



CIRANO  
*Allier savoir et décision*

# Évaluer les bénéfices publics de différents scénarios d'interventions en zones cultivées visant la prestation de biens et services écologiques à l'échelle d'un sous-bassin versant

PAUL J. THOMASSIN  
RENÉ ROY

2018RP-19  
RAPPORT DE PROJET



**Évaluer les bénéfices publics de différents scénarios  
d'interventions en zones cultivées visant la prestation de biens  
et services écologiques à l'échelle d'un sous-bassin versant**

*Paul J. Thomassin, René Roy*

---

**Rapport de projet**  
*Project report*

---

Montréal  
Novembre/November 2018

© 2018 Paul J. Thomassin, René Roy. Tous droits réservés. *All rights reserved.* Reproduction partielle permise avec citation du document source, incluant la notice ©. *Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.*



Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations

## **CIRANO**

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec.

*CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Québec Companies Act.*

### **Les partenaires du CIRANO**

#### **Partenaires corporatifs**

Autorité des marchés financiers  
Banque de développement du Canada  
Banque du Canada  
Banque Laurentienne  
Banque Nationale du Canada  
Bell Canada  
BMO Groupe financier  
Caisse de dépôt et placement du Québec  
Énergir  
Hydro-Québec  
Innovation, Sciences et Développement économique Canada  
Intact Assurance  
Investissements PSP  
Ministère de l'Économie, de la Science et de l'Innovation  
Ministère des Finances du Québec  
Mouvement Desjardins  
Power Corporation du Canada  
Rio Tinto  
Ville de Montréal

#### **Partenaires universitaires**

École de technologie supérieure  
HEC Montréal  
Institut national de la recherche scientifique  
Polytechnique Montréal  
Université Concordia  
Université de Montréal  
Université de Sherbrooke  
Université du Québec  
Université du Québec à Montréal  
Université Laval  
Université McGill

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web.

**ISSN 1499-8629 (Version en ligne)**

# Évaluer les bénéfices publics de différents scénarios d'interventions en zones cultivées visant la prestation de biens et services écologiques à l'échelle d'un sous bassin versant.

Professeur Paul J. Thomassin  
Chercheur responsable, Université McGill

René Roy, Agr., Ph.D.  
Assistant de recherche, Université McGill

Rapport final  
13 mai 2018

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>4</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>5</b>
<b>Liste des abréviations</b> .....	<b>5</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>6</b>
<b>Méthodologie</b> .....	<b>6</b>
<b>Principaux résultats</b> .....	<b>7</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>8</b>
<b>Question de recherche et territoire d'étude</b> .....	<b>8</b>
<b>Cadre général et concepts</b> .....	<b>9</b>
<b>Structure du rapport d'étude</b> .....	<b>9</b>
<b>Revue de littérature et bases de connaissance</b> .....	<b>10</b>
<b>Valeur économique totale</b> .....	<b>10</b>
<b>Le concept du coût d'opportunité</b> .....	<b>12</b>
<b>Activités agricoles du sous bassin versant du Bras d'Henri</b> .....	<b>13</b>
<b>Productions animales et végétales du bassin versant</b> .....	<b>13</b>
<b>PGB en place</b> .....	<b>14</b>
Rotation.....	15
Pratiques de gestion bénéfique réglementées.....	15
Mode de production biologique dans le bassin versant.....	15
<b>Les biens et services écologiques fournis dans le sous bassin versant</b> .....	<b>15</b>
<b>Les pratiques de gestion bénéfique étudiées (PGB)</b> .....	<b>15</b>
Rotation des cultures annuelles .....	19
Régie en semis direct .....	19
Bandes riveraines et enherbées .....	20
Aménagements hydroagricoles (bassins de sédimentation).....	21
<b>Méthode</b> .....	<b>22</b>
<b>Modèle hydrique</b> .....	<b>23</b>
Indice de la qualité de l'eau .....	24
<b>Modèle de captage des GES</b> .....	<b>25</b>
<b>Modèle esthétique du paysage</b> .....	<b>26</b>
<b>Modèle économique</b> .....	<b>26</b>
Budgets d'exploitation agricole et variables économiques.....	29
<b>Modèle intégré</b> .....	<b>30</b>
<b>Estimer la valeur des biens et services écologiques générés par les pratiques de gestion bénéfiques</b> .....	<b>32</b>
Méta-analyse liée à la qualité de l'eau .....	32

Valeur esthétique des paysages issus des bandes riveraines .....	32
Captage des gaz à effet de serre .....	33
<b>Résultats.....</b>	<b>33</b>
<b>Résultats environnementaux.....</b>	<b>33</b>
<b>Résultats économiques.....</b>	<b>35</b>
<b>Analyse de sensibilité .....</b>	<b>39</b>
Valeur liée à la qualité de l'eau .....	40
Valeur esthétique liée à l'esthétique des paysages.....	41
Valeur liée au captage de gaz à effet de serre .....	42
Prix des cultures.....	43
Conclusion de l'analyse de sensibilité .....	44
<b>Discussion .....</b>	<b>44</b>
<b>Méthodologie permettant d'évaluer la rentabilité des mesures gouvernementales visant la production de BSE.....</b>	<b>44</b>
<b>Évaluation des coûts d'adoption de la PGB .....</b>	<b>45</b>
<b>Évaluer la valeur des BSE générés par l'adoption de la PGB.....</b>	<b>45</b>
Valeur des BSE liés au modèle hydrique .....	46
Valeur des BSE liés à l'amélioration esthétique du paysage .....	46
Valeur des BSE liées au captage de GES.....	47
<b>Établir le ratio bénéfices-coûts de la PGB.....</b>	<b>47</b>
<b>L'apport d'une analyse bénéfices-coûts pour établir des programmes environnementaux.....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>49</b>
<b>Les résultats environnementaux des PGB.....</b>	<b>49</b>
<b>Les résultats économiques des PGB.....</b>	<b>49</b>
<b>Les valeurs économiques des BSE associés à la prestation des PGB.....</b>	<b>50</b>
<b>Les combinaisons de PGB générant les bénéfices publics les plus élevés .....</b>	<b>50</b>
<b>Les facteurs ayant une influence sur les bénéfices et les coûts, et leur ampleur .....</b>	<b>51</b>
<b>Limites de l'étude et pistes de recherche futures .....</b>	<b>52</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>53</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Nombre d'entreprises agricoles dans le bassin versant du Bras d'Henri en 2010 .....	14
Tableau 2	Inventaire des animaux déclarés lors de l'enquête effectuée en 2010 dans le sous bassin versant du Bras d'Henri.....	14
Tableau 3	Inventaire des cultures déclarées lors de l'enquête effectuée en 2010 dans le sous bassin versant du Bras d'Henri.....	14
Tableau 4	PGB retenues dans le cadre de l'étude.....	17
Tableau 5	Effets des types de rotation sur les rendements (kg/ha) dans le bassin versant du Bras d'Henri .....	20
Tableau 6	Coûts de production retenus pour les cultures en régie conventionnelle et en semis direct .....	20
Tableau 7	Coûts estimés des bandes riveraines enherbées.....	21
Tableau 8	Coûts d'établissement estimés pour les bandes riveraines arbustives.....	21
Tableau 9	BSE fourni selon la valeur de l'indice de la qualité de l'eau .....	25
Tableau 10	Indicateurs de la qualité de l'eau enregistrés à la station du Bras d'Henri au pont de la route Saint-Michel au nord-est de Saint-Narcisse (station BQMA numéro 2340099) entre mai 2012 et octobre 2014 <sup>1</sup> .....	25
Tableau 11	Valeurs du captage des gaz à effet de serre retenues pour le modèle de capture de GES.....	26
Tableau 12	Rendements rapportés en kilogrammes par hectare pour la Zone 4 de la Région 3, entre les années 2010 et 2014.....	29
Tableau 13	Revenu et variations annuelles des cultures incluses dans le modèle intégré <sup>1</sup> après l'application des programmes de stabilisation du revenu entre 2009 et 2014.....	30
Tableau 14	Valeur des indicateurs environnementaux de l'indice de la qualité de l'eau selon différents scénarios de PGB.....	35
Tableau 15	Sommaire des bénéfices publics et privés pour chacun des scénarios mis en place dans le sous bassin versant du Bras d'Henri .....	36
Tableau 16	Résultats de l'analyse de sensibilité de la valeur attribuée à la qualité de l'eau .....	41
Tableau 17	Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la valeur attribuée à la valeur esthétique de la bande riveraine .....	42
Tableau 18	Valeur de l'unité d'émission lors des ventes aux enchères du système d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec.....	42
Tableau 19	Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la valeur attribuée au captage de GES .....	43
Tableau 20	Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la variation des prix des cultures.....	44
Tableau 21	Sommaire des résultats techniques et environnementaux.....	57
Tableau 22	Sommaire des résultats économiques.....	58

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Nomenclature des composantes de la valeur économique totale pour le Bassin versant du Bras d'Henri (Adapté de Bateman et al. (2003)).....	12
Figure 2	Schéma de la méthode utilisée dans le cadre de cette recherche.....	23
Figure 3	Localisation des bâtiments et des champs du bassin versant du Bras d'Henri.....	27
Figure 4	Niveau d'émission des sédiments par champ inclus dans le modèle hydrique.....	31

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

BQMA	Banque de données sur la qualité du milieu aquatique
BSE	Biens et services écologiques
CRAAQ	Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
GES	Gaz à effet de serre
GIBSI	Gestion intégrée par bassin versant à l'aide d'un système automatisé
IQPB	Indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
PGB	Pratiques de gestion bénéfique
RUSLE	Équation universelle de perte de sol. De l'anglais <i>Revised Universal Soil Loss Equation</i>

## RÉSUMÉ

Les pratiques de gestion bénéfique (PGB) en agriculture sont reconnues pour améliorer la qualité de l'environnement, notamment par la fourniture de biens et services écologiques (BSE). Cependant, l'évaluation de la rentabilité de ces pratiques reste un défi, principalement parce que le lien entre leur effet environnemental et leur effet sur le bien-être des sociétés reste difficile à évaluer. Cette étude propose donc une méthodologie visant à comparer la valeur économique d'une amélioration environnementale découlant de l'adoption d'une PGB au coût d'implantation de cette PGB. La méthodologie permet de considérer l'hétérogénéité prévalant dans le bassin versant.

L'objectif général de cette étude vise donc à établir le ratio bénéfices-coûts des PGB évaluées. Ainsi, la question de recherche qui oriente ce travail est la suivante :

Quels sont les bénéfices et les coûts générés par différentes PGB dans le sous bassin versant du Bras d'Henri de la rivière Beaurivage ?

Des questions spécifiques à l'objectif général guident l'analyse de la question de recherche :

- Quelles sont les valeurs économiques des BSE associés à la prestation des PGB sélectionnées dans le sous bassin versant du Bras d'Henri ?
- Quelles sont les combinaisons de PGB générant des BSE dont les bénéfices publics sont les plus élevés ?
- Quels sont les facteurs ayant une influence sur les bénéfices et les coûts, et quelle est l'ampleur de cette influence ?
- Quelle est la méthodologie efficiente pour examiner la rentabilité et l'efficacité des mesures gouvernementales visant la production de BSE en agriculture ?

Cette étude vise ainsi à déterminer quels sont les bénéfices et les coûts générés par l'adoption de pratiques de gestion bénéfique (PGB) en prenant comme cas de figure le sous bassin versant du Bras d'Henri de la rivière Beaurivage. Cette évaluation prend en considération les particularités géographiques du bassin versant et compile les coûts privés et les bénéfices publics générés. Les sous-objectifs de cette analyse permettent également de déterminer quels sont les PGB générant les BSE les plus avantageux pour la société, de déterminer quels sont les facteurs qui ont une influence sur les coûts et les bénéfices des PGB et de décrire la méthodologie efficiente pour examiner la rentabilité et l'efficacité des mesures gouvernementales visant la production de BSE en agriculture.

## MÉTHODOLOGIE

Un modèle d'optimisation dynamique intégrant les effets environnementaux et économiques de l'implantation de PGB en milieu agricole a été développé pour réaliser cette analyse. Il simule l'impact de l'implantation de PGB sur l'environnement et leurs coûts pour les entreprises. En contrepartie, les bénéfices publics sont estimés en évaluant la fourniture de BSE à la suite de l'implantation de ces PGB. Les bénéfices publics, définis par la valeur attribuée aux BSE, sont comparés aux coûts d'investissements pour l'implantation de nouvelles PGB. La méthodologie permet donc d'évaluer les coûts et les bénéfices en termes absolus. De plus, les mesures de ratio bénéfices-coûts servent d'outil d'aide à la décision pour les décideurs publics. Cet exercice permet d'évaluer les PGB ayant les effets les plus performants du point de vue économique et environnemental.

## PRINCIPAUX RÉSULTATS

Les PGB sélectionnées dans cette étude ont, pour la plupart, procuré un bénéfice supérieur aux coûts privés engagés. Cependant, le ratio bénéfices-coûts révèle que le « retour sur l'investissement » varie selon la pratique et son impact environnemental dans le bassin versant. De plus, les résultats confirment que les cahiers des charges, c'est-à-dire l'implantation simultanée d'un ensemble de PGB sur la même entreprise, génèrent des ratios supérieurs à l'implantation de PGB individuelles.

Les principaux constats découlant de cette étude sont les suivants :

- Les PGB permettent d'améliorer la qualité de l'environnement sous différents aspects :
  - Les scénarios qui prévoient l'application de cahiers des charges regroupant un ensemble de PGB sont les plus efficaces pour améliorer la qualité de l'eau du bassin versant et le captage de gaz à effet de serre (GES).
  - Parmi les trois scénarios de bandes riveraines, celui qui prévoit l'établissement d'arbres et arbustes naturels permet d'améliorer la qualité du paysage au plus faible coût d'implantation.
- Les PGB sélectionnées dans le cadre de ce projet permettent de démontrer, pour la plupart, que la valeur des bénéfices tirés de leur application fournit des BSE dont la valeur est supérieure à leurs coûts privés.
  - Les deux PGB impliquant l'aménagement d'une bande riveraine de 10 mètres (herbacée ou arbustive plantée) ne génèrent pas une valeur économique publique supérieure à leur coût privé.
  - L'implantation du semis direct constitue une pratique qui génère un bénéfice pour l'entreprise qui l'adopte.
  - Les autres PGB, c'est-à-dire la bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 mètres, la rotation de cultures, l'implantation d'un bassin de sédimentation, une bande herbacée d'un mètre en bordure des fossés, de même qu'un assolement qui prévoit un minimum de 25 % de cultures pérennes, ont présenté des ratios bénéfices-coûts qui témoignent de leur rentabilité sur le plan social.
  - Les deux cahiers des charges préconisant l'adoption simultanée de plusieurs PGB procurent toutefois de meilleurs ratios que les PGB appliquées individuellement.
  - À titre d'exemple, dans le cas du cahier des charges bonifié, le bénéfice social est estimé à 912 233 \$ alors que le coût de mise en place des PGB est estimé à 191 801 \$ pour le bassin versant.
- L'application simultanée de plusieurs PGB sous la forme de cahier des charges crée donc une synergie qui rend le ratio bénéfices-coûts plus avantageux que l'application d'une PGB spécifique. Cette synergie s'explique notamment par une meilleure distribution des BSE.
- L'analyse de sensibilité démontre que deux des quatre facteurs économiques étudiés se sont révélés avoir un effet plus important sur la valeur des ratios. Ce sont la valeur de la qualité de l'eau et la valeur des cultures. Les valeurs associées au captage des GES et à l'esthétique des paysages se sont révélées avoir un effet plus modeste sur les ratios.
- Une des limites de l'étude concerne le ratio bénéfices-coûts utilisé pour déterminer les surplus potentiels. Celui-ci ne considère pas les coûts de transactions des mécanismes de transferts entre, d'une part, les entreprises agricoles qui investissent dans ces PGB et, d'autre part, la société qui bénéficie des bienfaits de ces investissements. Une investigation supplémentaire des coûts de transaction serait nécessaire pour évaluer leur impact sur les ratios bénéfices-coûts.

## INTRODUCTION

Au Québec, au cours des décennies 1990 et 2000, les efforts des producteurs agricoles, soutenus par les dispositions législatives dans le domaine environnemental, ont grandement contribué à l'amélioration de la qualité de l'environnement, notamment celle des eaux de surface (MDDEP, 2012). Selon des recherches, comme celle de Fisher-Vanden et Olmstead (2013), les PGB qui sont prescrites par des règlements peuvent ne pas améliorer efficacement la fourniture de biens et services écologiques (BSE) parce que les problèmes varient d'une région à une autre et à travers le temps. Le développement de méthodes d'évaluation de l'impact environnemental de l'implantation de PGB s'avère donc essentiel pour augmenter la production de BSE provenant de l'agriculture.

Cette étude évalue l'adoption de PGB individuelles et l'adoption de cahiers de charges proposant l'implantation de plusieurs PGB simultanément. Plusieurs PGB sont considérées et évaluées dans la présente étude : l'établissement de bandes riveraines élargies, l'augmentation de superficies en travail réduit du sol, une rotation de cultures adéquate, l'utilisation de bassins de sédimentation et l'inclusion de cultures pérennes dans les rotations. Ce cahier des charges est évalué dans le contexte d'adoption de PGB dans le bassin versant du Bras d'Henri. Pour permettre d'être le plus près possible de la réalité, nous avons mené une enquête auprès d'entreprises, et le bassin versant a été soumis à des analyses pédologiques et hydrographiques.

L'adoption de nouvelles PGB par le secteur agricole contribue à l'atteinte d'objectifs émanant de plusieurs initiatives gouvernementales québécoises telles que le Livre vert pour une politique bioalimentaire (MAPAQ, 2011), les orientations gouvernementales en matière de diversité biologique (MDDEFP, 2013) de même que le Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques (MDDEP, 2012). Les efforts législatifs qui favorisent l'adoption de PGB sont donc cohérents avec les objectifs gouvernementaux.

Il est indispensable de s'appuyer sur une méthode d'évaluation rigoureuse afin d'évaluer les avantages économiques et environnementaux de l'implantation de nouvelles PGB (OCDE, 2014). Une telle évaluation économique des bénéfices publics permet, d'une part, de confirmer la rentabilité des mesures d'interventions et, d'autre part, d'identifier les interventions ou les combinaisons d'interventions présentant les ratios bénéfices-coûts optimaux.

### Question de recherche et territoire d'étude

Le but principal de la présente recherche est d'identifier et d'évaluer les PGB qui améliorent la fourniture de BSE provenant de l'agriculture.

L'objectif général de l'étude est de déterminer le ratio bénéfices-coûts des PGB évaluées. La question de recherche qui oriente ce travail est la suivante :

Quels sont les bénéfices et les coûts générés par différentes PGB dans le sous bassin versant du Bras d'Henri de la rivière Beauvillage ?

Des questions spécifiques à l'objectif général guident l'analyse de la question de recherche :

- Quelles sont les valeurs économiques des BSE associés à la prestation des PGB sélectionnées dans le sous bassin versant du Bras d'Henri ?
- Quelles sont les combinaisons de PGB générant des BSE dont les bénéfices publics sont les plus élevés ?
- Quels sont les facteurs ayant une influence sur les coûts et bénéfices, et quelle est l'ampleur de cette influence ?
- Quelle est la méthodologie efficiente pour examiner la rentabilité et l'efficacité des mesures gouvernementales visant la production de BSE en agriculture ?

## Cadre général et concepts

Le Livre vert pour une politique bioalimentaire cherchait notamment à orienter les efforts des entreprises vers une production qui valorise l'environnement (MAPAQ, 2011). La mise en place d'initiatives innovantes générant des BSE est aussi synchronisée avec l'un des objectifs de la planification stratégique 2015-2018 du ministère visant le respect de l'environnement (MAPAQ, 2016). Présentement, les entreprises agricoles qui mettent en place des PGB reconnues peuvent bénéficier d'un soutien financier provenant du Programme Prime-Vert.

Une option prometteuse de rétribution des efforts des entreprises agricoles en matière environnementale devient possible par l'établissement de mécanismes de marché. Les mécanismes de marché peuvent fournir un appui financier qui encourage l'établissement de nouvelles PGB. Les certifications biologiques sont un exemple de système de mise en marché qui donne une valeur ajoutée aux produits vendus sous cette étiquette. Le consommateur québécois est de plus en plus sensible à l'empreinte environnementale de la production agricole : un consommateur sur cinq reconnaît le respect de l'environnement comme premier critère pour acheter un produit québécois (MAPAQ, 2011). La sensibilité des consommateurs laisse entrevoir la possibilité qu'un système de certification environnementale des produits agricoles puisse être valorisé sur les tablettes des supermarchés.

La préoccupation quant aux effets de l'agriculture sur l'environnement est également une préoccupation à l'échelle du pays. Par la mise en place de huit projets pilotes dans plusieurs provinces canadiennes, entre 2005 et 2010, Agriculture et Agroalimentaire Canada (2010) a réalisé plusieurs travaux sur les PGB. Le rapport final fait ressortir certains constats et documente les facteurs de réussite pour la mise en place de mesures efficaces contribuant à la production de BSE. Parmi les recommandations du rapport, on note l'importance de s'assurer que « les bénéfices publics nets [liés à la prestation de BSE] l'emportent sur les coûts privés nets » des interventions. Le rapport met également en lumière que l'efficacité d'une PGB est dépendante des caractéristiques géographiques et physico-chimiques du milieu dans lequel elle est appliquée.

La méthode présentée intègre ces facteurs dans l'évaluation globale des coûts et bénéfices issus des PGB et permet d'identifier les PGB à privilégier selon leur effet sur l'environnement. Le développement des connaissances en sciences économiques et environnementales fournit des outils qui apportent des réponses précises à ces questions multidisciplinaires.

## Structure du rapport d'étude

Pour répondre aux questions de recherche, le présent rapport d'étude est divisé en six chapitres.

1. L'introduction comprend l'explication de la problématique et l'identification des facteurs économiques, sociaux et environnementaux essentiels au ratio bénéfices-coûts.
2. La revue de littérature explique les concepts utilisés dans l'étude et décrit les bénéfices publics et les coûts d'implantation des PGB dans le bassin versant. Les niveaux de BSE déjà connus sont décrits et les possibilités d'amélioration sont discutées.
3. La méthodologie décrit et explique la méthode de calcul utilisée pour estimer la valeur des bénéfices et les coûts liés à l'implantation des PGB sélectionnées.
4. La section des résultats fournit les résultats des modèles, les ratios coûts-bénéfices et les analyses de sensibilité.
5. La discussion des résultats présente les principales incidences de l'étude.
6. La conclusion présente l'applicabilité des résultats et explique comment la méthode peut être répétée dans un autre contexte.

