

RAPPORT FINAL

OBSERVATOIRE DE LA QUALITÉ DE L'EAU DE
SURFACE EN BASSINS VERSANTS AGRICOLES
RAPPORT SOMMAIRE POUR LA PÉRIODE
DE RÉFÉRENCE 2009-2011



**Rapport de
l'Observatoire de la qualité de l'eau de surface
en bassins versants agricoles
Rapport sommaire pour la période de référence 2009-2011**

Par

**L'INSTITUT DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT EN
AGROENVIRONNEMENT (IRDA)**

**Dans le cadre de
L'Observatoire de la qualité de l'eau de surface
en bassins versants agricoles**

**Avec le soutien financier du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de
l'Alimentation du Québec**

Québec, mai 2012

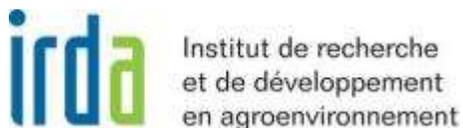
Équipe de réalisation :

Aubert Michaud, Jacques Desjardins, Noémi Coté, Isabelle Beaudin, Ariane Drouin, Sandrine Seydoux et Ivana Saint-Laurent, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc.

Le rapport peut être cité comme suit :

Michaud, A.R., J. Desjardins, N. Coté, I. Beaudin, A. Drouin, S. Seydoux et I. Saint-Laurent. 2012. Rapport de l'Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles. Rapport sommaire pour la période de référence 2009-2011. Rapport réalisé dans le cadre du projet *Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles*. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA), Québec, Canada. 82 pages et annexes.

Les résultats, opinions et recommandations exprimés dans ce rapport n'engagent aucunement le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.



L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs, soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).

www.irda.qc.ca

Pour nous rejoindre :

IRDA
Saint-Hyacinthe
Centre de recherche et siège social
3300, rue Sicotte, C. P. 480
Saint-Hyacinthe (Québec)
J2S 7B8 CANADA
Tél. : 450 778-6522
Télec. : 450 778-6539

IRDA
Québec
Centre de recherche
2700, rue Einstein
Québec (Québec)
G1P 3W8 CANADA
Tél. : 418 643-2380
Télec. : 418 644-6855

Avant-propos

Ce document offre une synthèse des suivis hydrométriques de chacune des cinq paires de bassins versants expérimentaux de l'*Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles* (ou *Observatoire*) au terme de la période de référence (2009-2011).

Les activités de recherche-action coordonnées par l'IRDA et le MAPAQ avec la participation des comités locaux de bassins versants s'inscrivent dans le *Plan d'intervention agroenvironnemental sur les algues bleu-vert du gouvernement du Québec (2007-2017)* et le *Plan d'intervention agroenvironnementale sur les algues bleu-vert (ZIPP- Zones d'Intervention Prioritaires sur le Phosphore)*. Grâce aux dispositifs expérimentaux de l'*Observatoire*, le développement de connaissances spécifiques aux transferts diffus de sédiments, de nutriments et de microorganismes pathogènes vers les eaux de surface appuie les actions concertées des communautés rurales dans la mise en valeur de leurs bassins versants.

Table des matières

Avant-propos.....	3
Table des matières.....	4
Liste des tableaux.....	5
Liste des figures.....	7
Liste des photos.....	9
1 Introduction.....	10
1.1 Objectifs.....	10
2 Méthodologie.....	13
2.1 Description des sites d'étude.....	13
2.2 Dispositifs expérimentaux.....	23
2.3 Instrumentation et protocoles de suivi.....	23
2.4 Entretien des stations de suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau.....	26
3 Résultats.....	34
3.1 Étude de cas du ruisseau Brook. Validation des méthodes de calage hydrométrique, de séparation des hydrogrammes et de modélisation des flux.....	34
3.2 Réponses hydrologiques.....	43
3.3 Charges sédimentaires.....	45
3.4 Charges et spéciation du phosphore.....	48
3.5 Charges d'azote.....	51
3.6 Bilan opérationnel et perspectives.....	55
3.6.1 Bassin versant de la Baie de Lavallière.....	60
3.6.2 Bassin versant de la rivière Champlain.....	64
3.6.3 Bassin versant de la rivière Madawaska.....	67
3.6.4 Bassin versant de la rivière de l'Esturgeon.....	70
3.6.5 Bassin de la rivière Tomifobia.....	75
4 Références.....	80
Annexe 1. Montérégie-Ouest.....	83
Annexe 2. Montérégie-Est.....	88
Annexe 3. Mauricie.....	96
Annexe 4. Bas Saint-Laurent.....	101
Annexe 5. Inventaire des équipements des bassins versants de l' <i>Observatoire</i>	105

Liste des tableaux

Tableau 1. Localisation et superficie des 10 bassins expérimentaux de l' <i>Observatoire</i>	12
Tableau 2. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux des ruisseaux Brook et Cass.	15
Tableau 3. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux des ruisseaux Brook et Cass.....	16
Tableau 4. Occupation et utilisation du territoire des bassins des ruisseaux Brook et Cass...	16
Tableau 5. Caractéristiques des bassins versants expérimentaux.....	22
Tableau 6. Synthèse des activités d'entretien et de mesures aux stations de l' <i>Observatoire</i>	27
Tableau 7. Synthèse du nombre et du type d'analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées aux stations de l' <i>Observatoire</i>	28
Tableau 8. Définition des strates selon le débit et la période de l'année.....	32
Tableau 9. Stratification des périodes et des classes de débits utilisés dans la modélisation des flux du ruisseau Brook et distributions des durées, hauteurs d'eau et nombre d'échantillonnages ponctuels de la qualité de l'eau.	39
Tableau 10. Estimations des charges annuelles et des concentrations moyennes pondérées pour le débit des différents paramètres de qualité de l'eau du ruisseau Brook (2009-1022)...	40
Tableau 11. Estimations des charges et des concentrations moyennes pondérées pour le débit associées aux différentes strates de débit et de saison pour les différents paramètres de qualité de l'eau du ruisseau Brook.	41
Tableau A1.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière de l'Esturgeon.	83
Tableau A1.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière de l'Esturgeon.....	84
Tableau A1.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Esturgeon.	85
Tableau A2.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la Baie de Lavallière.	88
Tableau A2.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins jumeaux de la Baie de Lavallière.....	91
Tableau A3.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière Champlain.	96
Tableau A3.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière Champlain.	97
Tableau A3.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Champlain.	98
Tableau A4.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.	101

Tableau A4.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.....	102
Tableau A4.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.....	102

Liste des figures

Figure 1. Vue d'ensemble des paires de bassins versants expérimentaux.....	11
Figure 2. Sols et cultures du bassin <i>Témoin</i> (Brook) en Estrie	
Figure 3. Sols et cultures du bassin Intervention (Cass) en Estrie.....	17
Figure 4. Vitesses moyennes de la section centrale de la Petite rivière Bellevue, enregistrée avec une sonde acoustique et manuellement au moyen d'un moulinet hydrométrique	24
Figure 5. Schéma du traitement des données du suivi hydrologique des micro-bassins de l'observatoire.....	29
Figure 6. Exemple de variation de la turbidité et de la conductivité électrique en lien avec le débit sur 24 h. (Évènement du 8 avril 2010, ruisseau Brook).	31
Figure 7. Fluctuation sur 24 h de la turbidité et de la conductivité électrique en fonction de la hauteur d'eau exportée (Évènement du 8 avril, ruisseau Brook).	31
Figure 8. Courbe de tarage hauteur : débit de la station de mesure du ruisseau Brook (<i>Témoin</i> de la riv. Tomifobia, Estrie).....	35
Figure 9. Séparation de l'hydrogramme de l'évènement du 10 juillet 2010, observé au ruisseau Brook (a), de même que la variabilité de la conductivité (b) et de la turbidité en fonction de la hauteur d'eau (c) pour le même évènement.....	35
Figure 10. Variation de la conductivité électrique en fonction du débit du ruisseau Brook en période hivernale et en saison de production pour l'année 2010.....	37
Figure 11. Hydrogramme segmenté et flux de sédiments de la station du ruisseau Brook (<i>Témoin</i> de la riv. Tomifobia, Estrie) pour la période du 23-09-2009 au 03-11-2011.	37
Figure 12. Séries chronologiques des flux de P estimés à la station de du ruisseau Brook (<i>Témoin</i> de la riv. Tomifobia, Estrie) pour la période du 23-09-2009 au 11-03-2011.	42
Figure 13. Séries chronologiques des flux de nitrates estimées à la station du ruisseau Brook (<i>Témoin</i> de la riv. Tomifobia, Estrie) pour la période du 23-09-2009 au 11-03-2011.	42
Figure 14. Ruissellement et écoulements souterrains moyens de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011).....	44
Figure 15. Exportations annuelles moyennes de sédiments de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) exprimées sur la base des superficies en culture.....	46
Figure 16. Exportations annuelles moyennes et spéciation du phosphore de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) pour les superficies en culture.....	48
Figure 17. Exportations annuelles moyennes et spéciation de l'azote de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) pour les superficies en culture.....	52
Figure 18. Modèle numérique de surface, micro-bassins et parcours du ruissellement de surface modélisés pour le bassin Intervention de l'Esturgeon à partir d'un relevé LiDAR....	57
Figure A1.1. Sols et cultures du bassin de la branche 21 (<i>Témoin</i>).	86
Figure A1.2. Sols et cultures du bassin de la branche 6 (<i>Intervention</i>).	87
Figure A2.1. Sols du bassin la Petite rivière Bellevue (<i>Témoin</i>).	92

Figure A2.2. Cultures du bassin de la Petite rivière Bellevue (<i>Témoin</i>).	93
Figure A2.3. Sols du bassin de la Petite rivière Petite-Rivière-Pot-au-beurre (<i>Intervention</i>).....	94
Figure A2.4. Cultures du bassin la Petite rivière Petite-Rivière-Pot-au-beurre (<i>Intervention</i>) ...	95
Figure A3.1. Sols et cultures du bassin de la rivière Noire (<i>Témoin</i>)	99
Figure A3.2. Sols et cultures du bassin de la rivière Brûlée (<i>Intervention</i>).....	100
Figure A4.1. Sols et cultures du bassin de la Petite rivière Savane (<i>Témoin</i>)	103
Figure A4.2. Sols et cultures du bassin du cours d'eau Couturier (<i>Intervention</i>)	104

Liste des photos

Photo 1. Paysages des bassins des ruisseaux Brook et Cass.	15
Photo 2. La sonde multi-paramètres (vue rapprochée) qui sera installée, avec un dispositif de flottaison, dans le tube de plastique perforé noir.	24
Photo 3. Dispositif d'alimentation solaire et d'enregistrement électronique des mesures provenant des sondes, installé sur la rive.....	25
Photo 4. Le limnimètre et la sonde acoustique installés dans le cours d'eau permettent la mesure en continu du niveau d'eau et de la vitesse du courant toute l'année.....	26
Photo 5. Mesure du débit à l'aide du moulinet hydrométrique.....	27
Photo A1.1. Paysages du bassin versant de la rivière de l'Esturgeon.....	83
Photo A2.1. Paysages du bassin versant de la Baie de Lavallière.....	88
Photo A3.1. Paysages du bassin versant de la rivière Champlain	96
Photo A4.1. Paysages du bassin versant de la rivière Madawaska	101

1 INTRODUCTION

Ce rapport fait état des résultats obtenus dans le cadre de l'*Observatoire de la qualité de l'eau de surface en bassins versants agricoles* (ou *Observatoire*) initié en 2009 à l'initiative du MAPAQ et de l'IRDA. Il dresse le portrait du fonctionnement hydrologique et de la qualité de l'eau des cinq paires de bassins versants à vocation agricole retenus à l'étude dans le cadre de l'*Observatoire*. Les sites d'études sont situés en Montérégie-Ouest, dans le bassin versant de la rivière de l'Esturgeon, en Montérégie-Est, dans la baie de Lavallière, en Estrie, dans et à proximité du bassin de la rivière Tomifobia, en Mauricie dans le bassin de la rivière Champlain et finalement dans le bas-Saint-Laurent, au sein du bassin de la rivière Madawaska.

La première partie de ce document présente les objectifs généraux de l'*Observatoire*. La méthodologie employée ainsi que les bassins à l'étude sont ensuite présentés. En troisième partie, les résultats des suivis hydrologiques des dix micro-bassins sont exposés pour la période de référence 2009-2011. Enfin, des perspectives d'action agroenvironnementale inspirées des suivis hydrologiques sont proposées pour chacune des régions à l'étude.

1.1 Objectifs

L'*Observatoire*, constitué en avril 2009, est composé de cinq paires de bassins jumeaux¹ situés dans autant de ZIPP (zones d'intervention prioritaires sur le phosphore) et de régions représentatives du Québec agricole ([Figure 1](#)). Ces bassins reflètent une vaste gamme de conditions agroclimatiques, de systèmes de production agricole et de paysages. Ils présentent par conséquent des régimes hydriques fort contrastés. ([Tableau 1](#)).

Intégrant cette diversité, le réseau de recherche-action de l'*Observatoire* cible cependant les mêmes trois objectifs suivants :

Décrire et comprendre les processus de transferts diffus, du champ au ruisseau

Quel que soit le problème ciblé, toute intervention efficace repose d'abord sur une bonne compréhension des processus en cause. À cette fin, des dispositifs de mesure et des protocoles de suivi hydrométrique ont été mis en place pour :

- quantifier les transferts superficiels et souterrains d'eau, de sédiments et de nutriments à l'échelle du bassin versant, et
- interpréter les facteurs déterminants de la mobilité de l'eau et de ses composantes², telles que les conditions hydrologiques, les saisons, les caractéristiques du paysage et des sols, de même que la gestion du parcellaire agricole.

¹ Les dispositifs en bassins expérimentaux jumeaux ou appariés se déroulent sur deux périodes. Une première période (*Référence*) permet de faire le portrait des bassins. Ceux-ci seront ensuite comparés durant la période dite d'*Évaluation*, qui suit la mise en place de *Pratiques de gestion bénéfiques* dans un seul des deux bassins, appelé *Intervention*.

² par ruissellement, érosion ou infiltration.

Un tel diagnostic constitue un important jalon dans la planification d'actions agroenvironnementales en permettant notamment :

- d'établir des charges cibles réalistes pour les différents paramètres de qualité de l'eau visés par les comités de bassins versants du réseau;
- de moduler les interventions agroenvironnementales les plus appropriées en fonction de l'importance des flux de sédiments et de nutriments et de leurs cheminements superficiels ou souterrains;
- d'interpréter des observations colligées à une échelle plus grossière, notamment lors d'échantillonnages spatiaux de la qualité de l'eau destinés à cibler les zones du territoire les plus vulnérables.

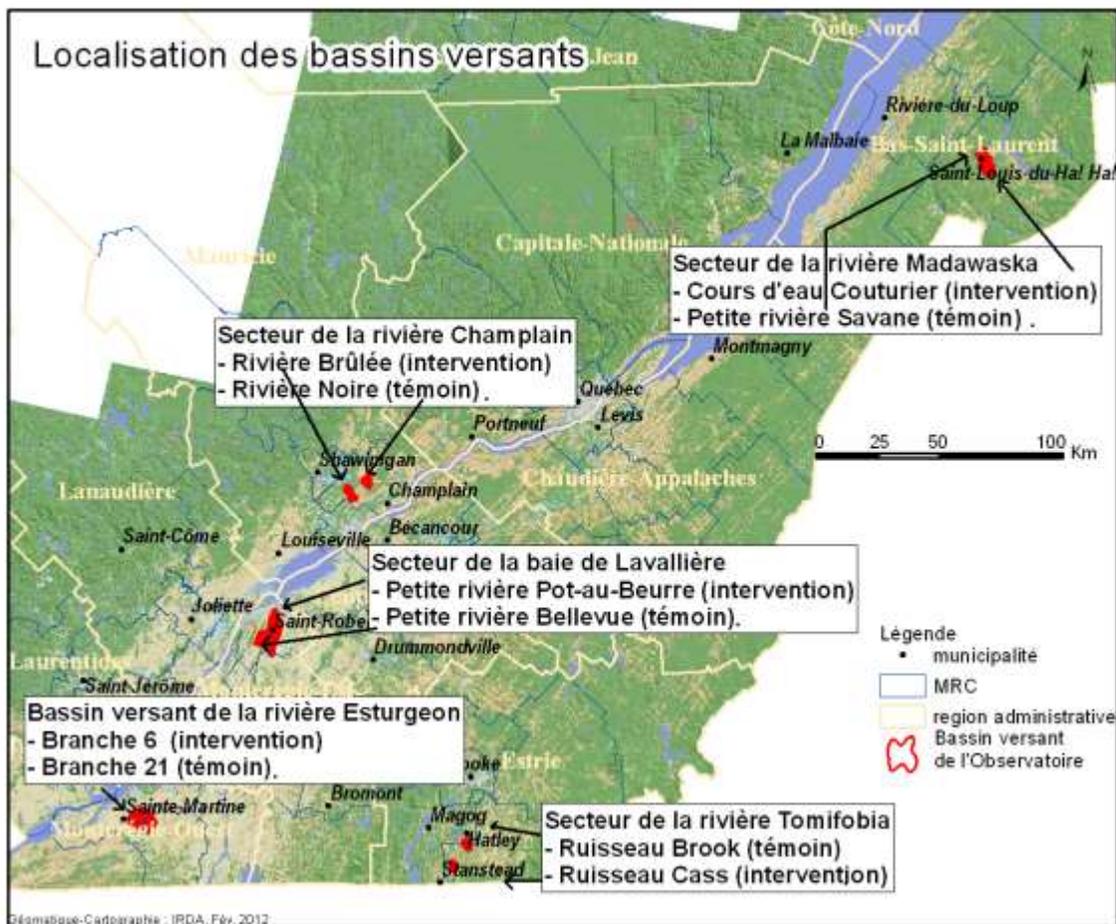


Figure 1. Vue d'ensemble des paires de bassins versants expérimentaux

Prédire les transferts diffus, demain et ailleurs

De bonnes observations des milieux aquatiques et terrestres sont essentielles au développement et à la validation d'indicateurs de la qualité de l'eau ou de modèles de prédiction du devenir de l'eau, des sédiments et des nutriments transportés. Les observations de l'*Observatoire* sont d'autant plus importantes que peu d'observations existantes proviennent de milieux nordiques ayant des systèmes cultureux et une régie du parcellaire semblables aux nôtres.

Les données colligées dans le cadre de l'*Observatoire* sont notamment mises à profit dans :

- la mise à jour et la validation de l'*Outil diagnostique des exportations de phosphore (ODEP)*³, et
- un bon nombre d'activités de recherche et de développement en partenariat avec des intervenants du milieu agricole et universitaire en lien avec la gestion de l'eau. Celles-ci concernent notamment la conception des ouvrages agricoles, l'influence des changements climatiques sur l'hydrologie des bassins agricoles, la recharge des aquifères, les sources et la survie des microorganismes dans les ruisseaux, la biodisponibilité et les cheminements souterrains du phosphore.

Tableau 1. Localisation et superficie des 10 bassins expérimentaux de l'*Observatoire*.

Région	ZIPP ou PAC	Sous bassin expérimental*	Superficie (ha)
Mauricie	Rivière Champlain	Rivière Noire (T)	819,1
		Rivière Brûlée (I)	957,7
Montérégie-Ouest	Rivière de l'Esturgeon	Riv. de l'Esturgeon-Branche 21 (T)	231,7
		Riv. de l'Esturgeon-Branche 6 (I)	316,5
Montérégie-Est	Baie de Lavallière	Petite rivière Bellevue (T)	1 613,1
		3 ^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre (I)	2 009,8
Estrie	Ruisseau Brook	Ruisseau Brook (T)	716,2
	Rivière Tomifobia	Ruisseau Cass (I)	618,2
Bas-Saint-Laurent	Rivière Madawaska	Petite rivière Savane (T)	1 509,5
		Cours d'eau Couturier (I)	1 874,6

*T= Bassin *Témoïn* I=Bassin *Intervention*

³ Cet utilitaire informatique applicable à l'ensemble du parcellaire en culture au Québec permet d'évaluer les risques d'exportation diffuse de phosphore à l'échelle du champ et d'aiguiller le conseiller et le producteur vers des solutions adaptées aux spécificités du site à l'étude.

Évaluer l'impact des actions concertées sur la qualité de l'eau

Les dispositifs et les protocoles utilisés dans le cadre du réseau de l'*Observatoire* sont spécifiquement adaptés à la détection de réponses de la qualité de l'eau dans le temps. La démarche d'étude en bassins versants jumeaux retenue pour l'*Observatoire* implique trois étapes, de façon à décrire, à terme, la réponse de la qualité de l'eau aux actions agroenvironnementales concertées dans les bassins versants *Intervention* :

- La période de référence (2009-2011) a permis la description des écoulements et de la qualité de l'eau à l'exutoire de chacun des bassins versants expérimentaux en lien avec les caractéristiques physiographiques, l'occupation du territoire et les systèmes de production agricole.
- La période d'intervention, qui débute en 2012, est dédiée à la mise en œuvre d'actions concrètes de conservation des sols et de l'eau dans un des bassins jumeaux : le bassin *Intervention*.
- En période d'évaluation, à partir de 2013, la reprise du suivi de la qualité de l'eau permettra d'évaluer les effets des actions concertées dans les bassins en comparant les signatures de la qualité de l'eau avec celle de la période de référence.

Implicitement, le réseau de l'*Observatoire* vise également à soutenir la mobilisation et la concertation des intervenants régionaux et institutionnels. De facto, l'*Observatoire* nécessite la participation d'intervenants locaux pour l'échantillonnage et le recueil d'observations. Cette participation constitue une sensibilisation par l'action aux problématiques de pollution diffuse. Elle favorise un partage de l'information qui motive l'action concertée visant l'amélioration de la qualité de l'eau et du milieu.

2 MÉTHODOLOGIE

Les dispositifs et protocoles expérimentaux mis en œuvre dans le réseau de l'*Observatoire* découlent d'expertises développées par l'équipe *Bassins versants* de l'IRDA dans le cadre de projets antérieurs dans diverses régions agricoles du Québec (Michaud et coll., 2005; Michaud et coll., 2009a; Michaud et coll., 2009b). Ces projets ont permis une meilleure compréhension de la dynamique des transferts diffus de sédiments, des nutriments et microbes pathogènes vers les écosystèmes aquatiques, de même que l'évaluation des retombées environnementales d'actions concertées d'entreprises agricoles à l'échelle du bassin versant. Ils ont aussi permis de mettre au point et de valider différents outils de diagnostic et de gestion de l'eau à l'échelle parcellaire et du territoire (Projet GRISE : Michaud et coll., 2009c; Projet ODEP : Michaud et coll., 2008; Projet SWAT : Deslandes et coll., 2006; Michaud et coll., 2007).

