans ces deux bassins hydrographiques.

Canards Illimités Canada a beaucoup contribué au programme d'EPBH.



Le soutien et la coopération exceptionnels des producteurs constituent un autre grand facteur de la réussite de l'EPBH. La participation des producteurs et des groupes de conservation locaux a été particulièrement importante, puisque ces partenaires connaissent bien l'histoire des terres et ont fait profiter les projets de leurs connaissances pratiques.

Producteurs participants

Les producteurs locaux ont joué un rôle clé dans la réussite du programme d'EPBH. Les équipes de chercheurs de l'EPBH ont beaucoup retiré des relations professionnelles établies avec ces producteurs. En plus de mettre en œuvre les PGB et de mettre leurs terres au service des expériences liées aux PGB, les producteurs participants ont fourni aux chercheurs les renseignements sur l'utilisation des terres et les informations agronomiques et économiques dont ils avaient besoin pour mieux comprendre l'efficacité des PGB.

Les recherches de l'EPBH ont été réalisées dans des exploitations agricoles en activité.

Groupes de gestion de bassin hydrographique

Tous les projets menés dans le cadre de l'EPBH ont bénéficié d'un partenariat avec un organisme local de conservation qui a collaboré avec les producteurs et les scientifiques pour appuyer les recherches sur le terrain. Ces groupes ont assuré la liaison entre les chercheurs et les producteurs, et ils ont souvent mené des travaux sur le terrain, tels que la mise en œuvre, l'entretien et la surveillance exigés par les PGB.

Chaque projet d'EPBH s'est appuyé sur la collaboration d'un organisme local de conservation du bassin.

Le programme d'EPBH a également collaboré à d'autres initiatives par le partage de données. Par exemple, le Réseau canadien de l'eau a pu utiliser les données de l'EPBH collectées dans le bassin du ruisseau Tobacco Sud pour l'étude communautaire de l'efficacité des PGB menée à l'échelle du bassin modèle du ruisseau Tobacco. En Colombie-Britannique, l'EPBH a permis d'établir un partenariat entre la Commission canadienne du blé et le réseau météorologique BC Farmwest afin d'intégrer Weather Farm (un système d'appui à la prise de décision en matière d'irrigation à la ferme) au calendrier d'irrigation de la Colombie-Britannique. De plus, les ensembles de données et les rapports de l'EPBH concernant le bassin de la rivière Salmon ont été communiqués aux fins de l'enquête de la Commission Cohen sur le déclin du saumon rouge dans le fleuve Fraser.

Le programme d'EPBH a entretenu des liens étroits avec les responsables de l'initiative Conservation Effects Assessment (CEAP) du département de l'Agriculture des États-Unis. Les deux programmes présentent des objectifs similaires et ont échangé des informations. Les représentants des deux programmes ont été invités à présenter une communication aux réunions de la Commission du développement durable des Nations Unies à New York en 2009. Cela a permis de faire connaître les leçons tirées en matière de conservation de l'eau et des sols agricoles à un auditoire international composé de non-spécialistes.

Voir le chapitre 7 pour obtenir plus de renseignements sur les partenariats et les collaborations établis dans le cadre de l'EPBH.

Répercussions scientifiques (recherche)

Les recherches de l'EPBH menées par plus de 25 chercheurs d'AAC et plus de 25 chercheurs d'universités du Canada et d'ailleurs et d'autres organismes de recherche ont permis d'acquérir des connaissances dans plusieurs disciplines. Les travaux ont donné lieu à la publication de plus de 135 articles dans des revues scientifiques à comité de lecture depuis 2007 (voir la figure 8 au chapitre 6), et les résultats de l'EPBH continuent d'être publiés après l'achèvement du programme. Les chercheurs de l'EPBH ont également présenté leurs travaux et leurs résultats à un nombre important de conférences au Canada et dans le monde. Étant donné que certains projets se sont poursuivis, le nombre d'articles publiés et de communications à des conférences issus des recherches menées dans le cadre de l'EPBH va continuer à augmenter.

Un exemple qui illustre l'incidence de la recherche scientifique de l'EPBH : le California Water Board a demandé l'autorisation d'ajouter à sa base de données sur les pratiques de protection des rives un article de revue portant sur l'étude de la clôture le long des berges dans le bassin de la rivière Lower Little Bow (publié dans le *Agricultural Water Management Journal*).

Analyse bibliométrique

En 2012, un examen bibliométrique a été réalisé dans le but d'évaluer l'incidence scientifique du programme d'EPBH. Les analystes ont fait correspondre les publications liées à l'EPBH dans les revues scientifiques à comité de lecture avec une base de données bibliométriques afin de mesurer les répercussions scientifiques des travaux financés par l'EPBH et pour dessiner le réseau de collaborations en résultant. Les résultats, qui s'appuient sur les publications découlant de l'EPBH parues jusqu'en 2010, indiquent que l'incidence scientifique de ces publications semble être égale ou supérieure à celle des publications produites en dehors du programme. Les résultats confirment que le programme d'EPBH a favorisé le développement de relations de collaboration entre les établissements canadiens.

De plus, les publications se rapportant à l'EPBH signées par 30 scientifiques du gouvernement et du milieu universitaire ont été comparées au travail produit par les mêmes chercheurs participant à d'autres projets de recherche afin de déterminer dans quelle mesure leurs publications dans le cadre de l'EPBH se comparaient à l'ensemble de leurs publications sur les plans de la collaboration et des répercussions scientifiques. L'analyse a déterminé que les publications de l'EPBH représentaient une part considérable des travaux des chercheurs participants, particulièrement des chercheurs d'AAC.

Voir le chapitre 6 et la bibliographie pour obtenir plus d'informations sur les publications évaluées par les pairs dans le cadre de l'EPBH.

Formation des scientifiques de demain

Le programme d'EPBH a joué un rôle crucial en ce qui a trait à la formation des étudiants universitaires dans des disciplines telles que la pédologie, l'hydrologie et l'économie. Plusieurs étudiants postdoctoraux ont travaillé à plein temps à l'EPBH, et plusieurs étudiants ont effectué une thèse de maîtrise ou de doctorat portant sur les bassins hydrographiques de l'EPBH, ce qui a enrichi les connaissances résultant de la recherche menée dans le cadre de l'EPBH. Les étudiants de premier cycle ont tiré parti des recherches menées sur les sites de l'EPBH, en classe et à l'occasion de visites sur le terrain.

Laboratoire en plein air

M. David Lobb, Ph. D., de l'Université du Manitoba, s'est servi du bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud comme lieu de formation pour ses étudiants au fil des années. « Le bassin a été une excellente ressource d'enseignement et de formation pour les étudiants, un vrai laboratoire à ciel ouvert, et nombre d'entre eux se sont dirigés vers des métiers dans lesquels ils auront une incidence positive sur l'agriculture et notre environnement », a indiqué M. Lobb. « Pour de nombreux étudiants, cette expérience du bassin du ruisseau Tobacco Sud a été leur seule expérience pratique des agroécosystèmes au cours de leurs études. »

Des étudiants ont visité les sites des projets de l'EPBH ou y ont mené des recherches.

Outils d'aide à la décision (développement)

Les recherches de l'EPBH en matière de biophysique, d'économie et de modélisation ont produit des informations qui peuvent servir à élaborer des outils d'aide à la décision pour la gestion des terres ou être employés par les gouvernements pour établir des politiques et des programmes concernant les PGB. Les chercheurs d'AAC et les organismes partenaires ont déjà entrepris le développement de plusieurs outils utiles. Par exemple :

- ***Modèles intégrés*** – Le modèle intégré mis au point pour le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud peut aider à déterminer les coûts et les effets sur la qualité de l'eau de plusieurs scénarios de mise en œuvre des PGB à plusieurs échelles. Les producteurs et le groupe local de conservation du bassin pourront utiliser ce modèle gratuit et de source libre pour prendre des décisions à l'échelle locale. Certains chercheurs ont commencé à adapter le modèle aux conditions locales d'autres bassins au Manitoba. Les chercheurs du projet du bassin de la rivière Bras d'Henri ont utilisé les données hydrologiques, biophysiques et économiques afin d'étudier les avantages pour l'environnement et les coûts à la ferme de différentes politiques et de divers scénarios de PGB.
- ***Système spatial d'aide à la décision*** – Au Nouveau-Brunswick, les modélisateurs ont lancé le développement d'un modèle simplifié qui s'appuie sur les prévisions du modèle SWAT et les mesures sur le terrain réalisées dans les bassins du ruisseau Black et de la rivière Little. Ce système spatial d'aide à la décision se veut un outil convivial pour la planification des PGB.
- ***GéODEP*** – Les outils spatiaux de la trousse GéODEP mis au point pour les bassins hydrographiques du Bras d'Henri et de la Fourchette utilisent les données de télédétection et les données de surveillance terrestre et aquatique collectées à l'échelle du microbassin afin d'aider les producteurs et le personnel de vulgarisation à repérer les zones les plus susceptibles d'être touchées par un ruissellement de surface critique. GéODEP peut être utilisé pour simuler les effets de plusieurs PGB sur l'eau, la quantité de sédiments et de phosphore, et pour déterminer l'emplacement optimal des PGB. GéODEP peut être utilisé dans toutes les autres régions canadiennes qui disposent des données spatiales pertinentes dans un format similaire.
- ***Guide de planification de la réduction des éléments nutritifs*** – À l'Île-du-Prince-Édouard, le gouvernement provincial et les groupes locaux de bassin utilisent les résultats publiés à partir d'une étude de modélisation sur l'écoulement de l'eau souterraine et le lessivage des nitrates dans le bassin hydrographique de la rivière Souris afin d'appuyer les activités de planification de la réduction des éléments nutritifs.

Dans certains bassins, les informations générées par ces outils ont été fournies aux producteurs locaux pour les aider à prendre des décisions à propos de leurs activités.

- ***Guide de l'équipement et rapports annuels*** – Dans le bassin de la rivière Salmon, de l'équipement de surveillance du sol et des conditions météorologiques dans les champs a été installé dans les fermes participantes, et leurs lectures étaient transmises aux ordinateurs des exploitations agricoles. Ces renseignements ont permis aux producteurs de décider à quel endroit, à quel moment et en quelle quantité irriguer. Afin d'aider les producteurs à utiliser cet outil, chaque ferme participante s'est vue remettre un guide pour mieux comprendre et utiliser les données présentées sur l'interface informatique. De plus, les rapports annuels ont fourni des renseignements détaillés sur les exploitations ainsi que des informations combinées à partir des données de toutes les fermes participantes.

- ***Base de données géospatiales*** – Une base de données géospatiales complète a été mise au point pour le bassin du ruisseau Thomas afin de fournir une représentation géospatiale des observations biophysiques découlant de la recherche de l'EPBH. En plus de l'utilisation faite par les chercheurs dans le cadre des activités de modélisation, d'analyse statistique et de planification, les cartes créées à partir de cette base de données ont été remises aux producteurs locaux à titre d'outil de planification agronomique.

Transfert de connaissances et sensibilisation

En plus de la diffusion des informations au sein de la communauté scientifique, plusieurs méthodes ont été employées dans le cadre de l'EPBH pour communiquer les informations aux autres intervenants internes ou externes. Les voici :

- Documents imprimés et renseignements en ligne
  - rapports sommaires,
  - brochures techniques,
  - fiches d'information,
  - site Web.

- Événements en personne
  - ateliers annuels de l'EPBH,
  - visites des bassins hydrographiques et démonstrations.