# REVUE DE LITTÉRATURE ET BASES DE CONNAISSANCE

## Valeur économique totale

La valeur économique totale est utilisée pour mesurer les avantages provenant du bien-être humain. Cette nomenclature permet un inventaire exhaustif des bénéfices générés par l'établissement d'une PGB. La figure 1 présente un sommaire de la valeur identifiée pour un bassin versant sous étude. Ce cadre de travail est global et basé sur les principes de la théorie microéconomique. Le calcul des bénéfices est effectué sur les effets marginaux, c'est-à-dire sur la différence entre la situation actuelle et l'application de la PGB, empêchant ainsi une double comptabilité qui compromettrait la validité des estimations.

La double comptabilité survient lorsqu'une valeur attribuée à un BSE provenant d'une PGB est imprécise et est également comptabilisée dans un autre BSE. Par exemple, s'il est considéré qu'une PGB diminue l'érosion dans un cours d'eau, il faut bien distinguer les bénéfices de chacune des composantes de cette amélioration de la qualité de l'eau, par exemple l'amélioration des utilisations récréatives, de ceux reliés à la baignade ou encore à la pêche. La nomenclature de la valeur économique totale permet d'augmenter la précision de l'analyse et ainsi d'éviter ces erreurs de double comptabilité.

Ce procédé analytique sépare les valeurs en quatre types : les valeurs des usages directs, les valeurs des usages indirects, les valeurs d'option et les valeurs de non-utilisation.

Les usages directs sont traditionnellement bien évalués puisqu'ils ont une valeur reconnue dans une transaction de marché. Un exemple concret est celui de la production d'aliments provenant d'activités agricoles. Les produits agricoles sont cotés sur le marché à une valeur reflétant l'offre et la demande du produit.

Les usages indirects sont généralement des processus plus globaux comme la régulation de la température terrestre ou le cycle des éléments nutritifs. Ceux-ci sont essentiels à la survie de l'homme sur terre et ne sont pas directement monnayables sur le marché. Cependant, ils auraient une valeur considérable si on devait y suppléer par des technologies.

La valeur d'option est celle liée à la valeur qu'un individu attribue à la possibilité d'utiliser une ressource naturelle dans le futur. Par exemple, l'existence d'un gisement de minéral n'oblige pas son extraction immédiatement; cependant une valeur peut être attribuée à ce minéral puisque l'option de son extraction revêt une valeur.

La valeur de non-utilisation comprend la valeur intrinsèque et la valeur de legs. La première, l'intrinsèque, est celle de sa simple existence. Par exemple, un individu peut considérer la présence de l'omble de fontaine importante sans nécessairement pêcher ce dernier ou l'observer dans son habitat. La seconde, la valeur de legs, réfère, en reprenant l'exemple de l'omble de fontaine, à la valeur qu'accorde un individu à la pérennité de ce poisson dans le cours d'eau pour les générations futures. Ainsi, un individu attache une valeur au fait que les générations futures bénéficient de la présence de ce poisson dans les cours d'eau.

Puisque les effets économiques des usages directs sont tangibles et se répercutent sur les mesures de comptabilité nationale telles que le PIB, ils sont traditionnellement évalués lors de l'élaboration des politiques. De par cette pratique économique, les gouvernements avaient les outils pour évaluer les effets d'un projet sur la plupart des valeurs d'utilisation directes. Au cours des 40 dernières années, l'amélioration des connaissances relatives aux processus écologiques et l'observation des conséquences, parfois irréversibles, de la destruction des ressources naturelles ont éveillé les consciences en ce qui concerne la valeur d'utilisation indirecte des BSE. Maintenant, ces valeurs sont de mieux en mieux documentées et intégrées à l'intérieur des analyses de projets entrepris par les autorités gouvernementales.

Pour contribuer à ces changements d'orientation, notre étude ajoute au processus d'analyse des valeurs économiques rarement intégrées dans les politiques et elle les illustre. Ainsi, une meilleure compréhension de la valeur économique totale favorise les prises de décisions cohérentes avec la réalité des collectivités vivant sur le territoire (Alam et al., 2014). De telles évaluations sont dorénavant possibles étant donné les avancées de l'expertise de l'évaluation économique des BSE.

L'analyse bénéfices-coûts est une technique qui a fait ses preuves autant dans les domaines privé que public. Cet outil de prise de décision prend en considération les bénéfices et les coûts de l'implantation d'une PGB et en détermine sa pertinence. L'analyse bénéfices-coûts dans un contexte de politique publique revêt certaines complexités, notamment du fait que la distribution du bien-être généré par une politique peut être inégalement distribuée au sein de la société. En effet, dans notre étude de cas, les bénéfices sont partagés dans la collectivité alors que les coûts de mise en œuvre des PGB sont privés, c'est-à-dire engagés par les entreprises responsables de leur implantation. Le coût de l'adoption de ces PGB étant plus important que les bénéfices privés obtenus, les entreprises agricoles manquent de motivation pour mettre en place ces PGB. Bien qu'importante, la comparaison des bénéfices et des coûts reste incomplète si, lors du processus de décision, on omet de considérer les mécanismes de transfert des bénéfices ou des coûts (OCDE, 2014).

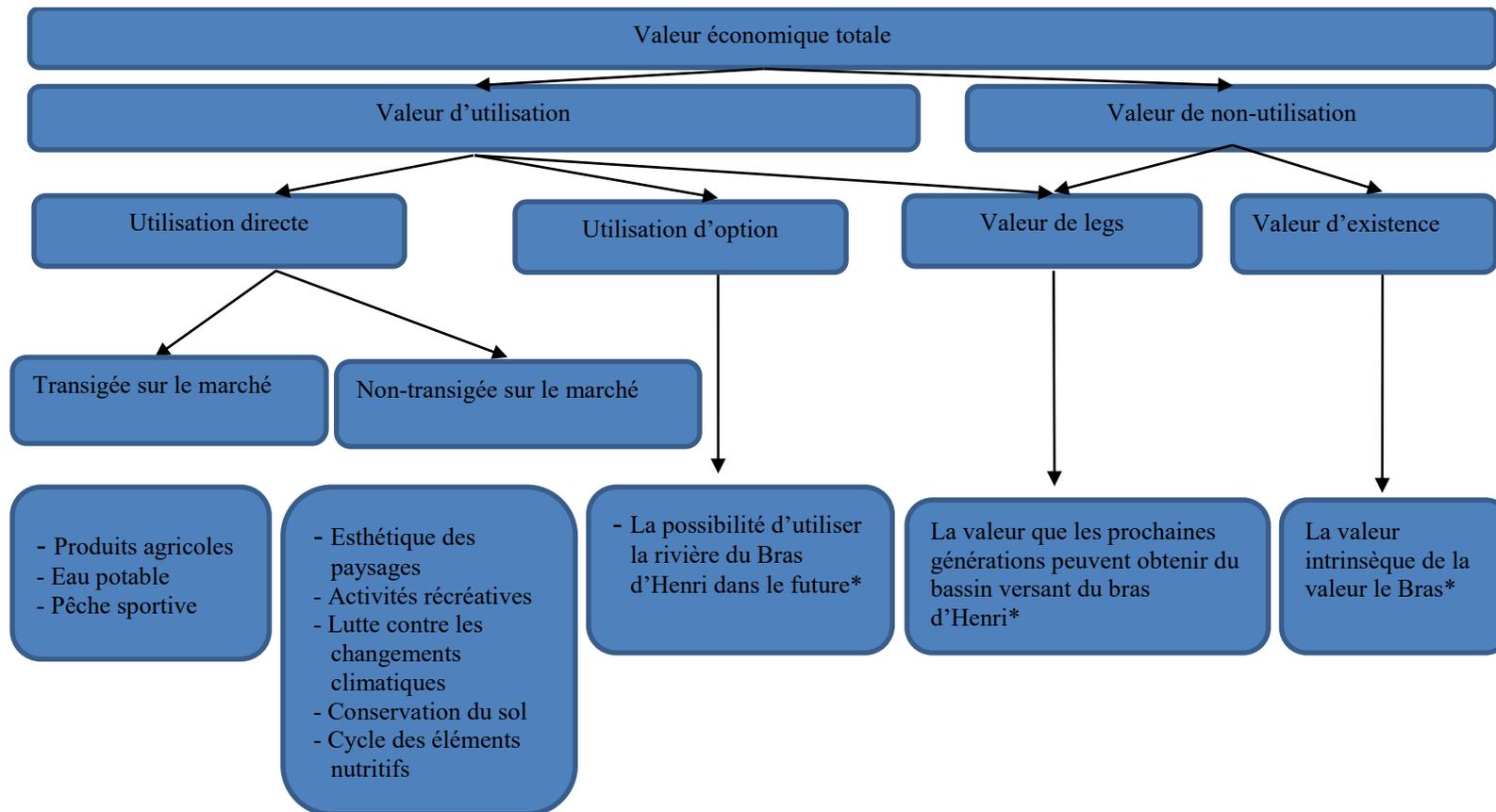
La valeur monétaire est un étalon de mesure pour apprécier le bien-être humain. Celle-ci a plusieurs bénéfices comparativement à d'autres étalons de mesures : notons ceux d'être facilement comparable aux coûts de nouvelles politiques et de faciliter une mesure de bien-être collectif associé aux différentes BSE et possiblement généré par une PGB. La valeur monétaire a cependant ses limites. Le débat juridique de 1989 sur les compensations monétaires à verser à la population pour les pertes de BSE à la suite du déversement de pétrole de l'Exxon Valdez en est une illustration typique. Ce cas fait ressortir deux arguments contre l'utilisation de la valeur monétaire. Le premier est que la valeur d'une vie humaine, une notion se rapportant au bien-être humain, se calcule difficilement en unités monétaires. Ainsi, il apparaît délicat, du point de vue éthique, de traduire certaines notions du bien-être humain en termes de dollars. Le second est que les méthodes économiques traditionnelles sont inappropriées pour estimer des valeurs qui ne sont pas directement monnayables sur le marché. Bien que la première critique reste fondée, les avancées en science économique permettent aujourd'hui de suppléer aux méthodes économiques traditionnelles. De plus, les avantages liés à la comparabilité et à la transitivité des mesures obtenues rendent l'utilisation de la valeur monétaire avantageuse.

L'estimation des bénéfices et des coûts liés à l'implantation d'une PGB est une question préoccupante pour les politiques publiques parce qu'elle traite du lien entre l'élaboration des politiques visant la protection de l'environnement et leur application dans le milieu agricole. La présente étude a la particularité d'être à l'échelle d'un sous bassin versant et de permettre une analyse plus détaillée de cette zone. Les analyses semblables qui peuvent être recensées dans la littérature scientifique se limite généralement à une analyse à plus large échelle et ayant, par le fait même, une plus faible résolution.

Par exemple, une étude du groupe Marbek (2010) utilise une analyse des bénéfices-coûts semblable à celle développée dans le présent travail pour comparer deux stratégies de développement du territoire dans le bassin versant de la rivière Rouge en Ontario. Cependant, nos estimations environnementales sont beaucoup plus précises puisqu'elles ont été étalonnées par des expérimentations sur le terrain et sont issues d'un modèle dynamique qui prend en considération le comportement rationnel des entrepreneurs agricoles.

Une autre recherche visant à évaluer les bénéfices et les coûts des PGB a été réalisée dans le bassin versant de Tobacco Creek au Manitoba (International Institute for Sustainable Development, 2008). Cette recherche a l'avantage de fournir une information détaillée à propos des PGB sélectionnées. Cependant, l'approche du cheminement d'impact utilisée pour évaluer les bénéfices des PGB ne lie que partiellement les impacts environnementaux des PGB aux bénéfices de ceux-ci sur les sociétés touchées. Le modèle utilisé dans notre étude crée un lien basé sur des fondations scientifiques pour dériver les impacts bénéfiques des PGB sur la société.

Figure 1 Nomenclature des composantes de la valeur économique totale pour le Bassin versant du Bras d'Henri (Adapté de Bateman et al. (2003))



\* Ces valeurs sont présentées à titre d'exemple, mais ne sont pas incluses à cette étude.

## **Le concept du coût d'opportunité**

La compréhension du concept du coût d'opportunité est importante dans cette étude puisqu'il est utilisé pour estimer les coûts liés aux PGB. Le coût d'opportunité exprime ce à quoi il faut renoncer, en termes réels, pour produire une unité de bien ou un service (Greenwald, 1984). Illustrons ce concept dans un contexte agricole. Le coût d'opportunité pour produire un hectare de foin supplémentaire est la différence entre la valeur de cette culture et la valeur pour produire, sur la même superficie, une culture comme le maïs. Ainsi, le coût économique réel de production du foin, sur cet hectare, est la valeur des cultures qui ne peuvent être produites sur cette surface de champ parce que les ressources sont dédiées à produire du foin.

Le concept de coût d'opportunité a l'avantage d'être cohérent avec les notions comptables permettant de traduire le choix des entreprises en valeur monétaire. Cette compatibilité est indispensable à la réalisation des objectifs de notre travail. Elle permet de comparer le choix des entreprises dans l'allocation des facteurs de production compte tenu des revenus générés par les activités de l'entreprise. Dans un environnement économique où les entreprises sont en compétition, l'allocation optimale des ressources est primordiale pour la pérennité des entreprises agricoles.

Vu sous l'angle du coût d'opportunité, le manque d'intérêt des entreprises à adopter des PGB dans leurs activités culturelles s'explique facilement. L'implantation des PGB monopolise des facteurs de production qui pourraient être autrement alloués à des activités agricoles qui rapportent de meilleurs revenus. Le coût d'opportunité, pour l'adoption d'une PGB, freine probablement leur adoption par les entreprises. Advenant des mesures gouvernementales favorisant la mise en place de PGB, le coût d'opportunité déterminerait le bénéfice monétaire minimal qu'une entreprise accepterait en échange de la mise en place d'une PGB.

## **Activités agricoles du sous bassin versant du Bras d'Henri**

La description de l'activité agricole utilisée pour le modèle intégré s'appuie sur deux enquêtes menées dans le sous bassin en 2006 et en 2010. Sous forme d'entrevues, les enquêtes ont été réalisées auprès de tous les producteurs qui avaient leur site de production principal dans le bassin versant. Les données chiffrées proviennent du recensement de la production animale dans le bassin versant et des champs qui y sont liés. Un champ qui chevauche la limite du bassin versant est considéré comme contributeur à la qualité de l'eau dans la même proportion qu'un champ qui serait localisé entièrement dans le bassin versant.

Des éléments de l'enquête de 2010 concernant les types de pratiques agricoles, les cheptels et les cultures répertoriés servent de références aux scénarios définis dans les cahiers des charges. Puisque l'activité agricole pratiquée dans le bassin versant est similaire à celle recensée en 2010, notre modèle utilise des données indexées pour l'année 2015. Bien que la composition des élevages ait possiblement évolué durant la période qui s'est écoulée depuis l'enquête, notre rapport se concentre principalement sur les PGB liées aux cultures. Ainsi, les changements dans les élevages du bassin versant ne biaisent pas les résultats.

## **Productions animales et végétales du bassin versant**

La composition des productions animales et végétales du bassin versant a changé durant la dernière décennie en raison d'une concentration de la production du bœuf et du porc et de l'augmentation de la surface en culture consacrée au maïs. Pendant plusieurs années, comme le prix du porc et du bœuf était relativement bas, plusieurs producteurs ont délaissé ces productions. D'autre part, la hausse du prix des grains, notamment celle du maïs, a favorisé l'augmentation des superficies cultivées en culture annuelle dans le bassin versant. Le tableau 1 présente un sommaire du nombre d'entreprises engagées dans les diverses productions animales lors des enquêtes menées en 2006 et en 2010. On constate que les productions porcines et laitières sont les productions animales les plus pratiquées dans le bassin versant. Le tableau 3 présente les superficies cultivées par les entreprises agricoles selon l'enquête de 2010. Notons que la seule culture pérenne adoptée dans le bassin versant est celle du foin. Le maïs est la culture annuelle la plus populaire suivie de celle du soya et des cultures céréalières composées par l'orge, l'avoine et le blé.

Tableau 1 Nombre d'entreprises agricoles dans le bassin versant du Bras d'Henri en 2010

Type de Production animale <sup>1</sup>	Nombre d'entreprises
Vaches laitières	24
Bœufs	8
Porcs (tout type)	38
Avicole	3
Culture seulement	8

<sup>1</sup> Certaines entreprises détiennent plus d'un élevage sur l'exploitation. C'est pour cette raison que le nombre d'entreprises ne correspond pas à l'addition des productions déclarées.

De façon générale, une concentration et une spécialisation des entreprises agricoles peuvent être observées au Québec (Institut de la Statistique du Québec, 2010). Ce phénomène se traduit par une diminution du nombre d'entreprises agricoles sans toutefois qu'on observe une diminution importante des cheptels. La tendance observée dans ce bassin versant est similaire à celle observée au Québec durant la même période, permettant de conclure à la représentativité de ce bassin versant. Le tableau 2 présente le nombre d'animaux déclarés par les producteurs de ce bassin versant lors de l'enquête de 2010 qui est utilisé dans le modèle intégré.

Tableau 2 Inventaire des animaux déclarés lors de l'enquête effectuée en 2010 dans le sous bassin versant du Bras d'Henri

Type d'animaux	Nombre de têtes	Moyenne par entreprise
Vaches laitières, taures et génisses	2 125	97
Vaches à bœuf	432	72
Bouvillons	2 892	482
Porcs d'engraissement	62 095	1 774
Truies	10 007	303
Porcelets	25 453	878
Verrats	48	2
Poulets à griller	91 000	30

Tableau 3 Inventaire des cultures déclarées lors de l'enquête effectuée en 2010 dans le sous bassin versant du Bras d'Henri

Type de production végétale	Superficie cultivée (hectares)
Foin	1 131
Maïs	764
Blé	11
Avoine	223
Orge	20
Soya	425

## PGB en place

Les PGB qui ont été observées dans le bassin versant lors du sondage peuvent être catégorisées selon la motivation des producteurs à adopter ces PGB. Les trois catégories qui ont été identifiées sont la rotation des PGB qui découlent de la réglementation ainsi que celles qui découlent de la production biologique. Dans le cas de la rotation, les producteurs adoptent cette pratique pour des raisons de gestion ou de rentabilité. En effet, il est reconnu par les producteurs qu'une rotation adéquate peut améliorer la situation financière des entreprises en diminuant la pression des maladies liées aux cultures et en améliorant les rendements. L'adoption de ce type de pratique est principalement motivée par l'amélioration financière. Dans le cas des PGB réglementées, la motivation des producteurs est principalement externe et provient des mesures pécuniaires comme les amendes. La production biologique est généralement motivée par les avantages environnementaux et financiers que ce marché procure.

## **Rotation**

Une variabilité dans les rotations de cultures a été observée lors de l'enquête faite auprès des producteurs. Elle réside dans la composition des élevages : les agriculteurs sélectionnent les cultures avant tout selon les besoins en alimentation des élevages. Lorsque l'entreprise ne gère pas d'élevage, elle considère principalement la valeur marchande des cultures et les contraintes agronomiques pour choisir la rotation.

Concernant la rotation de cultures de façon générale, les fermes laitières typiques qui n'utilisent pas de maïs ensilage ont une rotation céréales-légumineuse-foin-foin. Celles qui l'incluent à la ration alimentaire pratiquent une rotation maïs ensilage-maïs ensilage-légumineuse-foin. Dans la production de bœuf, la principale production est le foin. Dans le cas des producteurs de porcs ou sans production animale, la rotation la plus observée est maïs-maïs-maïs-soya. Néanmoins, certains incorporent des grains comme l'orge ou le blé dans la rotation pour diminuer la pression des mauvaises herbes et améliorer la structure du sol. De plus, l'échange de champs entre producteurs semble être une pratique de plus en plus courante. Celui-ci facilite et accroît la rotation de cultures tout en comblant les besoins alimentaires des différentes entreprises agricoles.

Les pratiques culturales sont cependant beaucoup plus uniformes. Bien que certains producteurs disent souhaiter adopter des pratiques de semis direct ou de travail minimum du sol, les producteurs interrogés utilisent le labour comme travail du sol.

## **Pratiques de gestion bénéfique réglementées**

Lors de l'enquête, les producteurs ont affirmé respecter la réglementation exigeant l'établissement de certaines PGB sur les exploitations agricoles. Les principales pratiques réglementées sont édictées par le Règlement sur les exploitations agricoles (Éditeur officiel du Québec, 2017). La présence d'une bande riveraine de trois mètres, le retrait de l'accès des animaux aux cours d'eau ainsi que l'utilisation d'une structure d'entreposage étanche et la valorisation des déjections animales sont des pratiques respectées par les entreprises du bassin versant.

## **Mode de production biologique dans le bassin versant**

L'enquête de 2010 n'a pas identifié d'entreprises qui pratiquaient un mode de production biologique. Elles adoptent les PGB exigées par la loi et les règles de mises en marché, mais sans ajouter de cahiers des charges plus contraignants tels ceux exigés par le mode de production biologique.

## **Les biens et services écologiques fournis dans le sous bassin versant**

Les BSE identifiés dans le bassin versant sont liés à trois éléments essentiels : l'eau, l'air et l'esthétique. L'amélioration de la qualité de l'eau apporte des BSE autour du Bras d'Henri. Les BSE de ce milieu, de par la nature du cours d'eau principal et de sa situation géographique, se rapportent à la qualité de l'eau potable et des activités comme la baignade et la pêche sportive.

Le débit limité du Bras d'Henri ne permet pas de fournir des BSE tels que la navigation ou la récolte de mollusques pour la consommation humaine. Le seul BSE lié à l'air qui a été identifié dans le bassin versant est la séquestration du carbone. Finalement, les BSE liés à l'aspect esthétique sont l'augmentation et la conservation de la biodiversité et des attributs esthétiques du paysage. Les PGB sélectionnées pour cette étude et qui sont présentées au tableau 4 ont la capacité de fournir une amélioration de ces BSE.

## **Les pratiques de gestion bénéfique étudiées (PGB)**

La présente étude a utilisé une modélisation ayant pour hypothèse l'adoption des pratiques au cahier des charges. Les producteurs participant à cette recherche doivent répondre aux exigences d'un cahier des charges qui prescrit la nature et le niveau de PGB à atteindre. Les PGB ont été sélectionnées pour assister le MAPAQ dans ses interventions environnementales. Le critère principal du choix des PGB est le rapport équilibré entre l'effet environnemental et leur coût d'adoption, qui doit rester raisonnable. Dans un

deuxième temps, la liste a été épurée en éliminant les PGB qui avaient un effet environnemental similaire et celles qui étaient trop compliquées à implanter.

Les bénéfices et les coûts privés d'adoption des PGB ont été établis suivant des sources d'informations fiables comme le CRAAQ et bonifiées par des ingénieurs et des agronomes afin de préciser la justesse des estimations budgétaires.