2.1 Description des sites d'étude

Tel qu'illustré à la [figure 1](#), les bassins versants jumeaux de l'*Observatoire* sont situés dans cinq régions québécoises distinctes. La distribution de ces bassins versants est représentative d'une vaste gamme de conditions agro-climatiques, de systèmes de productions agricole et de paysages, lesquels conditionnent des régimes hydriques fort contrastés entre les ruisseaux à l'étude.

La localisation des stations hydrométriques et de suivi de la qualité de l'eau s'est d'abord appuyée sur une analyse du territoire. Une présélection de sous-bassins potentiels a ainsi été rendue possible grâce à l'utilisation et l'analyse de données géospatiales relatives à la topographie, la pédologie, l'occupation du territoire et le réseau hydrologique. Une grande partie de ces données proviennent de précédents projets qui visaient entre autres à produire des systèmes d'information géographiques (SIG) pour appuyer les réseaux PAC et ZIPP (IRDA et MAPAQ, 2008; Beaudin et coll., 2009; Belvisi et coll., 2009).

Des visites sur le terrain en compagnie des partenaires locaux ont par la suite permis de valider les données à référence spatiale, puis d'identifier les sous-bassins Intervention et Témoin répondant à la fois aux objectifs du projet et assurant la faisabilité des mesures hydrométriques.

Les bassins versants sélectionnés sont relativement petits ([Tableau 1](#)) mais ont des caractéristiques physiographiques bien différentes. La section qui suit présente de façon sommaire les caractéristiques physiographiques des paires de bassins versants. Les photos, tableaux et figures liés à ces descriptions sont présentés en annexe afin d'alléger la lecture. Les bassins versants Brook et Cass, en Estrie, font cependant l'objet d'une description plus détaillée en ces pages, à titre d'exemple de la méthodologie commune appliquée au suivi hydrologique des bassins versants de l'ensemble du réseau de l'Observatoire. Pour une description détaillée des particularités des bassins versants du réseau et de leurs réponses hydrologiques, le lecteur est invité à consulter l'équipe scientifique du projet.

Estrie

Le bassin du ruisseau Brook (bassin *Témoin*) couvre une superficie de 716,2 ha, à cheval entre les municipalités de Hatley et de Barnston-Ouest. Il fait partie du bassin du ruisseau Brook visée par un PAC. Le ruisseau Brook se déverse directement dans le Lac Massawipi, à l'est de celui-ci. Le bassin du ruisseau Cass (*Intervention*) occupe pour sa part 618,2 ha, dans la municipalité de Standstead-Est ([Figures 2 et 3](#)) et fait partie de la ZIPP de la rivière Tomifobia qui s'écoule vers le Nord jusqu'au Lac Massawipi.

Les bassins versants des ruisseaux Brook et Cass sont marqués par un relief assez abrupt avec des pentes importantes typiques de la région de l'Estrie. Cependant le bassin *Témoin* (ruisseau Brook) présente des pentes moyenne et maximale moins élevées que le bassin *Intervention* (ruisseau Cass), autant globalement que dans les zones agricoles ([Photo 1](#) et [Tableau 2](#)).

La texture des sols des bassins expérimentaux est principalement loameuse (60 % des sols du bassin *Témoin* et 85 % de ceux du bassin *Intervention*), ou de type Loam sableux (39 % et 15 %) ([Tableau 3](#)). Le drainage des sols est majoritairement bon, avec cependant près de 35 % et de 9 % de sols présentant naturellement un mauvais drainage dans les bassins *Témoin* et *Intervention* respectivement.

Selon les données disponibles pour 2009⁴, la forêt occupe près de la majorité du territoire des deux bassins. Le bassin *Témoin* (ruisseau Brook) est cependant un peu moins boisé que le bassin *Intervention* (ruisseau Cass) : 46 % *vs* 53 %. Pour le reste du territoire, essentiellement agricole, les cultures pérennes dominent avec des proportions respectives de près de 28 % et

⁴ BDCA, 2009 (Base de données des cultures assurées, Financière agricole du Québec).

de 15 % dans les bassins *Témoin* et *Intervention*. En proportion de la totalité des bassins, les cultures annuelles (surtout du maïs) sont plus faibles, mais deux fois plus importantes dans le bassin *Intervention* (8 %) que dans le bassin *Témoin* (4 %) ([Tableau 4](#)). Il est à noter cependant que près des 2/5^{èmes} (37 % et 48 %) des zones agricoles des bassins *Témoin* et *Intervention* entrent dans les catégories « *Champ assuré, sans information sur la culture* » ou « *Agricole autre* ».



Photo 1. Paysages des bassins des ruisseaux Brook et Cass.

Tableau 2. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux des ruisseaux Brook et Cass.

Territoire concerné	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Ruisseau Brook			Ruisseau Cass		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Élévation (m)						
Totalité du bassin	250	344	295,34	300	444	374,02
Zone agricole*	251	341	286,91	305	444	385,83
Pentes (%)						
Totalité du bassin	0	20,71	4,12	0	50	7,85
Zone agricole*	0	15,81	3,45	0	21,51	6,66

* Zone agricole telles que définies par la Banque de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière Agricole du Québec. *Statistiques établies à partir d'un modèle numérique de terrain (mna) du Fédéral (1:50 000)*

Tableau 3. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux des ruisseaux Brook et Cass.

Matériel parental	Série de sol	Texture	Drainage	Témoïn		Intervention	
				Ruisseau Brook		Ruisseau Cass	
				ha	%	ha	%
Sols graveleux	Danby loam sableux graveleux	Loam sableux	Très rapidement drainé	33,36	4,66	np	np
Sols issus de dépôts de tills	Dufferin loam sableux	Loam sableux	Mal drainé	248,56	34,70	48,09	7,82
Sols issus de dépôts de tills	Greensboro loam	Loam	Bien drainé	365,92	51,09	522,65	84,95
Sols issus de dépôts de tills	Greensboro loam mince	Loam	Bien drainé	66,87	9,34	np	np
Sols argileux	Sheldon loam sableux	Loam sableux	Bien drainé	np	np	44,9	7,23
Sols divers	Étendue d'eau	np	np	np	np	np	np
Total				716,24		615,23	

Tableau 4. Occupation et utilisation du territoire des bassins des ruisseaux Brook et Cass.

Bassins expérimentaux des ruisseaux Brook et Cass	Témoïn			Intervention		
	Ruisseau Brook			Ruisseau Cass		
	ha	% du total	% de la zone agricole	ha	% du total	% de la zone agricole
Eau	1,53	0,21		2,97	0,48	
Forêt	328,86	45,9		329,17	53,2	
Milieu humide					1,47	
Centre urbain	19,96	2,79				
Friche	16	2,23				
En culture	350 ha, 49 % du total			277 ha, 45 % du total		
Avoine	1,55	0,22	0,4			
Autre céréale				3,46	0,56	1,2
Foin	198,84	27,8	56,8	90	14,6	32,5
Maïs	19,78	2,76	5,7	43,94	7,11	15,9
Soya				5,76	0,93	2,1
Champs assurés (culture inconnue)	4,55	0,64	1,3	47,48	7,68	17,1
Autre*	125,17	17,5	35,8	86,34	14,0	31,2
Superficie totale du bassin	716,24	100	100	618,19	100	100

* Superficie agricole pouvant inclure champs non assurés, bâtiments, fossés, etc..

Source : BDCA, 2009.

Figure 2. Sols et cultures du bassin *Témoin* (Brook) en Estrie

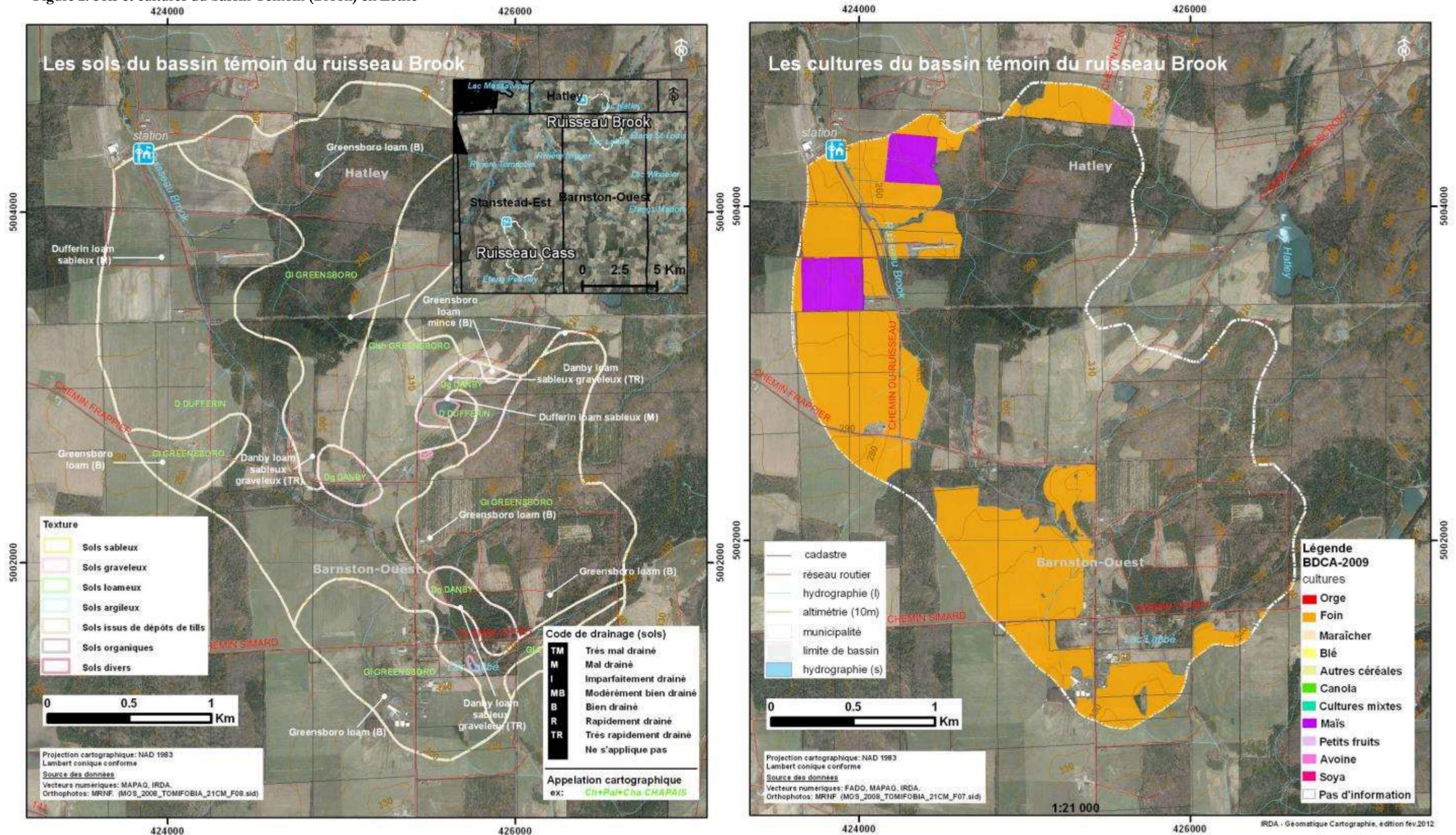
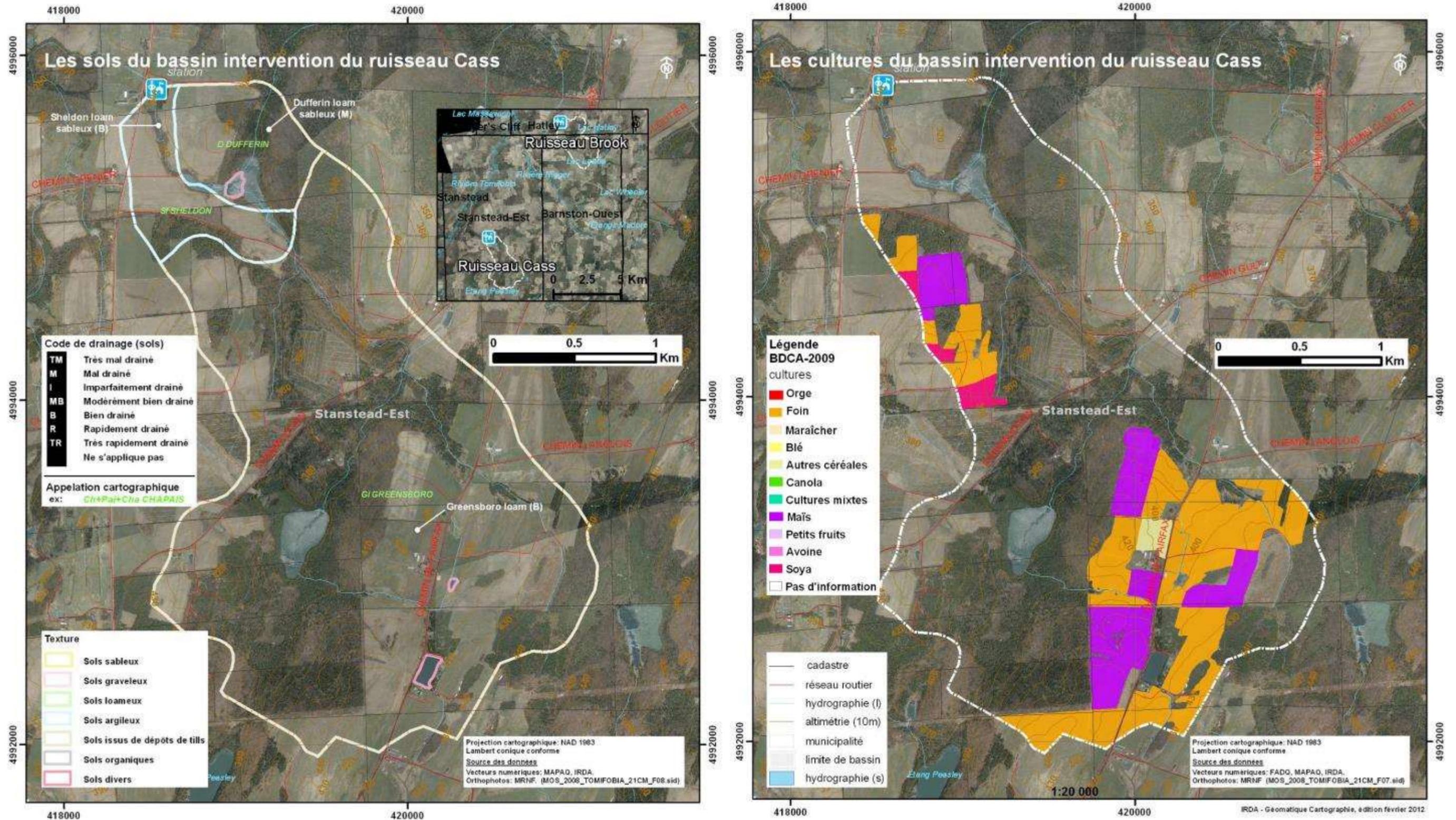


Figure 3. Sols et cultures du bassin Intervention (Cass) en Estrie



Montérégie-Ouest ([Annexe 1](#))

En Montérégie-Ouest, le bassin *Témoin* (231,7 ha) est situé à l'ouest de la municipalité de Saint-Rémi, le long de la Branche 21 de la rivière Esturgeon (aussi nommée ruisseau du Cordon), alors que le bassin *Intervention* (316,5 ha) englobe la Branche 6 de la rivière Esturgeon. Ce dernier bassin est principalement situé dans la municipalité de Saint-Isidore, mais déborde un peu sur celle de Saint-Rémi ([Figures A1.1](#) et [A1.2](#) de l'annexe 1). Ces deux bassins expérimentaux sont les plus petits du réseau de bassins versants de l'*Observatoire*.

Dans les deux bassins expérimentaux la topographie est globalement très plane ([Photo A1.1](#) et [Tableau A1.1](#) de l'annexe 1). Le bassin *Témoin* est quasi exclusivement en sol minéral (Loam argileux lourd et mal drainé de la série Saint-Blaise sur 98 % du territoire). Dans le bassin *Intervention*, par contre, 65 % des sols sont organiques et très mal drainés; les sols minéraux étant surtout des argiles limoneuses (Série Saint-Urbain, 25 %) ([Tableau A1.2](#) de l'annexe 1).

Les deux bassins expérimentaux sont à vocation presque qu'exclusivement agricole. Il n'y a pas de zones boisées dans le bassin *Témoin*, alors qu'elles couvrent moins de 1 % du territoire du bassin *Intervention*. Les cultures pérennes sont par ailleurs faiblement représentées dans le bassin *Témoin* (4,3 % du territoire) et pas du tout dans le bassin *Intervention*. Dans le bassin *Témoin*, les cultures annuelles dominantes sont le maraîchage (49 % de la zone agricole) et le soya (22 %), alors que dans le bassin *Intervention* ce sont plutôt le maïs (24 %) puis le maraîchage (15 %) et le soya (12 %). Il est à noter cependant que, dans le bassin *Intervention*, près de la moitié de la zone agricole entre dans les catégories « *Champ assuré, sans information sur la culture* » (30,2 %) et « *Agricole autre* » (18,4 %), qui demeure largement associé à la production horticole. Dans le bassin *Témoin*, ces catégories correspondent à 12 % de la zone agricole (4,6 + 7,4 %) ([Tableau A1.3](#) de l'annexe 1).

Montérégie-Est ([Annexe 2](#))

Les bassins jumeaux de la Montérégie-Est font partie de la zone d'intervention prioritaire sur le phosphore (ZIPP) de la Baie de Lavallière, localisée à proximité de l'exutoire du bassin de la rivière Yamaska. Les deux bassins expérimentaux sont situés dans la MRC Pierre-de-Saurel. Le bassin *Témoin* occupe principalement la partie Est de la municipalité de Sainte-Victoire-de-Sorel, alors que le bassin *Intervention* traverse celle de Saint-Robert en empiétant un peu sur la municipalité de Saint-Aimé au sud, et sur celle de Yamaska au nord ([Figures A2.2](#) et [A2.3](#) de l'annexe 2). Le bassin *Témoin* (1 613,1 ha) correspond au bassin de la Petite rivière Bellevue, alors que le bassin *Intervention* (2 009,8 ha) correspond à la Branche Est du sous-bassin de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre ([Figures A2.3](#) et [A2.4](#) de l'annexe 2).

Comme en témoignent les pentes moyennes, le paysage des bassins expérimentaux est particulièrement plat, avec des pentes moyennes inférieures à 0,7 % ([Photos A2.1](#) et [Tableau A2.1](#) de l'annexe 2).

Reflétant le gradient spatial dans les textures de sol à l'échelle du bassin versant, dominé par des textures grossières de sol en amont du bassin versant et des textures plus lourdes en aval, le sable fin loameux occupe la plus grande superficie dans le bassin *Témoin*, alors que le loam limono-argileux est la texture dominante du bassin *Intervention*. Les loams sableux sont également bien présents dans les deux bassins ([Tableau A2.2](#) de l'annexe 2).

Le territoire du bassin *Témoin* est à 40 % boisé et à 58 % cultivé (avec 47 % en cultures annuelles). Dans le bassin *Intervention*, la forêt occupe à peine 3 % du territoire, le reste étant cultivé (avec 74 % en cultures annuelles). Dans les deux bassins, la part des champs comptabilisés en foin est réduite à moins de 10 % de la superficie totale ([Tableau A2.3](#) de l'annexe 2). Dans la zone cultivée, le maïs domine en occupant respectivement plus de 47 % et près de 60 % des terres en cultures des bassins *Témoin* et *Intervention*. Le soya vient en deuxième position (24 % et 12,5 %), puis les céréales (6,9 % et 2,4 %). Les superficies relatives en foin sont équivalentes dans les deux bassins (7,9 % et 7 %), mais deux fois plus importantes dans le bassin *Témoin* en proportion des terres cultivées (13,5 % *vs* 7,2 %). Notons que ces chiffres sont approximatifs puisque l'occupation des sols en cultures n'est pas totalement identifiée (certains champs étant comptabilisés dans les catégories «Champs assurés (culture inconnue)» et «Autre»).

Mauricie ([Annexe 3](#))

Le bassin *Témoin* (819,1 ha) occupe la partie ouest de la municipalité de Saint-Maurice, le long de la rivière Noire, alors que le bassin *Intervention* (957,7 ha) chevauche les deux municipalités de Saint-Narcisse et de Saint-Luc-de-Vincennes, le long de la rivière Brûlée ([Figures A3.1](#) et [A3.2](#) de l'Annexe 3). Les deux bassins alimentent la rivière Champlain.

Ces bassins présentent des pentes moyennes de 2 %, mais des pentes maximums nettement plus élevées sont présentes dans le bassin *Intervention* avec la présence de coulée (jusqu'à 45 %). Les zones agricoles des deux bassins ont le même type de paysage et de topographie ([Photos A3.1](#) et [Tableau A3.1](#) de l'annexe 3). Ce sont les sols de texture loam sableux qui dominent dans le bassin *Témoin* (séries Saint-Agathe et Saint-Faustin), alors que dans le bassin *Intervention* c'est le sable de la série Saint-Jude qui occupe un tiers du territoire ([Tableau A3.2](#) de l'annexe 3). Cela se traduit par 60 % de sols bien drainés dans le bassin *Témoin* contre 12 % dans le bassin *Intervention* et plus de deux fois plus de sols imparfaitement drainés (en proportion de la totalité de chaque bassin) dans le bassin *Intervention*.

En proportion, le bassin *Témoin* (Rivière Noire) est un peu plus boisé que le bassin *Intervention* (Rivière Brûlée) : 49 % *vs* 41 %. Inversement, les sols cultivés représentent 47 % du territoire du bassin *Témoin* et 55 % de celui du bassin *Intervention*. Dans le bassin *Témoin*, les cultures pérennes occupent à peine plus le territoire que les cultures annuelles (13,3 % et 11,6 %), alors que dans le bassin *Intervention* les cultures annuelles couvrent les $\frac{3}{4}$ de l'espace agricole. Les cultures annuelles dominantes sont le maïs et le soya. Il est à noter cependant que près de la moitié de la zone agricole du bassin *Témoin* entre dans les catégories « *Champ assuré, sans information sur la culture* » (11,9 %) et « *Agricole autre* » (34,7 %). Dans le bassin *Intervention*, ces catégories correspondent à près du quart de la zone agricole (6,5 % + 20,6 %). Les zones ni forestières ni agricoles (eau, gravière, ligne de transport d'énergie, etc.) sont moins importantes dans le bassin *Témoin* que dans le bassin *Intervention* (3,9 % *vs* 6,2 %). ([Tableau A3.3](#) de l'annexe 3).

Bas-Saint-Laurent ([Annexe 4](#))

Les bassins expérimentaux font partie de la zone d'intervention prioritaire sur le phosphore (ZIPP) de la rivière Madawaska. Ils sont situés dans la municipalité de Saint-Louis-du-Ha!Ha!, en amont au sud-ouest du Lac Témiscouta ([Figure A4.1](#) et [A.4.2](#) de l'annexe 4). Ils sont tous deux tributaires de la Petite Rivière Savane. Le bassin *Témoin* (1 518,9 ha) constitue la tête de la Petite rivière Savane alors que le bassin *Intervention* (1 877,9 ha) alimente le cours d'eau Couturier dans sa section amont.