- Couverture médiatique
  - communiqués publiés par AAC ou un autre partenaire,
  - informations reprises par les médias locaux et régionaux, publications portant sur la conservation et l'agriculture durable,
  - articles présentés par AAC dans des revues telles que *Farming for Tomorrow* ou *Le Conservationniste* de Canards Illimités Canada.

Les produits et activités permettent aux producteurs, aux personnes intéressées par la conservation, aux responsables des politiques et au grand public de mieux comprendre les éléments à prendre en compte en ce qui concerne les PGB, ainsi que les facteurs qui favorisent leur efficacité ou leur adoption. Les intervenants sont ensuite en mesure d'utiliser les informations pour prendre des décisions.

Par exemple, un coordinateur de la gérance d'un bassin hydrographique en Ontario a demandé d'autres exemplaires d'une fiche d'information de l'EPBH portant sur les facteurs ayant une incidence sur l'adoption des PGB afin de les remettre à ses collègues. Ces spécialistes des bassins et de la conservation étaient particulièrement intéressés par le fait que la participation à un groupe de conservation à l'échelle du bassin augmente la probabilité que les producteurs adoptent la majorité des PGB mentionnées dans l'enquête.

Afin de déterminer l'incidence des efforts de communication et de sensibilisation de l'EPBH, un consultant en communications stratégiques a été chargé de repérer ce que retenaient les publics externes clés des informations mises à leur disposition, et la manière dont ils utilisaient ces informations. En réalisant des études de cas auprès de publics externes dans quatre bassins hydrographiques de l'EPBH, le consultant a conclu que les intervenants étaient satisfaits d'obtenir régulièrement des informations pertinentes à propos de la recherche et des résultats portant sur les PGB dans leur secteur, et que le gouvernement fédéral constituait une source fiable d'information en matière d'agriculture. Les recommandations formulées dans le rapport ont servi à appuyer les efforts de planification et de sensibilisation ciblée de l'EPBH.

Voir le chapitre 6 pour obtenir plus de renseignements sur les efforts de communication et de sensibilisation réalisés dans le cadre de l'EPBH.

L'AVENIR DE LA RECHERCHE SUR LES PGB À L'ÉCHELLE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Besoin de ce type de recherche à l'avenir

En raison de la complexité des facteurs paysagers, climatiques et agronomiques, ça peut prendre des années à déceler la réponse d'un écosystème aux PGB mises en place. Par conséquent, des recherches à long terme comme celles qui ont été menées dans le cadre de l'EPBH sont requises pour pleinement comprendre l'efficacité des PGB.

Heureusement, l'infrastructure et les partenariats mis en place au cours de l'EPBH ont permis de faciliter la poursuite des recherches de même type dans plusieurs sites de projet et dans d'autres bassins hydrographiques, grâce à des fonds du programme Agri-innovation de *Cultivons l'avenir 2* ou d'autres sources. Par exemple, dans le bassin hydrographique du ruisseau Tobacco Sud, des études se poursuivent sur certaines PGB en vigueur, une étude sur une nouvelle PGB a été lancée, et les chercheurs d'AAC et leurs partenaires s'intéressent de plus en plus aux autres processus liés aux paysages, tels que les émissions de gaz à effet de serre, le transport des contaminants et la santé du sol. La recherche sur les PGB se poursuit dans le bassin du ruisseau Black, avec l'accent mis sur la prise en compte des effets des tempêtes de pluie sur l'efficacité des PGB. La recherche portant sur la gestion intégrée de l'eau dans le bassin de la rivière Bras d'Henri est menée par le comité de bassin de la rivière Chaudière (COBARIC), en partenariat avec AAC et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). Le projet est financé par le programme Prime-Vert, en vertu de l'entente fédérale-provinciale de *Cultivons l'avenir*.

Poursuite des travaux et transfert des résultats de l'EPBH

Les renseignements du programme d'EPBH sont toujours pertinents et importants. Il existe des possibilités de continuer à communiquer les résultats du programme et à en tirer parti. Les résultats de la recherche provenant d'anciens sites de projet d'EPBH vont continuer à être publiés dans des revues à comité de lecture et communiqués par d'autres moyens. Le site Web de l'EPBH, à l'adresse www.agr.gc.ca/epbh, donne l'historique des projets. Par l'intermédiaire des communautés de pratique et des réseaux de recherche concertée créés dans le cadre de l'EPBH, les connaissances acquises jusqu'à présent et les résultats des recherches analogues aideront l'industrie agricole à fonctionner d'une manière plus productive et plus durable.

Les résultats de la recherche provenant d'anciens sites de projet d'EPBH vont continuer à être publiés dans des revues à comité de lecture et communiqués par d'autres moyens.

BIBLIOGRAPHIE

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, J.T. Tambong, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of three Arcobacter strains of pig and dairy cattle manure origin. *Genome Announc*, 2(3):e00377-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequence of Arcobacter cibarius Strain LMG21996T isolated from broiler carcasses. *Genome Announc*, 2(1):e00034-14.

Adam, Z., K. Whiteduck-Leveillee, M. Cloutier, W. Chen, C.T. Lewis, C.A. Lévesque, E. Topp, D.R. Lapen, J.T. Tambong, G. Talbot et I.U.H. Khan. 2014. Draft genome sequences of two Arcobacter strains isolated from human feces. *Genome Announc*, 2(2):e00113-14.

Afari-Sefa, V., E.K. Yiridoe, R. Gordon et D. Hebb. 2008. Decision considerations and cost analysis of BMP implementation in Thomas Brook Watershed. *J International Farm Management*, 4(3):1-32.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, N.H.M. Ahmad, D. Hebb, R. Jamieson, D. Burton et A. Madani. 2013. Effect of nutrient management planning on crop yield, nitrate leaching, and sediment loading in Thomas Brook Watershed. *Environ Manag*, 52(5):1177-1191.

Amon-Armah, F., E.K. Yiridoe, R. Jamieson et D. Hebb. 2015. Comparison of crop yield and pollution production response to nitrogen fertilization models, accounting for crop rotation effect. *Agroecol Sust Food*, 39(3):245-275.

Ashraf, M. I., Z. Zhao, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2012. GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models. *Hydrol Process*, 26(8):1119-1133.

Barthod, L.R.M., K. Liu, D.A. Lobb, P.N. Owens, N. Martínez-Carreras, A.J. Koiter, E.L. Petticrew, G.K. McCullough, C. Liu et L. Gaspar. 2015. Selecting color-based tracers and classifying sediment sources in the assessment of sediment dynamics using sediment source fingerprinting. *J Environ Qual*. 44(5):1605-1616.

Boxall, P.C., O. Perger et M. Weber. 2013. Reverse auctions for agri-environmental improvements: bid-selection rules and pricing for beneficial management practice adoption. *Analyse de politiques*, 39(s2):23-36.

Brisbois, M.C., R. Jamieson, R. Gordon, G. Stratton et A. Madani. 2008. Stream ecosystem health in rural mixed land-use watersheds. *J Environ Eng Sci*, 7(5):439-452.

Cade-Menun, B.J., G. Bell, S. Baker-Ismail, Y. Fouli, K. Hodder, D.W. McMartin, C. Perez-Valdivia et K. Wu. 2013. Nutrient loss from Saskatchewan cropland and pasture in spring snowmelt runoff. *Rev. can. de la science du sol*, 93:445-458.

Chow, L., Z. Xing, G. Benoy, H.W. Rees, F. Meng, Y. Jiang et J.L. Daigle. 2011. Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 66(1):71-84.

Chow, T.L., H. W. Rees, J.O. Monteith, P. Toner et J. Lavoie. 2007. Effects of coarse fragment content on soil physical properties, soil erosion and potato production. *Rev. can. de la science du sol*, 87(5):565-577.

Cicek, H., M. Sunohara, G. Wilkes, H. McNairn, F. Pick, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Using vegetation indices from satellite remote sensing to assess corn and soybean response to controlled tile drainage. *Agr Water Manag*, 98:261-270.

Corriveau, J., E. van Bochove et D. Cluis. 2010. Sources of nitrate in streams of an intensively cropped watershed. *Water Environ Res*, 82(7):622-632.

Corriveau, J., E. van Bochove, G. Bégin et D. Cluis. 2008. Effect of preservation techniques on the determination of nitrite in freshwater samples. *Water Air Soil Pollut*, 193(1-4):335-342.

Corriveau, J., E. van Bochove, M.M. Savard, D. Cluis et D. Paradis. 2010. Occurrence of high in-stream nitrite levels in a temperate region agricultural watershed. *Water Air Soil Pollut*, 206(1-4):335-347.

Crabbé, P., D.R. Lapen, H. Clark, M. Sunohara et Y. Liu. 2012. Economic benefits of controlled tile drainage: Watershed Evaluation of Beneficial Management Practices, South Nation river basin, Ontario. *Water Qual Res J Can*, 47(1):30-41.

Dring, C., J.F. Devlin, G. Boag, M. Sunohara, J. Fitzgibbon, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Incentives and disincentives identified by producers and drainage contractors/experts on the adoption of controlled tile drainage in eastern Ontario, Canada. *Water Qual Res J Can* (sous presse), DOI : 10.2166/wqrjc.2015.047.

El-Khoury, A., O. Seidou, D.R. Lapen, M. Sunohara, Z. Que, M. Mohammadian et D. Bahram. 2014. Prediction of land-use conversions for use in watershed-scale hydrological modeling: a Canadian case study. *Le Géographe can*., 58(4):499-516.

Fouli, Y., B.J. Cade-Menun et H.W. Cutforth. 2013. Freeze thaw cycles and soil water content effects on infiltration rate of three Saskatchewan soils. *Rev. can. de la science du sol*, 93:485-496.

Frey, S.K., B. Ball, M. Edwards, N. Gottschall, M. Sunohara, E.D. Zoski et D.R. Lapen. 2013. Tile drainage management influences on surface-water and groundwater quality following liquid manure application. *J Environ Qual*, 42(3):881-892.

Frey, S.K., E. Topp, T.A. Edge, C. Fall, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, G.A. Wilkes et D.R. Lapen. 2013. Using SWAT, Bacteroidales microbial source tracking markers, and fecal indicator bacteria to predict waterborne pathogen occurrence in an agricultural watershed. *Water Res*, 47(16):6326-6337.

Frey, S.K., N. Gottschall, G. Wilkes, D.S. Grégoire, E. Topp, K.D.M. Pintar, M. Sunohara, R. Marti et D.R. Lapen. 2015. Rainfall-induced runoff from exposed streambed sediments: An important source of water pollution. *J Environ Qual*, 44:236–247.

Garroway, K., C. Hopkinson et R. Jamieson. 2011. Surface moisture and vegetation influences on LiDAR intensity data in an agricultural watershed. *J. can de télédétection*, 37(3):275-284.

Ghazalian, P.L., B. Larue et G.E. West. 2009. Best management practices to enhance water quality: Who is adopting them? *J Agr Appl Econ*, 41(3):663-682.

Goulden, T., C. Hopkinson, R. Jamieson, S. Sterling, A. Sinclair et D. Hebb. 2014. Sensitivity of hydrological outputs from SWAT to DEM spatial resolution. *Photogramm Eng Remote Sens*, 80:639-652.

Gumiere, S.J., A.N. Rousseau, D.W. Hallema et P-E. Isabelle. 2013. Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(3):169-184.

Hafiz, M., N. Ahmad, A. Sinclair, R. Jamieson, A. Madani, D. Hebb, P. Havard et E.K. Yiridoe. 2011. Modeling sediment and nitrogen export from a rural watershed in eastern Canada using the Soil and Water Assessment Tool. *J Environ Qual*, 40(4):1182-1194.