Deux cahiers des charges sont proposés aux agriculteurs : un cahier des charges de base, comprenant les PGB 3 à 6 présentées au tableau 4, et un second, bonifié, auquel sont ajoutées les PGB 7 et 8. Ainsi, le cahier des charges de base comprend un groupe de PGB permettant une amélioration notable de la qualité de l'environnement :

- bande riveraine herbacée et arbustive de dix mètres;
- travail minimum du sol (régie en semis direct);
- situation actuelle avec rotation de cultures (maximum de 33 % de la superficie en une seule culture excepté pour le foin);
- aménagement d'un bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise.

Le cahier des charges bonifié ajoute deux PGB au cahier des charges de base :

- bande herbacée d'un mètre en bordure des fossés;
- assolement d'un minimum de 25 % des superficies cultivées en cultures pérennes.

L'addition de ces deux PGB apporte des BSE d'un niveau supérieur à celui du cahier des charges de base, mais à un coût d'adoption supérieur. En adhérant à un cahier des charges, les entreprises agricoles implantent simultanément les PGB incluses au cahier des charges sur l'ensemble de leur exploitation.

Tableau 4 PGB retenues dans le cadre de l'étude

	PGB adoptée	Niveau initial	Bénéfice ou coût privé	Effet sur les BSE
1	Bande riveraine herbacée de 10 m Établissement naturel de plantes herbacées sur une largeur minimale de 10 mètres en bordure des cours d'eau	Bande riveraine de 3 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût d'opportunité de la surface en culture</li> <li>● Coût d'entretien</li> <li>● Coût d'implantation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction potentielle de polluants pour l'eau. La réduction est considérée homogène pour tout type de cultures.</li> <li>● Captage potentiel de gaz à effet de serre</li> <li>● Amélioration du paysage</li> </ul>
2	Bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 m : Établissement d'arbres sur une largeur minimale de 10 mètres en bordure des cours d'eau	Bande riveraine de 3 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût d'opportunité de la surface en culture</li> <li>● Coût d'entretien</li> <li>● Coût d'implantation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction potentielle de polluants pour l'eau. La réduction est considérée homogène pour tout type de cultures.</li> <li>● Captage potentiel de gaz à effet de serre</li> <li>● Amélioration du paysage</li> </ul>
<b>Cahier de charges de base</b>				
3	Bande riveraine herbacée et arbustive indigène de 10 m : Établissement naturel de plantes herbacées et d'arbustes et sur une largeur minimale de 10 mètres en bordure des cours d'eau	Bande riveraine de 3 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût d'opportunité de la surface en culture</li> <li>● Coût d'entretien</li> <li>● Coût d'implantation supérieur à la bande riveraine herbacée de 10 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction potentielle de polluants pour l'eau. La réduction est considérée homogène pour tout type de cultures.</li> <li>● Captage potentiel de gaz à effet de serre</li> <li>● Amélioration du paysage</li> </ul>
4	Travail minimum du sol (régie en semis direct) : Couverture permanente des sols cultivés (résidus de culture ou végétal), abandon du travail de sol à l'automne et réduction du travail de sol au printemps	Production avec labour	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bénéfice privé lié à l'augmentation de rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction potentielle de polluants pour l'eau. Varie selon le type de culture.</li> <li>● Captage potentiel de gaz à effet de serre. L'hypothèse soutenue est que la diminution est homogène pour toutes les cultures.</li> </ul>
5	Rotation de cultures annuelles (maximum de 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	Rotation suivant la déclaration faite par les producteurs lors de l'enquête	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Coût d'opportunité lié au changement de culture</li> <li>● Bénéfice privé lié à l'augmentation de rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Réduction potentielle de polluants pour l'eau. Varie selon le type de culture sélectionné.</li> </ul>

6	Établissement de bassins de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	Aucun aménagement hydroagricole en place	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût de construction et d'entretien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction potentielle de polluants pour l'eau. Puisque ce type d'aménagement est ponctuel, il a été prévu que chaque entreprise aménage un bassin de sédimentation dans le bassin versant occupant le plus d'espace dans leurs champs.</li> </ul>
<b>Cahier de charges bonifié</b>				
7	Bande herbacée de un mètre en bordure des fossés : Établissement naturel de plantes herbacées sur une largeur de un mètre en bordure des fossés	Aucune bande herbacée en bordure des fossés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût d'opportunité de la surface en culture</li> <li>• Coût d'entretien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction potentielle de polluants pour l'eau. La réduction est considérée homogène pour tout type de cultures.</li> <li>• Captage potentiel de gaz à effet de serre</li> <li>• Amélioration du paysage</li> </ul>
8	Assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	Assolement sans contraintes culturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût d'opportunité lié au changement de culture</li> <li>• Bénéfice privé lié à l'augmentation de rendement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction potentielle de polluants pour l'eau.</li> <li>• Captage potentiel de gaz à effet de serre</li> <li>• Amélioration du paysage.</li> </ul>

## Rotation des cultures annuelles

Les études évaluant l'effet des rotations des cultures sur le rendement agricole tendent à démontrer que les rotations augmentent la productivité des cultures (Tremblay, 2016). Toutefois, une variabilité marquée dans les résultats de ces recherches est observée et se greffe à cela des différences quant aux types de rotations effectuées. Dans le cadre de notre étude, pour favoriser l'homogénéité des résultats, les catégories sont limitées à deux niveaux de rendements : les cultures sans rotation et les cultures avec rotations (PGB no 5).

Les données sur le rendement régional de culture (2010-2014) sont celles recueillies par la Financière agricole du Québec (2014) à des fins d'assurance récolte. Les augmentations de rendement retenues pour la simulation sont présentées au tableau 5, et la valeur et les coûts des cultures le sont respectivement au tableau 13 et au tableau 6.

## Régie en semis direct

L'effet des cultures sur l'émission des polluants est estimé à partir du modèle Rousseau et al. (2013), qui tient compte des résidus au sol pour déterminer la qualité et la quantité des émissions de polluants hydriques pour les diverses cultures en régie conventionnelle et en travail minimum du sol. Les estimations utilisées sont similaires à celles d'autres recherches telles que Tiessen et al. (2010) et Gaynor et Findlay (1995). Les émissions polluantes sous régie culturale conventionnelle et sous semis direct sont modélisées selon les caractéristiques des champs et des cultures.

Lors d'une rotation de cultures, une majoration des rendements du maïs et du soya est considérée. Aussi, cette rotation peut inclure des céréales (orge, avoine, blé) ou des plantes fourragères (foin). Le tableau 5 présente la majoration de rendements retenus pour le modèle. Ceux-ci sont basés sur une moyenne de rendements observés dans les recherches présentées par Coulter et al. (2011) et Munkholm et al. (2013). Le peu d'informations disponibles à propos du rendement d'autres cultures comme l'avoine empêche de tirer des conclusions sur de possibles effets des rotations. Les rendements sont donc estimés être équivalents pour l'avoine, l'orge et le blé, avec ou sans rotation.

Les données du tableau 6 présentent les coûts de production selon deux pratiques culturales : la régie avec labour et la régie en semis direct. Afin d'obtenir des estimations comparables pour ces deux régies, uniquement les coûts liés aux opérations culturales intensives comme le labour ont été soustraits des coûts du budget d'exploitation<sup>1</sup>. Cette approche dégage les points évidents de comparaison entre les deux régies.

---

<sup>1</sup> Nous posons l'hypothèse qu'il n'y a pas de différence des coûts liés à l'utilisation de pesticides entre les deux modes de régie.

Tableau 5 Effets des types de rotation sur les rendements (kg/ha) dans le bassin versant du Bras d'Henri

Culture	Sans rotation <sup>1</sup>	Avec rotation <sup>2</sup>	Avec rotation et semis direct <sup>3</sup>
Foin	6 646	6 646	6 646
Maïs	5 863	6 962	7 083
Maïs Ensilage	14 084	16 725	17 013
Avoine	2 289	2 289	2 289
Orge	2 178	2 178	2 178
Blé	2 323	2 323	2 323
Soya	2 406	3 084	3 084
Canola	1 588	1 588	1 588

<sup>1</sup> Données provenant de la Financière agricole du Québec (2014).

<sup>2</sup> Majoration estimée à partir des données fournies par la moyenne des résultats des recherches de Van Eerd et al. (2013), Munkholm et al. (2013), Coulter et al. (2011), Stanger and Lauer (2008) et Tremblay (2016).

<sup>3</sup> Majoration estimée à partir des données fournies par la moyenne des résultats des recherches de Coulter et al. (2011) et Munkholm et al. (2013).

Tableau 6 Coûts de production retenus pour les cultures en régie conventionnelle et en semis direct

Culture	Culture avec labour (\$/ha)	Culture régie en semis direct (\$/ha)
Foin	747	747
Maïs	1095	1000
Maïs ensilage	1362	1303
Avoine	772	692
Orge	902	822
Blé	894	814
Soya	941	805
Canola	760	680

Sources : Statistique Canada (Beauregard, 2011; Agri-Réseau, 2009)

## Bandes riveraines et enherbées

Selon le modèle de Gumiere et al. (2013), l'efficacité environnementale de la bande riveraine dépend de la largeur de la bande, de la pente et du type de sol. Plusieurs caractéristiques de la bande riveraine, comme sa composition et le flux de sédiments qui la traverse, affectent son efficacité. Son coût d'implantation varie significativement selon ses caractéristiques. Considérant cette variation, trois scénarios de bandes riveraines sont présentés.

Premier scénario : bande riveraine herbacée passant de 3 mètres à 10 mètres

Cette bande riveraine est composée de plantes herbacées. Le coût d'implantation est basé sur les travaux du CRAAQ (2007) présentés au tableau 7.

Tableau 7 Coûts estimés des bandes riveraines enherbées

Largeur de la bande riveraine	Coût d'établissement
3 mètres herbacés	60 \$ par 1000 mètres linéaires <sup>1</sup>
10 mètres herbacés	198,05 \$ par 1000 mètres linéaires <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Source : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (2007)

Deuxième scénario : bande riveraine arbustive passant de 3 à 10 mètres avec plantation d'arbres

Cette bande riveraine est composée d'arbres plantés. Le coût lié à l'implantation d'une telle bande riveraine est basé sur le coût d'établissement d'une haie brise-vent naturelle donné par le Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (2008). Ces valeurs ont été validées par les travaux de Lussier (2010) et sont présentées au tableau 8.

Tableau 8 Coûts d'établissement estimés pour les bandes riveraines arbustives

Largeur de la bande riveraine	Coût d'établissement
3 mètres arbustifs	2500 \$ par 1000 mètres linéaires <sup>1</sup>
10 mètres arbustifs	5260 \$ par 1000 mètres linéaires <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Source : Centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec (2008)

Troisième scénario : bande riveraine enherbée de 3 ou 10 mètres avec colonisation d'arbres indigènes

Cette bande riveraine est composée de plantes herbacées où poussent spontanément des espèces d'arbres et arbustes indigènes comme la viorne (*Viburnum trilobum*), la spirée (*Spirea latifolia*) et le thuya (*Thuja occidentalis*) (Gumiere et al., 2013). Le coût d'implantation est basé sur les travaux du CRAAQ (2007) présentés au tableau 8. Il est prévu que l'inclusion des espèces ligneuses à la bande riveraine sera faite sans plantation et donc sans coûts supplémentaires pour les producteurs. De plus, comme les espèces qui colonisent cet espace sont exclusivement spontanées, il n'y a pas de récoltes prévues dans cette bande riveraine.

Dans le cas de l'adoption du cahier des charges bonifié, les producteurs choisissent une bande herbacée de un mètre, située en bordure des fossés c'est-à-dire sur le côté le plus bas du champ. Ce type de bande riveraine est une addition à ce qui est demandé par les règlements en place parce qu'il s'applique aux fossés et non aux cours d'eau. Selon les conclusions de certaines recherches, cette bande herbacée additionnelle a la capacité de diminuer significativement les émissions de polluants hydriques (Reichenberger et al., 2007). Les valeurs utilisées pour une bande herbacée de un mètre proviennent du modèle de Gumiere et al. (2013).

### **Aménagements hydroagricoles (bassins de sédimentation)**

Ces aménagements hydroagricoles agissent comme bassins de stockage d'eau et de sédimentation qui retiennent les sédiments des émissions polluantes qui ruisselleraient lors des précipitations. Les conclusions des recherches sur ce sujet font état de niveaux d'émission initiale de sédiments, de phosphore et d'azote respectivement réduits de 65 %, de 40 % et de 30 %. Ces estimations sont retenues pour le modèle hydrique (résultats de recherche rapportés dans MAPAQ, 2014).

La superficie estimée pour capter les sédiments d'un sous bassin versant de 10 hectares est de 10 mètres sur 50 mètres ou de 500 mètres carrés (Roy, 2015). Le coût d'établissement d'un tel ouvrage avoisine les 420 \$ par hectare de champs. Considérant à la fois un taux d'actualisation de 3 % et une vie utile de l'aménagement de 10 ans, son coût annuel, en incluant le coût en capital, se chiffre à 47,80 \$/ha par année.

## MÉTHODE

L'étude est basée sur un modèle intégré d'optimisation dynamique pour estimer l'impact des facteurs économiques et environnementaux en cause, lors de l'implantation de nouvelles PGB, sur le fonctionnement des entreprises agricoles impliquées dans ces changements. Ce processus est dit intégré puisqu'il superpose les multiples données de ces deux ensembles de facteurs dans le sous bassin versant du Bras d'Henri de la rivière Beaurivage.

Une optimisation dynamique est utilisée pour anticiper comment les entreprises agricoles réagiraient face à la décision d'implanter de nouvelles PGB. La technique d'optimisation dynamique qui a été construite permet de simuler la décision des entreprises en prenant en compte les différentes contraintes auxquelles elles font face.

L'aspect environnemental concerne les données hydriques, de captage de GES, esthétiques et de biodiversité, qui sont toutes identifiées géographiquement. Du point de vue économique, les données proviennent d'une enquête sur les entreprises agricoles du sous bassin versant.

Le modèle d'analyse économique, construit initialement pour évaluer la pertinence d'un système d'échanges d'émissions polluantes hydriques (Roy et al., 2013) a été modifié pour s'ajuster au double objectif de la présente recherche, soit, à la suite de l'implantation des PGB, d'évaluer le coût privé de l'implantation et de calculer la diminution d'émissions polluantes quant à l'amélioration des BSE inhérents aux pratiques agricoles.

L'implantation des PGB est étudiée à trois niveaux : 1) sans aucune adoption de PGB supplémentaire, ce qui est appelé la situation actuelle, 2) avec l'adoption du cahier des charges de base et 3) avec l'adoption du cahier des charges bonifié. Les PGB sont aussi présentées individuellement pour permettre d'isoler leur contribution à l'amélioration environnementale.

L'analyse environnementale se penchera sur trois facettes de la valeur économique totale :

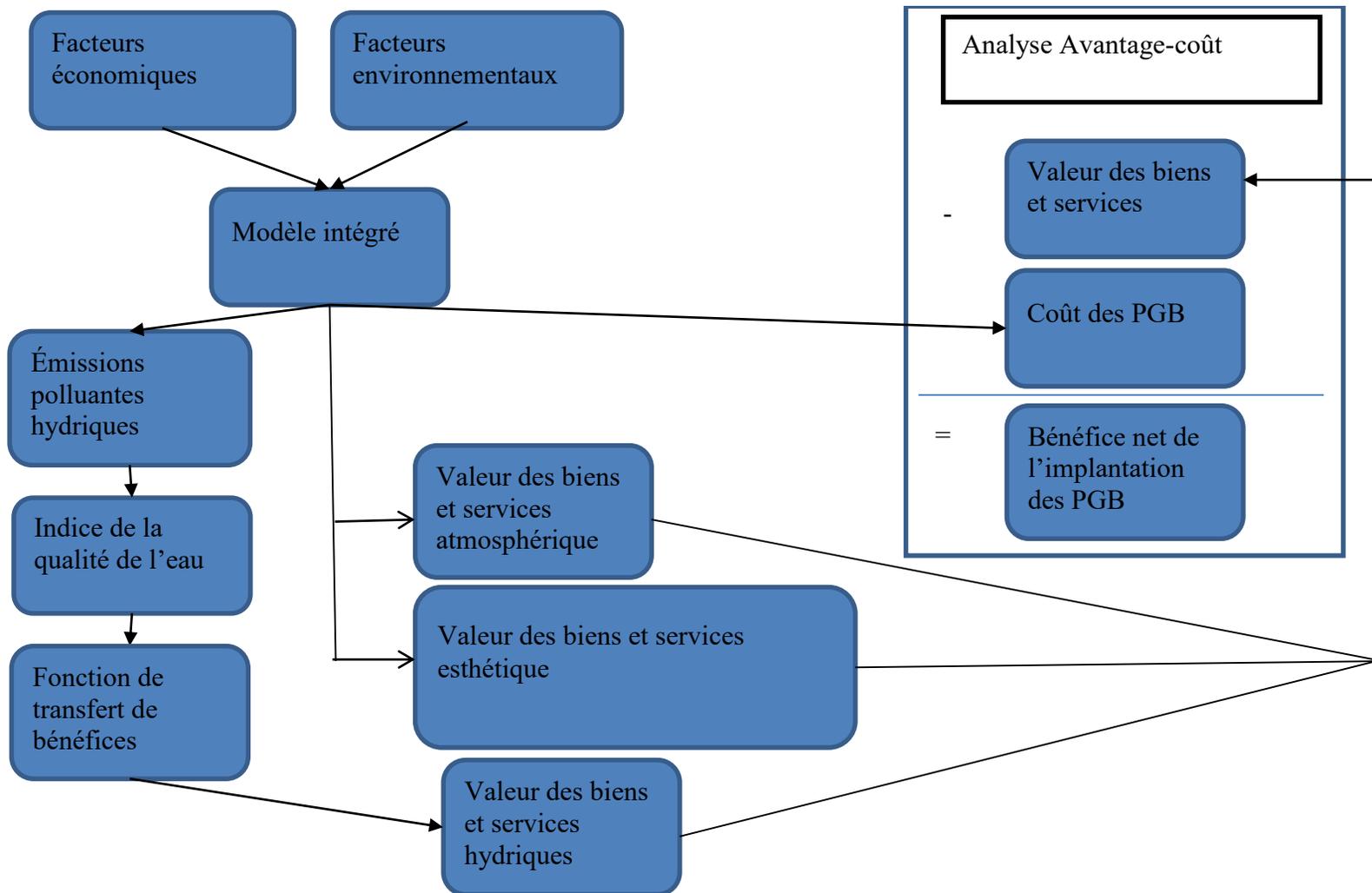
- L'analyse hydrique précisera les niveaux d'émissions polluantes, qui seront comparés à ceux de la qualité de l'eau pour déterminer le niveau de BSE possible dans le sous bassin versant.
- L'analyse du captage des GES exposera leurs valeurs, qui seront estimées par celles du crédit carbone sur les marchés.
- L'analyse de l'esthétique du paysage génère ses valeurs à partir d'une enquête ayant mesuré la volonté de payer des individus pour un paysage agricole.

Les BSE ainsi mesurés sont ensuite transformés en bénéfices publics. Cette opération permettra de calculer l'analyse coûts-bénéfices de l'adoption de ces PGB sur le bien-être des populations évoluant dans ce bassin versant.

La comparaison des bénéfices publics et des coûts privés est faite en utilisant un ratio bénéfices-coûts pour permettre de déterminer si les investissements dans la PGB sont compensés par l'augmentation de bien-être humain issu de l'amélioration des BSE dans le bassin versant.

La figure 2 schématise notre méthodologie. Pour simplifier la compréhension de cette section, la description des méthodes utilisées a été subdivisée en sous-modèles.

Figure 2 Schéma de la méthode utilisée dans le cadre de cette recherche



## Modèle hydrique

Les émissions de polluants varient selon des épisodes climatiques tels que les précipitations ou la fonte de la neige. Comme il apparaît difficile de mesurer ces sources irrégulières de pollution de l'eau provenant de l'agriculture, cette opération représente un défi. De plus, le type d'activité agricole, la nature et la composition du sol accentuent l'hétérogénéité des émissions résultantes (Shortle et Horan, 2013). La réalisation de la modélisation dans la zone d'étude a par conséquent nécessité un effort soutenu et une collaboration étroite avec des hydrologistes.

Le modèle hydrique nommé GIBSI (gestion intégrée par bassin versant à l'aide d'un système informatisé) se compose de plusieurs sous-modèles de simulation : hydrique érosion des sols, transport des produits chimiques agricoles et qualité de l'eau. S'y ajoute un module de gestion sur l'utilisation des terres, des systèmes de production agricole et des modules sur la gestion de réservoir (Salvano et al., 2006; Rousseau et al., 2005 et 2000; Mailhot et al., 2002). GIBSI utilise le modèle Hydrotel (Fortin et al., 2001), basé sur un SIG pour calculer le processus pluie-débit. Ensuite, cette information est intégrée au modèle RUSLE, défini comme l'équation de transport des sédiments (Revised Universal Soil Loss Equation; Wischmeier et al., 1978; Renard et al., 1997). Précisons que les coefficients de pollution utilisés dans le modèle économique proviennent du modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) et des algorithmes de transport (Singh, 1995) et EPIC (Sharpley et Williams, 1990).

Pour estimer les situations de ruissellement, le modèle GIBSI utilise les tendances climatologiques. Cela permet d'avoir de l'information sur les épisodes de pollution, lesquels sont incorporés au modèle intégré. Ainsi, les émissions de chaque culture sont modélisées pour chaque champ et chaque mode de gestion, selon leur spécificité. Pour compléter cette opération, GIBSI tient compte du processus stochastique impliqué dans le phénomène de pollution agricole diffuse (Shortle et Horan, 2013).

Les unités hydriques construites respectent la topographie. Toutefois, ces unités ne sont pas reliées aux limites des champs utilisées pour la gestion quotidienne des producteurs agricoles. Ainsi, chaque champ a sa propre unité hydrique assignée et, s'il y en a plus d'une dans le champ, celle qui est prédominante est utilisée pour évaluer la contribution de ce champ. Les émissions polluantes sont calculées pour chaque culture et chaque pratique agricole.

## Indice de la qualité de l'eau

L'indice de qualité de l'eau est utilisé pour évaluer et modifier les charges polluantes calculées au moyen du modèle hydrique en BSE. Cet indice a été développé par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (gouvernement du Canada, 2011). Il représente la meilleure base de données scientifique disponible dans le contexte canadien pour calculer la qualité de l'eau. Pour effectuer ce calcul, les principaux polluants sont standardisés par un sous-indice gradué entre zéro et cent, lequel marque la limite de BSE produits par ce niveau de polluants (Hébert, 1996). Les minimums des sous-indices révèlent l'indice global de qualité de l'eau et identifient le polluant générant le sous-indice minimal comme le facteur limitant la qualité de l'eau (Smith, 1990).