La topographie du secteur ZIPP du bassin versant de la rivière Madawaska est relativement accidentée avec de fortes pentes. Les paysages comparables à ceux de l'Estrie. ([Photo A.4.1](#) de l'annexe 4). Le bassin *Témoin* (Petite rivière Savane) présente des pentes moyenne et maximale plus élevées que le bassin *Intervention* (Cours d'eau Couturier), autant globalement que dans les zones agricoles ([Tableau A4.1](#) de l'annexe 4). Les sols des bassins expérimentaux, qui sont situés dans la partie nord du bassin de la rivière Madawaska, sont principalement des loams et des loams sableux ([Tableau A4.2](#) de l'annexe 4). Dans la partie sud du bassin de la rivière Madawaska, les sols sont surtout des loams et des loams limoneux avec des fragments grossiers de schiste et d'ardoise. Dans chacun des bassins jumeaux, les sols sont en grande majorité bien drainés, mais il y a environ 10 % de plus de sols imparfaitement à mal drainés dans le bassin *Intervention*.

En proportion, le bassin *Témoin* (Petite rivière Savane) est un peu plus boisé que le bassin *Intervention* (cours d'eau Couturier) : 55 % *vs* 46 %. Par contre, la zone agricole est 2 fois moins importante (20 % *vs* 41 %). D'après les données disponibles⁵, 29 % de la zone agricole du bassin *Témoin* est en culture pérenne (foin) alors que cette proportion est de 51 % pour le bassin *Intervention*. (Tableau 4.4 de l'annexe 4). Il est à noter cependant que plus de la moitié de la zone agricole du bassin *Témoin* entre dans les catégories « *Champ assuré, sans information sur la culture* » (17,2 %) et « *Agricole autre* » (38,1 %). Dans le bassin *Intervention*, ces catégories ne correspondent qu'à moins du quart de la zone agricole (2,7 % + 20,8 %). Des données fournies par Céline Georlette pour 2011 semblent indiquer une augmentation des superficies en culture par rapport à 2009. Celle-ci serait plus marquée dans le bassin *Témoin* (12 % en 2011 *vs* 39 %) que dans le bassin *Intervention* (31 % *vs* 41 %)⁶.

Le [tableau 5](#) résume les statistiques d'occupation du territoire des cinq paires de bassins à l'étude et réévalue ces informations de manière simplifiée en fonction des superficies en culture et totale des bassins. Il inclut aussi des informations supplémentaires sur les sources et apports de nutriments ainsi que l'aménagement des terres. À partir de ce tableau, il est aisé de percevoir la pression accrue de l'agriculture en Montérégie, où l'occupation agricole représente plus de 80 % du territoire et où les cultures annuelles sont les plus importantes (>58 % des superficies agricoles). C'est également dans cette région que les apports en N minéral sont les plus importants et où la saturation du sol en P et le pourcentage de classe de drainage des sols caractérisé « mauvais » sont les plus élevés. Les informations de ce tableau sont fort utiles afin d'expliquer les résultats qui sont présentés à la section trois.

⁵ BDCA, 2009 (Base de données des cultures assurées, Financière agricole du Québec).

⁶ Se référer au rapport de Céline Georlette pour plus de détails.

Tableau 5. Caractéristiques des bassins versants expérimentaux.

	Baie de Lavallière Montérégie-Est		Champlain Mauricie		Esturgeon Montérégie-Oust		Madawaska Bas-Saint-Laurent		Tomifobia Estrie	
	Petite- Bellevue (I)	Petit-Pot- au-Beurre (I)	Noire (I)	Brûlée (I)	Branche 21 (I)	Branche 6 (I)	Petite Savane (I)	Couturier (I)	Brook (I)	Cass (I)
Précipitations totales (mm/an)	1040		983		1159		856		1267	
Occupation du sol										
Occupation agricole (% superficie totale)	81	85	47	55	92	99	20	41	49	45
Cultures annuelles (% superficie agricole)	58	97	37	60	88	82	33	12	7	35
Cultures annuelles (% superficie totale)	47	82	17	33	81	81	7	5	4	16
Sources et apports										
Densité animale (UA/ha)	0,5-1,00	< 0,5	0,5-1,00	0,5-1,00	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,5-1,00	0,5-1,00	0,5-1,00
Saturation P (%P/Al)	5-10%	5-10%	< 5 %	< 5 %	> 10 %	> 10 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %
Taux d'apports en N minéral (kg N/ha)	> 100	> 100	50-100	50-100	> 100	> 100	< 50	< 50	< 50	< 50
Indicateurs physiographiques										
Pente moyenne	0.67%	0.65%	2.38%	2.04%	0.80%	0.80%	6.70%	5.40%	3.45%	6.66%
Classes de drainage des sols (% mauvais)	56	93	4	4	98	96	0	0	35	8
Classes de texture des sols (% loam argileux et argile)	0	18	20	12	98	25	0	0	0	0
Aménagement des terres										
Drainage souterrain (% drainé)	> 80%	> 80%	40-80%	40-80%	> 80%	> 80%	< 40%	< 40%	< 40%	< 40%
Zones de sédimentation (Absence, présence)	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	Pré	Pré	Abs	Pré

Densité animale : < 0,5; 0,5-1,0; >1,0, Richesse des sols (taux médian de saturation en P): < 5%; 5-10%; >10%,

Taux d'apports d'engrais minéral N: < 50; 50-100; >100, Drainage souterrain: < 40 %; 40-80%; > 80%, Zones de sédimentation: Pré (présence); Abs (absence)

2.2 Dispositifs expérimentaux

Les dispositifs et protocoles mis en place en 2009 dans le cadre du réseau de l'*Observatoire* sont spécifiquement adaptés à la détection de réponses de la qualité de l'eau dans le temps. Le dispositif qui repose sur le couple de bassins *Témoin* et *Intervention*, de même que sur deux périodes de suivi de l'écosystème aquatique (*Référence* : précédent les interventions et *Évaluation* : suivant l'introduction progressive des interventions) permet d'évaluer l'impact des interventions malgré la très grande variabilité interannuelle des conditions hydrologiques associées au climat québécois. Ces bassins *Témoin* et *Intervention*, présentés dans la section précédente, ont été sélectionnés selon les exigences suivantes⁷ :

- une superficie en culture de 2 à 20 km², pour permettre la détection à moyen terme de l'impact des actions systématiques de conservation des sols et de l'eau dans le bassin *Intervention*, sur le débit et la qualité de l'eau;
- un site approprié pour le suivi hydrométrique à l'exutoire (stabilité des berges et du fond du cours d'eau; absence de refoulement; etc.);
- et l'implication des partenaires locaux dans le projet de recherche-action.

2.3 Instrumentation et protocoles de suivi

Les sections qui suivent présentent plus en détails les protocoles et instruments ([Annexe 5](#)) qui ont été utilisés dans le cadre de l'*Observatoire*. En appui à cette présentation, les résultats du suivi du ruisseau Brook seront illustrés afin d'en aider la compréhension.

La démarche suivie à l'IRDA s'inspire de celui en cours au Centre d'Expertise Hydrique et repose sur trois protocoles complémentaires de mesures⁸ :

- Le suivi hydrométrique en continu (toutes les 15 minutes) de la **hauteur d'eau** (aux 2 exutoires), à l'aide d'une sonde à pression.

Dans certains bassins, la sonde à pression est doublée d'une sonde acoustique pour la mesure de la **vitesse du courant**. Ce suivi est associé à des **jaugeages ponctuels** à l'aide d'un moulinet hydrométrique ou d'un courantomètre acoustique. Le courantomètre acoustique est un instrument supplémentaire nécessaire dans les bassins où un risque de refoulement de l'eau est probable. Lors de ces épisodes, la sonde à pression enregistre alors une augmentation du niveau de l'eau à l'exutoire qui n'est pas causée par une augmentation du débit. La sonde acoustique permet alors de déterminer la vitesse et le sens de l'écoulement de l'eau. La [figure 4](#) illustre la relation étroite entre la vitesse mesurée au moulinet hydrométrique et la celle mesurée avec la sonde acoustique. Tout refoulement peut dès lors être aisément détecté. Les stations (5) des bassins de la Branche 6 de l'Esturgeon, du ruisseau Couturier et de la Baie de Lavallière sont équipées d'une sonde acoustique.

⁷ La présélection des bassins versants potentiels s'était d'abord appuyée sur le croisement de données à références spatiales relatives à la topographie, à la pédologie, au réseau hydrographique et à l'occupation du territoire.

⁸ Les données recueillies par des mesures sur le terrain ou par échantillonnage figurent en gras et correspondent aux observations de la figure 7.

- L'enregistrement en continu (toutes les 15 minutes) du signal géochimique (**turbidité** et **conductivité** électrique) à l'aide de sondes multi-paramètres ([Photos 2](#) et [3](#)), installées près de la rive; et
- L'échantillonnage ponctuel de la qualité de l'eau associé à des analyses physicochimiques (**concentrations des nutriments**) et microbiologiques en laboratoire.

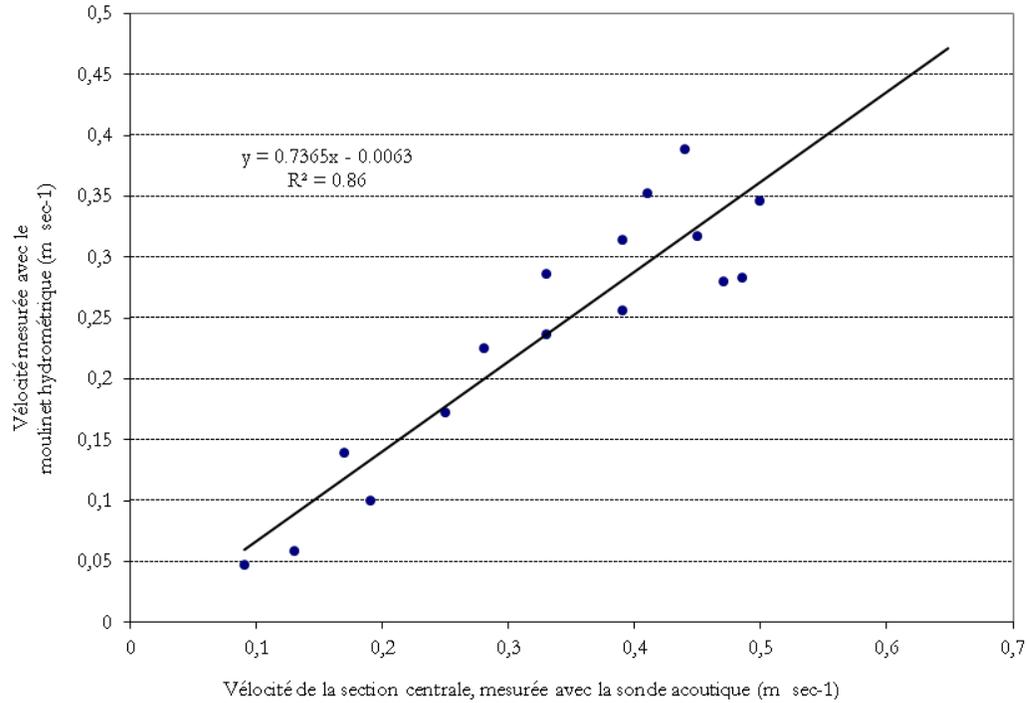


Figure 4. Vitesses moyennes de la section centrale de la Petite rivière Bellevue, enregistrée avec une sonde acoustique et manuellement au moyen d'un moulinet hydrométrique



Photo 2. La sonde multi-paramètres (vue rapprochée) qui sera installée, avec un dispositif de flottaison, dans le tube de plastique perforé de pvc (en noir).



Photo 3. Dispositif d'alimentation solaire et d'enregistrement électronique des mesures provenant des sondes, installé sur la rive.

Les trois critères suivants ont guidé cette approche:

- Les frais de fonctionnement relativement faible de l'instrumentation et les protocoles proposés;
- La robustesse des dispositifs mis en place (ils ont été éprouvés sur le terrain et conçus pour affronter des conditions particulièrement intenses de crues et de transport de glaces dans des bassins versants en culture en réponse aux changements hydrologiques rapides et intenses); et
- La complémentarité des informations recueillies, ce qui permet de répondre aux besoins opérationnels des réseaux.

Les données sont récoltées toutes les 3 ou 4 semaines environ. À chaque visite, l'équipe de terrain fait l'entretien des équipements ([Tableau 6](#)), effectue les mesures au moulinet hydrométrique et prélève des échantillons d'eau. En période de crue, des jaugeages⁹ et des prélèvements d'échantillons supplémentaires sont faits hors des moments de visite prévus.

Le débit est établi à partir de 15 à 20 mesures de vitesse du courant au moulinet hydrométrique (comprenant deux observations à profondeur variable lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 1 m).

De plus, chaque jaugeage s'accompagne d'une mesure de la section d'écoulement, référencée par rapport à une borne d'élévation repère (*benchmark*) installée sur le site. En présence d'instabilité des sections de cours d'eau, les estimations instantanées du débit peuvent alors être corrigées en fonction de la variation de l'élévation du fond du cours d'eau.

Lors de chaque évènement hydrologique important, une campagne d'échantillonnage d'eau est menée par les partenaires locaux ([Annexe 5](#)). Cette campagne consiste à prélever 3 échantillons par station dans les 48 heures, soit un échantillon dans la montée de l'hydrogramme (avant le pic de débit) et deux échantillons durant la phase de décrue¹⁰. Les échantillons, recueillis dans des bouteilles de 500 ml, sont conservés à une température variant de 0 à 4°C jusqu'à leur dosage en laboratoire.

⁹ Bien que de courtes durées, les périodes de crue des ruisseaux contribuent de façon importante au bilan hydrique global du bassin et à ses exportations. Ces jaugeages supplémentaires assurent ainsi une représentation fiable des écoulements de surface durant toute l'année.

¹⁰ Un protocole d'échantillonnage détaillé a été fourni aux partenaires locaux.

2.4 Entretien des stations de suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau

Les stations hydrométriques et de suivi de la qualité de l'eau sont composées de plusieurs instruments localisés aux abords et dans le cours d'eau. Les visites régulières aux sites permettent d'entretenir les équipements, procéder aux mesures de débits, échantillonner les eaux des ruisseaux et récupérer les données enregistrées par les instruments, incluant :

- Les sondes à pression (limnimètre), qui enregistrent la hauteur de la colonne d'eau;
- Les sondes acoustiques qui enregistrent la direction et la vitesse de l'écoulement de l'eau;
- Les sondes multi-paramètres, qui enregistrent la turbidité, la conductivité électrique et la température de l'eau;
- Les stations climatiques, qui enregistrent la température et les précipitations toutes les 30 minutes.

Les sondes à pression et acoustiques sont généralement installées au centre de la section d'écoulement ([Photo 4](#)); tandis que la sonde multi-paramètres, munie de dispositifs de flottaison et insérée à l'intérieur de tubes de plastique perforés, est installée près de la rive ([Photo 2](#)). La sonde multi-paramètres est retirée du cours d'eau avant la mise en place du couvert de glace et réinstallée à la fin de l'hiver (fin mars). Cette installation implique souvent le dégagement manuel du couvert de glace. Les jaugeages et échantillonnages ponctuels se poursuivent toutefois pendant la période hivernale. Le panneau solaire ainsi que les dispositifs électroniques d'enregistrement des mesures sont installés sur la rive ([Photo 3](#)).



Photo 4. Le limnimètre et la sonde acoustique installés dans le cours d'eau permettent la mesure en continu du niveau d'eau et de la vitesse du courant toute l'année.

Chaque station fait l'objet d'un entretien selon un intervalle moyen de trois ou quatre semaines. L'équipe terrain nettoie alors les sondes, les calibre, et en extrait les données. La section du cours d'eau est nettoyée au besoin (sédiments, végétation, glace). Un jaugeage du débit est effectué à l'aide d'un moulinet hydrométrique ([Photo 5](#)) et un échantillon d'eau est prélevé et ramené au laboratoire pour l'analyse de sa qualité. En période hivernale, l'équipe terrain brise la glace ou la perce afin de procéder aux mesures de débit et à l'échantillonnage. L'échantillonnage de la qualité de l'eau est complété par un collaborateur local en période de crue. Le nombre d'échantillons prélevés varie entre les sites d'étude en fonction de la date d'installation des stations et des périodes d'activité hydrologique plus intenses. Le [tableau 6](#) présente une synthèse des visites d'entretien qui ont été effectuées aux

stations durant la période de référence. La récurrence des relevés hydrométriques et de qualité d'eau y est aussi inscrite. Le [tableau 7](#) montre le nombre et le type d'analyses qui ont été effectuées dans chacun des bassins de l'*Observatoire*. Pour l'ensemble du réseau, ce sont plus d'un millier d'échantillons qui ont été prélevés.



Photo 5. Mesure du débit à l'aide du moulinet hydrométrique.

Tableau 6. Synthèse des activités d'entretien et de mesures aux stations de l'*Observatoire*

Bassin	Bassin versant	Région	Mesures au site Toute la période		Mesures au site Année financière 2011	
			Visite	Hydrométrie	Visite	Hydrométrie
Petite rivière Bellevue	Baie de Lavallière	Montérégie Est	33	30	12	10
Petite rivière Pot-au-beurre			33	30	10	9
Ruisseau Brook	Tomifobia	Estrie	31	29	11	11
Ruisseau Cass	Esturgeon	Montérégie Ouest	31	30	12	12
Branche 21			30	28	10	9
Branche 6	Champlain	Mauricie	29	22	11	8
Rivière Noire			33	27	12	10
Rivière Brûlée	Madawaska	Bas-Saint- Laurent	33	29	12	10
Petite rivière Savane			32	32	15	15
Cours d'eau Couturier			32	30	15	14

Tableau 7. Synthèse du nombre et du type d'analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées aux stations de l' *Observatoire*

Micro-bassin	Bassin versant	Région	Nombre d'échantillons Toute la période		Nombre d'échantillons Année financière 2011	
			Physico-chimie	E. Coli	Physico-chimie	E. Coli
Petite rivière Bellevue	Baie Lavallière	Montérégie Est	98	14	33	6
Petite rivière Pot-au-beurre			97	14	33	6
Ruisseau Brook	Tomifobia	Estrie	103	20	36	6
Ruisseau Cass			105	20	35	6
Branche 21	Esturgeon	Montérégie	126	13	58	4
Branche 6		Ouest	127	13	57	4
Rivière Noire	Champlain	Mauricie	111	15	45	7
Rivière Brûlée			111	15	45	7
Petite rivière Savane	Madawaska	Bas-Saint-Laurent	94	17	42	9
Cours d'eau Couturier			95	17	42	9

Modes de traitement des données brutes et variables analysées

Les données brutes recueillies sur le terrain permettent d'établir plusieurs types de résultats utiles à l'interprétation du fonctionnement hydrologique des bassins versants et à l'évaluation de l'impact de pratiques de conservation, soit :

- l'intensité des débits et leur évolution au cours de l'année (débits instantanés et journaliers);
- la provenance de l'eau (segmentation des flux selon le parcours hydrologique de surface ou souterrain);
- la répartition des débits par « strates » de débits (écoulement de base vs crue) et des saisons;
- les charges en matières en suspension (MES) et en éléments fertilisants exportées;
- la qualité microbiologique de l'eau (coliformes).

La [figure 5](#) illustre les différentes étapes du traitement des données associées au suivi hydrologique des dix micro-bassins versants à l'étude.

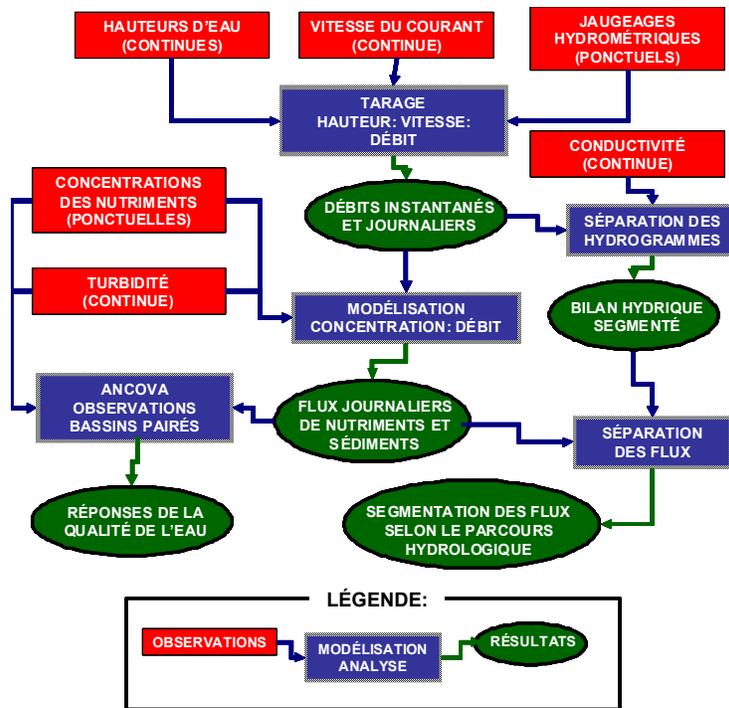


Figure 5. Schéma du traitement des données du suivi hydrologique des micro-bassins de l'observatoire.

Débits

Les débits instantanés (aux 15 minutes) et journaliers sont établis à partir d'un protocole de tarage hauteur-vitesse-débit¹¹. Les mesures de vitesse du courant permettent d'ajuster la courbe de tarage en cas de refoulement. Pour les besoins des comparaisons entre les bassins à l'étude, les estimations de débits sont traduites en **hauteurs spécifiques d'eau exportée** (mm) pour une période de temps donnée (jour, mois ou an).

Répartition de l'écoulement selon le parcours de l'eau

En procédant à ce qu'on appelle la séparation des hydrogrammes et en s'appuyant sur les mesures de conductivité électrique, il est possible de différencier les quantités d'eau mesurées selon leur provenance : les écoulements superficiels (ruissellement) ou les écoulements souterrains. En effet, l'eau qui s'est infiltrée dans le sol s'est chargée de minéraux et présente une conductivité électrique plus élevée que l'eau qui a rejoint le ruisseau par les voies de surface.

¹¹ Ce protocole s'inspire de celui utilisé au Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Il permet d'établir une relation stable entre les hauteurs d'eau (mesurées toutes les 15 minutes) et les débits mesurés ponctuellement tout au long de l'année et dans des conditions contrastées.

Le dépouillement des courbes conductivité : débit permet de détecter le déclenchement du ruissellement de surface puis d'en quantifier la contribution à l'écoulement global du ruisseau suivant une approche de calcul du bilan de masse (Michaud et coll., 2009a).