Harker, D.B., L. Clearwater, K. Broersma, L. Chow, D. Hebb, D.R. Lapen, J.J. Miller, T.A. Scott, V. Stuart, E. van Bochove et J. Yarotski. 2010. Watershed evaluation of beneficial management practices: Lessons learned measuring landscape processes in Canada. Dans Nowak, P. et M. Schnepf (dir.), *Managing Agricultural Landscapes for Environmental Quality II: Achieving More Effective Conservation*. Ankeny, IA : Soil and Water Conservation Society.

Jiang, Y., B. Zebarth et J. Love. 2011. Long-term simulations of nitrate leaching from potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 91(3):307-325.

Jiang, Y., B.J. Zebarth, G.H. Somers, J.A. MacLeod et M.M. Savard. 2012. Nitrate leaching from potato production in eastern Canada. P. 233-250 dans He, Z., Larkin, R.P. et Honeycutt, C.W. (dir.), *Sustainable Potato Production : Global Case Studies*. Springer Science+Business Media B.V.

Jiang, Y., T. Jamieson, J. Nyiraneza, G. Somers, B. Thompson, B. Murray, M. Grimmett et X. Geng. 2015. Effects of fall vs. spring plowing forages on nitrate leaching losses to groundwater. *Ground Water Monit RW*, 35(1):43-54.

Jokinen, C.C., T.A. Edge, W. Koning, C.R. Laing, D.R. Lapen, J.J. Miller, S.K. Mutschall, A. Scott, E.N. Taboada, J.E. Thomas, E. Topp, G.A. Wilkes et V.P.J. Gannon. 2012. Spatial and temporal drivers of zoonotic pathogen contamination of an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 41(1):242-252.

Khakbazan, M et C. Hamilton. 2012. Economic evaluation of tillage management practices at the watershed scale in southern Manitoba. *Soil Till Res*, 118:40-51.

Khakbazan, M., C. Hamilton, J. Elliott et J. Yarotski. 2013. Economic analysis of agricultural nutrient management practices in the South Tobacco Creek Watershed in Manitoba, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(4):257-269.

Khan, I.U.H., V. Gannon, A. Loughborough, C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D. Medeiros, J. Miller, N. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, H. Schreier, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2009. A methods comparison for the isolation and detection of thermophilic Campylobacter in agricultural watersheds. *J Microbiol Methods*, 79(3):307-313.

Khan, I.U.H., V. Gannon, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, W. Robertson, E. Topp, E. van Bochove et T.A. Edge. 2007. Development of a rapid quantitative PCR assay for direct detection and quantification of culturable and non-culturable Escherichia coli from agriculture watersheds. *J Microbiol Methods*, 69(3):480-488.

Khan, I.U.H., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, R. Kent, W. Koning, D.R. Lapen, D.T. Medeiros, J.J. Miller, N.F. Neumann, R. Phillips, H. Schreier, E. Topp, É. van Bochove, G.A. Wilkes et T.A. Edge. 2014. A national investigation of the prevalence and diversity of Thermophilic Campylobacter species in agricultural watersheds in Canada. *Water Res*, 61:243-252.

Kits, G., W.L. Adamowicz et P.C. Boxall. 2014. Do conservation auctions crowd out voluntary environmentally friendly activities? *Ecol Econ*, 105:118-123.

Koiter, A.J. D.A. Lobb, P.N. Owens, E.L. Petticrew, K.H.D. Tiessen et L. Sheng. 2013. Investigating the role of connectivity and scale in assessing the sources of sediment in an agricultural watershed in the Canadian Prairies using sediment source fingerprinting. *J Soils Sediments*, 13:1676-1691.

Kross, A., H. McNairn, D.R. Lapen, M. Sunohara et C. Champagne. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 34:235-248.

Lanthier, M., A. Scott, D.R. Lapen, Y. Zhang et E. Topp. 2010. Frequency of virulence genes and antibiotic resistances in Enterococcus spp. isolates from wastewater and feces of domesticated mammals and birds, and wildlife. *Rev. can de microbiologie*, 56(9):715-729.

Lanthier, M., A. Scott, M. Cloutier, D. Durie, V.C. Henderson, G.A. Wilkes, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Distribution of selected virulence genes and antibiotic resistance in Enterococcus species isolated from the South Nation River drainage basin, Ontario, Canada. *J Appl Microbiol*, 110(2):407-421.

Larue, B., G.E. West, L.D. Tamini, A. Singbo et J. Dangbedji. 2014. Willingness to pay for BMP-induced water quality benefits and deviations around expected water quality outcomes. *Rev. can. des ressources hydriques*, 39(4):437-448.

Li, S., J.A. Elliott, K.H.D. Tiessen, J. Yarotski, D.A. Lobb et D.N. Flaten. 2011. The effects of multiple beneficial management practices on hydrology and nutrient losses in a small watershed in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 40(5):1627-1642.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2013. Critical factors affecting field-scale losses of nitrogen and phosphorus in spring snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 42(2):484-496.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Conversion of conservation tillage to rotational tillage to reduce phosphorus losses during snowmelt runoff in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 43:1679-1689.

Liu, K., J.A. Elliott, D.A. Lobb, D.N. Flaten et J. Yarotski. 2014. Nutrient and sediment losses in snowmelt runoff from perennial forage and annual cropland in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 43:1644-1655.

Liu, Y, W. Yang, Z. Yu, I. Lung et B. Gharabaghi. 2015. Estimating sediment yield from upland and channel erosion at a watershed scale using SWAT. *Water Resour Manag*, 29:1399-1412.

Liu, Y.B, W. Yang, Z.Q. Yu, I. Lung, J. Yarotski, J.A. Elliott et K.H.D. Tiessen. 2014. Assessing effects of small dams on stream flow and water quality in an agricultural watershed. *J Hydrol Eng*, 19(10):05014015.

Liu, Y.B., H. Shen, W. Yang et J. Yang. 2013. Optimization of agricultural BMPs using a parallel computing based multi-objective optimization algorithm. *Int J Environ Resour Res*, 1(1):39-50.

Liu, Y.B., W. Yang et X. Wang. 2008. Development of a SWAT extension module to simulate riparian wetland hydrologic processes at a watershed scale. *Hydrol Process*, 22(16):2901-2915.

Liu, Y.B., W. Yang, B. Gharabaghi, J.Z. Liu, H. Wu et J. Yarotski. 2012. Characterizing snow redistribution in SWAT for simulating spatially distributed snowmelt runoff in cold regions. *Nonlinear Science Letters C*, 2(1):1-8.

Lyautey, E., A. Hartmann, D.R. Lapen et E. Topp. 2012. A comparison of enrichment and direct plating methods for isolation of Listeria monocytogenes from surface water. *Rev. can de microbiologie*, 58(12):1405-1410.

Lyautey, E., A. Hartmann, F. Pagotto, K. Tyler, D.R. Lapen, G. Wilkes, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Meideros, T. Edge, V. Gannon and E. Topp. 2007. Characteristics and frequency of detection of fecal Listeria monocytogenes shed by livestock, wildlife, and humans. *Rev. can de microbiologie*, 53(10):1158-1167.

Lyautey, E., D.R. Lapen, G. Wilkes, K. McCleary, F. Pagotto, K. Tyler, A. Hartmann, P. Piveteau, A. Rieu, W. Robertson, D. Medeiros, T. Edge, V. Gannon et E. Topp. 2007. Distribution and characteristics of Listeria monocytogenes isolates from surface waters of the South Nation River Watershed, Ontario, Canada. *Appl Environ Microbiol*, 73(17):5401-5410.

Lyautey, E., G.A. Wilkes, J.J. Miller, É. van Bochove, H. Schreier, W. Koning, T.A. Edge, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Variation of an indicator of Escherichia coli persistence from surface waters of mixed-use watersheds, and relationship with population density and other factors. *Ann Limnol-Int J Lim*, 47(01):11-19.

Lyautey, E., Z. Lu, D.R. Lapen, G. Wilkes, A. Scott, T. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Distribution and diversity of Escherichia coli populations in the South Nation River drainage basin, eastern Ontario, Canada. *Appl Environ Microbiol*, 76(5):1486-1496.

Lyautey, E., Z.X. Lu, D.R. Lapen, T.E. Berkers, T.A. Edge et E. Topp. 2010. Optimization and validation of rep-PCR genotypic libraries for microbial source tracking of environmental Escherichia coli isolates. *Rev. can de microbiologie*, 56(1):8-17.

Marti, R., V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Lanthier, D.R. Lapen, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, G.A. Wilkes, Y. Zhang et E. Topp. 2013. Quantitative multi-year elucidation of fecal sources of waterborne pathogen contamination in the South Nation River basin using Bacteroidales microbial source tracking markers. *Water Res*, 47(7):2315-2324.

Marti, R., Y. Zhang, D.R. Lapen et E. Topp. 2011. Development and validation of a microbial source tracking marker for the detection of fecal pollution by muskrats. *J Microbiol Methods*, 87(1):82-88.

Marti, R., Y. Zhang, Y.C. Tien, D.R. Lapen et E. Topp. 2013. Assessment of a new Bacteroidales marker targeting North American beaver (Castor Canadensis) fecal pollution by real-time PCR. *J Microbiol Methods*, 95(2):201-206.

McNairn, H., A. Kross, D.R. Lapen, R. Caves et J. Shang. 2014. Early season monitoring of corn and soybeans with TerraSAR-X and RADARSAT-2. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 28:252-259.

Miller, J. 2010. Influence of streambank fencing on the environmental quality of cattle-excluded pastures. *J Environ Qual*, 39:991-1000.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2010. Influence of streambank fencing with a cattle crossing on riparian health and water quality of the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Agr Water Manag*, 97(2):247-258.

Miller, J., D. Chanasyk, T. Curtis, T. Entz et W. Willms. 2011. Environmental quality of Lower Little Bow River and riparian zone along an unfenced reach with off-stream watering. *Agr Water Manag*, 98(10):1505-1515.

Miller, J.J., D.S. Chanasyk, T.W. Curtis et B.M. Olson. 2011. Phosphorus and nitrogen in runoff after phosphorus- or nitrogen-based manure applications. *J Environ Qual*, 40(3):949-958.

Miller, J.J., J.P. Battigelli et W.D. Willms. 2014. Grazing protection influences soil mesofauna in ungrazed and grazed riparian and upland pastures. *Rangeland Ecol Manag*, 67(4):429-434.

Miller, J.J., T. Curtis et D.S. Chanasyk. 2013. Comparison of runoff quantity and quality under annual cropping and forages. *Water Qual Res J Can*, 48(1):40-54.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et S. Reedyk. 2015. Influence of mowing and narrow grass buffer widths on reductions in sediment, nutrients, and bacteria in surface runoff. *Rev. can. de la science du sol*. 95:139 151.

Miller, J.J., T. Curtis, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2014. Influence of streambank fencing and river access for cattle on riparian zone soils adjacent to the Lower Little Bow River in southern Alberta, Canada. *Rev. can. de la science du sol*, 94:209-222.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2010. Soil test phosphorus and nitrate adjacent to artificial and natural cattle watering sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 90(2):331-340.

Miller, J.J., T.W. Curtis, E. Bremer, D.S. Chanasyk et W.D. Willms. 2013. Evaluation of selected soil properties for indicating cattle activity at off-stream watering and river access sites in southern Alberta. *Rev. can. de la science du sol*, 93(3):343-358.