Un tel indice a l'avantage d'évaluer, par une mesure composée, la qualité de l'eau d'un cours d'eau. De plus, l'indice global identifie le facteur limitant qui contraint la fourniture de BSE supplémentaires. Dans le contexte du présent projet, l'indice de qualité de l'eau permet d'évaluer les facteurs limitants dans le bassin versant et indique comment les PGB peuvent améliorer la fourniture de certains BSE.

Pour se conformer à l'échelle de la qualité de l'eau de Resource For the Future (Vaughan, 1986) le calcul de l'indice de la qualité de l'eau de Hébert (1996) est divisé par 10. Le tableau 9 présente les BSE selon les niveaux minimaux d'indice de qualité de l'eau. Ensuite, ce calcul est utilisé dans la méta-analyse pour déterminer la valeur de BSE résultant de l'amélioration de la qualité de l'eau.

Tableau 9 BSE fourni selon la valeur de l'indice de la qualité de l'eau

BSE fourni	Valeur d'indice de la qualité de l'eau	Classe de qualité
Potable sans traitement	9,5	Bonne
Baignade	7	Satisfaisante
Pêche sportive	5	Douteuse
Pêche occasionnelle	4,5	Douteuse
Kayak et navigation	2,5	Mauvaise

Source : Vaughan (1986)

Les mesures des polluants proviennent de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique et ont été comptabilisées par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques entre 2012 et 2014. Le tableau 10 présente un sommaire des médianes de ces polluants ainsi que le sous-indice médian. De cette manière, toute variation d'émission de polluants hydriques, calculée à la suite de l'adoption de PGB, fait varier les valeurs de qualité de l'eau de la situation actuelle. Rappelons que l'indice actuel de la qualité de l'eau dans le milieu à l'étude est de 4,5, c'est-à-dire une eau considérée de mauvaise qualité.

Tableau 10 Indicateurs de la qualité de l'eau enregistrés à la station du Bras d'Henri au pont de la route Saint-Michel au nord-est de Saint-Narcisse (station BQMA numéro 2340099) entre mai 2012 et octobre 2014<sup>1</sup>

Indicateur	Valeur médiane	Unité	Sous-indice
Coliformes fécaux	310	UFC/100 ml	7.6
Chlorophylle a active	6.3	µg/l	7.6
Azote ammoniacal	0.035	mg/l	9.8
Nitrates et nitrites	1.65	mg/l	4.5
Phosphore total	0.057	mg/l	5.7
Solides en suspension	5.5	mg/l	8.3

Sources : <sup>1</sup>Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (2014)

Afin de rendre l'indice de qualité de l'eau des charges polluantes compatible avec le modèle hydrique, deux hypothèses ont été retenues :

- 1) La réduction des charges polluantes observées à l'aide du modèle hydrique est proportionnelle à la réduction de concentration observée à la suite de l'adoption des cahiers des charges. La charge des polluants générés est calculée à la sortie du champ dans le modèle hydrique tandis que les échantillons sont prélevés à l'embouchure du cours d'eau.
- 2) Bien que plusieurs processus biophysiques se produisent dans le cours d'eau, la deuxième hypothèse soutient que la mesure de polluants est la somme des polluants calculés à la sortie du champ. Les recherches ont démontré que la quantité de polluants peut sensiblement changer entre ces deux points de prélèvement (Rousseau et al., 2013). Cependant, puisque le modèle hydrique est dérivé d'un modèle déjà calibré, les valeurs observées par cet outil sont considérées comme une estimation réaliste des valeurs observées (Rousseau et al., 2013).

## Modèle de captage des GES

Quelques PGB étudiées dans ce projet permettent le captage des émissions de GES. Ainsi, selon le modèle de captage des GES, le captage supplémentaire des GES issus des PGB incluses aux cahiers des charges est considéré comme un bénéfice public équivalant à la valeur d'échange d'un crédit compensatoire (ministère

du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2015). Cette valeur d'échange est la plus représentative des valeurs accordées à la capture des GES au Québec.

Les données de séquestration du carbone attribuées aux bandes riveraines herbacée et arbustive incluses aux cahiers des charges sont basées sur les travaux de Bailey et al. (2009), Bremer et al. (1998), Tufekcioglu et al. (2003) et Desjardins et al. (2005). La bande riveraine arbustive est composée de plantes herbacées où poussent spontanément des espèces d'arbres et arbustes indigènes comme la viorne (*Viburnum trilobum*), la spirée (*Spiraea latifolia*) et le thuya (*Thuja occidentalis*) (Gumiere et al., 2013). Bien que la séquestration soit dépendante de plusieurs facteurs tels le climat et la fertilité du sol, des valeurs moyennes sont utilisées pour les différentes PGB des cahiers des charges. Celles-ci sont présentées au tableau 11.

Tableau 11 Valeurs du captage des gaz à effet de serre retenues pour le modèle de capture de GES

PGB	Captage supplémentaire de GES (Mg/ha par année)
Bande riveraine herbacée <sup>1</sup>	0,4845
Bande riveraine arbustive <sup>2</sup>	0,4505
Conversion de cultures en prairies <sup>3</sup>	1,01
Ajout de légumineuses dans les rotations <sup>3</sup>	0,75
Conversion de la régie conventionnelle au semis direct <sup>3</sup>	0,27

<sup>1</sup> Sources : Moyennes estimées à partir de Bailey et al. (2009), Tufekcioglu et al. (2003) et Bremer et al. (1998).

<sup>2</sup> Source : Moyennes estimées à partir de Bailey et al. (2009) et de Tufekcioglu et al. (2003) en considérant la période de croissance nécessaire de la bande riveraine pour qu'elle atteigne sa maturité.

<sup>3</sup> Source : Desjardins et al. (2005).

## Modèle esthétique du paysage

L'analyse esthétique et de la biodiversité est exclusivement appliquée à la modification des bandes riveraines du bassin versant. Dans leur recherche, Doyon et al. (2015) ont évalué la volonté de payer des citoyens pour améliorer le paysage agricole par l'établissement de bandes riveraines arbustives. Leur méthode sert de base pour estimer la valeur des biens et des services liés à l'amélioration esthétique des paysages agricoles du bassin versant. La volonté de payer est nécessaire pour déterminer la valeur de l'esthétique des paysages puisqu'il n'existe aucun marché établi pour ce type de BSE.

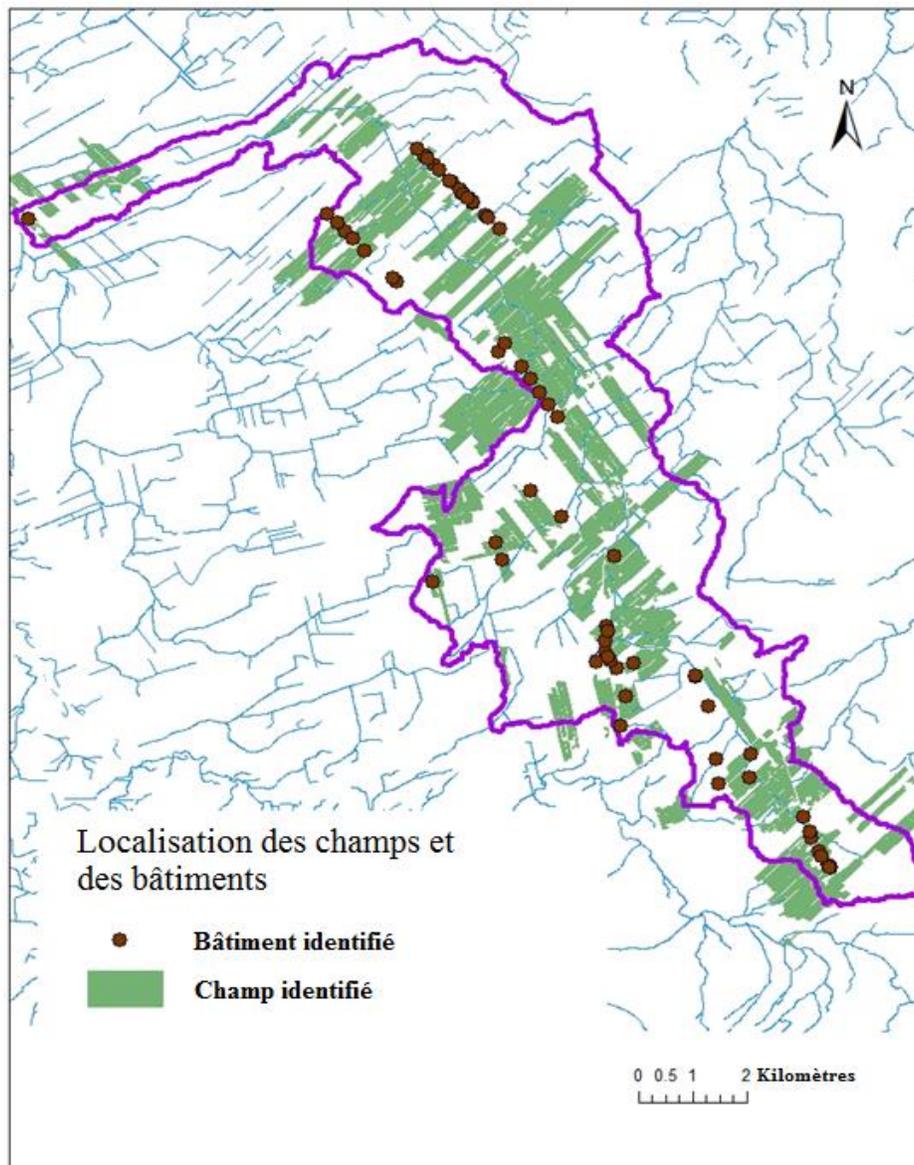
## Modèle économique

Pour l'analyse économique, le modèle d'optimisation sectoriel utilisé fait la simulation que les entreprises agricoles agissent comme des unités décisionnelles indépendantes. Ce modèle de gestion favorise la représentation des décisions d'une entreprise qui vise à maximiser son profit malgré les contraintes d'opérations et législatives (McCarl, 1982). Cette information permet de générer la décision optimale que le producteur agricole devrait prendre en considérant les budgets des cultures, les budgets des élevages ainsi que les contraintes liées à l'exploitation.

Cette modélisation permet d'anticiper la réaction des entreprises agricoles face aux changements législatifs et ainsi d'aider à l'élaboration de politiques plus efficaces. C'est pourquoi le modèle d'optimisation sectoriel s'avère un outil analytique fiable pour évaluer les décisions des entreprises agricoles qui veulent intégrer de nouvelles PGB. Ce type de modèle est utilisé dans divers domaines d'analyse économique, par exemple la prise de décisions dans un contexte d'ouverture de barrières commerciales (Adams et al., 1999) ou de réactions de l'offre agricole face à l'évolution de la politique des biocarburants (Chen and Önal, 2012).

L'analyse économique repose sur l'enquête chez les agriculteurs de 69 fermes du bassin versant. Des 82 fermes identifiées, 13 ont été exclues du modèle d'optimisation; certaines étaient en location ou encore leurs champs étaient situés hors du bassin versant. Dans la figure 1, les points de couleur orange identifient la principale localisation des bâtiments des opérations, et les polygones verts identifient les champs cultivés. Au cours du printemps 2010, les enquêteurs ont recueilli des informations détaillées sur la composition des fermes : les cultures, l'inventaire du bétail, les PGB utilisées et la localisation des champs. Ces données ont été jointes au modèle économique et complétées par des données économiques pertinentes. L'information économique relative aux pratiques agricoles provient de sources documentaires reconnues (CRAAQ, 2008, 2010 et 2012) et régionalisées pour tenir compte du climat et des rendements dans le bassin versant (Financière agricole du Québec, 2014).

Figure 3 Localisation des bâtiments et des champs du bassin versant du Bras d'Henri



La fonction objective est basée sur les travaux de Rivest (2009). Le modèle d'optimisation maximise le profit des entreprises agricoles et précise les charges d'émissions polluantes résultant du niveau d'exploitation (Baumol et Oates, 1988). Les polluants considérés dans cette étude sont les sédiments, l'azote, le phosphore et les coliformes fécaux. Cette charge d'émissions polluantes représente la limite supérieure de la somme des émissions polluantes annuelles calculées par le modèle intégré. Le modèle calcule également la capture des GES selon une régie conventionnelle des cultures. Ainsi, le résultat optimal permettra de résoudre l'équation suivante :

$$\sum_{i=1}^{69} \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{w=1}^W \sum_{b=1}^B [\alpha_b Y_{ib} + \delta_p (SE_{ip} - BU_{ip}) - x_p A_{ijpt} - \eta_w O_{jpw} - \lambda_p P_{ijp} - \phi IM_i - \phi EX_i]$$

Où :

Indice	Paramètre	Variable
i : numéro de la ferme	$x_p x_p$ : coût de production de culture	$A_{ijpt} A_{ijpt}$ : surface en production
j : numéro du champ	$\eta_w \eta_w$ : coût de la bande riveraine	$O_{jpw} O_{jpw}$ : longueur de bande riveraine
p : numéro de la culture	$\lambda_p \lambda_p$ : coût de l'établissement de bassin de sédimentation	$P_{ijp} P_{ijp}$ : surface utilisée pour l'établissement de bassin de sédimentation
t : numéro de la pratique culturale	$\alpha_b \alpha_b$ : valeur par animal	$Y_{ib} Y_{ib}$ : nombre d'animaux
w : largeur de la bande riveraine	$\phi \phi$ : coût du transport du lisier	$EX_i EX_i$ : volume de fumier exporté hors du bassin versant
b : numéro de la production animale	$\delta_p \delta_p$ : valeur de la culture	$IM_i IM_i$ : volume de fumier importé à l'intérieur du bassin versant
		$SE_{ip} SE_{ip}$ : poids des récoltes vendues
		$BU_{ip} BU_{ip}$ : poids des récoltes achetées

La fonction objective est contrainte par un total de 17 équations classifiées en cinq groupes :

1. contraintes liées aux caractéristiques des entreprises agricoles;
2. contraintes liées aux PGB;
3. contraintes environnementales;
4. contraintes liées aux cultures;
5. contraintes liées aux élevages.

Les caractéristiques des contraintes agricoles se rapportent à la taille de l'entreprise et des limites opérationnelles concernant les terres et les animaux. Pour les productions animales sous gestion de l'offre, comme pour les productions laitières ou avicoles, peu importe les niveaux de revenus, il n'y a pas de diminution de cheptel vu la nécessité de considérer la difficulté liée à l'acquisition ou à la cession du droit de production (quota) à court terme.

Les contraintes des PGB ont été comptabilisées suivant leur impact sur la récolte totale, les coûts ou la réduction des coûts de production, le niveau de réduction des émissions, le coût d'implantation ou de maintien des PGB. Le modèle d'optimisation permet aux fermes de choisir les décisions de production les plus efficaces selon les PGB adoptées.

Les contraintes environnementales ont été fixées à la fois au niveau de l'exploitation et du niveau du bassin versant. La principale restriction concerne l'épandage de fumier. Les normes environnementales en vigueur

établissent les limites de la quantité de fertilisant à appliquer par unité de surface de terre. Le nombre maximal d'animaux par ferme est celui qui a été déclaré par le producteur lors du sondage. Par conséquent, advenant l'augmentation du nombre d'animaux sur la ferme, une exportation du fumier à l'extérieur du bassin versant doit s'ensuivre pour éviter tout dépassement de charges polluantes au sein du bassin versant. La règle du statu quo est appliquée afin que la somme des nutriments apportés dans le bassin versant reste stable. Il est possible de combler la réduction d'un polluant par l'augmentation d'un autre, mais sans dépasser la limite de la situation actuelle.

La contrainte des cultures s'applique à la quantité de récolte de chaque exploitation agricole par la vente de la production ou la consommation animale sur l'entreprise même. Les rendements des cultures utilisées dans le modèle sont les rendements moyens rapportés par la Financière agricole du Québec (2014) entre les années 2010 et 2014 (tableau 12). Selon cette dernière, comme le bassin versant est compris dans une seule région climatique, le rendement des cultures est considéré homogène. Toutefois, plusieurs facteurs influencent potentiellement la production totale d'une entreprise tels que le semis direct, par la réduction temporaire du rendement des cultures, ou une bande riveraine, en diminuant la superficie de la récolte. Cette réduction temporaire arrive lors de la période de transition entre la régie conventionnelle et le contrôle de régie en semis direct. Dans la présente étude, bien qu'il soit reconnu que la période de transition puisse apporter une baisse de rendement temporaire (ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 2014), les rendements des cultures sous régie en semis direct seront considérés comme équivalents aux rendements estimés après la période de transition.

Tableau 12 Rendements rapportés en kilogrammes par hectare pour la Zone 4 de la Région 3, entre les années 2010 et 2014

Culture	Moyenne des rendements pendant la période 2010-2014 (kg/ha)
Foin	6 646
Maïs	5 863
Maïs ensilage	14 084
Avoine	2 289
Orge	2 178
Blé	2 323
Soya	2 406
Canola	1 588

Source : Moyenne provenant de la compilation des rendements de la Région 3, Zone 4 des éditions 2010 à 2014 du Rendement de référence en assurance récolte publié par la Financière agricole du Québec

## Budgets d'exploitation agricole et variables économiques

Les PGB qui ont été sélectionnées en collaboration avec des spécialistes du MAPAQ ont été retenues dans le but d'améliorer significativement la fourniture de BSE dans le sous bassin versant du Bras d'Henri. Ces PGB ont également été sélectionnées puisqu'elles étaient considérées comme pouvant potentiellement générer des bénéfices environnementaux supérieurs aux coûts.

Les principales variables des budgets d'opération ont été considérées étant donné leur incidence sur le coût d'opportunité et les profits des entreprises que le modèle génère.

Une valeur moyenne stabilisée des récoltes de cultures des cinq dernières années est utilisée dans le modèle intégré pour diminuer les variations temporaires des prix. Le pourcentage de variation annuel varie entre moins de 1 % pour le soya à près de 10 % pour le maïs. Cette variation peut avoir une incidence importante sur le coût d'adoption de certaines PGB, comme dans le cas des bandes riveraines. Il en est traité lors de l'analyse de sensibilité sous la section Résultats. La valeur pour le foin qui a été retenue pour le modèle est celle fournie par l'assurance récolte de la Financière agricole du Québec (2014). Il est cependant important

de noter que, puisqu'il n'existe pas de marché formel d'échange de foin au Québec, la valeur peut varier régionalement selon la qualité et la demande annuelle.

Tableau 13 Revenu et variations annuelles des cultures incluses dans le modèle intégré après l'application des programmes de stabilisation du revenu entre 2009 et 2014

Culture	Valeur des cultures (\$ stabilisé / tonne, moyenne <sup>1</sup> 2009-2014)	Variation des prix (pourcentage, moyenne des 4 dernières variations annuelles)
Maïs	259,68	9,80
Maïs ensilage	119,85	5,05
Avoine	329,90	2,26
Orge	282,60	7,29
Blé	300,82	6,51
Soya	521,90	0,30
Foin	119,85	5,05
Canola	599,17	2,36

Source : Financière agricole du Québec, 2015

Les données sur le rendement régional des cultures (2010-2014) sont celles recueillies par la Financière agricole du Québec (2014) à des fins d'assurance récolte. Les augmentations de rendement retenues pour la simulation sont présentées au tableau 5, alors que la valeur et les coûts des cultures sont présentés au tableau 13.

Le tableau 5 présente le rendement moyen des cultures, estimé par la Financière agricole du Québec (2009-2014) aux fins d'assurance récolte, dans la région du sous bassin versant (Financière agricole du Québec, 2014). Comme ce sous bassin versant est circonscrit à l'intérieur d'une seule région climatique telle que définie par la Financière agricole du Québec, le rendement des cultures s'applique de manière uniforme à l'ensemble de ce bassin versant.

## Modèle intégré.

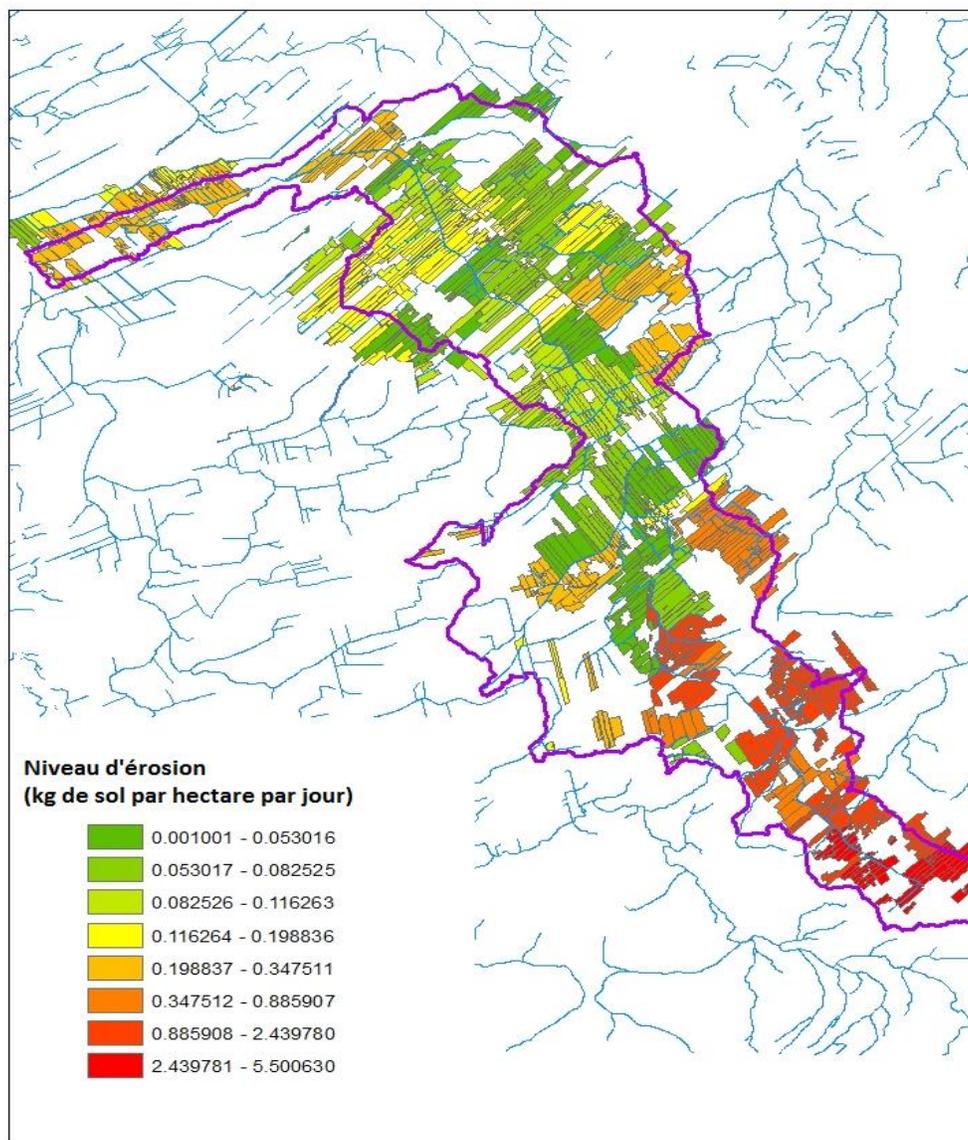
Un système d'information géographique est utilisé comme plate-forme pour relier le modèle économique au modèle hydrique. La localisation spatiale de ces deux modèles est utilisée pour fusionner l'information provenant des modèles économique et hydrique. À cet égard, chaque champ porte son propre ensemble d'informations concernant le coefficient de pollution pour divers scénarios de culture et d'adoption de PGB. L'asymétrie des coûts de l'adoption des PGB provient de l'hétérogénéité de la composition de chaque ferme et des coefficients de pollution du modèle hydrique. La figure 4 illustre l'ampleur de l'hétérogénéité de l'émission de sédiments : le plus fragile des sols émet 500 fois plus de sédiments que le sol le moins fragile dans le bassin versant. L'exercice de simulation permettra de déterminer quel sera l'effet de l'application des cahiers des charges sur ces émissions polluantes qui seront ensuite traduites en BSE.