Les figures 6 et 7 présentent à titre d'exemple l'évènement hydrologique (crue) du 8 avril 2010. La figure 6 illustre la variation du débit, de la turbidité et de la conductivité électrique de l'eau à l'exutoire du bassin *Témoin*. En régime d'écoulement de base, le débit est à son plus bas et la conductivité à son maximum. Cette dernière diminue lorsque la turbidité augmente, et atteint un minimum lors d'évènements hydrologiques importants. Une forte turbidité témoigne du caractère érosif de l'évènement, alors qu'une faible turbidité révèle l'origine, à dominance souterraine, des eaux qui atteignent l'exutoire du ruisseau.

La proportion de l'eau d'origine souterraine par rapport à l'écoulement total est exprimée sur la base des ratios observés dans les conductivités électriques de l'eau suivant l'équation suivante :

$$QB_i = \frac{Q_i (C_i - C_{\min})}{CB_i - C_{\min}}$$

où:

QB_i = Hauteur d'eau associée à un écoulement souterrain au temps « i »
(mm jour⁻¹);

Q_i = Hauteur d'eau journalière total au temps « i » (mm jour⁻¹);

C_i = Conductivité au temps « i » (uS/cm);

C_{\min} = Conductivité de référence du ruissellement de surface (uS/cm);

CB_i = Conductivité de l'écoulement de base au temps « i » (uS/cm).

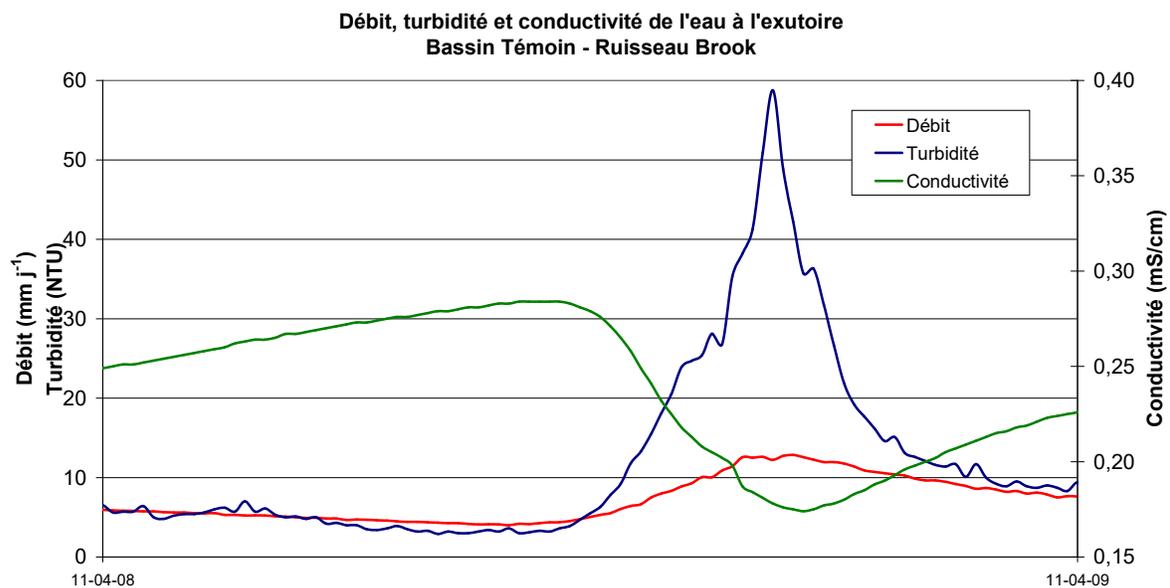


Figure 6. Exemple de variation de la turbidité et de la conductivité électrique en lien avec le débit sur 24 h. (Évènement du 8 avril 2010, ruisseau Brook).

Les observations colligées témoignent de la robustesse de l'approche de séparation des hydrogrammes utilisée, dans la mesure où les différentes crues sont à l'origine de patrons similaires dans l'évolution de la conductivité en fonction du débit. La relation conductivité : débit demeure par ailleurs relativement insensible au phénomène d'hystérésis (taux de variation semblable en montée de l'hydrogramme comme en décrue), ce qui démontre que l'approche de séparation est applicable tant en montée de l'hydrogramme qu'en décrue ([figure 7](#)).

La [figure 7](#) illustre par ailleurs le phénomène d'hystérésis typiquement associé à la variation de la turbidité (celle-ci commence par augmenter fortement dès le début de l'évènement, puis diminue de façon régulière avec la hauteur d'eau exportée). Ce phénomène découle de la force érosive croissante du ruissellement de surface lors de la montée des eaux qui culmine généralement au débit de pointe. En décrue, l'écoulement souterrain contribue à une proportion croissante du débit, avec une réduction proportionnelle de la contribution du ruissellement de surface et de son action érosive. Ainsi, à débit équivalent, après le débit maximum, la charge en sédiments est moindre.

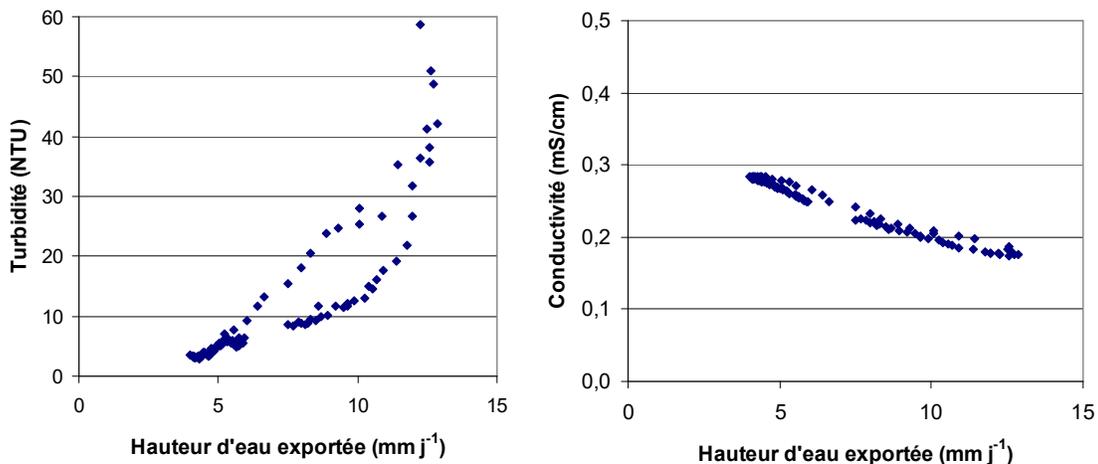


Figure 7. Fluctuation sur 24 h de la turbidité et de la conductivité électrique en fonction de la hauteur d'eau exportée (Évènement du 8 avril, ruisseau Brook).

Strates

Le volume total d'eau qui s'est écoulé durant la période de référence est fractionné en deux (ou parfois trois) strates selon le régime de débit (de base/de crue) et la période de l'année (saison de croissance / saison hivernale / à l'année). Le [tableau 8](#) expose les critères retenus pour chacune des deux strates retenues dans le cas du ruisseau Brook.

L'écoulement de base correspond à l'écoulement souterrain en absence de précipitations et hors des périodes de fonte de la neige. A l'étiage, l'écoulement de base est à son plus bas niveau. Des augmentations de débits conduisent alors fréquemment à une diminution de la

concentration de certains paramètres de qualité de l'eau (MES, P_{total}) en raison du phénomène de dilution des sources ponctuelles de contamination. Alors que la pluie ou la fonte du couvert de neige contribue à la hausse du débit, le régime d'**écoulement de crue** est progressivement atteint. La concentration en phosphore et en sédiments tend alors à augmenter avec le débit, témoignant des apports diffus en provenance de portions croissantes du territoire. Le seuil entre les deux types d'écoulement (débit limite) peut varier d'une paire de bassins à l'autre et est pris en compte dans la modélisation des flux de nutriments et de sédiments.

Tableau 8. Définition des strates selon le débit et la période de l'année

Strate	Type d'écoulement	Débit (mm j ⁻¹)	Période	
1	Écoulement de base	≤ 2	En tout temps	
2	Écoulement de crue	> 2	Saisons de croissance (mai-novembre) et hivernale (décembre à avril)	À l'année

Exportations de sédiments

Les exportations de matières en suspension (MES) sont calculées à l'aide des données de turbidité des sondes multi-paramètres ainsi qu'avec les dosages en laboratoire des matières en suspension (MES) des échantillons d'eau prélevés aux exutoires des bassins versants. Une régression linéaire est établie entre les concentrations en MES des échantillons (variable expliquée) et les valeurs de turbidité de la sonde (variable explicative) lues au même moment. Les charges en MES exportées (hebdomadairement ou annuellement) sont ensuite calculées en associant la série temporelle des concentration en MES avec celle du débit (Michaud et coll., 2009a).

Exportations de nutriments

La qualité de l'eau des échantillons ponctuels prélevés aux exutoires des micro-bassins à l'étude est évaluée suivants trois protocoles d'analyse.

Un dosage physico-chimique est systématiquement réalisé sur l'ensemble des échantillons d'eau afin de mesurer les concentrations en azote ammoniacal (N-NH₃), nitrates (N-NO₃), phosphore total, calcium (Ca) et autres éléments majeurs et mineurs en solution (Greenberg et coll., 1992a, b, c, d; Murphy et Riley, 1962; Sharpley et coll., 1991).

Pour certains échantillons, sélectionnés afin de bien représenter les différentes strates de débit, une spéciation des formes de phosphore est effectuée. Le P biodisponible, P réactif soluble (principalement sous forme d'orthophosphates) et le P total dissous sont alors mesurés. Cette spéciation des formes de phosphore permet de mettre en évidence la variabilité du P selon les différents cheminements hydrologiques (surface, drains et résurgence de nappe).

Enfin, un nombre plus restreints d'échantillons sont aussi analysés afin de déterminer leurs teneurs coliformes fécaux (*E. Coli*) et en coliformes thermotolérants. Ces échantillons sont rapidement acheminés au laboratoire et traités en moins de 24 heures après l'échantillonnage.

Les charges de nutriments sont ensuite estimées par modélisation statistiques à l'aide du logiciel FLUX (Walker, 1998). FLUX mets en relation les concentrations des paramètres de qualité de l'eau en fonction des débits du cours d'eau. Des régressions linéaires sont produites pour chaque strate de débit ([Tableau 8](#)). Cette approche a été utilisée depuis 10 ans dans le traitement des données de qualité de l'eau à l'IRDA et les coefficients de variation engendrés varient généralement de 5 à 15 % (Michaud et coll., 2009a). Un tel niveau d'ajustement est jugé acceptable compte tenu des faibles superficies des bassins de l'*Observatoire*, qui conditionnent des réponses hydrologiques rapides.

La superposition des hydrogrammes séparés (ruissellement et écoulement souterrain) avec les sédigrammes (MES) et les chéméogrammes (nutriments) permet une compréhension approfondie des phénomènes de transports au fil des saisons et des différents régimes d'écoulement.

Détection des changements de qualité de l'eau

En petits bassins versants agricoles, les paramètres de qualité de l'eau peuvent varier très rapidement en fonction des conditions hydrologiques. Cette réponse est aussi influencée par la saison, les propriétés du paysage et des sols, ainsi que par la pratique culturale et l'aménagement du parcellaire. Ces facteurs interagissent de façon simultanée, si bien qu'il demeure difficile d'isoler leurs effets simples, comme par exemple celui associé à l'implantation concertée de nouvelles pratiques culturales ou l'aménagement hydro-agricole d'un bassin versant. L'approche biostatistique retenue doit nécessairement tenir compte de l'ensemble des effets et de leurs interactions.

L'analyse de covariance (ANCOVA) appliquée aux observations de la qualité de l'eau des bassins *Intervention*, utilisant les observations du bassin *Témoin* en covariable, est bien adaptée à la distinction de ces influences et interactions hydrologique, saisonnière et anthropique (Michaud et coll., 2009a). Le recours aux observations d'un bassin *Témoin* permet de prendre en compte la forte variabilité des conditions hydrologiques dans la détection de gradients temporels dans la qualité de l'eau au bassin *Intervention*. La stratification des données selon la saison permet aussi d'évaluer un effet d'interaction de la saisonnalité avec la réponse de la qualité de l'eau.

Cette technique sera donc utilisée en période d'évaluation, pour la détection de réponse de la qualité de l'eau suivant les actions agroenvironnementales dans chacun des bassins *Intervention* de l'*Observatoire*.

3 RÉSULTATS

La présentation des résultats comprend deux parties. Dans un premier temps, un portrait complet du traitement des observations du bassin versant du ruisseau Brook, bassin *Témoin* de la rivière Tomifobia en Estrie, est présenté à titre d'exemple des résultats générés pour chacun des dix bassins versants du réseau d'étude. La période décrite s'étend sur l'ensemble de la période de référence, soit d'octobre 2009 à octobre 2011. Ce bassin est associé aux observations de concentrations de nutriments et de sédiments parmi les plus basses de tout le réseau. Il constitue ainsi un bon banc d'évaluation de la sensibilité et la précision des dispositifs et protocoles mis en place pour l'ensemble du réseau.

Une synthèse des résultats des suivis hydrométriques et de qualité de l'eau de l'ensemble du réseau de bassins versants expérimentaux dans les cinq régions à l'étude est présentée en deuxième partie. L'interprétation des résultats met ici l'emphase sur la comparaison des transferts entre les bassins versants, de façon à identifier les principaux vecteurs naturels et anthropiques de la mobilité des sédiments et des nutriments.

3.1 Étude de cas du ruisseau Brook. Validation des méthodes de calage hydrométrique, de séparation des hydrogrammes et de modélisation des flux

Rappelons que l'analyse des observations hydrométriques et de qualité de l'eau comportent plusieurs étapes interdépendantes, dont le tarage hauteur : vitesse : débit des stations du réseau de l'*Observatoire* constitue le point d'ancrage. La mesure précise des débits est donc à la base des étapes subséquentes du traitement des données, incluant :

- l'estimation des flux de nutriments à l'aide de modèles concentrations : débits;
- l'estimation des flux de sédiments sur la base des observations de la turbidité (sondes) et du débit;
- la séparation des hydrogrammes sur la base des observations de conductivité et de débits.

Tarage hauteur débit de la station de mesure

La [figure 8](#) illustre la courbe de tarage hauteur : débit estimée pour la section de mesure du ruisseau Brook à partir des observations colligées en continu (toutes les 15 minutes) par la sonde à pression ainsi qu'avec les jaugeages ponctuels réalisés sur le terrain avec un moulinet hydrologique de l'automne 2009 à 2011. La courbe de tarage ([Figure 8](#)), représentée par une équation polynomiale d'ordre 2, montre un bon ajustement avec les débits mesurés. Comme c'est généralement le cas lors de tarages sur de petits bassins versants, la disponibilité de jaugeages lors des courts épisodes de débits de pointe demeure le principal facteur limitant de la qualité du modèle hauteur : débit. Dans le cas du ruisseau Brook, une forte crue atteignant $0,90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a pu faire l'objet d'un jaugeage, ce qui confère au modèle une fiabilité dans la strate de débits élevés.

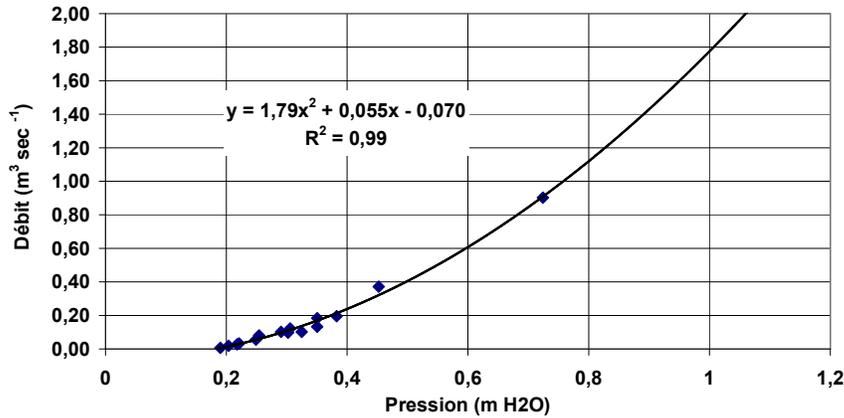


Figure 8. Courbe de tarage hauteur : débit de la station de mesure du ruisseau Brook (*Témoïn* de la riv. Tomifobia, Estrie).

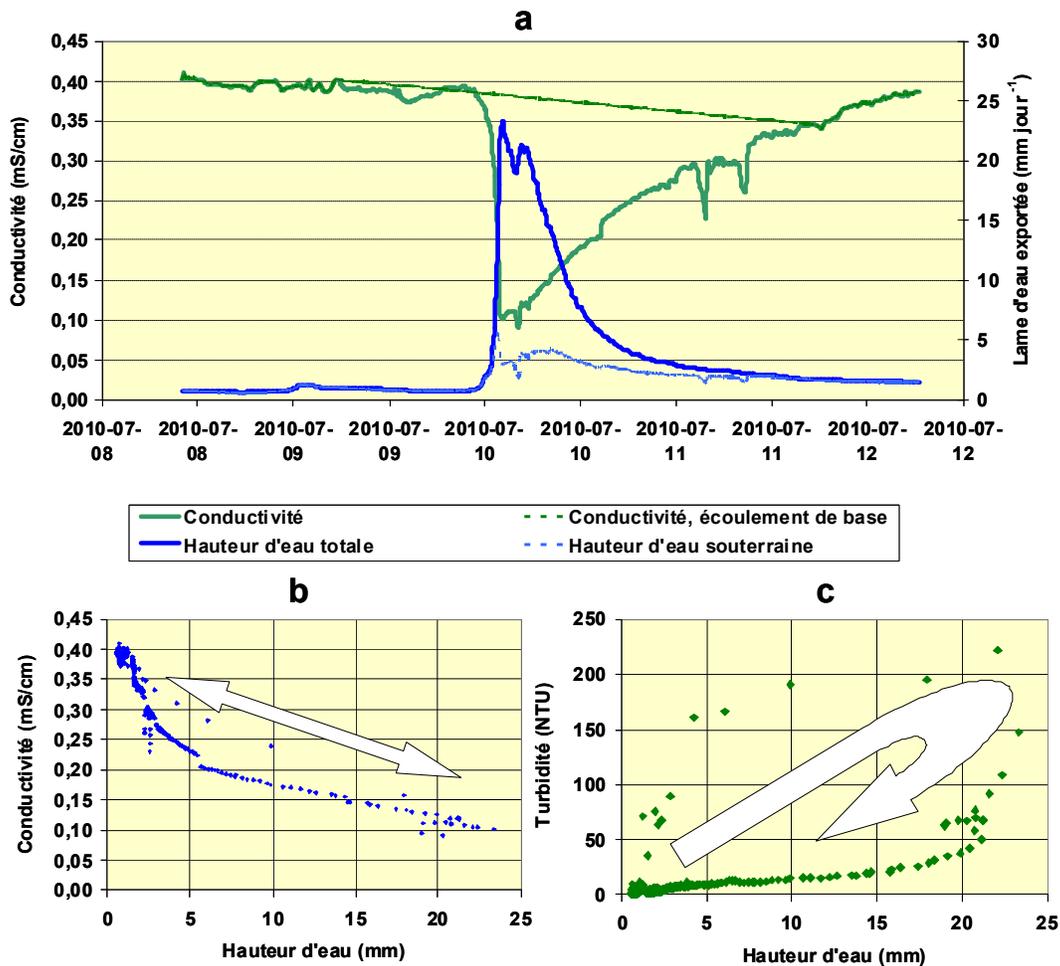


Figure 9. Séparation de l'hydrogramme de l'évènement du 10 juillet 2010, observé au ruisseau Brook (a), de même que la variabilité de la conductivité (b) et de la turbidité en fonction de la hauteur d'eau (c) pour le même évènement.

La conversion des hauteurs d'eau en débits du ruisseau permet d'estimer les volumes d'eau exportés pour une période donnée. Ainsi, le tarage de la section de mesure permet de situer à 840 mm la hauteur d'eau annuelle moyenne exportée pour la période de référence 2009-2011.

Séparation des hydrogrammes

Chaque évènement hydrologique susceptible de comporter une composante de ruissellement de surface (débit journalier moyen supérieur à $1,7 \text{ mm jr}^{-1}$) a profité d'une segmentation de son hydrogramme. La [figure 9](#) illustre l'application de la méthode à l'évènement du 8 au 10 juillet 2010, alors que le ruisseau a atteint un débit de pointe journalier de 25 mm jr^{-1} en réponse à une intense précipitation totalisant 87 mm sur trois jours. L'intensité de la précipitation se traduit en une montée rapide de l'hydrogramme et une chute rapide de la conductivité ([figure 9b](#)). Cette chute coïncide avec l'entrée du ruissellement de surface dans le ruisseau, dont la conductivité électrique est largement inférieure à celle de l'écoulement de base du ruisseau. Une forte turbidité s'exprime également en montée de l'hydrogramme ([figure 9c](#)), témoignant du caractère érosif de l'évènement. En période de récession, la conductivité remonte graduellement, suivant la courbe Conductivité : débit en montée de l'hydrogramme, mais en sens inverse. La courbe de la turbidité en fonction du débit témoigne pour sa part d'une forte hystérésis. La faible turbidité en période de récession témoigne alors du cheminement souterrain des eaux, relativement moins chargées en sédiments que le ruissellement de surface. La récession du débit implique aussi une réduction de la capacité des eaux du ruisseau à transporter les sédiments à l'exutoire.

La [figure 10](#) illustre la variabilité du signal de conductivité électrique en réponse aux fluctuations du débit pour la période de suivi de 2010. La structure bien établie dans la relation conductivité : débit traduit nettement la démarcation entre l'écoulement de base et les crues comportant une composante variable de ruissellement de surface. Les observations témoignent d'un débit-limite avoisinant $1,7 \text{ mm jour}$, en deçà duquel la conductivité demeure relativement stable. L'essentiel de l'écoulement est alors associé à des contributions souterraines, enrichies d'électrolytes au fil de leur passage dans le sous-sol du bassin versant. Au delà de $1,7 \text{ mm jr}^{-1}$, on dénote une diminution de la conductivité électrique en réponse à l'entrée de l'eau de ruissellement. Ces observations témoignent de la robustesse de l'approche de séparation des hydrogrammes utilisée, dans la mesure où les différentes crues sont à l'origine de patrons similaires dans l'évolution de la conductivité en fonction du débit. La relation conductivité : débit demeure par ailleurs relativement insensible au phénomène d'hystérésis, ce qui démontre que l'approche de séparation est applicable tant en montée de l'hydrogramme qu'en décrue.