Muma, M., S.J. Gumiere et A.N. Rousseau. 2014. Analyse de sensibilité du modèle CATHY aux propriétés hydrodynamiques du sol d'un micro-bassin agricole drainé. *Hydrolog Sci J*, 59(8):1606-1623.

Muma, M., S.J. Gumiere, A.N. Rousseau, C. Scudeler et C. Paniconi. 2013. Implementation of a root water extraction module in CATHY: Comparison of four empirical root-density distribution models. Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges. *Procedia Environ Sci*, 19(2013):57-66.

Nangia V, M.D. Sunohara, E. Topp, E.G. Gregorich, C.F. Drury, N. Gottschall et D.R. Lapen. 2013. Measuring and modeling the effects of drainage water management on soil greenhouse gas fluxes from corn and soybean fields. *J Environ Manag*, 129:652-664.

Novotná, B., E. van Bochove et G. Thériault. 2014. Potential ecological impact of climate change on the water quality an intensively managed agricultural watershed in Quebec, Canada. *J Water Clim Change*, 5(1):81-99.

Ochuodho, T., E. Olale, V. Lantz, J. Damboise, T.L. Chow, F.R. Meng et J.L. Daigle. 2013. Impacts of soil and water conservation practices on potato yield in northwestern New Brunswick, Canada. *J Soil Water Conserv*, 68(5):392-400.

Ochuodho, T.O., E. Olale, V.A. Lantz, J. Damboise, J.-L. Daigle, F.-R. Meng, S. Li et T.L. Chow. 2014. How do soil and water conservation practices influence climate change impacts on potato production? Evidence from eastern Canada. *Reg Environ Chang*, 14:1563-1574.

Ouellet, G., D.R. Lapen, E. Topp, M. Edwards et M. Sawada. 2008. A heuristic model to predict earthworm biomass in agroecosystems based on selected management and soil properties. *App Soil Ecology*, 39:35-45.

Parmley, E.J., K.D.M. Pintar, S.E. Majowicz, B. Avery, A. Cook, C.C. Jokinen, V.P.J. Gannon, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, M. Gilmour, F. Pollari, R. Reid-Smith et R. Irwin. 2013. A Canadian application of One Health: Integration of Salmonella data from various Canadian surveillance programs (2005–2010). *Foodborne Pathog Dis*, 10(9):747-756.

Que, Z., O. Seidou, R.L. Droste, G. Wilkes, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2015. Using AnnAGNPS to predict the effects of tile drainage control on nutrient and sediment loads for a river basin. *J Environ Qual*, 44(2):629-641.

Quilbé, R. et A.N. Rousseau. 2007. GIBSI: An integrated modelling system for watershed management - Sample applications and current developments. *Hydrol Earth Syst Sci*, 11:1785-1795.

Rahbeh, M., D. Chanasyk et J. Miller. 2011. Two-way calibration-validation of SWAT model for a small prairie watershed with short observed record. *Rev. can. des ressources hydriques*, 36(3):247-270.

Rahbeh, M., D.S. Chanasyk et J. Miller. 2013. Modelling the effect of irrigation on the hydrological output from a small prairie watershed. *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(4):280-295.

Rees, H.W., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2007. Spatial and temporal trends in soil properties and crop yield at a site under intensive up-and-down-slope potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 87(4):383-398.

Rees, H.W., T.L. Chow, B.J. Zebarth, Z. Xing, P. Toner, J. Lavoie et J.L. Daigle. 2011. Effects of supplemental poultry manure applications on soil erosion and runoff water quality from a loam soil under potato production in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 91:595-613.

Rees, H.R., T.L. Chow et E.G. Gregorich. 2008. Soil and crop responses to long-term potato production at a benchmark site in northwestern New Brunswick. *Rev. can. de la science du sol*, 88(3):409-422.

Rousseau, A.N., J.-P. Fortin, R. Turcotte, A. Royer, S. Savary, F. Quévy, P. Noël et C. Paniconi. 2011. PHYSITEL, a specialized GIS for supporting the implementation of distributed hydrological models. *CWRA Water News*, 31(1):18-20.

Rousseau, A.N., P. Lafrance, M-P Lavigne, S. Savary, B. Konan, R. Quilbé, P. Jiapizian et M. Amrani. 2012. A hydrological modeling framework for defining achievable performance standards for pesticides. *J Environ Qual*, 41(1):52-63.

Rousseau, A.N., S. Savary, D.W. Hallema, S.J. Gumiere et É. Foulon. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients, and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada). *Rev. can. des ressources hydriques*, 38(2):99-120.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge et N.F. Neumann. 2013. The detection of Cryptosporidium and the resolution of mixtures of species and genotypes from water. *Infect Genet Evol*, 15:3-9.

Ruecker, N.J., J.C. Matsune, G.A. Wilkes, D.R. Lapen, E. Topp, T.A. Edge, C.W. Sensen, L. Xiao et N.F. Neumann. 2012. Molecular and phylogenetic approaches for assessing sources of Cryptosporidium contamination in water. *Water Res*, 46(16):5135-5150.

Ruecker, N.J., S.L. Braithwaite, E. Topp, T. Edge, D.R. Lapen, G. Wilkes, W. Robertson, D. Medeiros, C.W. Sensen et N.F. Neumann. 2007. Tracking host sources of Cryptosporidium spp. in raw water for improved health risk assessment. *Appl Environ Microbiol*, 73(12):3945-3957.

Schmidt, P.J., K.D.M. Pintar, A.M. Fazil, C.A. Flemming, M. Lanthier, M. Laprade, M. Sunohara, A. Simhon, J.L. Thomas, G.A. Wilkes, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Using Campylobacter spp. and Escherichia coli data and Bayesian microbial risk assessment to examine public health risks in agricultural watersheds under tile drainage management. *Water Res*, 47(10):3255-3272.

Sinclair, A., D. Hebb, R. Jamieson, R. Gordon, K. Benedict, K. Fuller, G.W. Stratton et A. Madani. 2009. Growing season surface water loading of fecal indicator organisms within a rural watershed. *Water Res*, 43(5):1199-1206.

Sinclair, A., R. Jamieson, R. Gordon, A. Madani et W. Hart. 2014. A watershed modeling framework for phosphorus loading from agricultural and residential sources. *J Environ Qual*, 43:1356-1369.

Smith, E.G., X. Hao et J.J. Miller. 2014. Economics of utilizing biodigested beef feedlot manure to manage nutrient application to cropland. *Int J Renewable Energy and Biofuels*, Article ID 371507:15 pages.

Su, J.J, E. van Bochove, G. Thériault, B. Novotna, J. Khaldoune, J.T. Denault, J. Zhou, M.C. Nolin, C.X. Hu, M. Bernier, G. Benoy, Z.S. Xing et L. Chow. 2011. Effects of snowmelt on phosphorus and sediment losses from agricultural watersheds in eastern Canada. *Agr Water Manag*, 98(5):867-876.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, C.X. Hu et X. Li. 2014. Phosphorus fluxes at the sediment-water interface in a temperate region agricultural catchment. *Water Air Soil Pollut*, 225(1):1-11.

Su, J.J., E. van Bochove, J.-C. Auclair, G. Thériault, J.-T. Denault, C. Bossé, X. Li et C.X. Hu. 2014. Phosphorus algal availability and release potential in suspended and streambed sediments in relation to sediment and catchment characteristics. *Agric Ecosyst Environ*, 188:169-179.

Sunohara, M., E. Topp, G.A. Wilkes, N. Gottschall, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, T.H. Jones, T.A. Edge, R. Marti et D.R. Lapen. 2012. Impact of riparian zone protection from cattle on nutrient, bacteria, F5 coliphage, Cryptosporidium, and Giardia loading of an intermittent stream. *J Environ Qual*, 41(4):1301-1314.

Sunohara, M., M. Youssef, E. Topp et D.R. Lapen. 2010. Measured effect of agricultural drainage water management on hydrology, water quality, and crop yield. Dans les annals du *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*. CSBE100175. http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2010/CSBE100175.pdf.

Sunohara, M.D., E. Craiovan, E. Topp, N. Gottschall, C.F. Drury et D.R. Lapen. 2014. Comprehensive nitrogen budgets for controlled tile drainage fields in eastern Ontario, Canada. *J Environ Qual*, 43:617-630.

Sunohara, M.D., N. Gottschall, G. Wilkes, E. Craiovan, E. Topp, Z. Que, O. Seidou, S.K. Frey et D.R. Lapen. 2015. Long-term observations of nitrogen and phosphorus export in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage. *J Environ Qual* (sous presse), 44(5):1589-16041604.

Tamini, L., B. Larue et G. West. 2012. Technical and environmental efficiencies and best management practices in agriculture. *Appl Econ*, 44(13):1659-1672.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, J. Yarotski, D.A. Lobb, D.N. Flaten et N.E. Glozier. 2010. Conventional and conservation tillage – influence on seasonal runoff, sediment and nutrient losses in the Canadian Prairies. *J Environ Qual*, 39(3):964-980.

Tiessen, K.H.D., J.A. Elliott, M. Stainton, J. Yarotski, D.N. Flaten et D.A. Lobb. 2011. The effectiveness of small-scale headwater storage dams and reservoirs on stream water quality and quantity in the Canadian Prairies. *J Soil Water Conserv*, 6(3):158-171.

Topp, E., A. Scott, D.R. Lapen, E. Lyautey et P. Duriez. 2009. Livestock waste treatment systems for reducing environmental exposure to hazardous enteric pathogens: Some considerations. *Bioresour Technol*, 100(22):5395-5398.

VanderZaag, A.C., K.J. Campbell, R.C. Jamieson, A.C. Sinclair et L.G. Hynes. 2010. Survival of Escherichia coli in agricultural soil and presence in tile drainage and shallow groundwater. *Rev. can. de la science du sol*, 90(3):495-505.

Wilkes, G., T. Edge, V. Gannon, C. Jokinen, E. Lyautey, D. Medeirose, N. Neumann, N. Ruecker, E. Topp et D.R. Lapen. 2009. Seasonal relationships among indicator bacteria, pathogenic bacteria, Cryptosporidium oocysts, Giardia cysts, and hydrological indices for surface waters within an agricultural landscape. *Water Res*, 43(8):2209-2223.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, R. Marti, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2013. Coherence among different microbial source tracking markers in a small agricultural stream with and without livestock exclusion practices. *Appl Environ Microbiol*, 79(20):6207-6219.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, T.H. Jones, N.F. Neumann, K.D.M. Pintar, N.J. Ruecker, P.J. Schmidt, M. Sunohara et D.R. Lapen. 2013. Bacteria, viruses, and parasites in an intermittent stream protected from and exposed to pasturing cattle: Prevalence, densities, and quantitative microbial risk assessment. *Water Res*, 47(16):6244-6257.

Wilkes, G.A., J. Brassard, T.A. Edge, V.P.J. Gannon, N. Gottschall, C.C. Jokinen, T.H. Jones, I.U.H. Khan, R. Marti, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2014. Long-term monitoring of waterborne pathogens and microbial source tracking markers in paired-agricultural watersheds under controlled and conventional tile drainage management. *Appl Environ Microbiol*, 80(12):3708-3720.

Wilkes, G.A., N.J. Ruecker, N.F. Neumann, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, M. Sunohara, E. Topp, K.D.M. Pintar, T.A. Edge et D.R. Lapen. 2013. Spatiotemporal analysis of Cryptosporidium species/genotypes and relationships with other zoonotic pathogens in surface water from mixed use watersheds. *Appl Environ Microbiol*, 79(2):434-448.