Bien que les cahiers des charges soient ajoutés dans le modèle comme des contraintes auxquelles les entreprises doivent se soumettre, le modèle laisse de la souplesse dans les différents aspects du processus de prise de décision de l'entreprise agricole. Par exemple, les entreprises décideront quelles sont les quantités de bétail, les superficies des différentes cultures, l'emplacement de celles-ci ainsi que la source d'acquisition des aliments pour le bétail. Les producteurs virtuels du modèle sont libres de leur choix d'exploitation pour diminuer les effets économiques négatifs et bénéficier des effets positifs que peuvent avoir les PGB des cahiers des charges qui sont à adopter.

Le tableau 21 en annexe présente un sommaire des résultats générés par le modèle intégré. Les résultats de ce tableau servent de point de référence pour déterminer les variations des émissions polluantes ainsi que celles du bénéfice net généré par les entreprises selon les différents scénarios d'adoption des pratiques.

Il est important de souligner que, bien que les diminutions soient calculées à partir de la situation actuelle, la mise en place des PGB les plus restrictives ne permettrait pas de réduire à zéro les émissions de polluants. En effet, il est estimé que la mise en place de cultures pérennes sur toute la superficie agricole et de bandes riveraines arbustives de 10 mètres le long de tous les cours d'eau réduirait les sédiments de 58 %, l'azote de 36 %, le phosphore de 70 %, les coliformes fécaux de 5 % et diminuerait le bénéfice net provenant de l'activité agricole du bassin versant de 26 %. Cette situation extrême illustre que les PGB provenant de l'agriculture ne peuvent réduire de 100 % les émissions polluantes puisque, d'une part, les émissions polluantes proviennent d'autres sources que des activités agricoles et, d'autre part, l'implantation de PGB ne se traduit pas par l'arrêt total des émissions polluantes. Lorsque toutes les PGB sont mises en place conformément au cahier des charges de base, une diminution de 25 % des sédiments est observée.

Figure 4 Niveau d'émission des sédiments par champ inclus dans le modèle hydrique



## **Estimer la valeur des biens et services écologiques générés par les pratiques de gestion bénéfiques**

Une description des méthodes pour estimer la valeur des BSE est présentée dans la prochaine section. Les valeurs estimées qui figurent dans cette section composent la partie des bénéfices publics, c'est-à-dire des avantages dont toute la société bénéficie. Un exemple est l'amélioration de l'eau de consommation qui augmente la qualité de vie des habitants du bassin versant. Les bénéfices qui ne sont pas publics sont dits privés, c'est-à-dire qu'ils profitent aux entreprises agricoles qui les ont internalisés à leurs opérations. Un exemple est l'augmentation du rendement des cultures qui améliore la situation économique de l'entreprise qui adopte la PGB. Cette section traite des bénéfices publics, les bénéfices privés ayant été traités dans la section précédente.

### **Méta-analyse liée à la qualité de l'eau**

La méthode utilisée pour calculer les bénéfices publics provenant de l'amélioration de la qualité environnementale de l'eau est basée sur les travaux de Johnston et Thomassin (2010). Ceux-ci ont recensé plusieurs recherches qui ont évalué la valeur de volonté de payer des citoyens pour des BSE provenant de l'amélioration de la qualité de l'eau en Amérique du Nord. Leur recherche présente donc un sommaire des informations amassées au cours des années dans le domaine de l'amélioration de la qualité de l'eau. Leur méthode a pour avantage d'être transposable dans différents contextes puisque la base de mesure utilise l'indice de la qualité de l'eau développée par Resource For the Future (Vaughan, 1986).

Les valeurs présentées dans la recherche de Thomassin et Johnston sont réajustées en dollar équivalent de 2015 pour les besoins de la présente recherche. Ces valeurs allouées à la qualité de l'eau sont présentées au tableau 16 avec 1,22 \$ comme valeur référence par unité d'amélioration de la qualité de l'eau.

Ainsi, l'exercice principal pour déterminer la valeur de volonté de payer des citoyens est de déterminer quels sont les facteurs qui influencent l'adoption des cahiers des charges. Le facteur le plus déterminant semble être l'augmentation de poissons dans le cours d'eau et son approvisionnement pour des fins de consommation. La présence de poissons exprime également l'augmentation de la biodiversité des cours d'eau. Puisque le Bras d'Henri est un cours d'eau de débit limité, la baignade n'est pas une activité très importante pour le bassin versant et n'est donc pas considérée dans le bénéfice économique.

### **Valeur esthétique des paysages issus des bandes riveraines**

Les BSE esthétiques liés aux bandes riveraines seront évalués en utilisant les résultats de Doyon et al. (2015). Puisque ceux-ci avaient comme principal objectif de déterminer la volonté de payer des individus pour les BSE d'amélioration esthétique et de la biodiversité provenant des haies brise-vent, cette évaluation permet de compléter la méta-analyse tout en évitant de comptabiliser en double la valeur de certaines BSE.

Les valeurs de volonté de payer des individus sondés ont été de 46,18 \$ pour une bande riveraine avec une rangée d'arbres de 1000 mètres de longueur et de 71,13 \$ pour une bande riveraine de trois rangées d'arbres. Il a été déterminé par les auteurs de l'étude que la valeur de volonté de payer des individus n'augmentait pas au-delà de 1000 mètres. Par conséquent, les estimations de valeur de BSE seront calculées par unité de 1000 mètres pour extrapoler la valeur esthétique des bandes riveraines du bassin versant. Puisque cette valeur de volonté de payer est estimée pour la mise en place d'une bande riveraine ayant une vie utile de 40 ans, cette valeur a été annualisée sur les 40 ans, ce qui donne une valeur de 2,98 \$ par année. La valeur d'une bande de trois rangées d'arbres sera utilisée pour la bande riveraine de 10 mètres et celle d'une rangée d'arbres sera utilisée pour la bande de un mètre en bordure des fossés.

## Captage des gaz à effet de serre

En ce qui a trait à la capture de gaz à effet de serre, le prix qui est utilisé est la valeur d'échange fixée pour les crédits compensatoires échangés dans le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec. La valeur au 8 mai 2015, qui était de 14,78 \$, sera utilisée pour l'évaluation des bénéfices publics. Selon le règlement en place, cette valeur minimale croîtra à un taux de 5 % plus le taux d'inflation (Éditeur officiel du Québec, 2018). La valeur actualisée du crédit compensatoire sur un horizon de sept ans a donc été estimée à la moyenne de la valeur sur sept ans soit 13,70 \$. Cette valeur est prudente puisque les crédits compensatoires se transigent au-delà de la valeur minimale établie par le règlement. Le modèle de capture de GES prend seulement en considération l'augmentation de la capture des émissions par rapport à la situation actuelle. Il est donc important de noter que la valeur liée à la capture de gaz à effet de serre est une valeur marginale par rapport à la situation actuelle.

## RÉSULTATS

La section qui suit présentera les impacts environnementaux obtenus par l'application des PGB à l'échelle du bassin versant. Une analyse de l'efficacité de la réduction des polluants hydriques par l'adoption des PGB précède l'analyse économique parce qu'elle représente une part importante de la valeur économique et que les résultats environnementaux obtenus fournissent des informations sur les mécanismes d'attribution des valeurs économiques. Comme il a été illustré à la figure 2, l'estimation de l'effet des PGB sur les polluants hydriques exige une technique plus élaborée. Par la suite les résultats économiques obtenus par le modèle intégré seront présentés. Les résultats environnementaux obtenus fournissent des réponses sur la marche à suivre pour améliorer la qualité de l'eau en milieu agricole. Finalement, une analyse de sensibilité des principaux facteurs qui peuvent influencer les résultats économiques est présentée.

### Résultats environnementaux

Le tableau 14 présente un sommaire des résultats exprimés sous forme de sous-indices de qualité de l'eau. Les résultats détaillés de chaque PGB évaluée individuellement sont présentés en annexe au tableau 21.

Il est important de rappeler que l'indice de la qualité de l'eau global, également nommé l'indice de qualité de l'eau bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQPB), est obtenu en sélectionnant le sous-indice minimal du scénario. Ceci implique que l'amélioration de l'indice global dépend principalement de la réduction des nitrates et nitrites, qui est le sous-indice le plus limitatif de la qualité de l'eau du bassin versant. Par conséquent, les PGB ayant un effet plus important sur les nitrates génèrent un plus grand bénéfice public que les PGB n'ayant pas d'effet sur les nitrates. Advenant une diminution notable des nitrates et des nitrites, le deuxième indicateur de la qualité de l'eau est le phosphore total. Une étude de la variation des indicateurs sur une base individuelle est donc nécessaire puisque l'amélioration à long terme d'un indice de la qualité de l'eau dans un bassin versant doit prendre en considération l'ensemble des indicateurs et ne peut s'effectuer que par l'amélioration de tous les indicateurs.

Bien que les résultats présentés dans le tableau 14 ne soient pas traduits en valeur économique, ils permettent d'évaluer l'efficacité de la réduction des polluants hydriques par l'adoption des PGB inclus aux cahiers des charges. Si l'évaluation est faite exclusivement sur l'indice global, les PGB les plus efficaces du cahier des charges sont les rotations et le bassin de sédimentation. L'inclusion de toutes les PGB au cahier des charges de base permet d'améliorer la qualité de l'eau d'un indice de 45 à 81. Pour le cahier des charges bonifié, l'inclusion des deux PGB additionnelles permet d'augmenter l'indice global à 82.

Les solides en suspension ne présentent pas un sous-indice problématique pour ce sous bassin versant puisque celui-ci a le sous-indice le plus élevé dans tous les scénarios présentés et varie entre 83 et 95. L'une des raisons réside dans le type de sol qui le compose : de grandes superficies du sol qui compose le sous bassin versant sont un loam sableux pierreux qui a un faible coefficient d'érosion comparativement à

des sols plus fins comme les limons ou les argiles. Il peut cependant être constaté qu'un aménagement hydroagricole peut avoir un effet significatif en portant le sous-indice de 83 à 95. L'autre PGB ayant un effet sur l'érosion est la rotation des cultures annuelles. En effet, cette PGB diminue l'exposition du sol aux intempéries en diminuant ainsi l'érosion et fait augmenter le sous-indice de 83 à 95.

L'indicateur nitrates et nitrites est celui qui semble le moins bien réagir aux PGB sélectionnées. Ainsi ce sous-indice, qui varie entre 45 et 82, est le facteur limitatif de tous les scénarios. Le plus faible effet des PGB sur ce polluant est expliqué par le fait qu'il est le sous-indice limitatif de la situation actuelle et que la solubilité de cet élément le rend plus difficile à capturer avant qu'il n'atteigne le cours d'eau. Malgré cela, des effets positifs sont notés avec les PGB reliées à la diminution de l'érosion comme les rotations et les bassins de sédimentation. Il pourrait être intéressant d'explorer d'autres PGB qui auraient un effet substantiel sur la réduction des nitrates et des nitrites. Bien que variable selon les conditions climatiques et les conditions de sol, la rétention des nutriments par l'augmentation de légumineuses ou de cultures pérennes peut également avoir un effet positif sur la rétention des nitrites et des nitrates au champ. Celle-ci n'a pas été considérée dans le présent modèle parce que les données disponibles varient selon les études et le contexte d'expérimentation (résultats de recherches rapportés dans MAPAQ, 2014). Une meilleure quantification de ce phénomène permettrait de déterminer son effet précis sur la qualité de l'eau.

Le phosphore, qui est un polluant encadré par le règlement sur les exploitations agricoles depuis plusieurs années au Québec, n'est pas un sous-indice limitatif dans les scénarios présentés. Le sous-indice varie entre 57 et 100 et est significativement influencé par l'établissement de bassins de sédimentation et la rotation des cultures. Les PGB ayant un effet significatif sur l'érosion sont également efficaces pour contrer les pertes de phosphore puisque cet élément est principalement transporté par les sédiments.

Le nombre de coliformes fécaux est un indicateur qui est peu problématique dans ce bassin versant selon les échantillonnages effectués. Les coliformes fécaux sont issus des déjections animales épandues au champ, et les PGB étudiées n'ont pas un effet direct sur ce sous-indice. Par conséquent, très peu de variation peut être observée pour cet indicateur. Dans l'éventualité où une amélioration de cet indicateur était nécessaire, l'une des mesures efficaces serait d'enfouir les déjections animales lors de l'épandage.

Tableau 14 Valeur des indicateurs environnementaux de l'indice de la qualité de l'eau selon différents scénarios de PGB

		Sous- indice				Indice global
	PGB	Solides en suspension	Nitrates et nitrites	Phosphore total	Coliformes fécaux	IQPB
0	Modèle en situation actuelle	83	45	57	76	45
1	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée de 10 m	91	61	75	81	61
2	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 m	91	61	75	81	61
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive indigène de 10 m	91	61	75	81	61
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (régie en semis direct)	93	64	78	82	64
5	Situation actuelle avec rotation de cultures annuelles (maximum 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	95	70	85	84	70
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	95	71	87	85	71
7	Situation actuelle avec bande enherbée de 1 m en bordure des fossés	90	58	71	80	58
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	91	60	73	80	60
9	Cahier des charges de base	98	81	100	89	81
10	Cahier des charges bonifié	98	82	100	89	82

## Résultats économiques

La transformation de ces indices de la qualité de l'eau permet une traduction en termes de bénéfices publics comme le présente le tableau 15. Le tableau 22 fournit une description plus détaillée des résultats économiques présentés au tableau 15. Ainsi les bénéfices publics sont exprimés par personne pour la qualité de l'eau et la valeur esthétique et de la biodiversité, valeurs provenant respectivement de la méta-analyse et de l'intérêt esthétique des bandes riveraines.

La valeur liée au captage des GES est comptabilisée comme un bénéfice public puisque, pour l'instant, les PGB ne sont pas reconnues dans les protocoles officiels et donc les entreprises ne peuvent pas en tirer une valeur monétaire comme bénéfice privé.

La valeur cumulative présentée est obtenue en considérant que le bassin versant abrite 16 000<sup>2</sup> personnes et que ces individus ont une volonté de payer moyenne similaire aux volontés de payer estimées. Ces

<sup>2</sup> Cet estimé a été fourni par le COBARIC

hypothèses permettent de générer les valeurs présentées dans la colonne des bénéfices cumulatifs du tableau 15. Le nombre de personnes habitant le bassin versant influence la valeur économique des BSE parce que les estimations présentées dans la littérature le sont sur une base individuelle. La valeur totale est donc proportionnelle à la population qui habite le bassin versant.

Les coûts ou bénéfices privés présentés au tableau 15 sont l'addition des coûts et bénéfices associés à la mise en place et à l'entretien des PGB. Cette valeur peut être négative, comme celle de la plupart des PGB présentées, mais peut également être positive, comme dans le cas du travail minimum du sol. Le travail minimum du sol a la propriété d'augmenter les bénéfices de l'entreprise qui les met en place parce que, selon les recherches, cette pratique réduit le coût d'exploitation culturale et augmente les rendements.

Le résultat de l'analyse économique est premièrement présenté sous forme de ratio. Cette valeur est présentée dans la colonne ratio bénéfices-coûts. Une valeur négative sous -1 représente une PGB qui est socialement rentable dans le sens où la valeur générée par la PGB est supérieure au coût de sa mise en œuvre. Un ratio positif montre que la mesure est à la fois avantageuse pour la société et pour l'entreprise qui la met en place. L'utilisation d'une mesure comme le ratio a également l'avantage de pouvoir déterminer quelles sont les pratiques qui génèrent les rapports bénéfices-coûts les plus importants. Cette mesure fournit une information complémentaire au simple calcul de bénéfice net. En effet, le bénéfice net permet de déterminer quelle mesure est la plus positive sur le plan environnemental, mais informe peu sur l'effort que les entreprises agricoles doivent fournir pour mettre en place les PGB. Le ratio bénéfices-coûts a l'avantage de permettre l'évaluation de l'effet de l'implantation de la PGB sur le bénéfice environnemental comparativement à l'effort privé de l'entreprise agricole.

Tableau 15 Sommaire des bénéfices publics et privés pour chacun des scénarios mis en place dans le sous bassin versant du Bras d'Henri

	PGB	Bénéfices publics cumulatifs (\$ bassin versant) <sup>1</sup>	Coût (-) ou bénéfices privés (+) (\$ bassin versant) <sup>1</sup>	Ratio bénéfices-coûts
1	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée de 10 m	86 801	-110 044	-0.79
2	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 m	138 772	-144 805	-0.96
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	134 481	-110 044	-1.23
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (semis direct)	137 800	147 547	0.93
5	Situation actuelle avec rotation de cultures (maximum de 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	231 967	-190 006	-1.25
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	258 738	-86 222	-3.00
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	110 229	-90 372	-1.24
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	141 906	-45 805	-3.10
9	Cahier des charges de base	840 088	-248 547	-3.38
10	Cahier des charges bonifié	912 233	-191 801	-4.76

<sup>1</sup>Les descriptions des coûts et bénéfices publics et privés inclus au calcul sont présentées au tableau 4.

La comparaison individuelle des PGB permet une appréciation de leur effet sur l'amélioration des BSE dans le bassin versant. Ainsi, le scénario 3 de l'élargissement de la bande riveraine sur 10 mètres permet de générer un bénéfice public qui est 1,23 fois plus élevé que les coûts privés engagés. Un ratio inférieur à -1 a également été obtenu pour les scénarios 5, 6, 7, 8, 9 et 10, qui sont, respectivement, la rotation des cultures, le bassin de sédimentation, une bande herbacée de un mètre en bordure des fossés, un assolement qui inclut un minimum de 25 % de cultures pérennes, le cahier des charges de base et le cahier des charges bonifié. Le ratio pour le scénario 4, qui est le travail minimum du sol, est positif, c'est-à-dire que l'entreprise qui le met en place génère un bénéfice net. Les paragraphes suivants expliqueront plus en détail les résultats obtenus pour les différents scénarios.

Les scénarios 1, 2 et 3 sont trois scénarios qui évaluent l'effet d'une bande riveraine de 10 mètres. Le scénario 1 est une bande riveraine qui est composée de plantes herbacées et ne génère donc pas d'avantage esthétique du paysage. Dans le scénario 2, des arbres sont plantés, ce qui génère un coût d'implantation beaucoup plus important. Le scénario 3 est un scénario mixte selon lequel la bande riveraine est composée de plantes herbacées, mais où les arbustes poussent spontanément. Ainsi, le coût d'établissement est limité, mais crée un aspect esthétique. Les scénarios 1 et 2 génèrent des ratios supérieurs à -1 ne justifiant pas leur adoption. Ayant généré un ratio de -1,23, qui est inférieur à -1, le scénario 3 a été retenu pour la suite des analyses.

Concernant le scénario d'une bande riveraine de 10 mètres, cette PGB ne génère pas la plus importante augmentation des bénéfices, mais elle implique des coûts d'opération limités. Le bénéfice social provient de deux sources : l'amélioration hydrique et l'amélioration esthétique du paysage. Il peut être surprenant de ne pas voir de bénéfices provenant du captage de GES. La raison est que, comme il est présenté au tableau 11, le captage de GES d'une bande riveraine est inférieur à l'extraction qui s'effectue par la récolte des cultures. Selon les recherches citées dans le tableau 11, une perte de superficie de terre cultivée au profit d'une bande riveraine peut diminuer le captage de GES puisqu'une bande riveraine peut être moins efficace pour capter les GES que certaines cultures. Il est important de réitérer un point expliqué précédemment : la majeure partie de l'amélioration de la qualité de l'eau dans le contexte de la présente analyse résulte de la réduction des nitrates et des nitrites. Selon le modèle hydrique utilisé dans notre recherche (Rousseau et al., 2000), cette PGB n'est pas un facteur important de diminution des nitrates et des nitrites. Le bénéfice découlant de l'amélioration de l'eau n'est donc pas très important.

Dans le scénario 4, soit une régie en semis direct, le ratio estimé est de 0,93 parce que l'entreprise génère un gain économique en adoptant cette PGB. En effet, le calcul du ratio s'effectue à partir de la comparaison entre le revenu privé selon le scénario de la situation actuelle et celui du scénario qui inclut la PGB. Ces résultats sont soutenus par l'hypothèse que le rendement des cultures avec une gestion en travail minimum du sol n'est pas différent de celui obtenu en gestion conventionnelle, comme présenté par Tremblay (2016), notamment parce que les producteurs réduisent leurs opérations culturales. La variation entre les résultats du modèle et ce qui peut être observé dans le bassin versant doit porter à interrogation : qu'est-ce qui freine les producteurs à adopter une pratique qui semble en théorie augmenter les profits ? Trois causes ont été identifiées à la lumière des entrevues avec les producteurs et des consultations avec des professionnels :

- 1) Le coût d'acquisition du semoir pour semis direct peut limiter l'adoption de la pratique;
- 2) L'expertise à acquérir pour maîtriser la technique demande une période d'adaptation durant laquelle une diminution des rendements peut être observée;
- 3) Une régie en semis direct réagit moins bien dans certaines conditions de sol.