La [figure 11](#) illustre les séparations des hydrogrammes dérivés des relations conductivité : débit depuis la mise en opération de la station jusqu'en novembre 2011. Les flux de sédiments dérivés du signal de turbidité y sont aussi illustrés à titre indicatif. Au total, la lame d'eau associée au ruissellement de surface est estimée à 273 mm, ce qui représente environ 32 % de la lame d'eau totale exportée à l'exutoire du bassin versant (840 mm). La distribution des exportations d'eau et de sédiments reflète la vocation herbagère du bassin versant de même que la nature relativement perméable des sols. À titre de comparaison, les observations colligées suivant un protocole similaire aux exutoires de bassins versants dans le piedmont appalachien en Montérégie témoignent de proportions similaires des écoulements de surface, soit entre 26 à 31 % de la hauteur d'eau exportée (Michaud et coll., 2009a).

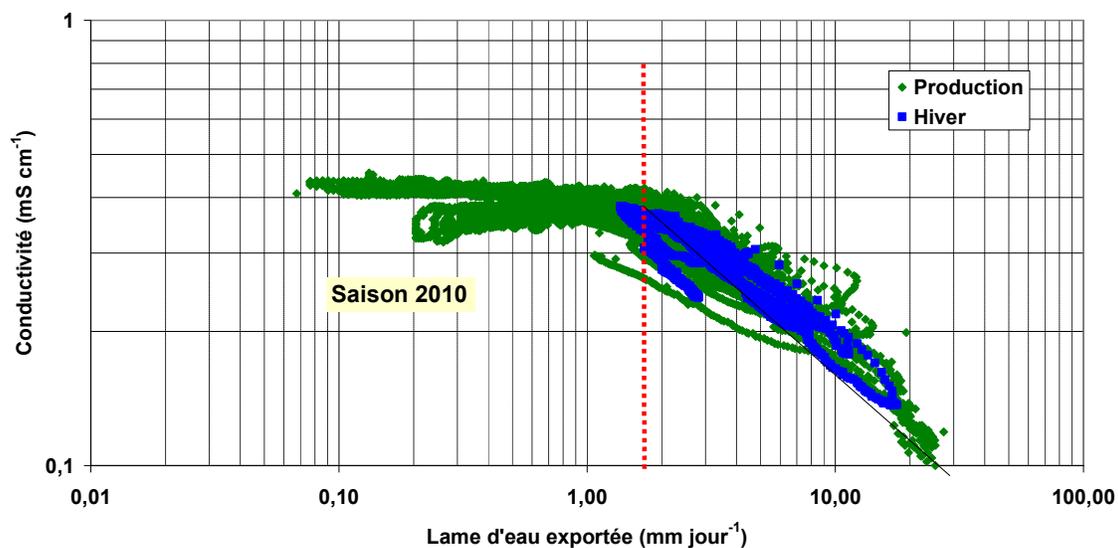


Figure 10. Variation de la conductivité électrique en fonction du débit du ruisseau Brook en période hivernale et en saison de production pour l'année 2010.

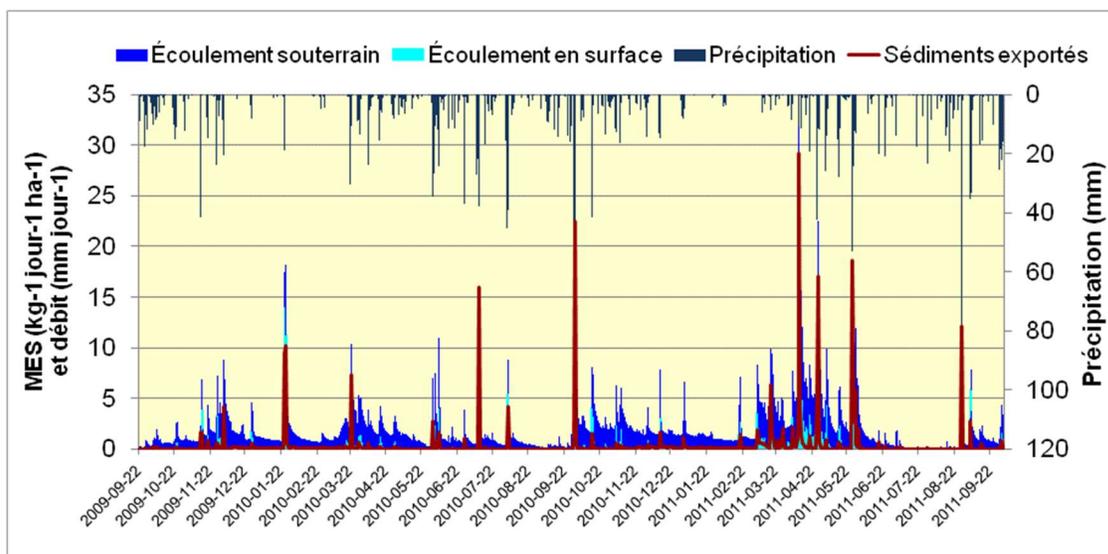


Figure 11. Hydrogramme segmenté et flux de sédiments de la station du ruisseau Brook (*Témoin* de la riv. Tomifobia, Estrie) pour la période du 23-09-2009 au 03-11-2011.

Estimation des flux de sédiments et de nutriments

L'estimation des flux de sédiments et de nutriments exportés à l'exutoire du ruisseau Brook ont mis à profit les débits instantanés (15 min) et journaliers dérivés du tarage hauteur : débit du cours d'eau, de même que les observations ponctuelles de qualité de l'eau. Des modèles de régressions concentration-débit (C/Q) spécifiques à chaque paramètre de qualité de l'eau ont ainsi été générés, considérant deux strates distinctes de débits, soit :

- la strate d'écoulement de base ($< 2 \text{ mm jr}^{-1}$);
- la strate de crue ($> 2 \text{ mm jr}^{-1}$; novembre à avril);

Le [tableau 9](#) décrit la distribution des hauteurs d'eau, de la durée et du nombre d'échantillonnages associés à chacune des strates. Conformément à la stratégie d'échantillonnage ciblant les crues du ruisseau, les strates de débits élevés ($> 2 \text{ mm jr}^{-1}$) ont ainsi profité de la majorité des échantillonnages (56 vs 42). Conceptuellement, la hauteur d'eau journalière de 2 mm jr^{-1} correspond au débit limite du ruisseau, au-delà duquel la concentration en MES ou en P total, des paramètres sensibles aux exportations dans le ruissellement de surface, tendent à augmenter en fonction du débit. À l'inverse, en deçà du débit limite du ruisseau, les mêmes paramètres tendent à afficher une pente de régression négative en fonction du débit. Ce phénomène traduit alors une dilution des sources ponctuelles qui prévalent dans le bassin versant. Dans le cas du ruisseau Brook, le débit limite du ruisseau a été fixé à 2 mm jr^{-1} en interprétant les graphiques de concentration des MES et du P total en fonction des débits. Cette stratification reflète par ailleurs la variabilité du signal de conductivité électrique révélée par la sonde multi-paramètre à l'exutoire du ruisseau.

Tableau 9. Stratification des périodes et des classes de débits utilisés dans la modélisation des flux du ruisseau Brook et distributions des durées, hauteurs d'eau et nombre d'échantillonnages ponctuels de la qualité de l'eau.

Ident. No.	Débit (mm jour ⁻¹)	Septembre 2009 à octobre 2011		
		Jours	Lames d'eau exportée	
1	< 2	524	507 mm	0.97 mm/jour
2	> 2	217	1198 mm	5.52 mm/jour
Global		741	1705 mm	840 mm/an
Moyenne annuelle des précipitations (pluie et neige)			1 267 mm/an	

Strate	Débit (mm jour ⁻¹)	Hauteur d'eau exportée (mm)		Campagnes d'échantillonnage		Ensemble de la période	
		Total	Moyenne	N	Moyenne	N	Moyenne
		696 jours	annuelle				
1	< 2	507	250	42	1.07	524	0.97
2	> 2	1198	590	56	8.42	217	5.52
Global		1705	840	98	5.27	741	2.30

Le [tableau 10](#) synthétise les résultats des estimations de flux par modélisation de régression concentration : débit pour l'ensemble des paramètres de qualité de l'eau à l'étude. Dans l'ensemble les coefficients de variation sont satisfaisants, se situant pour la plupart des paramètres largement en deçà du seuil de 15% proposé par Walker (1998) pour l'estimation des flux aux exutoires de petits bassins versants. Le paramètre des MES fait cependant exception ($C_v = 0,24$), reflétant la forte hystérésis auquel sont soumis les sédiments en fonction du débit du ruisseau. Le sédigramme ([Figure 9c](#)) illustre bien ce phénomène. L'estimation du flux de sédiments dérivée du signal de turbidité (sonde multi-paramètre) situe ainsi la charge exportée à environ la moitié de celle prédite par le modèle concentration : débit. Au plan méthodologique, ces observations justifient l'utilisation des sondes multi-paramètres mesurant la turbidité en continu afin d'estimer les flux de sédiments exportés aux exutoires de l'ensemble des bassins versants de l'*Observatoire*. Aussi, les estimations de flux MES dérivées des mesures de turbidité sont à privilégier, plutôt que la méthode de régression des concentrations sur les débits. En ce qui a trait à l'ammoniac, les modélisations concentration : débit sont généralement imprécises, en raison de la forte interaction entre la saisonnalité et le régime hydrique sur la mobilité et la nitrification de l'ammoniac. Celui-ci peut être autant associé aux crues à dominance de ruissellement de surface qu'aux écoulements souterrains en étiage hivernal. Le CV de 39 % témoigne de cette variabilité qui échappe au modèle concentration : débit.

Tableau 10. Estimations des charges annuelles et des concentrations moyennes pondérées pour le débit des différents paramètres de qualité de l'eau du ruisseau Brook (2009-1022).

Paramètre de qualité de l'eau	Bassin Brook		
	Charge (kg ha ⁻¹)	Conc. (ug L ⁻¹)	CV1
Matières en suspension	227,86	27 142,03	0,237
Phosphore total	0,64	76,26	0,185
Phosphore biodisponible	0,29	34,03	0,055
Phosphore total dissous	0,18	21,35	0,105
Ortho-phosphates	0,15	17,55	0,108
Azote ammoniacal	0,37	44,20	0,386
Nitrates	8,30	988,84	0,046
Calcium	370,46	44 128,26	0,026
Hauteur d'eau exportée	1705 mm		
Durée du monitoring	741 jours		

(1) Coefficient de variation de l'estimation de la charge estimée par validation croisée

Le [tableau 11](#) rapporte les estimations des charges et des concentrations moyennes pondérées pour le débit de nutriments et de MES associées aux différentes strates de débit et de saison retenus dans la modélisation concentration : débit. Les résultats montrent l'importance relative des charges associées aux strates de crue du ruisseau, malgré une durée relativement courte des événements. Au plan méthodologique, cette distribution justifie la stratégie d'échantillonnage qui cible les événements de crue du ruisseau.

Dans l'ensemble, l'analyse sommaire des résultats démontre l'influence dominante du régime hydrique sur les paramètres de qualité de l'eau. Les pentes de régression pour les paramètres de P total et du Ca sont très significatives pour toutes les strates de débit et de saison. Notons que les concentrations en phosphore observées sont relativement faibles, ce qui met particulièrement au défi l'ensemble du protocole expérimental. Au plan méthodologique, l'ajustement des modèles de régression du P total et du Ca témoignent ainsi d'une bonne qualité du suivi hydrométrique, du protocole d'échantillonnage et des méthodes analytiques.

Les estimations de concentrations moyennes pondérées des différents paramètres de qualité de l'eau, à l'instar des pentes de régression du P et du Ca, témoignent aussi d'une influence saisonnière marginale dans ce bassin versant. Il est assumé que cette faible saisonnalité des concentrations en N et P est associée à un bilan d'apports relativement faible en ces nutriments. Des observations colligées dans d'autres bassins versants expérimentaux au Québec (Michaud et coll., 2009a) lient généralement l'importance du bilan des apports nutritifs à une augmentation sensible des concentrations en saison de production. La faible saisonnalité dans les exportations du bassin Brook est aussi cohérente avec des taux d'exportations annuelles relativement peu élevés.

Les [figures 12](#) et [13](#) traduisent en séries chronologiques les résultats des modèles de flux présentés aux [tableaux 9](#) et [10](#). Au plan du phosphore, le chéméogramme ([Figure 12](#)) met en relief les exportations associées à quelques événements de crue (3 événements avec une charge journalière de $p > 10$ kg). La spéciation du P démontre une nette dominance des formes particulières, avec une biodisponibilité globale d'environ 45 %. Cette dernière varie sensiblement entre les différents événements, alors que la biodisponibilité tend à augmenter

en écoulement de base. Rappelons ici que cette variabilité, mise en relief dans la spéciation du P, est rendue possible par des analyses de régression distinctes appliquées à chacun des paramètres de qualité de l'eau. Cette cohérence dans les charges estimées pour les différentes fractions du phosphore (Total > Biodisponible > Total en solution > Portho) et la variabilité dans leur proportion selon les différents strates de débit témoignent de la précision et de la sensibilité du protocole expérimental mis en œuvre dans le réseau de l'*Observatoire* dans la caractérisation des flux de nutriments.

Tableau 11. Estimations des charges et des concentrations moyennes pondérées pour le débit associées aux différents strates de débit et de saison pour les différents paramètres de qualité de l'eau du ruisseau Brook.

Phosphore total						Phosphore biodisponible					
Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV	Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV
	Pente	P					p				
1	0,232	0,053	155	43	0,158	1	0,105	0,398	93	26	0,142
2	0,555	0,001	772	90	0,22	2	0,181	0,014	321	38	0,058
Global			928	76	0,185	Global			414	34	0,055

Phosphore total en solution						Ortho-phosphates					
Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV	Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV
	Pente	P					p				
1	0,01	0,957	81	22	0,277	1	0,005	0,976	64	18	0,294
2	0,21	0,046	179	21	0,087	2	0,141	0,188	149	18	0,088
Global			260	21	0,105	Global			214	18	0,108

Matières en suspension						Azote ammoniacal					
Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV	Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV
	Pente	P					p				
1	0,891	0,022	97 362	26 895	0,459	1	0,576	0,195	100	28	0,199
2	0,942	0,001	232 830	27 247	0,276	2	0,211	0,481	439	51	0,472
Global			330 191	27 142	0,237	Global			538	44	0,386

Nitrates						Calcium					
Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV	Strate	Param. de la régression C/Q		Charge (kg)	Conc. ($\mu\text{g L}^{-1}$)	CV
	Pente	p					p				
1	0,165	0,029	4223,6	1 167	0,1	1	-0,085	0,045	207 999	57 457	0,046
2	-0,222	0,001	7 806	914	0,046	2	-0,295	< 0,001	328 835	38 482	0,031
Global			12 030	989	0,046	Global			536 834	44 128	0,026

En ce qui a trait à l'azote, les chéméogrammes des nitrates ([Figure 17](#)) illustrent des concentrations relativement basses de ces paramètres tout au long de l'année. À l'instar des concentrations de P, ces résultats confirment une bonne qualité de l'eau de ce ruisseau en bassin versant agricole et de la capacité du protocole expérimental à documenter des flux de nutriments relativement faibles.

Globalement, l'analyse détaillée préliminaire des observations hydrométriques, des signaux de conductivité et de turbidité, de même que des déterminations analytiques des échantillons d'eau prélevés à l'exutoire du ruisseau Brook valident le dispositif et le protocole expérimental mis en place pour le réseau de l'*Observatoire*. Rappelons que l'ensemble des dix bassins sous monitoring ont tous profité d'un dispositif et d'un protocole similaire, hormis les quatre exutoires auxquels des sondes acoustiques ont été ajoutées en raison de risques appréhendés de reflux.

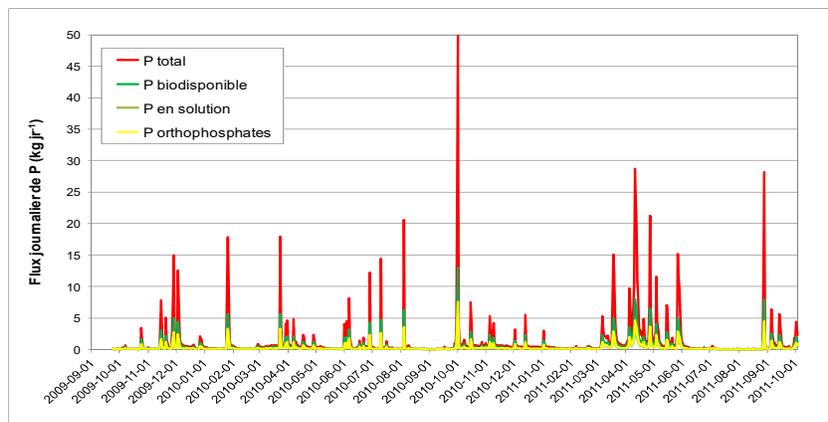


Figure 12. Série chronologique des flux de P estimés à la station de du ruisseau Brook (*Témoïn de la riv. Tomifobia, Estrie*) pour la période du 23-09-2009 au 11-03-2011.

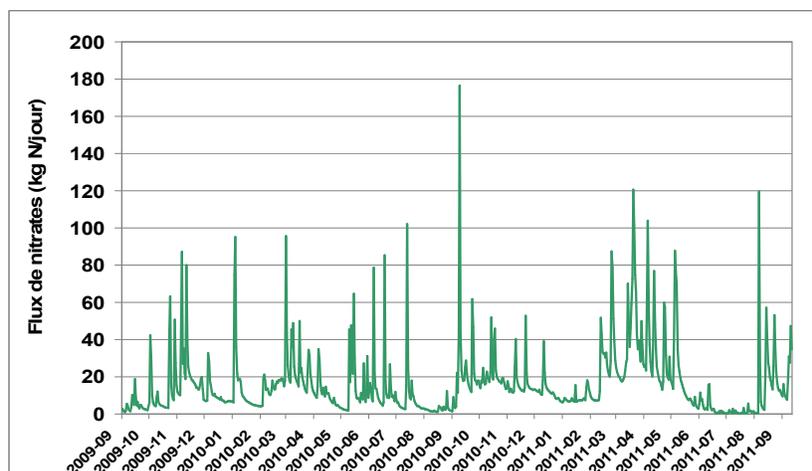


Figure 13. Série chronologique des flux de nitrates estimés à la station du ruisseau Brook (*Témoïn de la riv. Tomifobia, Estrie*) pour la période du 23-09-2009 au 11-03-2011.

Réponses hydrologiques comparées des bassins versants expérimentaux de l'ensemble du réseau d'étude

Cette section présente une synthèse des résultats des suivis hydrométriques et de qualité de l'eau de l'ensemble du réseau de bassins versants expérimentaux dans les cinq régions à l'étude. La diversité des systèmes de production agricole, des paysages et des conditions climatiques y favorisent des réponses hydrologiques très contrastées, qui se traduisent en flux de sédiments et nutriments tout aussi distinctifs. L'interprétation des résultats met ici l'emphase sur la comparaison des transferts entre les bassins versants, de façon à identifier les principaux vecteurs naturels et anthropiques de la mobilité des sédiments et des nutriments.

3.2 Réponses hydrologiques

La [figure 14](#) illustre les hauteurs d'eau annuelles moyennes exportées aux exutoires des dix bassins versants expérimentaux. Les débits totaux ont été segmentés en contributions du ruissellement de surface et de l'écoulement souterrain, suivant la séparation des hydrogrammes de crue propres à chacun des bassins versants. Dans l'ensemble, les hauteurs d'eau annuelles exportées varient considérablement d'une région d'étude à l'autre, d'un taux minimal de 260 mm en Montérégie (Branche 6 de la riv. de l'Esturgeon) à 840 mm au ruisseau Brook en Estrie. Ces variations reflètent les interactions de plusieurs facteurs, dont la distribution spatiale des précipitations et l'importance du couvert neigeux, les propriétés des sols et du paysage, l'occupation du territoire et l'aménagement des terres.

Considérant la variabilité des totaux de précipitations (856-1277 mm/an) observés aux sites d'étude, les bassins versants de l'Estrie, du Témiscouata et de l'Estrie se démarquent par un ratio débit : précipitations relativement plus élevés que les quatre bassins de la Montérégie. En moyenne, plus des deux tiers des précipitations y ont été évacuées à l'exutoire, alors que ce ratio se situe entre 23 et 57 % en Montérégie. L'influence de la fonte printanière a un effet déterminant sur les hauteurs d'eau exportées relativement plus élevées dans les bassins de l'Estrie, de la Mauricie et du Témiscouata. Soulignons ici que le gradient dans les hauteurs d'eau exportées est contraire à celui de l'occupation agricole des régions à l'étude, alors qu'il est généralement établi que le couvert forestier est associé à des coefficients de ruissellement beaucoup moins élevés qu'en terres cultivées. En effet, les six bassins présentant les bilans hydriques les plus excédentaires ont aussi un pourcentage d'occupation agricole (20 à 55 % du territoire) nettement inférieur à ceux de la Montérégie, qui se situent à plus de 80 % ([Tableau 5](#)). Le climat a donc une influence plus marquée que la vocation du territoire sur le bilan hydrique annuel des régions à l'étude.

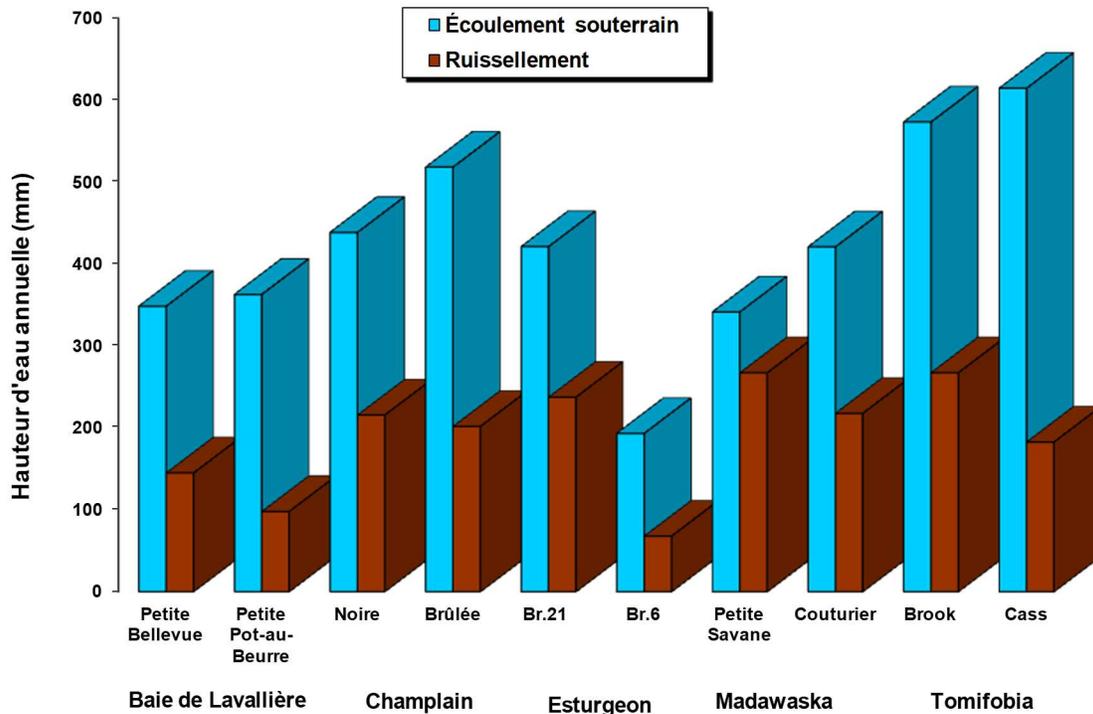


Figure 14. Ruissellement et écoulements souterrains moyens de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011).