Wilkes, G.A., T.A. Edge, V.P.J. Gannon, C.C. Jokinen, E. Lyautey, N.F. Neumann, N.J. Ruecker, A. Scott, M. Sunohara, E. Topp et D.R. Lapen. 2011. Associations among pathogenic bacteria, parasites, and environmental and land use factors in multiple mixed-use watersheds, eastern Ontario Canada. *Water Res*, 45(18):5807-5825.

Xing, Z., L. Chow, H. Rees, S. Li, B. Ernst, G. Benoy, T. Zha et M. Hewitt. 2013. Influences of sampling methodologies on pesticide residue detection in stream water. *Arch Environ Contam Toxicol*, 64(2):208-218.

Xing, Z., L.T. Chow, H.W. Rees, M. Hewitt, F.R. Meng, J. Monteith et L. Stevens. 2011. A comparison of effects of one-pass and conventional potato hilling on water runoff and soil erosion under simulated rainfall. *Rev. can. de la science du sol*, 91(2):279-290.

Xing, Z., P. Toner, T.L. Chow, H.W. Rees, S. Li et F. Meng. 2012. Impacts of hay mulch on soil properties and potato tuber yield under irrigation and non-irrigation in New Brunswick, Canada. *J Irrig Drain E*, 138(8):703-714.

Yang, Q., F-R. Meng, Z-Y. Zhao, T.L. Chow, G.A. Benoy, H.W. Rees et C.P.-A. Bourque. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream surface water yields and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agric Ecosyst Environ*, 132(1-2):23-31.

Yang, Q., G.A Benoy, T.L. Chow, J.L. Daigle, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2012. Using the Soil and Water Assessment Tool to estimate achievable water quality targets through implementation of beneficial management practices in an agricultural watershed. *J Environ Qual*, 41(1):64-72.

Yang, Q., G.A. Benoy, Z. Zhao, T.L. Chow, C.P.-A. Bourque et F. Meng. 2011. Watershed-level analysis of exceedance frequencies for different management strategies. *Water Qual Res J Can*, 46(1):64-73.

Yang, Q., Z. Zhao, G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R Meng. 2010. A watershed-scale assessment of cost-effectiveness of sediment abatement with flow diversion terraces. *J Environ Qual*, 39(1):220-227.

Yang, Q., Z. Zhao, T.L. Chow, H.W. Rees, C.P.-A. Bourque et F-R. Meng. 2009. Using a GIS and digital elevation model to assess the effectiveness of variable grade flow diversion terraces for reducing soil erosion in north-western New Brunswick, Canada. *Hydrol Process*, 23:3271-3280.

Yang, W., A. Rousseau et P.C. Boxall. 2007. An integrated economic-hydrologic modeling framework for the watershed evaluation of beneficial management practices. *J Soil Water Conserv*, 62(6):423-432.

Yang, W., W. Liu, Y.B. Liu, R.C. Corry et R.D. Kreutzwiser. 2014. Cost-effective targeting of riparian buffers to achieve water quality and wildlife habitat benefits. *Int J of River Basin Management*, 12(1):43-55.

Zebarth, B.J., S. Danielescu, J. Nyiraneza, M.C. Ryan, Y. Jiang, M. Grimmett et D.L. Burton. 2015. Controls on nitrate loading and implications for BMPs under intensive potato production systems in Prince Edward Island, Canada. *Ground Water Monit RW*, 35(1):30-42.

Zhang, R., Q. Li, T.L. Chow, S. Li et S. Danielescu. 2013. Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick, Canada using a Recursive Digital Filter calibrated with the Conductivity Mass Balance method. *Hydrol Process*, 27(18):2659-2665.

Zhao, Z., G. Benoy, T.L. Chow, H.W. Rees, J. Daigle et F. Meng. 2010. Impacts of accuracy and resolution of conventional and LiDAR based DEMs on parameters used in hydrologic modeling. *Water Resour Manage*, 24(7):1363-1380.

Zhao, Z., Q. Yang, G. Benoy, T.L. Chow, Z. Xing, H.W. Rees et F-R. Meng. 2010. Using artificial neural network models to produce soil organic carbon content distribution maps across landscapes. *Rev. can. de la science du sol*, 90(1):75-87.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, G. Benoy, Z. Xing et F-R. Meng. 2008. Model prediction of soil drainage classes based on digital elevation model parameters and soil attributes from coarse resolution soil maps. *Rev. can. de la science du sol*, 88(5):787-799.

Zhao, Z., T.L. Chow, Q. Yang, H.W. Rees, Z. Xing et F-R. Meng. 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Comput Electron Agric*, 65(1):36-48.

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2012. Impacts of land use, fertilizer and manure application on the stream nutrient loadings in the Salmon River Watershed, south-central British Columbia, Canada. *J Environ Prot*, 3:809-822.

Zhu, Z., K. Broersma et A. Mazumder. 2011. Model assessment of cattle and climate impacts on stream fecal coliform pollution in the Salmon River Watershed, British Columbia, Canada. *Water Air Soil Pollut*, 215:155-176.

Zoski, E.D., D.R. Lapen, N. Gottschall, R.S. Murrell et B. Schuba. 2013. Nitrogen, phosphorus, and bacteria removal in laboratory-scale woodchip bioreactors amended with drinking water treatment residuals. *Transactions of the ASABE*, 56(4):1339-1347.

GLOSSAIRE

A

abreuvoirs à l'écart des cours d'eau — Dispositif d'approvisionnement en eau destiné aux animaux en remplacement de l'accès direct à un plan d'eau.

accord de contribution — Convention écrite entre AAC et un organisme partenaire qui reçoit un paiement en échange de l'exécution de certaines conditions. Le texte décrit les obligations de chaque partie et les conditions de paiement.

agriculture durable — Systèmes de production agricoles qui protègent ou améliorent l'environnement, répondent aux besoins de la société et maintiennent la viabilité économique des exploitations agricoles. L'agriculture durable permet de produire des aliments et des produits agroindustriels sans compromettre la capacité des générations futures à faire de même.

aire d'alimentation — Zone terrestre dont les eaux de *ruissellement* alimentent les lacs, les rivières et les ruisseaux.

ammoniac (NH_3) — Composé d'*azote* et d'hydrogène (NH_3) qui se forme naturellement lorsque des *bactéries* décomposent des composés azotés du *fumier*, en particulier l'urée et l'acide urique. Il entre dans la composition de certains *engrais* et il est un *élément nutritif* important pour les végétaux.

ammonium (NH_4^+) — Ion de charge électrique positive contenant de l'*azote*.

augmentation d'échelle — Extrapolation des résultats issus d'un modèle à une zone plus grande, habituellement au *bassin hydrographique* du niveau supérieur immédiat.

avantages nets — Avantages totaux (p. ex. augmentation du rendement de culture ou gain de poids des bovins en conséquence de la mise en œuvre d'une PGB), soustraction faite du coût total. Peuvent être positifs ou négatifs.

azote (N) — Élément chimique présent dans la plupart des substances organiques. C'est un *élément nutritif* essentiel à la croissance des plantes. Il existe sous différentes formes, dont l'*ammoniac*, le *nitrate*, le *nitrite* et l'azote gazeux. L'azote total comprend toutes les formes d'azote.

B

bactérie — Les bactéries sont des microorganismes présents dans presque tous les milieux de la Terre, y compris dans le sol et dans l'eau. Elles peuvent avoir une relation symbiotique ou parasitique avec les plantes ou les animaux. Les bactéries jouent un rôle essentiel dans le recyclage des *éléments nutritifs*, dont le cycle dépend de ces organismes à de nombreuses étapes. Si une bactérie forme une relation parasitique avec un autre organisme, elle est qualifiée de *pathogène*.

bande ou zone tampon — Bande de terre aménagée entre des zones cultivées et des milieux naturels afin de limiter les répercussions de l'agriculture sur ces derniers. Voir *tampon riverain*.

base de données relationnelle — Base de données qui réunit des données en utilisant les attributs communs d'un ensemble de données. Relie des attributs communs qui sont enregistrés dans différents tableaux.

bassin apparié (jumelé) — Concept expérimental qui sépare deux *bassins hydrographiques* semblables en un bassin *témoin* et un bassin d'*intervention* ou bassin de traitement ou bassin expérimental. Des comparaisons sont faites entre les deux sites. Voir *site témoin* et *site d'intervention*.

bassin expérimental — *Bassin hydrographique* choisi et instrumenté aux fins de la recherche scientifique. Par exemple, le bassin hydrographique du ruisseau Black a été aménagé en bassin expérimental au début des années 1990 pour l'étude des effets de la production intensive de pomme de terre sur la qualité de l'eau.

bassin hydrographique — Portion de territoire dont les eaux de précipitations convergent vers un plan d'eau spécifique, tel qu'un ruisseau, une rivière, un étang, un lac, un *milieu humide* ou un océan. Les grands bassins hydrographiques contiennent un certain nombre de *sous-bassins hydrographiques*, plus petits. On parle aussi de bassin versant.

bibliométrie — Analyse statistique de publications écrites, comme des livres ou des articles.

biens et services environnementaux — Bienfaits fournis par les fonctions écologiques d'écosystèmes sains, tels que la qualité de l'eau en aval ou l'augmentation de la *biodiversité*, par suite de la mise en œuvre de *PGB* agricoles.

bilan nutritif — Différence entre les intrants et les extrants nutritifs d'un système agricole. Le bilan peut aider à cerner des problèmes au niveau de la production ou de l'environnement qui sont causés par un excédent ou un déficit d'*éléments nutritifs*.

biodiversité — Variété des formes de vie sur Terre et processus naturels qui les lient et les soutiennent. La biodiversité a trois composantes : la diversité des *écosystèmes*, la *diversité des espèces* et la diversité génétique. Aussi appelée diversité biologique.

biomasse Quantité ou masse totale de matière organique qui est produite par des organismes vivants ou morts depuis peu, ou qui en est tirée, à un endroit donné et à un moment donné.

biotique Relatif à la vie ou à la matière vivante. Les facteurs biotiques renvoient à l'action que les organismes vivants exercent sur l'environnement.

C

Cadre stratégique pour l'agriculture Accord fédéral-provincial-territorial en vigueur de 2003 à 2008 qui visait à positionner le Canada comme chef de file mondial en matière de salubrité et de qualité des aliments, d'innovation et de production alimentaire respectueuse de l'environnement.

calage Ajustement des paramètres d'un modèle de manière à améliorer la conformité entre les valeurs produites par ce dernier et les données observées. On parle aussi d'étalonnage.

carbone (C) Élément chimique non métallique, dont le symbole est C, présent dans toutes les matières d'origine biologique. Le carbone organique du sol est la principale source d'énergie des microorganismes du sol.

charge Quantité totale d'une substance (c'est-à-dire un *contaminant* comme les *éléments nutritifs*, les *sédiments* ou les *bactéries*) transportée ou reçue par un plan d'eau pendant une période de temps précise.

coliformes fécaux Organismes bactériens liés au tube digestif. C'est un indicateur couramment utilisé pour révéler la présence de *pathogènes*.

concentration Quantité de matière dissoute dans une unité de volume de solution.

conductivité Mesure de la capacité de l'eau à passer un courant électrique.

contaminant Substance rendant l'eau impropre à son utilisation prévue. Il peut s'agir d'*éléments nutritifs*, de *sédiments* ou de *bactéries*, telles qu'*E. coli*, en excès.

coût de renonciation Coût associé aux gains non réalisés de par la renonciation aux autres options offertes lorsqu'on fait un choix. Par exemple, le coût de renonciation de la conversion à une culture *fourragère* pérenne ou de l'aménagement d'une *bande tampon riveraine* peut être associé à la perte de la superficie qui aurait pu être affectée à un usage plus lucratif.

couverture végétale pérenne Culture vivace fournissant une protection végétale au sol toute l'année. C'est une mesure de conservation des sols qui est surtout utilisée pour protéger les sols sujets à l'érosion et qui fait appel à l'établissement de pâturages ou de cultures fourragères pérennes. On parle aussi de couvert permanent ou de plantes fourragères vivaces.