Dans le cas du scénario 5, qui est la situation actuelle avec rotation de cultures, le ratio est de -1,25. Dans la plupart des cas, lorsqu'une entreprise modifie la proportion de ses cultures pour satisfaire cette PGB, elle le fait en diminuant ses superficies cultivées en maïs. Cette diminution de culture du maïs dans la région diminue substantiellement le bénéfice privé des entreprises. En termes absolus, cette PGB est la plus dispendieuse à adopter. Cependant, elle a également pour effet d'augmenter considérablement la qualité de l'eau. La rotation a également un effet bénéfique sur le captage de GES et des rendements des cultures. Comme il est illustré au tableau 15, cette PGB génère des bénéfices liés à l'augmentation du captage des GES par une meilleure restauration des niveaux de matière organique du sol. L'amélioration de la qualité du sol a également un effet sur les rendements culturaux, qui augmentent avec la diversification des

cultures. Cette observation a été validée par diverses études sur la question (Coulter et al., 2011; Van Eerd et al., 2013; Munkholm et al., 2013; Stanger et Lauer, 2008).

L'élaboration du scénario 5 mène à une situation qui mérite une attention particulière. Une contrainte obligeant les entreprises à ne pas produire plus de maïs qu'elles ne le font actuellement a dû être mise en place pour éviter que les entreprises qui cultivent du foin ou de l'avoine commencent à produire du maïs. Sans cette contrainte, le bassin versant produisait une plus grande superficie de maïs, augmentait les bénéfices privés et diminuait la qualité de l'eau du bassin versant. À la lumière de ces résultats, l'application d'une telle PGB aurait probablement l'effet que les entreprises échangent des superficies entre elles pour atteindre les objectifs individuels du cahier des charges. Les échanges de superficies cultivables entre entreprises pourraient ne pas diminuer la superficie de cultures annuelles dans le bassin versant, mais la disperser entre un plus grand nombre d'entreprises.

Le scénario 6 concernant les bassins de sédimentation a généré un ratio supérieur de -3. Le bénéfice social généré est exclusivement lié à l'amélioration de la qualité de l'eau dans le bassin versant. Cette PGB est efficace pour capturer les émissions de nitrates et de nitrites et génère ainsi le ratio bénéfices-coûts le plus avantageux des PGB incluses dans le cahier de base. Dans ce scénario, l'hypothèse retenue est que chaque entreprise met en place un bassin de sédimentation dans le champ ayant la plus grande superficie. Bien que cette hypothèse ne surestime pas les gains environnementaux obtenus, elle n'optimise pas nécessairement la PGB par rapport au potentiel de réduction des émissions des autres champs. L'application de cette PGB devrait donc être localisée de façon à s'implanter à l'endroit où l'érosion est la plus probable.

Le scénario 7, qui concerne l'implantation d'une bande enherbée de un mètre en bordure des fossés, a généré un ratio de -1,24. Cette bande riveraine a la capacité de capturer une partie des sédiments issus du ruissellement avant que ceux-ci ne puissent atteindre le cours d'eau (Reichenberger et al., 2007; Gumiere et al., 2013). Cette PGB se fait à une échelle beaucoup plus importante que l'établissement d'une bande riveraine le long des cours d'eau. En effet, les champs étant en majorité bordés par un fossé, cela engendre une réduction importante de la superficie en culture. Malgré cette diminution de superficie en culture, le ratio reste avantageux.

Le scénario 8 présente l'obligation d'avoir un minimum de 25 % des surfaces cultivées en culture pérenne, c'est-à-dire la culture du foin. Le ratio obtenu est le plus avantageux de tous les scénarios étudiés avec un ratio de -3,10. Pour plusieurs entreprises, notamment les entreprises laitières, le minimum de 25 % ne crée pas de différence dans les rotations qu'elles effectuent. Cependant, pour les entreprises produisant traditionnellement des cultures annuelles, par exemple les entreprises en production porcine, la PGB a un impact substantiel sur la rentabilité des opérations. L'inclusion de 25 % en culture pérenne dans la rotation a un ratio avantageux comparé à celui d'autres scénarios parce qu'une partie de la perte de revenu issue de la diminution de cultures annuelles est compensée par une augmentation des rendements et une réduction des coûts puisque la culture du foin est moins coûteuse à l'hectare, comme le montre le tableau 5.

Il est également possible de diminuer l'impact d'une telle pratique en permettant aux entreprises d'échanger des surfaces cultivées entre elles. La pratique d'échange de champs permet une synergie par la rotation. De plus, l'impact de cultures annuelles peut être moins grand dans certaines parties du bassin versant considérant que ce bassin versant a une composition de sol et une topographie très hétérogène. Par exemple, les terres en amont du bassin versant ont des pentes beaucoup plus importantes et sont plus sensibles à l'érosion qu'en aval. Un déplacement des cultures pérennes en amont du bassin et des cultures annuelles en aval pourrait améliorer la qualité de l'eau du bassin versant sans changer la proportion des cultures. Cette option demande bien sûr une coordination entre les entreprises, mais un bénéfice privé généré par l'amélioration des rendements pourrait encourager les entreprises à participer à de tels échanges.

Le scénario 9 représente l'application du cahier des charges de base qui intègre les pratiques 3 à 6. Celui-ci est l'application du cahier des charges de base et inclut les PGB suivantes : la rotation des cultures annuelles, la régie du sol en semis direct, l'établissement d'une bande riveraine de plantes herbacées ou arbustives indigènes sur une largeur de 10 mètres et l'établissement d'un bassin de sédimentation. Le ratio de -3,38 indique que cette combinaison de PGB génère un retour sur l'investissement pour la société touchée. Cette valeur doit être cependant nuancée : le coût est grandement diminué par l'addition du

bénéfice privé généré par le semis direct. Les bénéfices découlant des PGB du cahier de base sont composés de l'amélioration esthétique, de l'amélioration de la qualité de l'eau et du captage de GES.

Le scénario 10 est le cahier des charges bonifié qui correspond aux quatre PGB du cahier de base en plus de la bande enherbée de un mètre en bordure des fossés et d'un assolement qui inclut un minimum de 25 % de cultures pérennes. Ce scénario inclut toutes les PGB présentées et génère un ratio de -4,76. L'augmentation importante du ratio est attribuable à l'effet atténuant de l'addition des PGB. Un exemple est que les scénarios 5 et 8 touchent les deux à la composition des cultures, et l'entreprise qui se conforme à la première PGB a déjà fait un pas vers la conformité à la deuxième PGB. L'effet atténuant sur les coûts privés de la régie du travail minimum du sol contribue également à l'amélioration importante du ratio pour ce scénario. L'augmentation des bénéfices cumulatifs est également un facteur permettant d'améliorer le ratio. Comme on peut le constater au tableau 14, une augmentation de l'indice de la qualité de l'eau de un point par rapport au cahier de base augmente significativement les bénéfices cumulatifs. La raison principale est que la fonction de bénéfice social comporte une réduction croissante du bénéfice marginal. Cette relation est expliquée par le fait que la valeur des bénéfices publics est supérieure lorsque l'amélioration de la qualité survient dans une eau de mauvaise qualité comparativement à une eau de bonne qualité.

Bien que les résultats présentés répondent aux objectifs de la recherche, il est important de mettre en perspective la condition dans laquelle ils sont obtenus. Même si les bénéfices publics incluent la valeur associée au captage de GES et de l'esthétique des paysages, la contribution la plus importante au bénéfice cumulatif provient de l'amélioration de la qualité de l'eau (voir le tableau 21 en annexe). Ce dernier est donc déterminant dans le ratio bénéfices-coûts obtenu. Puisque le polluant limitant la qualité de l'eau dans ce sous bassin versant est le nitrate-nitrite, les résultats économiques les plus favorables sont obtenus par les PGB ayant la capacité de diminuer le lessivage de nitrates-nitrites.

Il peut être conclu que le cahier des charges a un effet positif sur la prestation de BSE et que le cahier des charges bonifié a un effet de réduction des émissions polluantes supérieur à celui du cahier des charges de base. L'effet combiné des PGB permet d'augmenter les bénéfices issus des PGB qui sont mises en place. De plus, la régie en travail minimum du sol incluse aux deux cahiers de charge diminue le coût net en générant une augmentation des rendements. Les deux cahiers des charges présentent des coûts et bénéfices en termes nominaux qui sont supérieurs à ceux qui sont observés individuellement pour les PGB. En effet, bien que les ratios des cahiers des charges soient plus avantageux du point de vue environnemental, le coût privé de mise en œuvre reste supérieur à celui de la mise en place d'une seule PGB.

## **Analyse de sensibilité**

L'analyse de sensibilité permet d'évaluer l'effet et l'ampleur d'une variation des facteurs qui influencent les calculs des bénéfices-coûts. Cet exercice permet d'abord de vérifier l'effet sur les résultats d'une estimation peu précise d'un facteur, par exemple comment les résultats de l'analyse bénéfices-coûts changent si l'estimation de la valeur de la qualité change. L'analyse de sensibilité permet également de déterminer la fragilité d'une pratique face à un choc de marché comme une variation du prix des grains ou de la valeur du prix du crédit compensatoire de carbone. Cet exercice permet également aux décideurs publics d'anticiper l'effet d'un changement dans le paysage économique ou social. Ce type d'analyse est très important si une compensation des coûts des PGB était envisagée puisque l'effet d'un choc pourrait se traduire par le délaissement de PGB déjà adoptées.

Plusieurs raisons peuvent expliquer qu'une PGB ne soit pas adoptée ou soit délaissée. L'étude traite de facteurs économiques qui peuvent vraisemblablement avoir un effet sur l'adoption des PGB. Cependant, des facteurs plus difficiles à quantifier ayant trait à la perception des entreprises ou à des aspects sociaux peuvent avoir un effet déterminant sur l'adoption de PGB. Par exemple, une entreprise peut ne pas vouloir participer parce qu'elle a le sentiment qu'elle ne pourra pas reconverter en culture une superficie consacrée à une PGB. Une prise de conscience de ces facteurs d'influence autres qu'économiques peut s'avérer déterminante dans le succès de l'implantation de PGB.

Les variables économiques qui ont été sélectionnées pour l'analyse de sensibilité sont celles qui sont considérées comme les plus sujettes à variation et comme ayant le plus grand potentiel d'impact sur les scénarios présentés dans cette étude. Elles proviennent soit des bénéfices comme la valeur de la qualité de l'eau, de l'esthétique des paysages et du captage des GES ou des coûts d'opportunité liés à la valeur d'une culture. Dans un souci d'alléger la présentation des résultats, seules les PGB qui sont affectées par la variation sont présentées dans les tableaux de résultats.

### **Valeur liée à la qualité de l'eau**

Tel qu'il est présenté au tableau 16, la valeur attribuée à la qualité de l'eau sur le ratio bénéfices-coûts provient de Johnston et Thomassin (2010). Cette valeur s'établit à 1,22 \$ par personne d'augmentation d'unité d'indice de la qualité de l'eau.

Pour l'analyse de sensibilité, cette valeur a été augmentée par un facteur de 50 % par rapport à la valeur initiale. Cette variation est basée sur les résultats dans le domaine de l'évaluation contingente, selon lesquels la valeur issue de ce type de méthode peut faire en sorte que la valeur réelle que les individus sont prêts à payer est surestimée (Cameron et al., 2002).

Ainsi, on constate qu'une augmentation importante des ratios peut être observée lorsque la valeur allouée à la qualité de l'eau est augmentée : la valeur des ratios augmente à un rythme croissant, ce qui témoigne de l'effet déterminant de ce paramètre sur les ratios calculés.

Par ailleurs, cet effet déterminant sur toutes les PGB étudiées est aussi constaté lorsqu'on diminue la valeur de qualité de l'eau de 50 % puisque cette simulation place les ratios sous la barre de la viabilité économique.

Les PGB présentées ne réagissent cependant pas de la même façon à cette variation. Seulement les PGB du bassin de sédimentation, l'assolement avec 25 % de cultures pérennes, le cahier de base et le cahier bonifié restent économiquement bénéfiques lorsque la valeur passe de 1,22 \$ à 0,90 \$. Une diminution additionnelle portant la valeur à 0,61 \$ permet seulement à l'assolement avec un minimum de 25 % en culture pérenne de rester économiquement viable. L'effet sur le ratio dépend de la diversité des effets sur les BSE générées par la PGB.

La PGB de l'assolement avec un minimum de 25 % en culture pérenne présente une plus grande stabilité du ratio face à une variation de la valeur de la qualité de l'eau. Cette stabilité provient de la contribution d'autres BSE au bénéfice de cette PGB. La culture pérenne améliore la capture de GES et l'esthétique du paysage.

Tableau 16 Résultats de l'analyse de sensibilité de la valeur attribuée à la qualité de l'eau

		Valeur allouée à la qualité de l'eau (\$ par personne par unité d'indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau d'augmentation)				
		0,61	0,90	1,22*	1,82	2,44
	PGB	Ratio Bénéfices-coûts				
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	-0,69	-0,92	-1,22	-1,93	-2,82
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (semis direct)	0,34	0,58	0,93	1,87	3,16
5	Situation actuelle avec rotation de cultures (maximum de 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	-0,22	-0,57	-1,22	-3,33	-6,91
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	-0,49	-1,36	-3,00	-8,51	-18,19
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	-0,81	-0,99	-1,22	-1,69	-2,23
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	-2,00	-2,48	-3,10	-4,50	-6,20
9	Cahier des charges de base	-0,53	-1,31	-3,38	-13,43	-37,90
10	Cahier des charges bonifié	-0,62	-1,73	-4,76	-20,05	-58,55

\*Les ratios de cette colonne correspondent aux ratios obtenus dans l'analyse bénéfices-coûts. Données estimées à partir de Johnston et Thomassin (2010).

### Valeur esthétique liée à l'esthétique des paysages

Tel qu'il est indiqué au tableau 17, la variation des ratios démontre que la valeur esthétique d'une bande riveraine est une variable ayant un effet plus limité que celui de la valeur de l'amélioration de la qualité de l'eau. Les ratios des scénarios qui incluent la bande riveraine comme PGB ne s'améliorent que marginalement malgré une augmentation de 200 % de la valeur calculée par Doyon et al. (2015). Cette faible réaction du ratio peut être expliquée par deux facteurs : 1) la valeur attribuée à l'amélioration esthétique de la bande riveraine est faible par rapport aux valeurs provenant d'autres BSE et 2) la relation linéaire entre la longueur de la bande riveraine et sa valeur restreint l'influence de ce facteur sur la valeur totale du bénéfice environnemental.

Les ratios les plus affectés par la variation de la valeur attribuée à la valeur esthétique de la bande riveraine sont les bandes riveraines lorsqu'analysées individuellement. Ainsi, une diminution de 50 % de la valeur de ce paramètre ramène la bande riveraine herbacée avec arbustes indigènes de 10 mètres ainsi que la bande herbacée de 1 mètre en bordure des fossés de 1 mètre à avoisiner le seuil de viabilité économique. Les cahiers de base et bonifié sont moins sensibles à la variation de cette valeur parce que le ratio est composé de plusieurs BSE.

Tableau 17 Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la valeur attribuée à la valeur esthétique de la bande riveraine

		Valeur esthétique allouée à la bande riveraine (\$ par personne par mètre de bande riveraine)				
		1,49	2,24	2,98*	5,96	8,94
	PGB	Ratio Bénéfices-coûts				
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	-1,01	-1,11	-1,22	-1,66	-2,09
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	-0,96	-1,09	-1,24	-1,75	-2,27
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	-2,58	-2,84	-3,10	-4,14	-5,18
9	Cahier des charges de base avec cultures déclarées	-3,28	-3,33	-3,38	-3,57	-3,76
10	Cahier des charges bonifié avec cultures déclarées	-4,63	-4,69	-4,76	-5,00	-5,25

\*Les ratios de cette colonne correspondent aux ratios obtenus dans l'analyse bénéfices-coûts. Données estimées à partir de Doyon et al. (2015).

### Valeur liée au captage de gaz à effet de serre

La valeur estimée liée au captage de GES est tirée du prix de vente aux enchères d'unité d'émission géré par le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec. Dans le cadre de ce marché, un prix de vente minimal de la vente aux enchères est fixé par le règlement, et le prix de vente final peut seulement être égal au prix fixé par le règlement ou plus élevé que celui-ci. Le tableau 18 présente les valeurs de ce prix plancher depuis la mise en place officielle du système en 2014 pour illustrer la variation historique depuis sa mise sur pied. Depuis le début de l'établissement du système, la moyenne des variations observées entre le prix de vente et le prix minimal établi est en deçà de dix pour cent. Étant donné qu'un prix minimum est établi, l'analyse de sensibilité se concentre sur l'effet d'une hausse de la valeur de l'unité d'émission. Il est à noter que la hausse présentée est supérieure à ce qui a été observé sur le marché. Cet exercice permet toutefois de comprendre l'importance de cette valeur sur le ratio et quel serait l'impact éventuel d'une hausse de cette valeur.

Tableau 18 Valeur de l'unité d'émission lors des ventes aux enchères du système d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec

Date de vente aux enchères	Numéro de l'enchère	Prix de vente minimal (\$)	Prix de vente (\$)	Variation
25-11-2014	1	11,34	12,10	6,7 %
18-02-2015	2	12,10	12,10	0,0 %
21-05-2015	3	14,78	15,01	1,6 %
18-08-2015	4	15,84	16,39	3,5 %
17-11-2015	6	17,64	17,64	0,0 %
18-05-2016	7	16,40	16,40	0,0 %

L'analyse de sensibilité présentée au tableau 19 permet de constater l'effet limité des PGB sur le captage de gaz à effet de serre. La valeur de l'unité d'émission a donc une influence limitée sur les ratios bénéfices-coûts. Ainsi, les PGB qui contribuent au captage de GES ne sont que faiblement affectées. Les cahiers des charges de base et bonifiés ne sont affectés que marginalement par cette valeur.

Tableau 19 Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la valeur attribuée au captage de GES

		Valeur attribuée à la tonne de carbone équivalente				
		12,10*	13,31	14,52	18,15	20,57
	PGB	Ratio Bénéfices-coûts				
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (semis direct)	0,92	0,93	0,95	0,98	1,00
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	-3,07	-3,10	-3,13	-3,23	-3,30
9	Cahier des charges de base avec cultures déclarées	-3,37	-3,38	-3,39	-3,41	-3,43
10	Cahier des charges bonifié avec cultures déclarées	-4,75	-4,76	-4,76	-4,76	-4,77

\* Les ratios de cette colonne correspondent aux ratios obtenus dans l'analyse bénéfices-coûts, selon le prix de vente minimal pour l'année de référence 2015.

## Prix des cultures

La variation du prix des cultures peut avoir un effet substantiel sur l'adoption de certaines PGB puisque plusieurs des PGB étudiées sont établies sur des surfaces qui pourraient autrement être cultivées. L'établissement de la PGB sur une surface cultivable crée un coût d'opportunité qui peut varier dans le temps, par la variation du prix des récoltes et des intrants, et varier dans l'espace, par la variation des rendements entre les parcelles. L'analyse de sensibilité qui est présentée permet de déterminer quel serait l'effet d'une variation générale de la valeur des récoltes.

Le tableau 13 permet de mettre en perspective la variation historique entre 2009 et 2014 de la valeur des cultures au Québec. Il peut être constaté que la variation annuelle n'a jamais représenté plus de 10 % de la valeur de la culture, lorsque la contribution des programmes de stabilisation du revenu est prise en compte. Dans les récentes années, une variation plus importante a pu être observée. En parallèle, le programme ASRA a subi des changements notables, ce qui pourrait créer une variation des revenus plus marquée pour les années à venir. C'est pour cette raison qu'une variation de 20 % est présentée puisque, dans un contexte où les programmes de stabilisation du revenu couvriraient d'une façon différente les revenus agricoles, il serait possible de constater des variations d'une plus grande ampleur.

Pour simplifier l'analyse de sensibilité, la variation étudiée ici est un scénario où toutes les denrées varient avec la même ampleur et le même sens. Deux raisons commandent d'utiliser cette approche : 1) bien que cette variation puisse sembler hypothétique puisqu'il est rare de voir toutes les denrées agricoles varier avec la même ampleur, il n'est pas rare de voir les denrées agricoles varier conjointement dans une même sens puisqu'elles agissent souvent comme substituts entre elles; 2) le nombre de scénarios issus du changement simultané de la valeur de plusieurs denrées est difficile à présenter à cause du nombre exponentiel de scénarios qui est créé. Une variation entre la valeur des récoltes crée notamment un impact sur la composition des cultures. Par exemple, en 2014, il a été observé que si la valeur du soya augmente substantiellement par rapport à celle du maïs, la réaction naturelle des entreprises agricoles est de cultiver plus de soya et de délaissier le maïs. Bien que ce phénomène soit relativement facile à appréhender, le nombre de scénarios générés rend sa présentation difficile.

Les résultats de l'analyse de sensibilité liée au prix des cultures, présentée au tableau 20, montrent qu'une augmentation au-delà de 20 % met en péril la viabilité de la bande riveraine de 10 mètres et du bassin de sédimentation. La bande herbacée de 1 mètre en bordure des fossés est viable économiquement jusqu'à une augmentation d'environ 30 % de la valeur des cultures. De plus, plusieurs PGB ne sont pas sensibles à cette variable parce qu'elles n'affectent pas la superficie en culture.

Tableau 20 Résultats de l'analyse de sensibilité liée à la variation des prix des cultures

		Variation des prix des cultures par rapport aux prix de la situation actuelle				
		-20 %	-10 %	0*	+10 %	+20 %
	PGB	Ratio Bénéfices-coûts				
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	-1,97	-1,71	-1,24	-1,08	-0,99
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	-11,59	-7,12	-3,00	-1,21	-0,78
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	-1,42	-1,35	-1,24	-1,16	-1,08
9	Cahier de base	-3,21	-3,28	-3,39	-3,47	-3,63
10	Cahier bonifié	-0,66	-3,64	-4,76	-4,99	-5,44

\* Les ratios de cette colonne correspondent aux ratios obtenus dans l'analyse bénéfices-coûts selon les valeurs moyennes pour la période 2009-2014. (FADQ, 2015).

## Conclusion de l'analyse de sensibilité

En conclusion, deux des quatre facteurs économiques étudiés se sont révélés avoir un effet plus important, ce sont la valeur de la qualité de l'eau et celle des cultures. La valeur de la qualité de l'eau influence le bénéfice public alors que celle des cultures affecte les coûts privés. Ainsi, une composante importante du bénéfice public calculé dans le présent modèle provient des BSE associés à la qualité de l'eau. Du point de vue des coûts, on peut constater que l'augmentation plus significative du coût d'opportunité lié à la valeur des cultures a pour conséquence de rendre certaines PGB, selon les ratios obtenus, non rentables et ainsi de nuire à l'implantation de certaines PGB individuelles. En contrepartie, la valeur liée à l'esthétique des bandes riveraines et celle du captage de GES ne se sont pas révélées avoir un effet important sur les ratios estimés.

Il peut être conclu que la valeur liée aux BSE ayant le plus d'effet sur les ratios estimés dans la présente étude est celle provenant de la qualité de l'eau. Cette valeur représente une part importante de la valeur des BSE qui découle des PGB.