En parallèle à l'influence du climat, les propriétés des sols et du paysage ont aussi une influence déterminante sur les réponses hydrologiques des bassins à l'étude. L'effet du relief est cependant confondu avec celui du climat, alors que les bassins ayant les bilans les plus excédentaires sont aussi ceux ayant les reliefs les plus accentués du réseau. L'influence des propriétés des sols est pour sa part mieux démarquée en comparant les bassins jumeaux d'une même région d'étude. Ainsi, en Estrie, la séparation des hydrogrammes de crue au ruisseau Brook démontre une activité hydrologique de surface plus intense que celle du ruisseau Cass, qui présente pourtant un relief beaucoup plus accidenté. Les relevés pédologiques de la région attribuent aux sols du bassin du ruisseau Brook un égouttement moins efficace que ceux du bassin du ruisseau Cass, avec des proportions de superficies mal drainée de l'ordre de 35 et 8%, respectivement. Le ruissellement de surface contribue ainsi à 32 % des hauteurs d'eau annuelles exportées au ruisseau Brook, contre 23 % au ruisseau Cass.

En Mauricie, le gradient observé dans les hauteurs d'eau ruisselées (33 et 28 % des hauteurs totales respectivement pour la riv. Noire et la riv. Brûlée) suit le gradient des textures des sols, alors que près de 20 % des sols présentent une texture argileuse ou loam argileux dans la riv. Noire. Cette proportion n'est que de 12 % dans la riv. Brûlée. Soulignons ici qu'une activité hydrologique de surface relativement plus importante dans le bassin de la riv. Noire s'exprime malgré une vocation herbagère (63 % de la superficie en culture) plus importante que dans la rivière Brûlée (40 %). Ces observations témoignent d'une influence relativement plus importante des propriétés des sols sur le bilan hydrique que celle des rotations de culture dans cette région.

L'influence des propriétés des sols sur les bilans hydriques en Montérégie est encore plus marquée que dans les autres régions l'étude. Les hauteurs d'eau exportées et les proportions

relatives de ruissellement de surface sont nettement inférieures dans les bassins de la Baie de Lavallière (ruissellement annuel moyen de 98 et 145 mm respectivement dans la Petite riv. Pot-au-Beure et la Petite riv. Bellevue), dominés par des textures de sol sablonneuses et loameuses, comparativement à la branche 21 de l'Esturgeon, dominé par des textures de sol lourdes (ruissellement annuel moyen de 237 mm). Enfin, le suivi hydrométrique de la branche 6 de la riv. de l'Esturgeon témoigne du régime hydrique très particulier qui prévaut en terre noire, alors que la hauteur d'eau totale n'est que de 261 mm, dont seulement 68 mm en ruissellement de surface. Les propriétés physiques du sol organique, dont sa grande rétention en eau, et une régie des eaux tournée vers l'irrigation, contribuent à ce faible taux d'exportation.

En conclusion, retenons que le climat, notamment la fonte et les pluies hivernales, contribue pour une large part aux différences observées dans les régimes hydriques des bassins à l'étude. Le paysage et les propriétés des sols jouent aussi un rôle de premier plan dans le cheminement, de surface ou souterrain, des eaux. L'influence de l'occupation des sols et des systèmes de culture ne peut certes être écartée, mais dans l'ensemble, est subordonnée à celle des propriétés des sols.

3.3 Charges sédimentaires

Les quantités de sédiments mesurées aux exutoires des bassins versants expérimentaux du réseau d'étude varient considérablement. Exprimés en fonction de la superficie totale des bassins à l'étude, les charges spécifiques varient d'un minimum de 88 kg MES ha⁻¹ an⁻¹ à l'exutoire du cours d'eau Couturier dans le Témiscouata (Bas-Saint-Laurent), à 1 236 kg MES ha⁻¹ an⁻¹ pour le bassin horticole de la branche 21 de la riv. de l'Esturgeon dans l'ouest de la Montérégie. Dans l'ensemble, l'occupation agricole du territoire, à elle seule, n'explique qu'environ 30 % de la variabilité observée dans les charges de sédiments exportées dans l'ensemble du réseau. La plus grande portion de la variabilité observée dans les taux d'exportation de sédiments est plutôt expliquée par l'interaction des propriétés physiographiques du parcellaire et des systèmes culturels en place. Afin de mieux visualiser l'influence de ces facteurs, la [figure 15](#) exprime les taux annuels moyens d'exportation de sédiments en fonction de la superficie agricole de chaque bassin. Conceptuellement, cette représentation impute toute la charge sédimentaire aux portions agricoles du territoire. Compte tenu des taux marginaux d'exportation de sédiments provenant du milieu boisé généralement rapportés dans la littérature en comparaison des taux rapportés en territoire cultivé, cette approximation est jugée acceptable. Une surestimation marginale est cependant admise pour le bassin de la Petite riv. Savane, dominé par l'occupation forestière (80 %) et qui a été affecté par des travaux d'aménagement routier pendant la période d'étude.

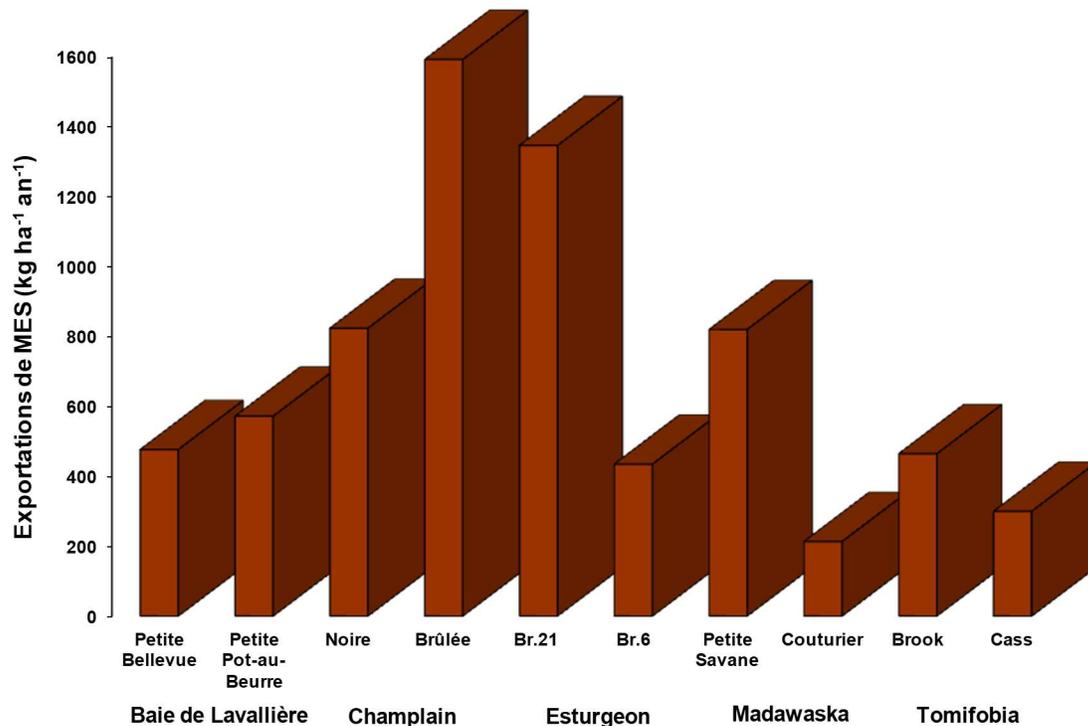


Figure 15. Exportations annuelles moyennes de sédiments de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) exprimées sur la base des superficies en culture.

Les bassins versants du rivièrè Brûlée, en Mauricie, et de la riv. de l'Esturgeon, en Montérègiè, sont associées aux charges de sédiments en milieu agricole les plus élevées, avec des taux moyens respectifs de 1,6 T ha⁻¹ an⁻¹ et 1,4 T ha⁻¹ an⁻¹, respectivement. Ces taux relativement élevés s'expliquent par des systèmes culturaux relativement intensifs, alors que les superficies en cultures annuelles occupent 60 et 88 % des bassins de la riv. Brûlée et de la branche 21 de la riv. de l'Esturgeon, respectivement. Ces taux se démarquent nettement des bassins à vocation fourragère plus importante de l'Estrie et du Témiscouata, voire de la riv. Noire en Mauricie. Les pertes de sol minéral de la riv. Brûlée et de la riv. de l'Esturgeon demeurent aussi nettement plus élevées qu'aux exutoires des autres bassins de la Montérègiè, dont l'occupation du sol est pourtant dominée par la culture annuelle. Un taux de perte de sol plus élevé dans la riv. Brûlée et la branche 21 de la riv. de l'Esturgeon tient plutôt ici au fait que les hauteurs de ruissellement de surface y sont près de deux fois plus élevées que dans les bassins de la Baie de Lavallière ou la branche 6 de la riv. de l'Esturgeon (sol organique). L'*hydro-activité* des bassins versants se traduit ainsi en une vulnérabilité accrue au processus d'érosion. La nature argileuse des sols minéraux de la riv. de l'Esturgeon, combinée à une vocation horticole offrant peu de flexibilité dans l'adoption de pratiques culturelles anti-érosives, conditionnent la génération d'un ruissellement de surface particulièrement abondant et propice à l'arrachement et au transport des sédiments fins.

En Mauricie, le bon égouttement naturel des séries de sol du bassin de la riv. Brûlée ([Tableau 5](#)) et la popularité des systèmes de culture sur résidus ne laissent pas présager des taux élevés de pertes de sol. Les charges de sédiments relativement élevées mettent plutôt en relief la vulnérabilité des fossés et rives des cours d'eau, relativement encaissés, aux processus d'érosion. L'accroissement des débits de pointe en réponse à l'intensification des systèmes culturaux au cours des vingt dernières années y aurait favorisé le phénomène de ravinement

et d'affouillement de berges. La régie déficiente des pâturages a par ailleurs été identifiée comme un vecteur d'érosion riveraine dans quelques secteurs de la zone d'étude.

Dans le secteur de la Baie de Lavallière, les taux d'exportation de sédiments relativement bas, (477-572 kg ha⁻¹ en culture, respectivement, pour la Petite riv. Bellevue et la Petite riv. Pot-au-Beurre) témoignent des faibles hauteurs de ruissellement observées (98 à 145 mm, respectivement), en lien avec les propriétés perméables du sol. Le gradient dans les pertes de sol y favorisent légèrement le bassin à vocation céréalière de la Petite riv. Pot-au-Beurre, dont les superficies en maïs et soya occupent plus de 90 % du territoire, contre 56 % dans la Petite riv. Bellevue.

En Estrie, par contre, les taux de pertes de sol ne reflètent pas les systèmes cultureux en place. Le bassin du ruisseau Brook, avec 7 % des superficies en cultures annuelles, affiche un taux moyen d'exportation de sédiments de l'ordre de 465 kg an⁻¹ par hectare en culture. Le ruisseau Cass exporte pour sa part 300 kg MES an⁻¹, avec une proportion beaucoup plus élevée de cultures annuelles (35 %). Deux facteurs contribuent ici à cette disparité. Bien que présentant des pentes deux fois moins inclinées que le bassin du ruisseau Cass, les séries de sol relevées dans le bassin du ruisseau Brook présentent un mauvais drainage dans une proportion d'environ 35 % ([Tableau 5](#)). Cette proportion tombe à 8 % dans le ruisseau Cass. La hauteur de ruissellement de surface atteint ainsi 267 mm an⁻¹ à l'exutoire du ruisseau Cass, contre 183 mm au ruisseau Brook. Un autre facteur influent sur les charges de sédiments est aussi mis en relief par le dispositif d'étude en Estrie, soit la présence de milieux humides. En effet, le ruissellement de surface chemine au travers de deux secteurs marécageux dans le bassin du ruisseau Cass. L'étude des hydrogrammes et des sédigrammes colligés à l'exutoire du bassin témoigne de l'efficacité de ces retenues naturelles à laminier les crues et provoquer la sédimentation en amont de la station. Une implication pratique de cette observation est le rôle important joué par les milieux humides et les plaines inondables naturelles dans la régulation des crues et la rétention des charges sédimentaires en milieu agricole.

Au Témiscouata, les pertes de sol demeurent les plus faibles du réseau d'étude, avec des charges respectives de 164 et 88 kg ha⁻¹an⁻¹ pour les superficies totales des bassins de la Petite riv. Savane et du c. d'eau Couturier. Le bon égouttement des sols, la dominance de l'occupation forestière du territoire et des systèmes cultureux basés sur la production fourragère expliquent ces taux relativement bas. Il est cependant observé que la Petite riv. Savane, malgré une occupation agricole du territoire (20 %) deux fois moindre que le bassin Couturier (40 %), exporte néanmoins deux fois plus de sédiments. L'explication tiendrait en partie à une exploitation plus intensive des parcelles agricoles dans la Petite riv. Savane, alors que le tiers des superficies est dédié aux cultures annuelles, contre environ 12 % dans le c. d'eau Couturier. La pratique du semis direct est par ailleurs largement répandue dans le bassin Couturier, contribuant à réduire à la source le processus d'érosion. Il n'est pas exclu que les travaux d'aménagement routier en période de référence (2009-2011) dans le bassin de la Petite riv. Savane aient contribué aux charges de sédiments. Notons enfin que les deux bassins de la région sont influencés par des barrages de castors, dont les effets sont clairement perceptibles à l'analyse des hydrogrammes et des sédigrammes. Ces barrages ont pour effet de laminier les crues comportant une composante de ruissellement de surface et de provoquer la sédimentation du sol transporté des parcelles agricoles.

En conclusion, retenons que les propriétés des sols, de par leur influence sur la génération du ruissellement de surface, conjuguées à la vocation des systèmes des cultures, contribuent à expliquer la plus large part de la variabilité des exportations de sédiments observées aux

exutoires des bassins expérimentaux. Il est aussi noté que la morphologie du réseau hydrographique a une influence tangible sur la rétention des sédiments.

3.4 Charges et spéciation du phosphore

La [figure 16](#) illustre les charges spécifiques de phosphore de même que leur spéciation pour l'ensemble des bassins expérimentaux du réseau. Exprimés en fonction des superficies en culture, les charges varient considérablement, d'un taux minimal de 0,62 kg P ha⁻¹ à l'exutoire du cours d'eau Couturier dans la riv. Madawaska, au taux maximal de 5,82 kg P ha⁻¹ estimé pour la rivière Brûlée en Mauricie. Globalement, le taux d'érosion explique à lui seul 50 % de la variabilité observée dans le taux d'exportation de phosphore total. Pour les neuf bassins versants dominés par des sols minéraux, la fraction particulaire du P exporté est dominante et comprise entre 50 % (br. 21 de la riv. de l'Esturgeon) et 91 % du phosphore total (riv. Brûlé). Cette corrélation entre les flux de P et de MES traduit l'importance des processus d'érosion comme principal vecteur d'exportation de phosphore dans l'ensemble du réseau.

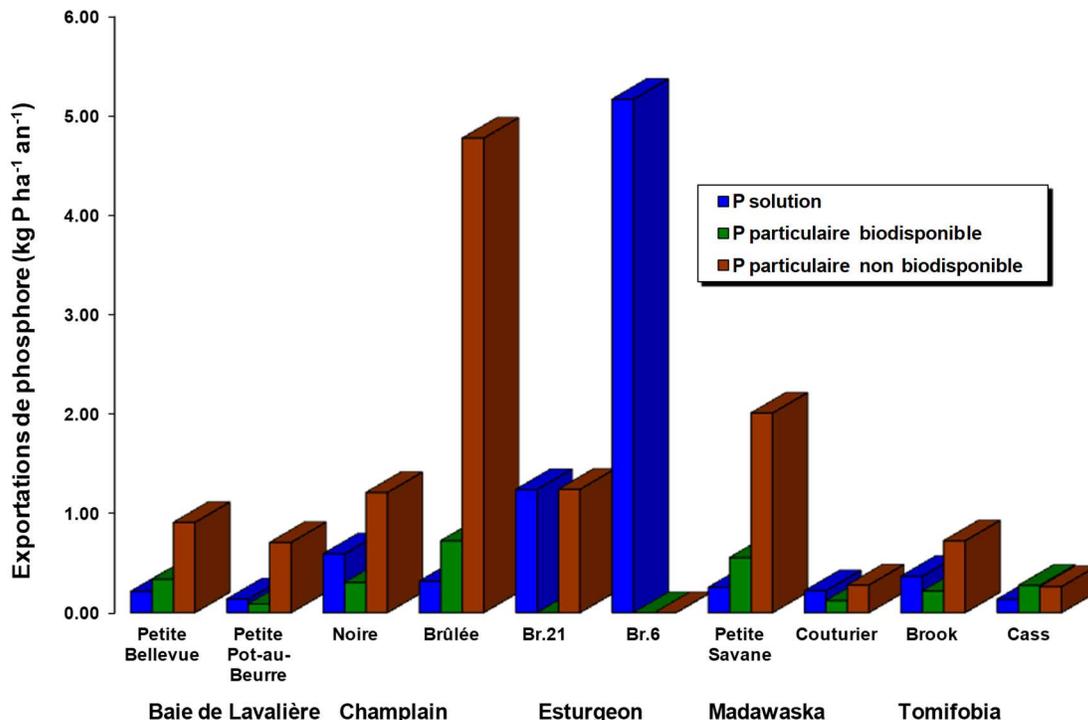


Figure 16. Exportations annuelles moyennes et spéciation du phosphore de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) pour les superficies en culture.

Si le gradient dans les flux totaux de phosphore observés aux exutoires des bassins versants expérimentaux est en bonne partie expliqué par les processus d'érosion, il en va tout autrement de la spéciation du phosphore. En effet, les proportions solubles et biodisponibles du P exporté varient considérablement d'un bassin à l'autre, sans corrélation directe avec le taux d'exportation de sédiments ou de P total. Cette considération est très pertinente au plan environnemental, dans la mesure où l'indice de biodisponibilité du P traduit le risque d'enrichissement et d'eutrophisation des plans d'eau. Plusieurs facteurs influencent la biodisponibilité du P exporté, dont la source et la charge de sédiments, les propriétés et la richesse des sols, de même que les sources et les modalités de gestion des fertilisants. La

variabilité des paysages et des systèmes de culture propres aux bassins à l'étude témoignent bien des influences et des interactions entre ces facteurs.

Malgré le plus haut taux d'exportation de P total du réseau d'étude ($5,82 \text{ kg P ha}^{-1}$), les charges de P observées à l'exutoire de la rivière Brûlée en Mauricie témoignent aussi de la plus faible solubilité (5 %) et du plus faible indice de biodisponibilité (18 %). La plus probable explication pour une faible réactivité du P particulaire exporté à l'exutoire de cette rivière tient vraisemblablement à l'origine des sédiments, associés principalement aux processus d'érosion en rive et en cours d'eau. Le taux de saturation en P relativement faible du parcellaire en culture, documenté par l'équipe ZIPP, et la généralisation des pratiques culturales anti-érosives dans le bassin versant militent aussi pour cette hypothèse. Le bassin voisin de la rivière Noire montre une solubilité du P beaucoup plus élevée (28 %), reflétant une superficie en culture dominée par les fourrages pérennes (64 %), relativement plus importante que dans le bassin de la riv. Brûlée (40 %). En se basant seulement sur la charge de P biodisponible exportée, les bassins expérimentaux de la Mauricie présentent une pression environnementale similaire ($0,89$ et $1,04 \text{ kg P ha an}^{-1}$ pour les riv. Noire et Brûlée respectivement), alors que la riv. Brûlée exporte près de trois fois plus de P total.

Les bassins versants de la Baie de Lavallière montrent un contraste similaire à celui de la Mauricie dans les spéciations du P exporté. En effet, la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre exporte un peu plus de sédiments ($572 \text{ kg MES ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) que son voisin, la Petite riv. Bellevue ($477 \text{ kg MES ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) reflétant des superficies dédiées presque exclusivement aux cultures annuelles (97 %). Cependant, le taux de perte de sol plus élevé ne se traduit pas en perte de P plus élevée. Au contraire, la charge de P total est beaucoup plus élevée à l'exutoire de la Petite riv. Bellevue ($1,46 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) qu'à la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre ($0,93 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$). De la même façon qu'en Mauricie, l'origine des sédiments et les contrastes dans la vocation agricole du territoire offrent l'explication la plus plausible. En effet, la très faible biodisponibilité du P particulaire (11 %) exporté de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre y témoigne des contributions importantes de l'érosion du lit et des rives discutées précédemment. Par ailleurs, la vocation herbagère du bassin de la Petite riv. Bellevue (40 % de la superficie en culture) de même qu'une densité d'élevage relativement plus élevée ($0,85 \text{ UA ha}^{-1}$ vs $0,46 \text{ UA ha}^{-1}$ à la Petite riv. Pot-au-Beurre) favorise la biodisponibilité du P exporté (27 %), presque trois fois plus élevée que dans son bassin voisin. Deux processus bien documentés dans la littérature expliqueraient ce gradient dans les spéciations du P dans les bassins jumeaux. D'une part, une couverture herbagère réduit le taux d'érosion, mais favorise l'enrichissement en P des sédiments. Au Québec, des ratios d'enrichissement en P des sédiments (ratio P sédiments / sol arable) variant de 1,89 en prairie à 4,01 pour le maïs-grain et ont été évalués sur une base expérimentale (Giroux et col, 2008). L'apport d'engrais de ferme, deux fois plus important dans la Petite riv. Bellevue, suggéré par le ratio des densités animales de chaque bassin, contribuerait aussi à une charge et une biodisponibilité plus élevée du P (Michaud et Laverdière, 2004). Une implication pratique de ces contrastes dans les taux et spéciation du P des bassins expérimentaux de la Baie de Lavallière est que la vocation herbagère ne met pas nécessairement le parcellaire à l'abri des exportations de P assimilables par le milieu aquatique. L'interaction avec les taux et les modalités d'apports des engrais de ferme doit être prise en considération.