Cultivons l'avenir Accord fédéral-provincial-territorial qui était en vigueur de 2009 à 2013 et qui avait comme vision un secteur de l'agriculture, de l'agroalimentaire et des produits agroindustriels innovateur et rentable qui saisit les opportunités en répondant aux exigences du marché et qui contribue à la santé et au bien-être des Canadiens.

culture couvre-sol Culture secondaire implantée après la récolte d'une autre culture ou semée entre les rangs d'une culture principale, afin de fournir un couvert végétal protecteur qui permet de réduire l'*érosion* du sol et le *lessivage* des *éléments nutritifs*.

culture en courbes de niveau Culture sur le contour de la terre, plutôt que dans le sens de la pente, dans le but de réduire l'*érosion* du sol, de préserver la *fertilité du sol* et d'utiliser l'eau plus efficacement.

culture sans travail du sol Processus qui consiste à semer directement dans le sol en utilisant un semoir spécial, sans avoir recours à un travail du sol après la récolte de la culture précédente. Aussi appelé *semis direct*.

D

débit Volume d'eau franchissant une section transversale d'un cours d'eau (ou d'un canal) par unité de temps. Peut désigner le volume d'eau d'un tuyau qui se déverse dans un cours d'eau ou d'un cours d'eau qui se déverse dans un lac ou un océan. Peut aussi désigner le volume d'eau, exprimé par unité de temps, qui s'écoule d'une source ou qui coule à un point donné.

débit de base Composante du *débit* d'un cours d'eau ne provenant ni des précipitations ni des eaux de *ruissellement* pluviales ou nivéales. Il est le résultat du lent écoulement souterrain et constitue la principale source d'alimentation du cours d'eau en période de sécheresse.

débit de pointe *Débit* maximal atteint par un cours d'eau lors d'un événement de précipitation.

dénitrification Processus chimique de réduction des *nitrates* dans le sol et de libération d'*azote* moléculaire dans l'atmosphère.

dépistage des sources Méthode de détection de la source d'un *contaminant*. Le dépistage des sources de pollution microbienne (aussi appelé dépistage des sources bactériennes ou détermination des sources de pollution fécale) est la science qui consiste à relier les agents microbiens d'un site pollué à une source animale pour indiquer l'origine de la pollution par des matières fécales. Des techniques de caractérisation des *sédiments* servent à déterminer les sources de sédiments et de *phosphores* connexes dans les champs et les cours d'eau situés dans des bassins *hydrographiques* agricoles.

devenir Ce qu'il advient d'un *contaminant* dans l'environnement.

déviation Relief en escalier qui coupe la continuité d'une pente. Ouvrage visant à limiter l'*érosion* du sol.

diffusion Communications d'informations à des publics cibles en vue notamment de les sensibiliser ou de les inciter à modifier des comportements.

dioxyde de carbone (CO_2) Important *gaz à effet de serre* produit par la décomposition de la matière organique enfouie dans les sols dans des conditions d'oxydation, ou par la combustion de combustibles fossiles.

diversité des espèces Nombre d'espèces différentes représentées dans une communauté donnée (un ensemble de données), compte tenu de la *richesse* et de l'*équitabilité des espèces*. Toutes les niches des communautés saines et diversifiées sont généralement occupées, et ces communautés sont moins susceptibles d'être envahies par des espèces opportunistes ou introduites.

données agronomiques Renseignements recueillis sur les pratiques culturales et l'utilisation des terres.

données géospatiales Données renvoyant à une position géographique à la surface de la Terre au moyen d'informations scientifiques précises (p. ex. cartes topographiques, photos aériennes, images satellitaires, relevés terrestres et hydrologiques).

drainage Procédure qui vise à améliorer la productivité des terres agricoles en contribuant à l'enlèvement de l'excès d'eau du sol à l'aide de fossés, de puits absorbants et de tuyaux enterrés sous la surface. Voir *drainage souterrain*.

drainage souterrain Système de canalisations perforées installé dans le sol pour évacuer l'eau excédentaire du sol vers un fossé de sortie ou un cours d'eau. Voir *drainage souterrain contrôlé*.

drainage souterrain contrôlé Système de dispositifs de contrôle installés aux collecteurs des drains souterrains pour régulariser le *niveau de la nappe phréatique* et ainsi retenir ou évacuer l'eau dans le sol d'un champ. Voir *drainage souterrain*.

E

E. coli *Escherichia coli (E. coli)* est l'une des *bactéries* coliformes les plus communes. Sa présence est une indication de pollution par des matières fécales. La contamination des aliments par *E. coli*, qui est parfois *pathogène*, peut causer de graves maladies.

eau de surface Eau coulant dans des chenaux ou stagnant dans des dépressions à la surface terrestre (p. ex. *ruissellement*, étangs, lacs, rivières et ruisseaux).

eau souterraine Eau s'écoulant sous la surface à travers les sols saturés, les dépôts glaciaires ou le roc. La surface supérieure de la nappe souterraine est appelée *nappe phréatique*.

eaux d'amont La source et la partie supérieure d'un cours d'eau.

économie comportementale à la ferme Champ d'études de l'économie expérimentale qui examine les raisons pour lesquelles les producteurs adoptent ou non certaines pratiques ainsi que les politiques susceptibles de les encourager à adopter des *PGB*.

écosystème Ensemble formé par une communauté d'organismes vivants (plantes, animaux et microorganismes), les éléments non vivants de leur environnement (p. ex. l'air, l'eau et le sol minéral) et les processus qui les relient. Dans un milieu aqueux, l'écosystème est dit aquatique.

élément nutritif Substance, élément ou composé nécessaire à la croissance, au développement et la reproduction des plantes et des animaux. L'*azote* (N), le *phosphore* (P) et le potassium (K) sont des éléments nutritifs essentiels aux cultures.

élément nutritif soluble *Élément nutritif* dissous qui peut servir à la croissance des plantes. Les éléments nutritifs solubles en excès peuvent être lessivés dans l'*eau souterraine* ou libérés dans le *ruissellement superficiel*.

enchères de conservation Instrument de marché reposant sur qui a recours à des appels d'offres concurrentielles pour le paiement de fournisseurs de *services environnementaux* (p. ex. pour payer les producteurs afin qu'ils adoptent des PGB) de manière efficiente. On parle aussi d'enchères inversées.

engrais Matière organique ou inorganique, soit naturelle ou synthétique, utilisée pour apporter des *éléments nutritifs* (tels que l'*azote*, le *phosphore* et le potassium) essentiels à la croissance des plantes.

engrais vert Jeunes plantes vertes, comme le sarrasin et le trèfle rouge, qui sont incorporées au sol pour en augmenter la fertilité. En général, ces plantes sont cultivées uniquement pour améliorer le sol.

entérobactérie *Bactérie* normalement présente dans les intestins de nombreux animaux, y compris des humains. *E. coli* est l'une des plus connues.

équitabilité des espèces Abondance relative de différentes espèces qui font la richesse d'une région. Mesure comparative de la similarité de taille de la population de chaque espèce présente. Un échantillon dont les espèces ont le même nombre d'individus sera plus équitable qu'un échantillon dont l'abondance des espèces diffère.

équivalent en eau de la neige Mesure de la quantité d'eau contenue dans un stock nival.

érosion Action d'un processus exogène (comme l'écoulement de l'eau ou le vent) qui enlève du sol ou du roc d'un endroit de l'écorce terrestre, puis le transporte et le dépose ailleurs. En agriculture, l'érosion du sol est le décapage de la couche arable par les forces physiques naturelles de l'eau et du vent ou sous l'action d'activités agricoles telles que le *travail du sol*.

estuaire Embouchure d'un cours d'eau qui s'ouvre sur la mer, où l'eau douce se mélange à l'eau de mer. Les estuaires et les terres qui les entourent sont des lieux de transition entre la terre et la mer, et entre l'eau douce et l'eau de mer.

étalonnage Ajustement des paramètres d'un modèle de manière à améliorer la conformité entre les valeurs produites par ce dernier et les données observées.

étang de retenue Petit bassin ou étang destiné à retenir les eaux chargées de *sédiments* ou contaminées jusqu'à ce qu'elles puissent être traitées pour respecter les normes relatives à la qualité de l'eau ou être utilisées à d'autres fins, comme l'irrigation. On parle aussi de bassin de rétention.

évaluation biophysique Évaluation, au moyen de méthodes scientifiques, de l'incidence des *PGB* sur l'environnement sur les plans de la chimie de l'eau et des effets biologiques et physiques.

évaluation de la santé de la zone riveraine Évaluation de l'état de santé d'une *zone riveraine*. Elle porte habituellement sur la santé de la végétation et des berges du cours d'eau.

évaluation non marchande Technique économique d'évaluation sociétale de ressources non marchandes, comme la préservation de l'environnement. On parle aussi d'évaluation contingente. Elle englobe parfois des enquêtes sur la disposition à payer ou sur la propension à accepter une compensation.

exportation des éléments nutritifs Mouvement des *éléments nutritifs* d'un champ vers les *eaux de surface*. L'exportation a lieu en raison de la récolte ou d'autres processus comme l'*érosion* du sol ou le *lessivage*. On parle aussi de perte d'éléments nutritifs.

F

fertilité du sol Capacité du sol à soutenir les nombreux processus bénéfiques qui s'y déroulent et la croissance des plantes.

flux Le flux ou flux d'eau est généralement exprimé en volume traversant une surface par unité de temps, comme la force du courant d'une rivière qui est la quantité d'eau traversant une section transversale de la rivière par seconde. Dans les études sur les *gaz à effet de serre*, on mesure les flux des gaz en provenance et en direction de l'atmosphère.

fourrage Espèces de graminées et de légumineuses cultivées pour l'alimentation des animaux d'élevage. Les *plantes fourragères vivaces* sont des graminées et légumineuses qui repoussent chaque printemps à partir des racines des plantes de la saison de croissance précédente. Le fourrage est conservé sous forme de foin sec ou d'ensilage humide, incorporé dans le sol comme *engrais vert* ou brouté sur place.

fumier Matière organique provenant surtout des déjections animales, contrairement à l'*engrais vert*. Le fumier est utilisé comme *engrais* organique en agriculture. Il contribue à la *fertilité du sol* par l'ajout de la matière organique et des *éléments nutritifs*, comme l'*azote*, qui sont piégés par les *bactéries* dans le sol.

G

gaz à effet de serre Gaz qui participe à l'effet de serre en absorbant le rayonnement infrarouge et en emprisonnant la chaleur dans l'atmosphère. Certains gaz à effet de serre sont naturellement présents dans l'atmosphère, tandis que d'autres résultent des activités humaines. Les principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère de la Terre sont la vapeur d'eau, le *dioxyde de carbone*, le méthane, l'oxyde nitreux et l'ozone.

glyphosate Herbicide systémique à large spectre employé pour tuer les mauvaises herbes, en particulier les graminées et les herbes à feuilles larges annuelles qui font concurrence aux cultures commerciales.