Les analyses de sensibilité permettent d'observer de quelle façon les PGB individuelles réagissent à ces variations par rapport aux cahiers des charges. De façon générale, les cahiers de base et bonifié sont moins sensibles aux variations de valeur de BSE et de coût. La diversité des PGB des cahiers des charges permet de diminuer l'effet d'une variation d'un facteur économique rendant ainsi les ratios plus robustes à une incertitude liée à certains paramètres de l'estimation.

## DISCUSSION

### Méthodologie permettant d'évaluer la rentabilité des mesures gouvernementales visant la production de BSE

L'étude présente une application concrète de l'analyse bénéfices-coûts dans le contexte de l'amélioration environnementale en milieu agricole. L'approche bénéfices-coûts est une approche économique qui est utilisée pour déterminer l'effet d'un projet en évaluant les coûts et les bénéfices de ce projet. Dans un contexte de développement de politiques environnementales, ce cadre d'analyse utilise la valeur économique totale pour quantifier les bénéfices publics et prendre en considération tous les aspects environnementaux en s'assurant de ne pas les compter plus d'une fois.

L'estimation des coûts repose sur une technique d'optimisation dynamique qui s'est avérée utile non seulement pour déterminer les coûts privés issus de l'implantation de la PGB, mais également pour anticiper certains comportements des entreprises. Un exemple de comportement ayant pu être observé lors de l'utilisation du modèle dynamique est l'augmentation de cultures annuelles par des entreprises qui ne produisaient pas initialement de culture annuelle pour compenser la perte de revenus lors la mise en place de PGB. On peut donc constater que l'optimisation dynamique fournit des informations qui vont au-delà d'une stricte comptabilité des coûts engagés par les entreprises agricoles.

L'approche de la valeur économique totale a l'avantage de pondérer l'importance des BSE selon les besoins et les valeurs de la société. Cependant, des facteurs au-delà de l'économie et de l'environnement peuvent ne pas être capturés par ce cadre d'analyse. Par exemple, des facteurs politiques ou sociaux peuvent venir interférer dans un projet où les résultats économiques indiquent l'avantage du projet. Pour cette raison, un cadre d'analyses qui considère les facteurs pouvant freiner la réalisation du projet peut être nécessaire pour évaluer le succès d'une politique.

Pour que l'approche de la valeur économique totale s'avère efficace pour estimer le résultat d'un changement dans la fourniture de BSE à la suite de la mise en place de PGB, plusieurs facteurs doivent être considérés. La présente section fournit un sommaire ainsi que des balises pour appliquer cette méthode à d'autres circonstances.

## **Évaluation des coûts d'adoption de la PGB**

L'établissement du coût d'adoption des PGB en agriculture est généralement accessible par la consultation de budgets normalisés comme ceux développés par le CRAAQ. La présente étude montre également qu'il est important de prendre en considération les coûts d'opportunité et d'évaluer les comportements pouvant découler de l'adoption d'une PGB. Les coûts d'opportunité peuvent généralement être identifiés en répondant à la question suivante : quels sont les avantages potentiels pour l'entreprise qui sont sacrifiés par l'adoption de la PGB ? Dans la présente étude, le coût d'opportunité principal est le revenu de culture perdu sur la surface consacrée à la PGB.

L'intégration des informations qui précèdent dans un modèle d'optimisation dynamique permet d'interpréter les comportements d'individus qui doivent prendre des décisions en tenant compte des contraintes établies. Notre étude fournit un bon exemple de l'importance d'anticiper des comportements liés à l'adoption de nouvelles PGB. La modélisation a montré que certains producteurs s'orientent vers des cultures plus rentables comme le maïs lors de l'adoption de rotations plus exigeantes. Un autre exemple de comportement qui a été décelé dans notre étude est la possibilité qu'il y ait des échanges de superficies qui s'effectuent entre les producteurs avoisinants. Bien que cette pratique puisse améliorer la situation des rotations à l'échelle d'un bassin versant, il se peut que la pratique encouragée n'ait pas l'efficacité escomptée puisque les champs dédiés aux cultures qui ont plus d'impact environnemental peuvent se retrouver dans des secteurs plus sensibles à l'érosion. Le modèle d'optimisation sectoriel développé pour cette étude permet d'observer ce que des entreprises agricoles agissant comme des unités décisionnelles indépendantes pourraient adopter.

Cependant, l'optimisation dynamique exige des ressources importantes. Dans le cas où cet outil n'est pas à la portée des évaluateurs de politiques, les résultats précédemment cités peuvent permettre de déceler des comportements rationnels découlant de la mise en place de ces nouvelles règles. De plus, un exercice avec des groupes de discussion (*focus groups*) peut permettre de déceler des comportements qui ne sont pas explicites au regard de la politique mise en place.

## **Évaluer la valeur des BSE générés par l'adoption de la PGB**

L'exercice de l'établissement des bénéfices liés à l'adoption d'une nouvelle PGB est souvent plus exigeant du point de vue méthodologique parce que la majorité de ces bénéfices sont non marchands, c'est-à-dire que les BSE ne sont pas transigés explicitement sur le marché. Des méthodes d'évaluation économique non marchande sont donc nécessaires. Les valeurs de ces BSE ont été déterminées par l'utilisation de résultats

de plusieurs recherches pouvant être utilisées dans la région à l'étude. La notion de cohérence spatio-temporelle est importante lors de l'évaluation de ces valeurs puisqu'il est reconnu que ces valeurs varient dans le temps et l'espace. Les études qui ont été utilisées pour déterminer la valeur de ces bénéfices sont :

- Johnston et Thomassin (2010) pour les bénéfices liés au modèle hydrique;
- Doyon et al. (2015) pour les bénéfices liés à l'amélioration esthétique du paysage;
- les valeurs d'échange de crédits compensatoires pour les bénéfices liés à la capture de GES.

Les estimations qui découlent de ces recherches doivent être interprétées et contextualisées avant leur utilisation. La section qui suit en fournira un sommaire.

### **Valeur des BSE liés au modèle hydrique**

Le calcul de valeur de BSE du modèle hydrique est le plus complexe des trois modèles utilisés dans cette étude (présentés à la figure 1) au puisque les agents polluants sont multiples (p. ex., sédiments, phosphore, azote) et la qualité de l'eau est associée à de multiples BSE (eau pour l'aqueduc, pêche sportive, sports nautiques, etc.). Pour déterminer la valeur des BSE, il faut premièrement établir quels sont les facteurs limitatifs de la qualité de l'eau puisque ceux-ci varient d'un bassin versant à l'autre. Contrairement aux polluants gazeux liés au réchauffement climatique, les polluants hydriques ont un effet beaucoup plus localisé et leurs émissions dépendent de la composition physico-chimique des sols du bassin versant. L'outil le plus approprié pour déterminer le facteur limitatif est l'indice de la qualité de l'eau (Hébert, 1996). Une fois que la quantité de polluant pouvant être diminuée par la PGB est établie, il est par la suite possible d'utiliser la méta-analyse (Johnston et Thomassin, 2010) pour déterminer la valeur liée à l'augmentation des BSE obtenus par l'amélioration de la qualité de l'eau dans le bassin versant.

La méta-analyse a l'avantage d'utiliser des estimations représentant un large échantillon de la population. S'il est connu qu'une région précise vit une problématique, il est possible que ces estimations ne soient pas un portrait représentatif des valeurs de volonté de payer des individus vivant dans une autre région. Les situations particulières doivent donc être évaluées convenablement avant que des estimations générales puissent être utilisées.

Il est important de considérer que, bien que cette méthode permette d'anticiper des charges polluantes issues de processus physico-chimiques complexes, elle doit être utilisée en considérant que les résultats obtenus par cette méthode ont généralement une portée régionale. La situation initiale du bassin versant est déterminante dans les résultats de ratios bénéfices-coûts qui sont obtenus. Les PGB peuvent avoir des bénéfices publics qui varient selon leur efficacité à diminuer le facteur limitant de l'indice de la qualité de l'eau dans le bassin versant visé. Cette réalité doit être considérée avant de déterminer d'appliquer une PGB sur un vaste territoire où les réalités peuvent varier.

### **Valeur des BSE liés à l'amélioration esthétique du paysage**

Ce modèle est dérivé d'évaluations de la volonté de payer pour l'amélioration du paysage en milieu rural dans la région de Québec (Doyon et al., 2015). Le bassin versant est situé à moins de 40 km de la ville de Québec, ce qui rend les valeurs appropriées aux fins d'estimation de la présente étude. Advenant l'impossibilité de recourir à des études déjà effectuées, il pourrait s'avérer nécessaire d'effectuer un tel sondage, augmentant du fait même les coûts liés à cette estimation, mais permettant également d'avoir des estimations reflétant les besoins de la société concernée.

Certains facteurs peuvent cependant diminuer l'importance d'inclure ce bénéfice dans l'analyse bénéfices-coûts, notamment si la région qui fait l'objet de ce type d'étude contient peu de population ou n'a pas d'attrait touristique particulier. La valeur esthétique dépend du nombre de personnes qui habitent le bassin versant et de son potentiel touristique. Il est donc possible que cette valeur soit si marginale que son estimation ne soit pas nécessaire. L'opposé est également vrai : dans un bassin versant habité par une grande population avec un fort potentiel touristique, la valeur esthétique revêt une valeur proportionnellement supérieure à celle estimée dans la présente étude. Il n'en reste pas moins que la valeur associée à la qualité de l'eau et à ses bénéfices tend à être plus importante dans une analyse bénéfices-coûts

de PGB parce que les mêmes facteurs de population et de tourisme affectent également les bénéfices publics issus de la qualité de l'eau.

### **Valeur des BSE liées au captage de GES**

Les avancées sur les changements climatiques ainsi que l'établissement de marchés du carbone permettent aujourd'hui d'exprimer l'établissement de PGB en termes de captage de GES et d'y attribuer une valeur monétaire. Ainsi, dans cette étude, le calcul des bénéfices provenant du captage de GES est déterminé par la valeur du crédit compensatoire. Le choix a été fait de sélectionner la valeur de compensation ayant cours dans la province de Québec pour avoir une représentation de la valeur utilisée dans cette juridiction. La valeur de compensation varie cependant entre les législations. Une analyse de sensibilité permet donc de déterminer quel serait l'effet de la variation de cette valeur sur le ratio bénéfices-coûts et de déterminer quel est le point d'équilibre entre le montant d'investissement nécessaire à la mise en place d'une PGB et celle des bénéfices publics qui en découlent.

Une nuance importante doit être faite entre les bénéfices publics et les bénéfices privés internalisés lors de l'utilisation de la valeur associée à des BSE provenant de la capture de GES. Pour l'instant, les PGB qui sont traitées dans notre étude ne font pas partie des protocoles reconnus dans le cadre de la réglementation régissant le marché du carbone. Advenant l'éventualité que des PGB viennent à être reconnues officiellement par les instances réglementaires, il serait alors possible de vendre des crédits compensatoires par la mise en place de PGB sur les fermes, internalisant ainsi la valeur de l'effort déployé par les entreprises agricoles. Cette internalisation des valeurs liées aux crédits compensatoires crée une situation de marché où les joueurs impliqués sont sujets aux lois de l'offre et de la demande et acceptent de participer si les bénéfices privés sont supérieurs aux coûts engendrés.

### **Établir le ratio bénéfices-coûts de la PGB**

Bien qu'il y ait plusieurs moyens d'analyser les résultats issus de l'analyse bénéfices-coûts, l'utilisation du ratio bénéfices-coûts a été privilégiée parce que cette mesure met en perspective l'ampleur de la différence entre les bénéfices et les coûts. Ainsi, à l'opposé d'une différence absolue entre les bénéfices et les coûts, le ratio permet de déterminer rapidement combien de fois les bénéfices surpassent les coûts.

Généralement, lorsque l'analyse bénéfices-coûts s'applique à un projet privé, le ratio obtenu est positif. Dans notre analyse cependant, la plupart des ratios sont exprimés négativement pour différencier les situations dans lesquelles les PGB génèrent des coûts privés de celles qui génèrent des bénéfices privés. L'exemple d'un ratio positif est bien illustré avec l'établissement du semis direct et où la PGB génère des bénéfices privés au lieu de coûts. Dans ce cas, le ratio devient un bénéfice public divisé par un bénéfice privé.

De plus, cette mesure n'informe pas sur la distribution temporelle entre le bénéfice public et le coût privé. Une PGB comme l'établissement de bande riveraine arbustive n'atteint pas sa pleine efficacité au moment de l'établissement de celle-ci alors que le coût privé est principalement engendré dans les premières années de l'établissement. Bien que cette situation ait été prise en considération par l'utilisation d'une moyenne des coûts sur la période de vie utile de la PGB, le ratio n'exprime pas cette variation à travers le temps. Une analyse plus exhaustive doit être faite si la distribution des bénéfices et des coûts à travers le temps est importante pour la prise de décision.

### **L'apport d'une analyse bénéfices-coûts pour établir des programmes environnementaux**

Cette étude permet de déterminer les PGB les plus favorables selon un contexte environnemental spécifique et fournit également des outils pour évaluer l'impact du type de programme utilisé pour leur mise en place. Ces programmes peuvent fournir une compensation monétaire aux agriculteurs de différentes façons. La compensation peut prendre la forme d'un programme qui couvre une partie des investissements nécessaires à l'implantation des PGB, comme le programme Prime-Vert, ou qui exige que les coûts d'implantation

soient à la charge des agriculteurs, comme l'interdiction de cultiver les trois mètres de bandes riveraines, comme le prescrit le Règlement sur les exploitations agricoles. Nonobstant le niveau de compensation provenant du gouvernement, il est important d'évaluer convenablement l'effet de l'implantation de la PGB pour s'assurer que les PGB mises en place permettront d'améliorer l'environnement sans affecter outre mesure les exploitations agricoles. La méthode utilisée dans la présente étude permet de sélectionner les PGB les plus performantes dans un contexte spécifique.

Le mécanisme de compensation monétaire peut également varier. La méthode traditionnelle pour compenser la mise en place de PGB en agriculture est la compensation directe de l'état. L'hétérogénéité des sources de pollutions diffuses et les ressources limitées de l'état obligent à imaginer de nouvelles façons de redistribuer les bénéfices et les coûts de l'augmentation des BSE dans une communauté. De plus, les instruments conventionnels sont peu efficaces dans un contexte de protection des espèces fauniques et de la protection d'habitats. En Europe, une nouvelle gamme d'instruments de politiques agroenvironnementales a donc vu le jour; il s'agit de politiques basées sur des mesures d'incitation économiques volontaires (Latacz, Lohmann et Hodge, 2003). Leur adoption s'est rapidement propagée dans un grand nombre de pays industrialisés (OCDE, 2004).

Au Canada, un effort de recherche a été mené pour évaluer comment des politiques basées sur des mesures d'incitation économique volontaires pourraient être intégrées aux politiques disponibles pour améliorer l'environnement.

La méthode présentée dans cette étude permet donc de fournir des informations essentielles pour la mise en place et l'entretien des mesures d'incitation économique volontaires. Un modèle pouvant prévoir la réaction des agriculteurs permet d'anticiper comment un programme de compensation monétaire provenant d'un marché serait reçu par les producteurs agricoles.

Le système d'échange des émissions polluantes consiste en un marché des PGB où les objectifs environnementaux sont établis par bassin versant. Les entreprises sélectionnent les PGB selon le coût marginal en augmentant ainsi l'efficacité de la distribution des PGB mises en place. Le défi de ce système est de déterminer si le coût de transaction et de vérification du système d'échange est inférieur aux économies effectuées par la transition utilisant des PGB standards et le système d'échange. Une analyse des coûts liés à la mise en place de tels mécanismes de réduction des émissions polluantes n'a pas été évaluée et pourrait faire l'objet d'études subséquentes.

## CONCLUSION

La présente étude a pour objectif principal d'évaluer les PGB provenant de l'agriculture qui peuvent améliorer la production de BSE dans un bassin versant. Ce projet de recherche portait sur le sous bassin versant du Bras d'Henri pour l'étude de cas et a évalué les PGB dans un cadre d'analyse bénéfices-coûts. Les résultats montrent que la plupart des PGB sélectionnées génèrent des ratios bénéfices-coûts favorables et que, dans le cas d'une régie en semis direct, les effets positifs sur le rendement des cultures justifient son adoption par les entreprises. Pour toutes les autres PGB étudiées, les ratios obtenus suggèrent qu'une redistribution de la valeur économique totale entre les entreprises agricoles et les communautés environnantes est nécessaire pour que ces PGB puissent être adoptées. De plus, l'étude conclut que l'adoption simultanée de plusieurs PGB, présentées comme des cahiers des charges, permet de générer plus de bénéfices publics que l'adoption individuelle de PGB. Les conclusions aux questions spécifiques sont exposées dans les sous-sections qui suivent.

### Les résultats environnementaux des PGB

L'étude permet de mesurer les effets environnementaux de l'implantation des PGB. Ainsi, d'un indice de qualité de l'eau initial de 45, les résultats du modèle de la qualité de l'eau montrent que l'application des PGB individuelles permet d'augmenter l'indice de qualité de l'eau pour qu'il atteigne une fourchette qui varie entre 58 et 71 alors que l'application du cahier des charges de base permet d'augmenter l'indice de qualité de l'eau du bassin versant à 81 et que celle du cahier bonifié permet une augmentation de l'indice à 82. La PGB individuelle ayant l'effet le plus important sur la qualité de l'eau est l'implantation d'un bassin de sédimentation au champ.

Dans le cas de l'esthétique des paysages, les PGB qui y contribuent sont l'établissement de bandes riveraines contenant des arbres. Considérant que le réseau hydrologique est particulièrement développé dans le bassin versant, l'implantation de bandes riveraines arbustives représente un total de 37 kilomètres linéaires de boisé dans le bassin versant. Cependant, seule une des trois bandes riveraines étudiées a présenté un ratio qui favorise son adoption (soit la bande riveraine herbacée et arbustive naturelle). Il peut être conclu que l'esthétique des paysages représente une portion marginale des BSE obtenus.

En ce qui a trait au captage de GES, celui-ci varie d'une séquestration annuelle de 2791 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent pour les bandes riveraines à 3910 tonnes d'équivalent de CO<sub>2</sub> pour l'adoption du travail minimum du sol. Quant aux cahiers des charges de base et bonifiés, ils permettent un captage annuel respectif de 3967 et de 4152 tonnes d'équivalent de CO<sub>2</sub>. Bien que, selon l'analyse économique, le captage de GES ne représente pas un aspect majeur de la valeur totale des PGB, cette captation de GES permet néanmoins de contribuer à la lutte contre les changements climatiques.

### Les résultats économiques des PGB

Les résultats économiques obtenus sont dérivés des résultats environnementaux et appuyés par les valeurs de volonté de payer pour les BSE identifiés dans le bassin versant. Puisque les PGB ont été sélectionnées dans l'objectif de fournir des résultats environnementaux qui augmentent le bien-être de la population environnante, peu de PGB n'atteignent pas le ratio bénéfices-coûts de -1 qui favorise l'adoption des PGB.

Les deux PGB qui n'ont pas de bénéfice social supérieur à leur coût privé sont la bande riveraine herbacée de 10 mètres et la bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 mètres qui ont obtenu un ratio de -0,79 et de -0,96, respectivement. La bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 mètres est la seule bande riveraine qui a obtenu un ratio favorable à son implantation, soit -1,23. Ce ratio est obtenu en diminuant le coût d'implantation. Cette PGB reste cependant sensible à l'augmentation de la valeur des cultures puisque le coût d'opportunité d'implantation reste important.

L'adoption d'une pratique de travail minimum du sol est la seule PGB qui génère un bénéfice privé. Ce bénéfice privé correspond à un ratio positif de 0,93. Considérant ces résultats, il est prometteur de faire la promotion de cette PGB puisque les résultats permettent de conclure qu'à la fois les entreprises agricoles et la société bénéficieraient de l'adoption d'une telle mesure.

Les autres PGB étudiées individuellement sont la rotation de cultures, un bassin de sédimentation au champ, une bande herbacée de un mètre en bordure des fossés et un assolement qui inclut un minimum de 25 % de cultures pérennes. Ces PGB ont généré des ratios qui varient entre -1,24 et -3,00, ce qui indique qu'elles procurent un bénéfice public supérieur au coût privé de l'entreprise.

Les deux cahiers des charges, qui sont composés de plusieurs PGB, fournissent des ratios supérieurs par rapport aux ratios obtenus par l'implantation individuelle de PGB. Ainsi, le cahier des charges de base obtient un ratio de -3,38 et le cahier des charges bonifié obtient un ratio de -4,76. Un effet de synergie est donc observé lorsque les PGB sont combinées. De plus, ces combinaisons rendent les ratios moins sensibles à des variations de valeur autant du côté des bénéfices publics que du côté de la production agricole.

Les valeurs nominales sont importantes. Ainsi, dans le cas du cahier des charges bonifié, le bénéfice social est estimé à 912 233 \$ alors que le coût de mise en place est estimé à 191 801 \$ pour le bassin versant. Il est donc facile de convenir que de tels efforts financiers ne pourraient être exclusivement financés par le secteur privé sans compromettre la pérennité du secteur. Une discussion du transfert de bénéfices entre les fournisseurs de BSE et les bénéficiaires est donc légitime et nécessaire.

## **Les valeurs économiques des BSE associés à la prestation des PGB**

Les valeurs de BSE qui ont été estimées permettent de conclure que l'effet des BSE étant les plus importants sont, par ordre d'importance, les valeurs liées à la qualité de l'eau, à l'esthétique des paysages et finalement au captage de GES. En étudiant les PGB sous l'angle de la valeur des BSE, les PGB ayant les ratios les plus avantageux sont celles qui améliorent la qualité de l'eau du bassin versant. Puisque les nitrates et les nitrites sont les éléments les plus problématiques pour la qualité de l'eau dans le bassin versant, les PGB qui diminuent les charges de nitrate au cours d'eau procurent donc les meilleurs ratios bénéfices-coûts.

## **Les combinaisons de PGB générant les bénéfices publics les plus élevés**

Il peut être conclu que les cahiers des charges ont un effet positif sur la prestation de BSE et que le cahier des charges bonifié a un effet de réduction des émissions polluantes légèrement supérieur à celui du cahier des charges de base. L'effet combiné des PGB permet d'augmenter les bénéfices issus des PGB qui sont mises en place. De plus, la régie en semis direct incluse aux deux cahiers des charges diminue le coût d'application parce qu'il génère une augmentation des rendements. Les deux cahiers des charges présentent des coûts et des bénéfices qui sont supérieurs à ceux qui sont observés pour les PGB individuelles. En effet, bien que les ratios des cahiers des charges soient plus avantageux du point de vue environnemental, le coût privé de mise en œuvre reste supérieur à celui de la mise en place d'une seule PGB.