En Estrie, les flux de P totaux s'expliquent par la dynamique des exportations de sédiments discutée dans la section précédente. L'effet des milieux humides présents dans le ruisseau Cass sur la rétention de sédiments se traduit en pertes de P total ($0,67 \text{ kg P ha}^{-1}$) deux fois

moins importantes que dans le ruisseau Brook ($1,31 \text{ kg P ha}^{-1}$). Rappelons que ce gradient dans les flux de P s'exprime malgré une proportion des superficies en culture fourragère plus importante dans le ruisseau Brook (93 %) que dans le ruisseau Cass (65 %). À l'instar des bassins de la Baie de Lavallière, les exportations de P sont donc plus importantes dans le bassin à vocation plus herbagère. Le P particulaire exporté au bassin du ruisseau Cass demeure toutefois deux fois plus biodisponible (51 %) qu'au ruisseau Brook (23 %). Une explication plausible à ce phénomène tiendrait à l'influence du milieu humide sur le tri des sédiments et la rétention des particules les plus grossières, donc les moins réactives en P. Hormis l'effet des milieux humides, il serait attendu qu'une proportion relativement plus importante de cultures annuelles dans le bassin du ruisseau Cass conduise à des pertes de P particulaire plus importantes et de moindre biodisponibilité qu'au ruisseau Brook. C'est donc plutôt l'inverse qui se produit. Conceptuellement, ces observations reflètent l'efficacité des milieux humides du ruisseau Cass à réduire le flux de P total exporté, voire supérieure à l'action anti-érosive de la couverture herbagère du ruisseau Brook. En contrepartie, comme c'est généralement le cas de tout tri des sédiments, le processus conduit à un accroissement de la biodisponibilité du P exporté, car la sédimentation favorise la retenue des particules les plus grossières.

En parallèle à l'influence des milieux humides sur la rétention du P particulaire, les apports d'engrais de ferme auraient aussi contribué aux exportations relativement plus élevées dans le bassin du ruisseau Brook. En effet, les épisodes d'abondant ruissellement de surface à l'automne 2010 et au printemps 2011, coïncidant avec les périodes d'épandage des engrais de ferme, y auraient conduit à des pertes événementielles de P, où les concentrations en P ont atteint 700 ug P L^{-1} . La proportion relativement plus importante de sols naturellement mal drainés dans ce bassin aurait aussi favorisé le phénomène d'entraînement des engrais de ferme non incorporés en période critique de vulnérabilité. Ces observations révèlent la vulnérabilité des prairies aux exportations de P suite à des épandages en période à risque sur des parcelles vulnérables au ruissellement de surface. En alternative, l'épandage estival après coupe demeure une meilleure option pour valoriser les lisiers sur prairies en sol mal drainé. Une autre implication pratique découlant de ces observations est que l'incorporation des engrais de ferme sur une culture annuelle est préférable à un épandage non incorporé sur prairies, surtout lorsqu'il y a risque de ruissellement, et par surcroît en parcelles mal drainées.

Dans la riv. Madawaska, les exportations de P estimées à l'exutoire du cours d'eau Couturier sont les plus faibles de tout le réseau d'étude ($0,62 \text{ kg P ha an}^{-1}$). Ce taux est tributaire à la fois d'un contrôle efficace des pertes de sol au moyen de pratiques culturales anti-érosives (semi direct) et de la dominance des prairies dans la rotation. Des sols bien drainés et une régie des épandages sur prairies après coupes, en dehors des périodes critiques de risques de ruissellement contribuent à limiter les exportations de P. À l'exutoire de la Petite rivière Savane, l'exportation de P total des superficies en culture est près de quatre fois plus élevée ($2,82 \text{ kg P ha}^{-1}$) qu'au cours d'eau Couturier. La nature essentiellement particulaire de la charge de phosphore (91 %) y reflète le taux d'exportation de sédiments relativement plus élevé, dans ce bassin où près du tiers du parcellaire agricole est dédié aux cultures annuelles. Les processus d'érosion actifs dans le bassin de la Petite riv. Savane contribueraient ainsi de façon plus importante aux exportations de phosphore que dans le bassin du cours d'eau Couturier. Dans ce dernier, la charge de phosphore comporte plutôt une importante fraction soluble (36 % du P total). Cette solubilité élevée est associée à la combinaison de deux facteurs. D'une part, les pratiques culturales anti-érosives en place préviennent l'érosion à la source, malgré un important ruissellement de surface (218 mm) principalement lié à la fonte

du couvert de neige. D'autre part, les barrages de castors sur le cours d'eau principal ont un effet marqué sur la rétention de sédiments. À l'instar des milieux humides du ruisseau Cass en Estrie, il est présumé que le processus de sédimentation favorise la solubilité et la biodisponibilité de la charge de P à l'exutoire du bassin. De manière globale, l'effet net des barrages sur la rétention des formes particulières de P se traduirait cependant en une réduction tangible de la charge biodisponible totale, évaluée à $0,34 \text{ kg P ha}^{-1}$ à l'exutoire cours d'eau Couturier.

Les bassins versants expérimentaux de la rivière de l'Esturgeon présentent des concentrations et des taux d'exportation de phosphore biodisponible les plus élevés de tout le réseau à l'étude. Ces taux reflètent l'interaction de deux facteurs, soit la nature des sols et l'intensité des systèmes de production à vocation horticole. Les charges élevées de phosphore à l'exutoire de la branche 6 drainant des sols organiques ($5,68 \text{ kg P ha}^{-1}$) témoignent de la faible capacité d'adsorption du phosphore des terres noires. L'essentiel du P exporté est soluble et réactif. La relative insensibilité des concentrations du P aux variations du régime hydrique indique par ailleurs que le phosphore emprunte largement les voies souterraines dans son transfert vers le cours d'eau. Rappelons par ailleurs que la lame de ruissellement de surface, évaluée à 68 mm an^{-1} , y demeure la plus faible de tout le réseau d'étude. La plus large part du P exporté à l'exutoire de la branche 6 serait ainsi associée aux eaux de drainage et à la résurgence de la nappe peu profonde au cours d'eau (193 mm an^{-1}).

La branche 21 de la rivière de l'Esturgeon draine aussi un bassin versant à vocation horticole. Les sols y sont toutefois de nature minérale, à prédominance argileuse et présentant un mauvais drainage naturel. Conjugée à des pratiques culturales intensives, la nature des sols conduit ainsi à la production d'une importante lame de ruissellement (237 mm an^{-1}) et à la plus forte exportation de sédiments du réseau de bassins à l'étude ($1\,348 \text{ kg ha}^{-1}$). Cette forte activité hydrologique de surface se traduit en un taux de phosphore biodisponible exporté de l'ordre de $1,06 \text{ kg P ha}^{-1}$, soit le plus élevé du réseau d'étude. La solubilité du P exporté demeure aussi la plus élevée (50 % du P total) du réseau de bassins versants en terre minérale. Cette solubilité élevée s'explique certainement par un taux de saturation des sols en phosphore relativement élevé, en lien avec une capacité de fixation du P relativement faible, documentée pour les sols argileux de la Montérégie, de même qu'un bilan d'apport en P typiquement élevé en production horticole. La solubilité élevée du P est aussi indicatrice de cheminements souterrains préférentiels du phosphore, un phénomène bien documenté en sols argileux en Montérégie (Poirier et coll., 2012). La nature argileuse des sols s'inscrit donc en triple dans la vulnérabilité du parcellaire de la branche 21 aux exportations de P, soit en favorisant les transferts par le ruissellement de surface et vers les drains souterrains, tout en minimisant la capacité de fixation naturelle du phosphore.

3.5 Charges d'azote

Les charges d'azote exportées aux exutoires des bassins versants expérimentaux se composent en très large partie de nitrates ([figure 17](#)). Contrairement au phosphore, les nitrates ne sont pas retenus dans les profils de sol. Ils empruntent systématiquement les voies souterraines, rejoignant les eaux de surface par les drains souterrains et les écoulements hypodermiques. Les concentrations observées sont donc moins affectées par les conditions hydrologiques que ne le sont les phosphates, mais demeurent plutôt sous influence saisonnière. Les cycles naturels de minéralisation de l'azote organique, le calendrier des

apports d'engrais de ferme et des fertilisants minéraux de même que les prélèvements des cultures dictent en grande partie le stock de nitrates disponible à l'exportation. L'ensemble des bassins versants expérimentaux affichent ainsi une oscillation des concentrations en nitrates selon un cycle annuel, relativement indépendant du débit du ruisseau. Les concentrations demeurent relativement élevées au cours de la période hivernale, reflétant le stockage des reliquats de fertilisation après la saison de croissance, de même que les processus de nitrification à l'œuvre malgré la chute des températures durant cette période. Suivant le lessivage du profil de sol en fin d'hiver, les concentrations se rétablissent rapidement au printemps et en début d'été, en réponse aux apports d'engrais de ferme et minéraux, de même qu'à l'accélération des processus de minéralisation et de nitrification dans un sol qui se réchauffe. Les concentrations de nitrates dans les ruisseaux atteignent typiquement leur niveau plancher à la fin de l'été et au début de l'automne, reflétant le prélèvement des cultures. Avec la recharge automnale de la nappe et la fin de la période active de croissance des cultures, les concentrations remontent à la fin de l'automne et retrouvent leurs niveaux plafonds hivernaux.

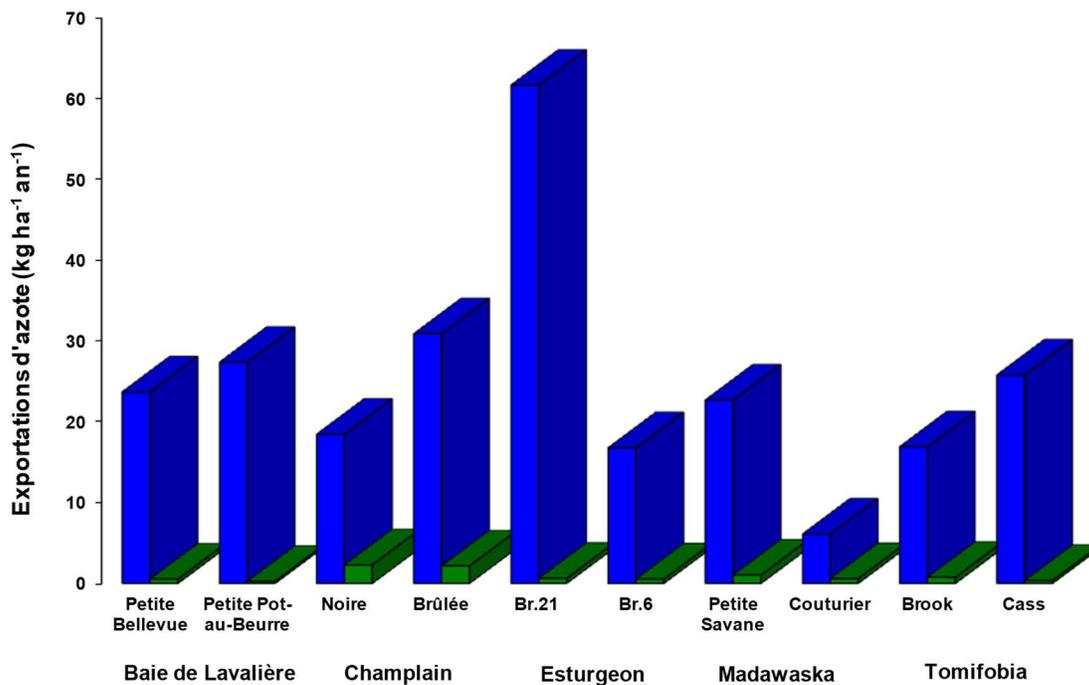


Figure 17. Exportations annuelles moyennes et spéciation de l'azote de l'ensemble des bassins versants expérimentaux (2009-2011) pour les superficies en culture.

Si l'ensemble des bassins versants expérimentaux affichent un cycle similaire dans l'évolution saisonnière des concentrations en nitrates, ils se démarquent cependant par leur minimum de fin d'été et leur maximum aux portes de l'hiver. À l'instar d'autres bassins versants agricoles qui ont profité de suivi de qualité de l'eau, le bilan massique des apports en azote traduit généralement assez bien ces concentrations de référence de même que les exportations globales de N (Michaud et col, 2009a). À défaut de données agronomiques détaillées sur les pratiques de fertilisation dans les bassins à l'étude, le profil des cultures demeure un bon indicateur des bilans d'apport en azote. Considérant l'ensemble des dix bassins à l'étude, plus de 90 % de la variabilité dans les concentrations moyennes annuelles en nitrates (pondérées

pour le débit) est ainsi expliquée par le pourcentage des superficies en cultures annuelles à l'échelle des bassins versants.

Les charges et concentrations en nitrates les plus élevées sont associées au secteur de la production horticole, dans le bassin versant de la rivière de l'Esturgeon. Un flux annuel moyen 62 kg N ha^{-1} en culture est mesuré à l'exutoire de la branche 21, reflétant les bilans d'apports en engrais minéraux relativement élevés associés au secteur de production horticole. Ce taux d'exportation se traduit en une concentration moyenne pondérée pour le débit de $8,6 \text{ mg N L}^{-1}$, la plus élevée du réseau d'étude. De tous les sites à l'étude, la branche 21 de la riv. de l'Esturgeon est le seul bassin dont les concentrations de nitrates ne diminuent pas sensiblement en fin d'été, traduisant d'importants reliquats de fertilisation. La concentration observée au bassin à vocation horticole en terre noire (Branche 6) demeure la seconde en importance, soit à $6,4 \text{ mg N L}^{-1}$. Le flux annuel ($16,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ en culture) y est cependant atténué par la rétention d'eau en sols organiques. Les concentrations en nitrates affichent par ailleurs un cycle caractéristique de maxima printaniers de l'ordre de 10 mg N L^{-1} à des minima de $0,6 \text{ mg N L}^{-1}$ en fin d'été.

Reflétant une vocation céréalière largement dominée par la culture du maïs-grain, qui commande des apports en N élevés comparativement aux céréales à paille et au soya, la concentration moyenne en nitrates pondérée pour le débit à la Petite riv. Pot-au-Beurre, en Montérégie, se démarque avec $6,0 \text{ mg N L}^{-1}$. La concentration chute sous les $0,1 \text{ mg N L}^{-1}$ en fin d'été, reflétant l'efficacité du prélèvement de l'azote par la culture du maïs. Il est aussi estimé que l'importance de la lame d'eau cheminant par les drains y favorise le flux des nitrates, estimé à 27 kg N ha^{-1} en culture par année.

Les autres bassins du réseau en Montérégie, en Estrie, en Mauricie et au Témiscouata affichent des concentrations annuelles moyennes sous les $3,0 \text{ mg N L}^{-1}$, reflétant des bilans d'apport présumés moins élevés, en lien avec des superficies relativement moins importantes en culture de maïs. Ils affichent tous cependant le même cycle bien marqué de maxima hivernal et de minima en fin d'été dans leurs concentrations en nitrates. Dans l'ensemble, les concentrations saisonnières ou annuelles reflètent le gradient dans les proportions des superficies des bassins en culture de maïs, d'une valeur de $2,8 \text{ mg N L}^{-1}$ à la Petite rivière Bellevue en Montérégie, jusqu'à $0,39 \text{ mg N L}^{-1}$ au cours d'eau Couturier dans le Témiscouata.

Les concentrations en azote ammoniacal affichent pour leur part une distribution saisonnière très différente de celle des nitrates. Dans l'ensemble du réseau, les concentrations demeurent généralement relativement basses, soit sous le critère de $0,2 \text{ mg N L}^{-1}$ de l'organisation mondiale de la santé (WHO, 2008). Des élévations ponctuelles des concentrations sont le plus souvent associées aux étiages hivernaux, alors que l'activité des nitrificateurs dans le sol et l'eau de surface est ralentie par la saturation du sol en eau et le froid. Les seuls pics de concentration en ammoniac dépassant les $0,2 \text{ mg N L}^{-1}$ hors des périodes d'étiage hivernal concernent les bassins du ruisseau Brook en Estrie et de la Petite riv. Bellevue en Montérégie. Les concentrations relativement plus élevées ($0,2 - 0,6 \text{ mg N L}^{-1}$) sont alors associées à une hausse de l'activité hydrologique de surface en période propice à l'épandage des engrais de ferme dans ces bassins à vocation d'élevage.

En conclusion, retenons que la dynamique de la mobilité de l'azote jusqu'aux exutoires des dix bassins versants de l'*Observatoire* diffère de façon très marquée de celle des sédiments et du phosphore. Alors que les transferts de sédiments et de P sont largement influencés par l'activité hydrologique de surface, et incidemment par les propriétés physiographiques du

parcellaire et par les pratiques culturales, les exportations de N empruntent les voies souterraines et reflètent essentiellement le bilan des apports azotés. Suite aux prélèvements d'azote par les cultures en saison de croissance, les flux et les concentrations de N mesurés aux exutoires des ruisseaux s'accroissent ensuite durant la période de recharge de la nappe. Cet accroissement est dû au stockage automnal des reliquats de fertilisation et à la minéralisation du stock organique. Le maintien des concentrations relativement élevées en période hivernale laisse croire que le processus de nitrification est toujours actif jusqu'aux crues printanières. La baisse des concentrations témoignent dès lors d'une dominance des écoulements de surface, qui comporte relativement peu d'azote sous forme de nitrates. Ces derniers transitent plutôt par les drains ou les écoulements hypodermiques en raison de leur solubilité et la faible rétention dans la matrice du sol.

Une implication pratique de ces observations est toute l'importance à donner aux taux et périodes d'apport des engrais de ferme et minéraux, de façon à synchroniser la disponibilité de l'azote avec le prélèvement des cultures. La prise en compte de la fourniture du sol, au moyen de tests de sol rapide du taux de nitrates, permet d'ajuster sur mesure les taux d'apports, de façon à répondre de façon précise aux besoins des cultures. Une stratégie complémentaire aux apports raisonnés, consiste à prévenir le lessivage des reliquats automnaux au moyen de l'implantation de « cultures-éponges ». Implantées en fin d'été suivant une culture principale, celles-ci constituent par ailleurs un excellent investissement pour l'ensemble de la rotation en termes de conditionnement favorable des propriétés physiques du sol. Enfin, pour les sols présentant une bonne perméabilité et un relief plat, le drainage contrôlé offre également l'opportunité de réduire les pertes printanières de nitrates par le système de drainage souterrain.

3.6 Bilan opérationnel et perspectives

Monitoring du milieu aquatique

Conformément au plan de travail de l'*Observatoire* de la qualité de l'eau, l'année 2011-2012 marque la transition entre la période de référence et la période d'intervention. Rappelons que la période de référence est destinée à quantifier et à établir une relation dans les régimes d'exportations de sédiments et des nutriments entre les bassins de *Référence* et d'*Intervention* de chacune des cinq paires de bassins jumeaux de l'*Observatoire*. Sur la base des résultats du suivi des ruisseaux pour la période 2009-2011, il est estimé que les objectifs de caractérisation hydrologique fixés pour la période de référence sont atteints dans l'ensemble du réseau de bassins jumeaux de l'*Observatoire*, notamment :

- Une caractérisation des réponses hydrologiques des bassins versants aux précipitations et fontes de neige, en termes de hauteurs d'eau exportées et de discrimination des cheminements de surface et souterrain;
- Une caractérisation de la dynamique des exportations de sédiments et des nutriments en fonction du régime hydrique, de la saison, des paysages et des activités humaines;
- L'établissement de relations significatives dans les régimes d'exportations de sédiments et de nutriments entre les bassins jumeaux en période de référence (2009-2011), éventuellement utilisées comme balise dans la détection et la quantification de réponses de la qualité de l'eau en période d'intervention (2012-2013 et suivantes) dans chacune des cinq régions à l'étude.

Outils de diagnostic à référence spatiale

L'équipe de géomatique de l'IRDA a contribué de son expertise en hydro-pédologie dans le développement d'outils diagnostics du parcellaire en appui aux actions concertées du réseau d'étude. Chaque bassin versant Intervention du réseau d'étude dispose ainsi d'un SIG, dont les fonctionnalités et la précision reflètent les données géospatiales disponibles pour les régions à l'étude. Celles-ci varient de façon importante d'une région agricole à l'autre. En ce qui a trait aux données d'élévation par exemple, les bassins de l'Esturgeon et de la Baie de Lavallière disposent de relevés LiDAR (précision 10 cm), alors que la Mauricie et l'Estrie ont des modèles numériques d'élévation (MNE) dérivés de couplets stéréoscopiques de photographies aériennes (précision 1 m). De telles couvertures superposées n'étant pas disponibles au Témiscouata, cette région d'étude ne dispose que du MNE de la carte de base, comportant des isolignes d'élévation au 10 m.

Le relevé LiDAR du bassin Intervention de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre (3ePRPB) de la Baie de Lavallière a fait l'objet d'une analyse hydrologique détaillée de la part de l'équipe de l'IRDA dans le cadre d'une étude antérieure (Belvisi et coll., 2009). Le diagnostic des marques d'érosion a aussi été mis en relation avec différents indices topographiques dérivés du LiDAR (Sunborg, 2009). Les conseillers du Club Lavallière dans la région d'étude sont déjà familiers avec l'utilisation des relevés LiDAR dans la planification et l'aménagement de structures de contrôle du ruissellement. La région a également bénéficié d'une seconde couverture LiDAR mise à la disposition des conseillers et des producteurs au moyen du service en ligne INFO-SOLS (Géomont et MAPAQ, 2011).

Plus récemment, ces relevés altimétriques ont été mis à contribution dans la réalisation d'un portrait hydrogéomorphologique du bassin versant de la Baie Lavallière, ciblant plus

particulièrement les micro-bassins Intervention et Témoin de l'observatoire (Roux, 2012). Fruit d'une collaboration entre l'IRDA, l'Université Concordia et Lyon 1 (France), l'étude a aussi mis à profit les relevés hydrométriques de l'Observatoire, de même qu'une série de photographies aériennes historiques de la région dans la réalisation d'un premier portrait hydrogéomorphologique de la région. Ce portrait constitue une précieuse assise dans l'identification de pistes de solution dans l'atténuation des flux de sédiments vers la baie, compte tenu de l'importance de l'érosion riverain dans le bilan sédimentaire suggéré par les relevés hydrométriques du micro-bassin Intervention (3ePRPB),

Le bassin versant Intervention de la rivière de l'Esturgeon a également profité de captures LiDAR au cours de l'année 2010, fruit d'une collaboration entre plusieurs clubs agroenvironnementaux et le MAPAQ en Montérégie-Ouest. L'équipe de l'IRDA a complété le traitement et l'analyse hydrologique détaillée du bassin Intervention de l'Esturgeon en cours d'année 2010-2011 ([Figure 18](#)). Il s'agirait à notre connaissance d'une première utilisation de relevés LiDAR en gestion des sols et de l'eau en sols organiques. Il est espéré que le relevé s'avérera utile dans la recherche et la mise en œuvre de solutions originales aux sévères problèmes d'érosion hydrique qui sévissent dans ce type particulier de sol.