H

hydrologie Science de la distribution, des propriétés et de la circulation de l'eau dans le paysage, dans le sol et le roc sous-jacent et dans l'atmosphère.

I

Indice canadien de qualité des eaux (ICQE) Indice qui permet d'uniformiser les procédures employées par les administrations canadiennes pour communiquer les renseignements sur la qualité de l'eau aux dirigeants et à la population. Il a été établi par un sous-comité relevant du Groupe de travail sur les recommandations pour la qualité des eaux du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME).

infiltration Processus de percolation de l'eau dans le sol à partir de la surface, ou vitesse à laquelle l'eau percole ainsi.

interdisciplinaire Qualifie l'approche d'un problème commun par des personnes de disciplines différentes qui travaillent ensemble de façon intégrée.

intrant Produit apporté à un système d'exploitation agricole, comme les aliments pour animaux, les *engrais*, les produits chimiques agricoles et les semences.

invertébré Animal sans colonne vertébrale. Les invertébrés aquatiques sont des animaux aquatiques sans squelette interne, comme les insectes, les mollusques et les écrevisses. Les macroinvertébrés sont assez grands pour être vus à l'œil nu. Les macroinvertébrés benthiques sont de petits invertébrés qui vivent sur ou dans les substrats du fond des *écosystèmes* aquatiques durant la totalité ou une partie de leur cycle de vie.

isotope Les isotopes d'un élément chimique sont des atomes ayant un nombre différent de neutrons. Des isotopes environnementaux stables et radioactifs sont utilisés pour l'étude des systèmes hydrologiques, en particulier les systèmes d'*eau souterraine*.

L

lessivage Le processus par lequel les matières solubles dans le sol, comme les *éléments nutritifs* ou les *pesticides* sont dissous et entrés dans les couches inférieures du sol et emportés par l'eau.

LiDAR La télédétection par laser ou LiDAR, acronyme de l'expression anglaise « light detection and ranging », est une méthode employée pour examiner la surface de la Terre.

M

marge brute Revenu brut divisé par les ventes nettes, exprimé en pourcentage. Les marges brutes sont une indication des revenus d'une exploitation agricole qui tient compte des coûts de production.

mésofaune du sol Ensemble des *invertébrés* vivant dans le sol dont la taille varie de 0,1 à 2 mm. La mésofaune joue un rôle important dans le cycle de la matière organique et des *éléments nutritifs* dans le sol.

microbassin Aux fins de l'EPBH, *sous-bassin hydrographique* dont la superficie est généralement inférieure à 2 500 ha.

milieu humide Toute zone qui contient de l'eau, de façon temporaire ou permanente. Les milieux humides sont des *écosystèmes* productifs qui fournissent de nombreux *services environnementaux*. Le Système de classification des terres humides du Canada les répartit en cinq catégories : les bogs, les fens, les marécages, les marais et les eaux peu profondes.

modèle altimétrique numérique Représentation numérique en trois dimensions de la topographie de la Terre créée au moyen de données d'altitude. Le modèle est souvent utilisé dans les *systèmes d'information géographique*.

modèle de la ferme représentative Représentation d'une ferme type, par la taille et le genre, pour une région donnée. Le modèle sert à étudier les coûts et les avantages économiques des *PGB*.

modèle hydrologique Logiciel qui simule le *ruissellement* dans un *bassin hydrographique* provoqué par des précipitations ou la fonte des neiges. Le modèle offre des représentations conceptuelles et simplifiées des éléments essentiels du cycle hydrologique.

modèle intégré Dans l'EPBH, *modèle hydrologique* qui a été couplé à un modèle économique afin de prévoir les effets hydrologiques et économiques combinés d'une *PGB*.

morphologie du cours d'eau Forme du chenal (profil, profondeur, configuration et emplacement), forme de la vallée du cours d'eau et façon dont les caractéristiques morphologiques évoluent avec le temps.

multidisciplinaire Qualifie l'approche prise par des chercheurs de disciplines différentes qui mènent indépendamment leurs propres types de recherche dans un but commun.

multiplicateur de production Représentation de la valeur totale des nouvelles ventes que suscitera dans l'économie chaque augmentation de un dollar de la demande finale à l'égard de l'extrant dans une industrie donnée. Le multiplicateur fournit donc une mesure de l'interdépendance d'une industrie et du reste de l'économie.

N

nappe phréatique Niveau supérieur de la zone souterraine où le sol et le roc sont saturés d'eau en permanence. Voir *eau souterraine*.

nitrate (NO_3) Composé soluble dans l'eau qui contient de l'azote et qui, lorsqu'il n'est pas absorbé par les plantes, peut être *lessivé* à travers le sol jusqu'à l'*eau souterraine*. L'excès d'azote sous forme de nitrates (NO_3-N) dans l'eau potable peut être dangereux pour la santé humaine.

nitrification Processus par lequel l'*ammoniac* est transformé en *nitrates* par *bactéries* spécialisées.

nitrite (NO_2-) Le nitrite (NO_2) est produit naturellement par le processus de transformation de l'*ammonium* en *nitrate*. Il s'accumule rarement dans le sol. Le nitrite se déplace à la manière du nitrate dans le sol et les zones d'*eau souterraine*. L'excès de nitrite peut être dangereux pour la santé humaine et la santé du milieu aquatique.

niveau phréatique Niveau supérieur de la zone souterraine où le sol et le roc sont saturés d'eau en permanence. Voir *eau souterraine*.

O

outil d'aide à la décision Outil ou système informatique qui soutient les activités de prise de décision.

oxygène dissous Mesure de la quantité d'oxygène disponible pour une activité biochimique dans un plan d'eau; indicateur de la qualité de cette eau.

P

paramètre ou indicateur environnemental — Déterminant variable et mesurable de la santé d'un système. Les paramètres de qualité de l'eau comprennent la température, le *pH*, et les *concentrations* de *bactéries* et d'*éléments nutritifs*.

particulaire — Formé de nombreuses petites particules individuelles non dissoutes.

pathogène — Agent (virus, microorganisme ou autre substance) capable de rendre malade un hôte réceptif végétal ou animal, y compris un hôte humain.

pâturage sur balles — Système d'engraissement hivernal des bovins où le bétail a accès à des balles de foin dans un champ ou dans un site d'hivernage.

pesticide — Substances destinées à attirer, à séduire, puis à détruire des organismes nuisibles, ou à en atténuer les effets. Les organismes nuisibles sont, par exemple, les mauvaises herbes, les maladies des plantes ou les insectes.

pH — Expression quantitative de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution.

phosphore (P) — Élément chimique essentiel à tous les organismes vivants et *élément nutritif* essentiel à la croissance des plantes. Présent sous forme *soluble* ou *particulaire*. Le phosphore total comprend toutes les formes de phosphore.

phosphore assimilable dosé — Quantité de *phosphore* dans le sol susceptible d'être prélevé par les végétaux, dosée par des analyses de sol.

plan de gestion des éléments nutritifs — Plan détaillé de l'apport d'*éléments nutritifs* aux cultures pour en maximiser les avantages économiques et en minimiser les risques pour l'environnement. Les éléments nutritifs peuvent être apportés sous forme de *fumier* ou d'*engrais* commercial. Les analyses de sol déterminent les besoins de fertilisation des terres; les analyses de fumier déterminent leur teneur en éléments nutritifs.

pratiques de gestion bénéfiques (PGB) — Méthodes agricoles destinées à réduire les effets négatifs sur l'environnement.

programmation de l'irrigation — Établissement du calendrier d'irrigation pour décider quand, où et en quelle quantité irriguer.

R

redistribution de la neige — Phénomène de déplacement de la neige par le vent dans le paysage. La neige soufflée par le vent est une importante source de *ruissellement* et détermine la durée et les pointes des *débits* des cours d'eau. Le relief et la rugosité de la couverture des terres influent sur la redistribution.

réduction de la pollution — Réduction du degré ou de l'intensité de la pollution.

rendement de culture — Qualité et quantité d'une culture récoltée.

repère — Valeur initiale (condition de base) à laquelle peuvent être comparées les modifications environnementales ou économiques. Par exemple, l'évaluation d'une *PGB* suppose de comparer la qualité de l'eau avant la mise en œuvre de la PGB et après.

résidu de culture — Matière végétale (feuilles, tiges, racines) laissée au champ après la récolte. Elle peut être mise en balles puis enlevée, être brûlée, être laissée à décomposer sur le sol ou être incorporée dans le sol.

richesse des espèces — Nombre total d'espèces dans une communauté ou un échantillon. Plus il y a d'espèces et plus l'échantillon est riche.

rotation des cultures — Alternance de cultures dans un même champ d'une année à l'autre ou périodiquement pour lutter contre les mauvaises herbes, les insectes et les maladies et pour renouveler les *éléments nutritifs* du sol ou réduire l'*érosion*.

ruissellement — Partie des précipitations ou des eaux de fonte la des neiges qui atteint les cours d'eau en coulant sur le sol (voir *ruissellement superficiel*) ou à travers la couche superficielle du sol, plutôt que de s'infiltrer profondément dans le sol.

ruissellement superficiel — Écoulement de l'eau de pluie, de fonte des neiges ou d'autres sources à la surface des terres jusqu'à un plan d'eau. Ce *ruissellement* fait partie du cycle de l'eau.

S

sédiment — Substance présente naturellement et décomposée par des processus de vieillissement et d'érosion, puis transportée par l'action du vent, de l'eau ou de la glace, et/ou par la gravité agissant sur les particules. Les sédiments en suspension sont des particules de sol en suspension dans l'eau.

semis direct — Processus qui consiste à semer directement dans le sol en utilisant un semoir spécial, sans avoir recours à un *travail du sol* après la récolte de la culture précédente. Aussi appelé *culture sans travail du sol*.

séquestration du carbone — Captage du *carbone* présent dans l'atmosphère et stockage dans des puits de carbone (comme les océans, les forêts et les sols) par des processus physiques ou biologiques, tels que la photosynthèse. On parle aussi de piégeage du carbone.

signature isotopique — Abondance relative d'isotopes d'un élément donné dans un échantillon particulier.

simulation de pluie — Utilisation d'un dispositif qui simule la pluie, et qui sert surtout à estimer le *ruissellement* ou l'*infiltration* sur de petites superficies.

site d'intervention Site (habituellement un *bassin hydrographique* ou un *sous-bassin hydrographique*) où des *PGB* sont mises à l'essai. Les résultats obtenus peuvent être comparés à ceux du *site témoin*. Aussi appelé site d'essai ou site de traitement. Voir *bassin apparié (jumelé)*.

site témoin Site (habituellement un *bassin hydrographique* ou un *sous-bassin hydrographique*) où aucune *PGB* n'a été mise en œuvre. Il sert à effectuer des comparaisons avec un site où des PGB sont mises à l'essai (appelé site d'essai, site de traitement ou *site d'intervention*). Voir *bassin apparié (jumelé)*.

source diffuse (non ponctuelle) La contamination diffuse ou non ponctuelle n'a pas une seule source distincte. Souvent, elle est le fait de l'effet cumulatif de petites quantités de *contaminants* provenant d'une vaste région. Un exemple courant est donné par le *lessivage* de composés azotés à partir de terres agricoles. Les apports d'*éléments nutritifs* dans les eaux de pluie qui ruissellent en nappe sur les champs ou les forêts sont aussi cités comme exemple de pollution de source non ponctuelle.

sous-bassin hydrographique *Bassin hydrographique* faisant partie d'un plus grand bassin.

système d'information géographique (SIG) Système informatisé intégrant de l'équipement, des logiciels et des données afin de capter, de gérer, d'analyser et de présenter toute forme d'informations géoréférencées.