L'évaluation individuelle des PGB permet de conclure que les PGB initialement sélectionnées ont des ratios indiquant l'avantage de leur mise en place dans le bassin versant. Les ratios bénéfices-coûts obtenus montrent que le cahier des charges de base est plus avantageux que toutes les PGB prises individuellement et que le cahier des charges bonifié est plus avantageux que celui de base. L'effet combiné des PGB permet donc d'augmenter les bénéfices issus des PGB en créant une synergie entre celles-ci.

Les deux cahiers des charges présentent des coûts et des bénéfices qui sont supérieurs à ceux observés pour les PGB individuelles. Cette conclusion est prévisible considérant l'effort supplémentaire qui doit être investi par les producteurs agricoles pour mettre en place ces différentes PGB. Les résultats doivent donc être interprétés non seulement par rapport aux résultats environnementaux obtenus par les ratios bénéfices-coûts, mais également par rapport aux efforts nécessaires à la mise en place des PGB. Dans un contexte où

le transfert entre les coûts privés et les bénéfices publics est clairement établi et ne génère pas de coûts de transaction élevés, la mise en place d'un cahier des charges représente la mesure la plus avantageuse pour la société.

## **Les facteurs ayant une influence sur les bénéfices et les coûts, et leur ampleur**

L'analyse de sensibilité a été utilisée pour déterminer quels sont les facteurs qui influencent les ratios bénéfices-coûts des PGB et des cahiers des charges. Les résultats montrent que, parmi les facteurs étudiés, les bénéfices pour la qualité de l'eau sont le facteur qui a la plus grande influence sur le bénéfice public. Selon les estimations effectuées, la valeur liée au captage de GES et celle de l'esthétique des paysages agricoles ont une contribution moins importante sur le bénéfice global des PGB étudiées.

Parmi les facteurs les plus importants, notons les résultats qui montrent qu'une diminution de 50 % de la valeur attribuée à la qualité de l'eau plonge les ratios de la majorité des PGB évaluées sous le niveau justifiant leur mise en place, à l'exception de l'établissement de la culture pérenne. Dans le cas de la valeur de l'esthétique des paysages agricoles, une diminution de 50 % de cette valeur ne compromet pas la viabilité économique de l'établissement des bandes riveraines.

Combiner les PGB sous forme de cahier des charges permet de combiner le bénéfice de plusieurs BSE dans le ratio, rendant ainsi les deux cahiers des charges moins sensibles aux incertitudes liées à certaines estimations des bénéfices obtenus par les PGB. L'utilisation d'un cahier des charges composé d'un groupe de PGB complémentaires permet de créer une synergie entre les PGB en diminuant l'effet d'une variation des valeurs provenant des BSE et de la valeur des prix du marché. Ainsi, une combinaison de PGB peut permettre aux concepteurs de politiques d'obtenir des résultats environnementaux plus stables face à la variation de la valeur environnementale ou de la variation de la valeur des prix des grains.

Il est cependant impératif de bien évaluer la complémentarité des PGB inclus au cahier des charges pour ne pas avoir un effet négatif sur le ratio bénéfices-coûts. L'évaluation des PGB sur une base individuelle est donc nécessaire avant d'évaluer quelle combinaison de PGB est optimale. Par exemple, l'étude évalue que la bande riveraine avec arbre implanté ne permet pas de fournir des BSE suffisants pour couvrir les coûts d'implantation d'un tel aménagement. L'inclusion d'une telle PGB au cahier des charges aurait un effet négatif sur le ratio du cahier des charges, d'où l'importance de bien choisir la combinaison de PGB d'un cahier des charges.

Il est également possible que la combinaison de PGB varie selon les problématiques environnementales d'un bassin versant. Notre étude s'est concentrée sur l'étude d'un bassin versant où la problématique est principalement liée à l'émission de nitrates dans l'eau. Les PGB ayant une plus grande capacité de réduire les émissions de nitrates et nitrites dans l'eau fournissent donc des ratios bénéfices-coûts supérieurs. Cependant, les bassins versants du Québec présentent des problématiques environnementales qui varient selon l'agriculture qui y est pratiquée, la population y vivant et les propriétés physico-chimiques des sols. La combinaison optimale des PGB à inclure au cahier des charges peut donc varier selon les conditions caractérisant le territoire.

L'effet de la variation de la valeur des cultures a également été évalué lors de l'analyse de sensibilité puisqu'il représente le coût d'opportunité le plus important de cette étude. Les seules PGB touchées sont celles qui impliquent une superficie qui serait autrement occupée par la culture. Ce sont donc les ratios des bandes riveraines et l'utilisation de bassins de sédimentation qui sont affectés par la valeur des cultures. Il est estimé qu'une augmentation de la valeur des récoltes de 20 % ne favorise plus leur rentabilité. Ce résultat a des conséquences sur les programmes qui proposent la mise en place des PGB : une augmentation générale de la valeur des cultures peut mettre en péril l'implantation d'une PGB si la compensation offerte pour cette implantation n'est pas compensée à la mesure des pertes engagées, en incluant les coûts d'opportunité. L'anticipation d'une hausse de la valeur des récoltes par les producteurs aurait le même effet si l'on considère la nature permanente de certains ouvrages comme l'établissement d'un bassin de sédimentation.

## **Limites de l'étude et pistes de recherche futures**

L'avancement des connaissances scientifiques permet de faire des liens entre l'effet des PGB et l'amélioration des BSE comme il n'était pas possible de le faire auparavant. Par exemple, notre étude modélise des scénarios de culture dans le bassin versant et prend en compte une variété de paramètres comme la pente et le type de sol, les pratiques culturales ou le type de culture pour établir les niveaux de BSE obtenus. Cependant, des défis techniques existent toujours dans la traduction de certaines améliorations environnementales en BSE, notamment dans le domaine de l'hydrologie. Ces valeurs fluctuent dans le temps et l'espace, ce qui complique l'estimation précise de la qualité de l'eau sur une longue période de temps. Bien que ce défi relève de l'hydrologie, il a un impact certain sur la qualité des estimations économiques faites dans le cadre de la présente recherche.

Notre étude allie les bénéfices liés à l'amélioration de la qualité de l'eau, de la qualité esthétique des paysages agricoles et du captage des gaz à effet de serre. L'une des parties les plus exigeantes de cette recherche est d'évaluer la valeur économique totale des BSE associés à la qualité de l'eau. Cette difficulté est liée à la nature diffuse et hétérogène de la pollution hydrique. L'utilisation de l'indice de la qualité de l'eau présentée dans notre étude permet de lier l'effet de la pollution hydrique aux bénéfices découlant de sa diminution. Une connaissance plus approfondie des processus physico-chimiques de la pollution est certes importante, mais la compréhension des bénéfices liés à la diminution de la pollution est également essentielle parce qu'elle permet de traduire les mesures physico-chimiques en termes de bien-être humain. Les mesures plus précises de bien-être liées à l'amélioration des BSE sont donc nécessaires pour augmenter la robustesse statistique des analyses économiques et savoir quels sont les facteurs qui influencent ces valeurs.

L'outil envisagé comme mode de paiement pour des BSE liés aux PGB est également un facteur ayant une importance dans l'adoption des PGB. Ces outils peuvent avoir une influence sur le succès de la mise en place de ces nouvelles PGB ainsi que sur leur coût d'application. Il est donc important de se pencher sur cette facette puisque ces outils ont une influence sur le coût et la réussite de tels programmes.

Les améliorations des méthodologies pour déterminer les valeurs de volonté de payer sont également en constante évolution. Elles sont donc à mettre à jour continuellement en prenant en considération les nouvelles avancées techniques.

Les préférences environnementales des sociétés changent à travers le temps et l'espace. Il est donc important de faire des mises à jour des études de volonté de payer utilisées par les méta-analyses. Ces méta-analyses doivent également prendre en compte les priorités et les valeurs des communautés locales impliquées. Présentement, la rareté des analyses disponibles permet difficilement de considérer ces facettes dans les analyses bénéfices-coûts. Un nombre accru de recherches sur la volonté de payer des citoyens pour les BSE fera en sorte d'améliorer la précision des valeurs estimées par ce type d'étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- Adams, R. M., Chen, C.-C., McCarl, B. A., et Weiher, R. F. 1999.** The economic consequences of ENSO events for agriculture. *Climate Research*, 13(3): 165-72.
- Agri-Réseau. 2008a.** Budget de Cultures 2008 - Maïs fourrager en silo-tour. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008b.** Budget de Cultures - Avoine. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008c.** Budget de Cultures - Blé. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008d.** Budget de Cultures - Canola. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008e.** Budget de Cultures - Maïs grain. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008f.** Budget de Cultures - Orge. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2008g.** Budget de Cultures - Soya. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- . **2009.** Budget de Cultures.
- . **2010.** Budget de Cultures 2008 - Ensilage mil-luzerne en silo-tour. [http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s\[0\]=0-19-2129-2132&page=1](http://www.agrireseau.qc.ca/grandescultures/?s[0]=0-19-2129-2132&page=1) (accédé le 15 novembre 2016).
- AAC. 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). Ottawa, Canada : Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Révéret, J.-P., et Messier, C. 2014.** A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agroforestry systems*, 88(4): 679-91.
- Bailey, N. J., Motavalli, P. P., Udawatta, R. P., et Nelson, K. A. 2009.** Soil CO<sub>2</sub> emissions in agricultural watersheds with agroforestry and grass contour buffer strips. *Agroforestry systems*, 77(2): 143-58.
- Bateman, I. J., Lovett, A. A., et Brainard, J. S. 2003.** *Applied environmental economics: A GIS approach to cost-benefit analysis*. Cambridge University Press.
- Beauregard, G. 2011.** Budget de cultures, Personal communication.
- Bremer, D. J., Ham, J. M., Owensby, C. E., et Knapp, A. K. 1998.** Responses of soil respiration to clipping and grazing in a tallgrass prairie. *Journal of Environmental Quality*, 27(6): 1539-48.
- Cameron, T. A., Poe, G. L., Ethier, R. G., et Schulze, W. D. 2002.** Alternative non-market value-elicitation methods: are the underlying preferences the same? *Journal of Environmental Economics and Management*, 44(3): 391-425.
- CRAAQ 2007.** Bandes riveraines enherbées, frais d'implantation - modèle agroenvironnemental. Québec:
- CRAAQc 2007.** Bande riveraine enherbée - Frais d'implantation - Modèle agroenvironnemental. Québec:
- **2008.** Brise-vent naturel - Frais d'implantation. Québec:
- Chen, X. et Ónal, H. 2012.** Modeling agricultural supply response using mathematical programming and crop mixes. *American Journal of Agricultural Economics*, 94(3): 674-86.
- Coulter, J. A., Sheaffer, C. C., Wyse, D. L., Haar, M. J., Porter, P. M., Quiring, S. R., et Klossner, L. D. 2011.** Agronomic performance of cropping systems with contrasting crop rotations and external inputs. *Agronomy Journal*, 103(1): 182-92.

**Desjardins, R., Smith, W., Grant, B., Campbell, C., et Riznek, R. 2005.** Management strategies to sequester carbon in agricultural soils and to mitigate greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 70(1-2): 283-97.

**Doyon, M., Vossler, C., Rondeau, D., et Roy-Vigneault, F. 2015.** 'Les biais hypothétiques et leurs conséquences La mesure de biens et services écosystémiques en agroforesterie au Québec.' in *Les biais hypothétiques et leurs conséquences La mesure de biens et services écosystémiques en agroforesterie au Québec* eds. J. Dupras & J.-P. Revêrêt. Québec, Canada: Presse de l'Université du Québec.

**Éditeur officiel du Québec 2017.** 'Règlement sur les exploitations agricoles.' dans *Loi sur la qualité de l'environnement*. Gazette Officielle du Québec, Chapitre Q-2, r. 26.

**Éditeur officiel du Québec 2018.** 'Règlement concernant le système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre'. Gazette Officielle du Québec, Chapitre Q-2, r. 46.1.

**Financière Agricole du Québec. 2014.** Rendement de référence 2014 en assurance récolte. Québec: Direction de l'assurance récolte.

**Financière Agricole du Québec. 2013.** Rendement de référence 2013 en assurance récolte. Québec: Direction de l'assurance récolte.

**Financière Agricole du Québec. 2012.** Rendement de référence 2012 en assurance récolte. Québec: Direction de l'assurance récolte.

**Financière Agricole du Québec. 2011.** Rendement de référence 2011 en assurance récolte. Québec: Direction de l'assurance récolte.

**Financière Agricole du Québec. 2010.** Rendement de référence 2010 en assurance récolte. Québec: Direction de l'assurance récolte.

**Fortin, J.-P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R., Fitzback, J., et Villeneuve, J.-P. 2001.** Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. II: Application to Chaudière watershed. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(2): 100-08.

**Gaynor, J. et Findlay, W. 1995.** Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *Journal of Environmental Quality*, 24(4): 734-41.

**Greenwald, D. 1984.** *Encyclopédie économique*. New York: McGraw-Hill.

**Gumiere, S. J., Rousseau, A. N., Hallema, D. W., et Isabelle, P.-E. 2013.** Development of VFDM: a riparian vegetated filter dimensioning model for agricultural watersheds. *Canadian Water Resources Journal*, 38(3): 169-84.

**Hébert, S. 1996.** Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec. Québec: M. d. l. E. e. d. l. Faune.

**Institut de la Statistique du Québec. 2010.** Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec Edition 2010. <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/agriculture/profil-industrie-bioalimentaire.html> (accédé le 12 octobre 2016).

**International Institute for Sustainable Development 2008.** Valuing public benefits accruing from agricultural beneficial management practices: An impact pathway analysis for Tobacco Creek, Manitoba. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.

**Johnston, R. J. et Thomassin, P. J. 2010.** Willingness to pay for water quality improvements in the United States and Canada: Considering possibilities for international meta-analysis and benefit transfer. *Agricultural & Resource Economics Review*, 39(1): 114-31.

**Latacz-Lohmann, U. et Hodge, I. 2003.** European agri-environmental policy for the 21st century. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 47(1): 123-39.

**Mailhot, A., Rousseau, A., Salvano, E., Turcotte, R., et Villeneuve, J. 2002.** Évaluation de l'impact de l'assainissement urbain sur la qualité des eaux du bassin versant de la rivière Chaudière à l'aide du système de modélisation intégrée GIBSI. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 15: 149-72.

**Marbek 2010.** Assessing the economic value of protecting the Great Lakes: Rouge River case study for nutrient reduction and nearshore health protection. Ottawa:

**McCarl, B. A. 1982.** Cropping activities in agricultural sector models: a methodological proposal. *American Journal of Agricultural Economics*, 64(4): 768-72.

**MAPAQ. 2011.** Donner le goût du Québec - Livre vert pour une politique bioalimentaire. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/MapaqBrochureLivreVert.pdf> (accédé le 1 novembre 2016).

**---** 2014. Évaluation de l'état des sols - Manuel du conseiller 2014. [http://www.agriconseils.qc.ca/wp-content/uploads/2014/02/Manuel\\_evaluation\\_sols\\_2014-2015.pdf](http://www.agriconseils.qc.ca/wp-content/uploads/2014/02/Manuel_evaluation_sols_2014-2015.pdf) (accédé le 1 février 2016).

---. 2016. Plan stratégique 2015-2018. [https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/mapaq\\_plan\\_strategique.pdf](https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/mapaq_plan_strategique.pdf) (accédé le 1 novembre 2015).

**Ministère du développement durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 2014.** Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA). [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas\\_interactif/stations/stations\\_rivieres.asp](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/Atlas_interactif/stations/stations_rivieres.asp) (accédé le 15 mai 2015).

**MDDELCC. 2015.** Système de plafonnement et d'échange de droits d'émission de gaz à effet de serre du Québec. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/changements/carbone/index.asp> (accédé le 28 janvier 2015 novembre 2016).

**Munkholm, L. J., Heck, R. J., et Deen, B. 2013.** Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil and Tillage Research*, 127: 85-91.

**OCDE 2004.** Agriculture and the environment: Lessons learned from a decade of OECD Work. Paris: OCDE.

**Policy Research Institute. 2006.** Can water quality trading help to address agricultural sources of pollution in Canada. Ottawa: Policy Research Institute.

**Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., et Frede, H.-G. 2007.** Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground-and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment*, 384(1): 1-35.

**Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D., et Yoder, D. 1997.** Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agriculture Handbook (Washington)*, (703).

**Rousseau, A., Mailhot, A., Turcotte, R., Duchemin, M., Blanchette, C., Roux, M., Etong, N., Dupont, J., et Villeneuve, J.-P. 2000.** *GIBSI—An integrated modelling system prototype for river basin management*. Springer.

**Rousseau, A. N., Mailhot, A., Quilbé, R., et Villeneuve, J.-P. 2005.** Information technologies in a wider perspective: integrating management functions across the urban–rural interface. *Environmental Modelling & Software*, 20(4): 443-55.

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

**Roy, B. 2015.** Information au sujet des bassins de sédimentation, Personal communication, July.

**Roy, R., Baker, L., et Thomassin, P. J. 2013.** Estimating the Cost of Agricultural Pollution Abatement: Establishing Beneficial Management Practices in the Bras d'Henri Watershed. Paper presented at 2013 Annual Meeting, August 4-6, 2013, Washington, DC.

**Salvano, E., Rousseau, A. N., Debailleul, G., et Villeneuve, J.-P. 2006.** An environmental benefit-cost analysis case study of nutrient management in an agricultural watershed. *Canadian Water Resources Journal*, 31(2): 105-22.

**Sharpley, A. N. et Williams, J. R. 1990.** EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation. *Technical Bulletin-United States Department of Agriculture*, (1768 Pt 1).

**Shortle, J. et Horan, R. D. 2013.** Policy instruments for water quality protection. *Annual Review of Resource Economics*, 5(1): 111-38.

**Singh, V. P. 1995.** *Computer models of watershed hydrology*. Highlands Ranch, Colo.: Water Resources Publications.

**Smith, D. G. 1990.** A better water quality indexing system for rivers and streams. *Water Research*, 24(10): 1237-44.

**Stanger, T. F. et Lauer, J. G. 2008.** Corn grain yield response to crop rotation and nitrogen over 35 years. *Agronomy Journal*, 100(3): 643-50.

**Tiessen, K., Elliott, J., Yarotski, J., Lobb, D., Flaten, D., et Glozier, N. 2010.** Conventional and conservation tillage: influence on seasonal runoff, sediment, and nutrient losses in the Canadian prairies. *Journal of Environmental Quality*, 39(3): 964-80.

**Tremblay, G. 2016.** Bénéfice des rotations en grande cultures. Paper presented at the Conférence sur les grandes cultures, Drummondville, February 11, 2016.

**Tufekcioglu, A., Raich, J., Isenhardt, T., et Schultz, R. 2003.** Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry systems*, 57(3): 187-98.

**Van Eerd, L., Congreves, K., Smith, J., Németh, D., et Hooker, D. 2013.** Long term effects of tillage system and crop rotation on soil physical and chemical properties in a Brookston clay loam at Ridgetown, ON.

**Vaughan, W. J. 1986.** The Water Quality Ladder. Included as Appendix B in Mitchell, RC, Carson, RT, 1986. The Use of Contingent Valuation Data for Benefit/Cost Analysis in Water Pollution Control. CR-810224-02. Prepared for US Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, Washington, DC.

**Wischmeier, W. H., Smith, D. D., United, S., Science, Education, A., Purdue, U., et Agricultural Experiment, S. 1978.** *Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning.* [Washington]: Department of Agriculture, Science and Education Administration,

Tableau 21 Sommaire des résultats techniques et environnementaux

		Indicateurs environnementaux			Indicateur économique	Indicateurs techniques				Cultures				
		Sédiments (% de la situation actuelle)	Azote (% de la situation actuelle)	Phosphore (% de la situation actuelle)	Bénéfice net agrégé (\$) des entreprises	Bande riveraine 3 m	Bande riveraine 5 m	Bande riveraine 10 m (m linéaire)	Gaz à effet de serre capturé (tonnes d'équivalent de CO2)	Foin (ha)	Maïs (ha)	Grain (ha)	Soya (ha)	Canola (ha)
	Situation actuelle	100 %	100 %	100 %	627 116	37615	0	0	2 013	1 131	1 535	0	0	0
1	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée de 10 m	98 %	98 %	98 %	517 073	0	0	34 623,55	2 791	1 378	846	0	413	0
2	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 m	98 %	98 %	98 %	517 073	0	0	34 623,55	2 791	1 378	846	0	413	0
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	98 %	98 %	98 %	517 073	0	0	34 623,55	2 791	1 378	846	0	413	0
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (semis direct)	54 %	54 %	54 %	774 664	37 615	0	0	3 910	1 131	1 135	0	419	0
5	Situation actuelle avec rotation de cultures (maximum 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	45 %	45 %	45 %	437 110	37 615	0	0	3 342	1 720	580	0	396	0
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	42 %	42 %	42 %	540 895	37 615	0	0	2 834	1 414	848	0	417	0
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	66 %	66 %	66 %	536 744	37 615	33 377	0	2 835	1 410	847	0	415	0
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	63 %	63 %	63 %	581 311	37 615	0	0	2 369	1 132	762	0	464	308
9	Cahier des charges de base	27 %	27 %	27 %	378 570	0	0	37 615	3 967	1 131	757	3	458	615
10	Cahier des charges bonifié	26 %	26 %	26 %	435 315	0	33 377	37 615	4 152	1 365	829	0	455	0

Tableau 22 Sommaire des résultats économiques

	PGB	Eau (\$ par individu)	Esthétique (\$ par individu)	GES (\$ par individu)	Coût (-) ou bénéfices privés (+) (\$ bassin versant)	Bénéfices cumulatifs (\$ bassin versant)	Ratio Bénéfices-Coûts
1	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée de 10 m	86 801	0	0	-110 044	86 801	-0,79
2	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive plantée de 10 m	86 801	47 680	0	-144 805	134 481	-0,96
3	Situation actuelle avec bande riveraine herbacée et arbustive naturelle de 10 m	86 801	47 680	0	-110 044	134 481	-1,23
4	Situation actuelle avec travail minimum du sol (semis direct)	120 455	0	17 344,54	147 547	137 800	0,93
5	Situation actuelle avec rotation de cultures (maximum 33 % des superficies en une seule culture excepté pour le foin)	231 967	0	0	-190 006	231 967	-1,25
6	Situation actuelle avec bassin de sédimentation pour le champ le plus grand de l'entreprise	258 738	0	0	-86 222	258 738	-3,00
7	Situation actuelle avec bande herbacée de 1 m en bordure des fossés	62 549	47 680	0	-90 372	110 229	-1,24
8	Situation actuelle avec un assolement incluant un minimum de 25 % de cultures pérennes	77819	47680	16406.41	-45805	141906	-3,10
9	Cahier des charges de base	771253	47680	21155.06	-248547	840088	-3,38
10	Cahier des charges bonifié	860261	47680	4291.241	-191801	912233	-4,76