T

tampon riverain Zone végétalisée étroite en bordure d'un cours d'eau, d'un lac ou d'un *milieu humide* qui peut protéger celui-ci des eaux de *ruissellement* contaminées et qui peut stabiliser les berges et offrir des milieux aquatiques et des habitats fauniques. Voir *bande ou zone tampon*.

télédétection Collecte, au moyen de capteurs à bord d'avions ou de satellites, de données sous forme d'images qui peuvent être manipulées et analysées.

transport Mécanisme par lequel les *contaminants* comme les *éléments nutritifs*, les *sédiments*, les *bactéries* ou les *pesticides* migrent dans le paysage.

travail conventionnel du sol *Travail du sol* qu'on effectue généralement pendant la préparation d'un lit de semence et qui laisse habituellement une couverture de *résidus de culture* sur moins de 30 % de la surface du sol. Il comprend au moins un labour au printemps et un autre à l'automne.

travail de conservation du sol Tout système de *travail du sol* destiné à diminuer les pertes de sol et d'eau. Le terme s'applique à différentes pratiques allant du *travail réduit du sol* à la *culture sans travail du sol* (aussi appelée *semis direct*). Voir *travail intermittent du sol*.

travail du sol Manipulation mécanique du sol pour créer un milieu favorable à la germination de la semence et à la croissance de la culture, pour éliminer les mauvaises herbes et pour maintenir la capacité d'*infiltration* et d'aération du sol.

travail intermittent du sol *Travail du sol* qui se fait à l'automne tous les deux ans. On parle aussi de travail du sol en rotation.

travail réduit du sol Utilisation minimale du *travail du sol* nécessaire pour répondre aux besoins de production agricole dans les conditions existantes de sol et de climat, et qui suppose habituellement moins d'opérations de travail du sol que pour le *travail conventionnel du sol*. Il comprend souvent un seul passage d'instrument de travail du sol au printemps ou à l'automne.

tronçon Portion dans laquelle un cours d'eau garde des caractéristiques assez homogènes.

turbidité La mesure de la turbidité permet d'évaluer le degré de limpidité de l'eau. La turbidité dépend des matières en suspension dans l'eau qui restreignent le passage de la lumière.

U

unité de réponse hydrologique (URH) Unité homogène dans un modèle de *bassin hydrographique* qui est délimitée en fonction de caractéristiques telles que la pente, l'altitude, le type de végétation, le type de sol et la répartition des précipitations. On parle aussi d'unité hydrologique relativement homogène (UHRH).

V

valeur actualisée nette Valeur actuelle des flux de trésorerie futurs attendus d'un investissement, soustraction faite du montant de l'investissement.

validation Comparaison des résultats d'un modèle avec un ensemble de données indépendantes qui n'a pas été utilisé pour l'*étalonnage* du modèle.

voie d'eau gazonnée Bande de terre herbacée servant de chenal aux eaux de *ruissellement superficiel* qui est destinée à en filtrer les *sédiments* et à en ralentir l'écoulement, et à limiter ainsi l'*érosion*.

Z

zone riveraine Terre bordant un cours d'eau ou un plan d'eau.

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AAC	Agriculture et Agroalimentaire Canada
ACRH	Association canadienne des ressources hydriques
Alb.	Alberta
AnnAGNPS	Annualized AGricultural Non-Point Source (model) (modèle annualisé de la pollution agricole diffuse)
BHE	bassin hydrographique équivalent
BWQM	Bacterial Water Quality Model (modèle de la qualité bactériologique de l'eau)
C.-B.	Colombie-Britannique
CanSWAT	version canadienne du Soil and Water Assessment Tool (outil d'évaluation du sol et de l'eau)
CATHY	Catchment Hydrology (modèle de l'hydrologie des bassins)
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CEAP	Conservation Effects Assessment Project (projet d'évaluation des effets de la conservation)
CFB	Club de fertilisation de la Beauce
CIC	Canards Illimités Canada
COBARIC	Comité de bassin de la rivière Chaudière
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
CSA	Cadre stratégique pour l'agriculture
DNDC	DeNitrification and DeComposition model (modèle de la dénitrification et de la décomposition)
E. coli	*Escherichia coli*
EPBH	Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques
FEFLOW	*Finite Element subsurface FLOW system (modèle de l'écoulement de l'eau souterraine par éléments finis)*
ForHyM	Forest Hydrology Model (modèle d'hydrologie forestière)
GIBSI	Gestion Intégrée des Bassins versants à l'aide d'un Système Informatisé
ha	hectare
Î.-P.-É.	Île-du-Prince-Édouard
ICQE	Indice canadien de qualité des eaux
ImWEBs	integrated modelling for Watershed Evaluation of BMPs (modélisation intégrée pour l'évaluation des PGB à l'échelle des bassins hydrographiques)
INENA	Initiative nationale d'élaboration de normes agroenvironnementales
INRS-Centre ETE	Institut national de la recherche scientifique-Centre Eau Terre Environnement
IRDA	Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
kg	kilogramme
km	kilomètre
km^2	kilomètre carré
LEACHM-N	Leaching Estimation and Chemistry Model for Nitrogen (modèle d'estimation et de composition chimique du lessivage pour l'azote)
LiDAR	détection et télémétrie par ondes lumineuses
m	mètre
Man.	Manitoba
MAPAQ	ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
mg/l	milligramme par litre
MHYDAS	Modélisation HYdrologique Des AgroSystèmes
mm	millimètre
N	azote
N.-B.	Nouveau-Brunswick
N.-É.	Nouvelle-Écosse
Ont.	Ontario
P	phosphore
PGB	pratique de gestion bénéfique
PNARSA	Programme national d'analyse et de rapport en matière de santé agroenvironnementale
Qué.	Québec
RCE	Réseau canadien de l'eau
REMM	Riparian Ecosystem Management Model (modèle de la gestion des écosystèmes riverains)
Sask.	Saskatchewan
SEAD	Systèmes environnementaux pour une agriculture durable
SIG	système d'information géographique
SWAT	outil d'évaluation du sol et de l'eau
SWCS	Soil and Water Conservation Society
t	tonne
UHRH	unité hydrologique relativement homogène
URH	unité de réponse hydrologique
USDA	département de l'Agriculture des États-Unis

REMERCIEMENTS

Les nombreuses personnes qui ont contribué à ce rapport méritent des félicitations pour le dévouement dont elles ont fait preuve sur une base quotidienne pour faire de ce programme de recherche une réussite.

Équipes de recherche des bassins hydrographiques

Les responsables des neuf bassins hydrographiques d'AAC ont dirigé des équipes de chercheurs issus de multiples disciplines. Le tableau 13 présente le ou les responsables du bassin hydrographique, les économistes de site et les modélisateurs de chaque projet. En plus de ces responsables, beaucoup d'autres collègues et d'étudiants ont participé à ces projets. Plusieurs de ces personnes sont nommées dans les chapitres portant sur un bassin spécifique (chapitres 8 à 16).

TABLEAU 13
Équipes de recherche de base de l'EPBH

BASSIN	RESPONSABLE DU BASSIN	ÉCONOMISTE DE SITE	MODÉLISATEUR
Rivière Salmon	Klaas Broersma (Ph. D.) et Bruce Roddan	Terry Peterson (consultant privé)	Zhanxue (John) Zhu (Ph. D.) (Université de Victoria)
Rivière Lower Little Bow	Jim Miller (Ph. D.)	Carlyle Ross (Ph. D.) et Elwin Smith (Ph. D.) (AAC) Scott Jeffrey (Ph. D.) et Jim Unterschultz (Ph. D.) (Université de l'Alberta)	David Chanasyk (Ph. D.) et Michel Rahbeh (Ph. D.) (Université de l'Alberta)
Ruisseau Pipestone	Barbara Cade-Menun (Ph. D.)	Scott Jeffrey (Ph. D.) et Jim Unterschultz (Ph. D.) (Université de l'Alberta) Ken Belcher (Ph. D.) (Université de Saskatchewan)	Kangsheng Wu (Ph. D.) (Saskatchewan Water Security Agency)
Ruisseau Tobacco Sud	Jim Yarotski	Mohammad Khakbazan (Ph. D.) (AAC) Peter Boxall (Ph. D.) (Université de l'Alberta)	Wanhong Yang (Ph. D.) et Yongbo Liu (Ph. D.) (Université de Guelph)
Nation Sud	David Lapen (Ph. D.)	Philippe Crabbé (Ph. D.) (Université d'Ottawa)	David Lapen (Ph. D.) (AAC)
Bras d'Henri et Fourchette	Eric van Bochove (Ph. D.) et Georges Thériault (Bras d'Henri) Aubert Michaud (Ph. D.) (Fourchette)	Bruno Larue (Ph. D.) (Université Laval) Paul Thomassin (Ph. D.) et Laurie Baker (Ph. D.) (Université McGill)	Alain Rousseau (Ph. D.) (INRS-Centre ETE)
Ruisseau Black	Lien Chow (Ph. D.), Herb Rees et Sheng Li (Ph. D.)	Jérôme Damboise (Centre de conservation des sols et de l'eau de l'Est du Canada) Van Lantz (Ph. D.) (Université du Nouveau-Brunswick)	Fanrui Meng (Ph. D.) (Université du Nouveau-Brunswick)
Ruisseau Thomas	Dale Hebb	Emmanuel Yiridoe (Ph. D.) (Campus agronomique de l'Université Dalhousie)	Rob Jamieson (Ph. D.) (Université Dalhousie)
Rivière Souris	Rollin Andrew, Terra Jamieson (Ph. D.) et Yefang Jiang (Ph. D.)	Steven Russell (Ph. D.) (Campus agronomique de l'Université Dalhousie)	Yefang Jiang (Ph. D.) (AAC)

Producteurs

Nous remercions tout spécialement les nombreux producteurs de chaque bassin de l'EPBH qui ont consenti à travailler avec les chercheurs, car c'est principalement grâce à eux que ce programme a été rendu possible.

Partenaires

Les nombreux partenaires (voir le chapitre 7) qui se sont investis et engagés dans les projets de l'EPBH, qui étaient véritablement interdisciplinaires, méritent également des remerciements. Les chapitres portant sur un bassin spécifique (chapitres 8 à 16) reconnaissent aussi l'importante contribution des organismes et des partenaires individuels.

Nous tenons à remercier spécialement Canards Illimités Canada, dont les contributions financières et l'expertise technique fournies durant les quatre premières années de l'EPBH ont contribué à la réussite du programme.

Nous remercions également Laurie Baker (Ph. D.) qui a préparé les rapports sommaires des études économiques de l'EPBH ainsi que Brian Abrahamson qui a produit les rapports sommaires des études de modélisation de l'EPBH.

Équipe de gestion du programme d'EPBH

- ***Gestion de l'EPBH*** – Brook Harker, Terrie Hoppe et Irene Hanuta
- ***Évaluation économique*** – Carlyle Ross et Merle Boyle
- ***Modélisation hydrologique et modélisation intégrée*** – Dave Kiely
- ***Agents de liaison des bassins*** – Karen Benjaminson (Ouest), Mark Sunohara (Centre) et Terra Jamieson (Atlantique)
- ***Sensibilisation et rapports*** – Valerie Stuart et Lucy Clearwater

Pour en savoir plus, écrire à EPBH@agr.gc.ca ou consulter le site Web de l'EPBH à www.agr.gc.ca/epbh.