Les trois autres bassins versants à l'étude ne disposent pas à notre connaissance de relevés LiDAR. En Mauricie, des photographies aériennes à haute résolution acquises récemment par le MAPAQ ont permis à l'équipe de Géomont de générer le modèle numérique de surface. L'équipe de l'IRDA a complété l'analyse hydrologique et édité la cartographie de des secteurs à l'étude dans le cadre de l'observatoire. De la même façon, la région de l'Estrie profitait déjà d'un MNS réalisé avec le support de l'agence de géomatique de la Montérégie Géomont. Pour ce qui est des bassins de la rivière Madawaska, il n'y malheureusement pas de couplets stéréoscopiques de photos aériennes permettant de générer un MNS dans cette région. La cartographie du relief et de l'hydrologie du bassin du ruisseau Couturier a donc été réalisée par l'IRDA sur la base des élévations disponibles dans la carte de base et des plans des cours d'eau aménagés à l'origine par le MAPAQ.

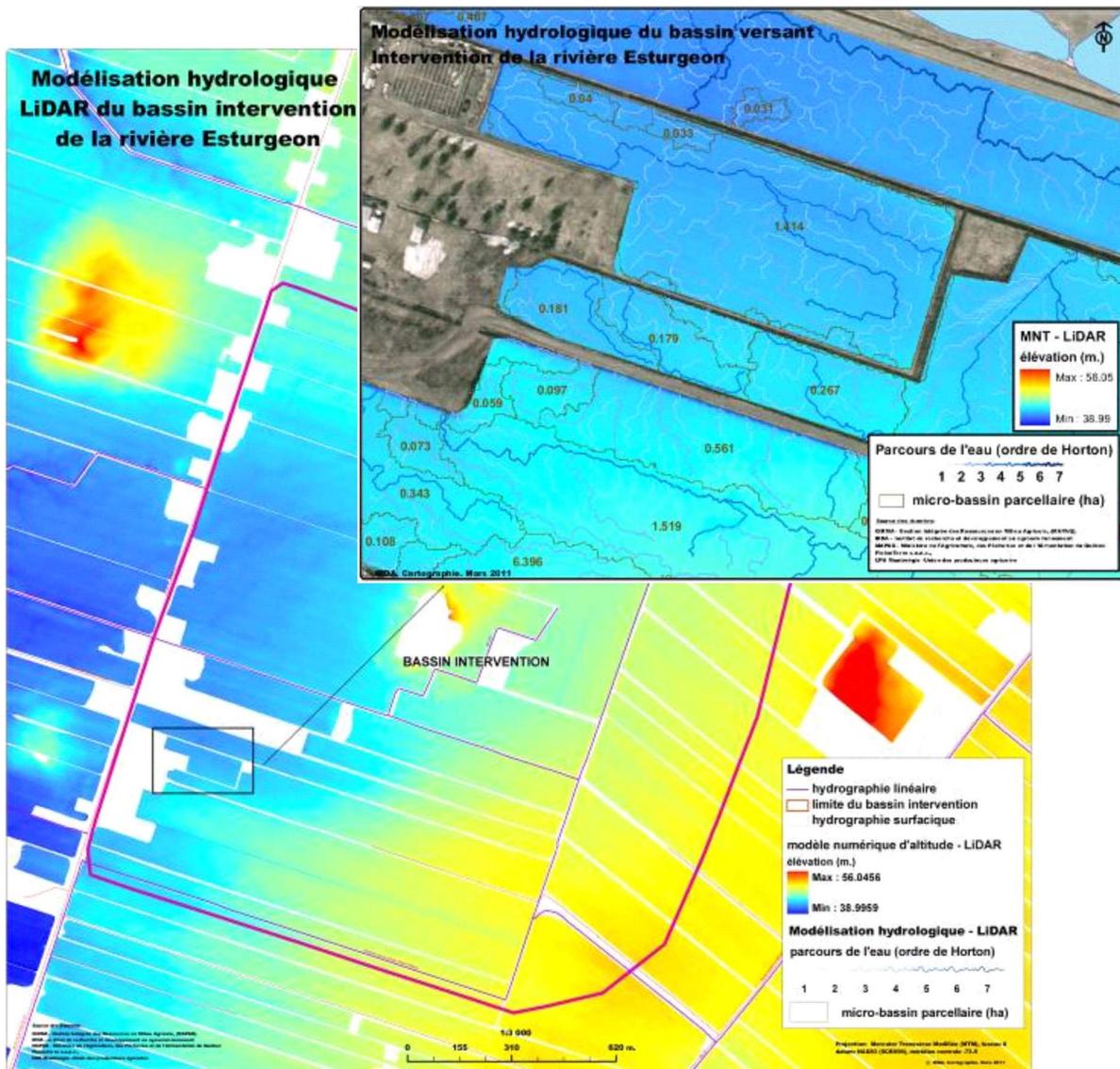


Figure 18. Modèle numérique de surface, micro-bassins et parcours du ruissellement de surface modélisés pour le bassin Intervention de l'Esturgeon à partir d'un relevé LiDAR.

Perspectives d'intervention

Chacun des dispositifs d'étude de la qualité de l'eau de l'Observatoire s'inscrit dans une dynamique d'action concertée à l'échelle du bassin versant. Rappelons que suivant l'approche de dispositifs de bassins jumeaux, la période de *Référence* (2009-2011) est maintenant complétée. Le projet de l'Observatoire entre ainsi en période d'*Intervention* pour les deux prochaines années (2012-2013). Cette période est mise à profit pour soutenir une action concertée auprès des entreprises du bassin versant, dont l'impact sur la qualité de l'eau pourra être quantifié en période d'évaluation.

Les suivis hydrologiques des dix bassins versants expérimentaux du réseau ont permis de quantifier les flux de sédiments et de nutriments et d'interpréter les principaux facteurs

déterminant leur modulation, soit le régime hydrique, les saisons, les propriétés du paysage et des sols de même que la vocation et la gestion du parcellaire agricole. Au plan opérationnel, ces observations complètent les diagnostics et les recommandations à l'échelle de la ferme réalisés par les conseillers agricoles à l'œuvre dans chacune des cinq régions à l'étude. Ces recommandations s'adressent autant à la gestion des sols, des cultures, qu'à l'aménagement hydro-agricole du parcellaire.

La présente section dresse un portrait des actions prioritaires suggérées dans chacun des cinq micro-bassins *Intervention* du réseau de l'*Observatoire*. Ces recommandations s'appuient sur une intégration des constats découlant des observations hydrologiques et des caractérisations des propriétés des bassins au moyen d'outils géomatiques (dont de l'imagerie acquise par télédétection) réalisés par l'équipe de l'IRDA. Ces observations sont jumelées aux diagnostics agronomiques et hydro-agricoles réalisées par les conseillers à l'œuvre dans les différents comités de bassin. Les informations et les perspectives apportées par les producteurs agricoles des bassins *Intervention*, partagées dans le cadre d'ateliers ou de journées au champ, ont également été mises à profit dans cet exercice de planification d'actions agroenvironnementales.

Bien que les systèmes de production et les paysages distinctifs des cinq régions à l'étude commandent différentes priorités à donner aux plans d'actions, certains principes demeurent universels dans la perspective d'assurer des résultats tangibles sur la qualité de l'eau. La prévention de la contamination diffuse des eaux de surface à la ferme appelle à un diagnostic d'ensemble de l'entreprise et une perspective d'intervention qui s'appuie sur la complémentarité des deux principales lignes de défense agroenvironnementales, soit le contrôle des facteurs *Sources* et des facteurs *Transport*.

En ce qui a trait plus particulièrement au phosphore, le contrôle des sources de P passe d'abord par 1) l'équilibre à long terme dans le bilan des apports à la ferme et l'enrichissement des sols. Un bilan fortement excédentaire conduira infailliblement à l'enrichissement des sols et à celui du ruissellement de surface, voire des eaux de drainage souterrain. Dès lors, la réduction à la source de la teneur en P des engrais de ferme devient une prémisses à la réduction des exportations dans l'eau de surface. L'ajustement des rations alimentaires, et surtout la séparation de la phase solide des lisiers en vue d'une valorisation hors-ferme, permettent de réduire à la source les bilans de phosphore excédentaires. 2) Au champ, l'application des principes de fertilisation intégrée permettent de limiter l'enrichissement du sol en P à long terme. En raison d'un rapport N:P des engrais de ferme généralement inférieur à celui des besoins des cultures, il y a tout intérêt à valoriser à l'optimum leur valeur fertilisante azotée, de façon à minimiser l'apport de P excédentaire. 3) Enfin, retenons que dans un contexte de densité d'élevage élevé, les champs peuvent être destinés à recevoir des engrais de ferme en période à risque de ruissellement de surface, telle qu'en pré-semis des cultures annuelles. Il y a alors tout intérêt à privilégier l'incorporation hâtive de l'engrais de ferme, afin de prévenir l'enrichissement du ruissellement de surface, qui interagit qu'avec les premiers millimètres du sol.

En deuxième ligne de défense agroenvironnementale, l'atténuation des processus de transport de sédiments et du phosphore appelle en premier lieu à la rotation des cultures et à l'implantation de pratiques culturales de conservation. L'égouttement et la condition physique du sol sont les facteurs les plus souvent rapportés comme déterminants de la productivité des récoltes au Québec. Un sol mal égoutté produit moins, et ruisselle plus. La culture sur résidus et les cultures de couverture offrent donc des opportunités gagnant-

gagnantes de reconditionner la condition physique du sol et de réduire l'érosion au champ. Dans un contexte où les superficies en fourrages pérennes sont en constant déclin depuis les trente dernières années au Québec, la protection des champs en retour de cultures annuelles durant la période particulièrement vulnérable du dégel printanier demeure plus que jamais une priorité de gestion agroenvironnementale. Si des engrais de ferme interviennent dans le système cultural, il demeure aussi impératif de concilier la protection anti-érosive des résidus de culture, de la culture intercalaire ou de la culture de couverture à la dérobee, avec l'incorporation superficielle de l'engrais de ferme.

L'aménagement hydro-agricole des terres permet de concilier l'égouttement optimal du sol avec un contrôle efficace du ruissellement et de l'érosion. Les avancées technologiques récentes en matière d'acquisition de données de relief et d'aménagement des terres (GPS, LiDAR, systèmes de guidage, etc) permettent d'aménager sur mesure le profil des planches et de conduire, puis intercepter le ruissellement dans des structures de captage et de sédimentation. Enfin, rappelons que la branche du cours d'eau est l'épine dorsale de l'égouttement de toutes les terres localisées à son amont. Sa protection est donc un investissement stratégique, dont l'efficacité et la pérennité dépend des pratiques de l'ensemble des riverains desservis par le cours d'eau. La bande riveraine, qu'elle soit herbacée, arbustive ou brise-vent, est un précieux actif afin de prévenir l'instabilité des talus. L'aménagement des confluences, telle que l'implantation de fossés-avaloirs, complètent cette protection du cours d'eau. Compte tenu du cadastre allongé des terres au Québec, environ les deux-tiers de la superficie des champs s'égoutte par les fossés de drainage, et non par la bande riveraine. Le recours aux structures de captage et de sédimentation permet de profiter de ces patrons concentrés de circulation de l'eau dans les champs pour atténuer les pointes de ruissellement de surface et favoriser la rétention de la terre où elle est le plus utile, au champ.

En raison de l'origine diffuse des sources de contamination en milieu agricole, retenons en terminant que le bassin versant constitue l'unité naturelle d'analyse et d'intervention agroenvironnementale. Le constat de la difficile réversibilité des exportations de nutriments de sources agricoles diffuses milite pour des échelles d'intervention d'envergure réaliste et une stratégie préventive dans des bassins versants ciblés. Le contrôle des sources agricoles diffuses de contamination est une entreprise complexe, qui requiert un solide engagement communautaire et d'importantes ressources-conseils et financières. La diversité des intérêts, des responsabilités et des expertises interpellés requiert la formation d'une coalition à l'échelle du territoire, motivée par la recherche de consensus sur la finalité et les modalités des interventions. Quel que soit l'enjeu environnemental qui motive l'intervention, ce sont l'engagement et la responsabilisation du milieu, la concertation des intervenants et la complémentarité des encadrements réglementaire, financier et technique de la production qui demeurent les principaux critères de succès. C'est un défi à dimension humaine qui s'inscrit dans l'axe du développement durable, où «la pensée globale et l'agir local» prennent tout leur sens.

3.6.1 Bassin versant de la Baie de Lavallière

Contexte

L'action concertée dans la mise en valeur du bassin versant de la Baie de Lavallière rassemble une large coalition d'intervenants locaux au sein d'un comité formé en 2008. La réduction des charges de sédiments vers la Baie du Lac Saint-Pierre, désigné comme réserve mondiale de la biosphère par l'UNESCO, est au cœur de préoccupations du comité de bassin versant. La région a fait l'objet de plusieurs études et de développements d'outils de gestion du parcellaire à référence spatiale visant à décrire et expliquer les dynamiques d'érosion au champ et en cours d'eau. Les clubs agroenvironnementaux La Vallière inc. et Les Patriotes offrent notamment des services spécialisés en aménagement hydro-agricole de précision, découlant du développement et du transfert d'expertise du MAPAQ et de cartographies hydrologiques précises disponibles sur atlas électroniques (Géomont et IRDA, 2009) et en ligne (Géomont et MAPAQ, 2011).

L'érosion des berges des multiples branches de Petite-Rivière-Pot-au-beurre est considérée comme le principal facteur contribuant à l'exportation de sédiments vers la Baie. Plusieurs observations militent pour ce constat. D'abord, le faible taux de ruissellement de surface estimé pour ce bassin versant, soit moins de 100 mm ha⁻¹ pour une hauteur d'eau annuelle totale de 461 mm, ne prédispose pas à des charges sédimentaires importantes en provenance des champs. Ce faible taux de ruissellement de surface est tributaire de la nature perméable des sols du bassin. Conjugée à un relief plat, cette activité hydrologique de surface relativement faible conduit à un taux modéré d'exportation de sédiments de 573 kg ha an⁻¹ (2009-2011), qui demeure toutefois deux fois plus élevé que les exportations de la Petite riv. Bellevue (277 kg ha an⁻¹), le bassin *Témoin*. La spéciation du P (85 % particulaire, biodisponible à seulement 11 %) indique que l'érosion des berges et du lit du cours d'eau y est une source importante de sédiments au cours d'eau, qui s'ajoute aux contributions de l'érosion des champs. Les observations sur le terrain confirment l'importance des processus d'érosion riveraine (cisaillement, affouillement, rupture en cercle), particulièrement dans le secteur aval de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre (3ePRPB).

Perspectives d'actions concertées

La principale action recommandée pour le micro-bassin de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre concerne l'aménagement intégré des cours d'eau et de ses rives en proie aux processus de régression de fond, d'affouillement de berge et de cisaillement des talus, principalement dans le secteur aval du bassin. Les travaux d'entretien et d'aménagement prévus dans deux des trois principales branches de cours d'eau (Branche 15 et Branche 17) constituent une opportunité privilégiée d'entreprendre l'aménagement intégré des cours d'eau et des zones riveraines du bassin versant. Le principal objectif d'une telle initiative est d'assurer à long terme la stabilité des talus de ces branches *linéarisées* de cours d'eau. Concrètement, une telle initiative saura se traduire en bénéfices tangibles pour l'ensemble des entreprises agricoles du secteur, de même que pour l'ensemble de la communauté en aval :

- Réduction de la fréquence et des coûts des travaux d'entretien du cours d'eau;
- Préservation de l'efficacité des systèmes de drains souterrains et gains associés en productivité des récoltes;
- Préservation de la superficie cultivable des entreprises agricoles;

- Réduction des exportations de sédiments vers la baie de Lavallière, création et préservation des habitats fauniques.

En ce qui a trait aux perspectives d'aménagement hydro-agricole, le bassin Intervention de la 3^e PRPB peut être divisé en deux parties, soit le secteur en amont du chemin principal de Saint-Robert, et la portion plus en aval. Ces deux secteurs sont respectivement ciblés pour des travaux d'entretien (amont) et d'aménagement de cours d'eau (aval) par la MRC. La faible pente du secteur amont ne prédispose pas le cours d'eau à la formation de méandres, mais favorise cependant l'accumulation de sédiments. La nature sablonneuse des sols contribue par ailleurs à la fragilité des talus. En secteur aval, les fortes pentes des branches de cours d'eau se traduisent plutôt en fortes puissances hydrauliques et en vitesses relativement élevées de migration de la berge, tel que mis en relief par l'étude de Roux (2012). Cette instabilité contribue vraisemblablement à une large part de la charge sédimentaire exportée à l'exutoire du bassin.

De façon à optimiser les bénéfices à la ferme et hors ferme aux investissements consentis dans la mise en valeur des ruisseaux, il y aurait avantage à coordonner un ensemble d'interventions dans une perspective d'aménagement intégré des terres et des branches de cours d'eau.

L'aménagement des cours d'eau

En parallèle aux travaux d'entretien des secteurs amont des branches 15 et 17 de la 3^e PRPB, il y aurait lieu de profiter de l'occasion pour y aménager des bandes riveraines élargies de façon à assurer la stabilité à la terme des talus, particulièrement vulnérables à l'affouillement en raison de la nature pulvérulente du sol.

En secteur aval, les interventions hydro-agricoles « classiques », incluant la protection en pied de berge ou le reprofilage des talus en proie à l'érosion n'y régleraient pas le processus naturel de formation de méandres. L'étude hydrogéomorphologique du bassin (Roux, 2012) y témoigne en effet de pentes et de puissances hydrauliques élevées, de même que de vitesses de migration de la berge bien corrélées aux observations d'érosion en talus. L'aménagement de bandes riveraines élargies demeure certainement en tête de liste des interventions à considérer, dans une perspective de respecter le corridor de mobilité et d'inondabilité du cours d'eau. Sur la base d'une évaluation préliminaire à partir des données colligées dans le cadre de l'étude de Roux (2012), une largeur moyenne de bande riveraine de 17 m serait requise (Biron, 2012) sur près de 7 km de rivière. Toutefois, cette largeur varie beaucoup (nettement moindre dans les parties amont qu'aval) et, dans certains cas, les zones dans l'espace de liberté possède déjà une bande riveraine très large avec végétation. La superficie de zones végétalisées à l'intérieur de l'espace de liberté est actuellement d'environ 11.7 hectares, soit près de la moitié de l'espace de liberté. Il ne manquerait donc qu'environ 12 hectares de terres cultivées pour atteindre la superficie correspondante au corridor de liberté.

S'il y a intérêt économique et environnemental à respecter l'espace de liberté du cours d'eau, certains secteurs requièrent des travaux de stabilisation et de protection anti-érosive, notamment à proximité des ponceaux. En complémentarité de l'établissement d'un corridor de liberté du cours d'eau, ces secteurs offrent l'opportunité de conjuguer plusieurs pratiques alternatives en aménagement de cours d'eau, telles que la mise en place de seuils dissipateurs d'énergie, l'aménagement de sections à deux chenaux, ou l'application des principes du génie végétal. Bien que la présente étude n'a pas le mandat de formuler des recommandations à l'égard de l'encadrement technique, financier et réglementaire d'une telle démarche, retenons

cependant que les relevés du milieu hydrique et terrestre colligés dans le cadre de l'Observatoire constituent un important jalon vers la planification d'un aménagement sur mesure et innovateur du cours d'eau. Dans le contexte, le site se prêterait bien à la réalisation d'un premier projet pilote d'action concertée en aménagement hydro-agricole au Québec, inspiré par le concept d'espace de liberté. Retenons que plusieurs états américains et européens soutiennent de telles initiatives, en respectant le principe de rétribuer les biens et services environnementaux consentis par les entreprises agricoles.

Protection des talus et bande riveraine

Le recours au génie végétal dans la protection des talus de cours d'eau a fait ses preuves dans de nombreux projets d'aménagement intégré des zones riveraines au Québec. La nature limoneuse des dépôts de surface constatée dans les secteurs encaissés des ruisseaux de la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre favorise le cisaillement des talus. L'implantation de boutures d'arbustes, de cornouiller par exemple, est un moyen simple et efficace de prévenir ce processus, tout en prévenant l'érosion des talus par le courant et les glaces qu'il transporte lors des crues printanières. En complément de la protection végétale en talus, l'implantation d'arbustes rustiques en haut de talus contribuerait à assurer la stabilité de la rive. Considérant la vocation des entreprises agricoles du bassin versant, qui laisse peu de place à la culture du foin, l'implantation d'espèces arbustives sous paillis de plastique est indiquée. La sélection d'arbustes atteignant au moins 2 m à maturité offre l'avantage à moyen terme de ne pas requérir de fauche et sont offrent peu de contraintes aux activités agricoles. Rappelons toutefois que le fauchage sera requis les deux premières années suivant l'aménagement de la bande, jusqu'à ce les arbustes aient atteint la hauteur leur permettant une compétition avec les herbacés.

Aménagement des confluences

La profondeur des cours d'eau fait en sorte que les confluences avec les fossés sont vulnérables à l'érosion. Il y a donc intérêt à favoriser l'évacuation « en douceur » du ruissellement de surface au moyen de fossés-avaloirs positionnés en retrait du cours d'eau. Au moment des travaux d'aménagement du cours d'eau, la disposition des déblais devrait permettre de façonner une risberme qui dirigera le ruissellement de la bande riveraine vers l'avaloir, éliminant ainsi une autre source d'érosion des talus.

La stabilité de la zone riveraine est aussi parfois compromise en certains points de la rive par l'écoulement concentré du ruissellement de surface qui atteint directement le cours d'eau, sans passer par les fossés. L'analyse des parcours de l'eau de surface généré au moyen des relevés LiDAR permet d'estimer qu'environ 30 % de la superficie totale des champs se draine ainsi directement vers la rive. Si le relief du terrain ne permet pas de diriger le ruissellement vers les fossés-avaloirs au moyen de la risberme, une protection de l'exutoire peut être assurée afin d'éliminer le ravinement. Encore là, une interception au moyen d'une structure de captage sera préférable à une descente enrochée, de façon à favoriser le laminage de la lame de ruissellement et provoquer la sédimentation au champ. Les relevés LiDAR disponibles pour l'ensemble du bassin versant permettent d'estimer les superficies des micro-bassins associées aux écoulements concentrés de ruissellement et ainsi de dimensionner sur mesure la capacité requise des structures de captage.

Aménagement du drainage de surface des champs

Malgré une hauteur modérée de ruissellement de surface en lien avec la nature perméable des sols du bassin versant (environ 100 mm an⁻¹ pour la période de référence 2009-2011), la concentration des parcours de l'eau peut néanmoins encourager le ravinement en rive et au fossé dans le secteur d'étude. Dans le cadre d'une étude des sources de l'érosion dans le bassin versant (Sunborg, 2009), les marques d'érosion interprétées au moyen de photos aériennes récentes ont été mise en relation avec différents indices topographiques générés à partir de relevés LiDAR. L'étude a établi que la sévérité des ravinelements était significativement corrélée avec la superficie des micro-bassins. Une implication pratique de ce constat est d'éviter de constituer de trop grands bassins lors de l'aménagement du drainage de surface des champs. Au fil des vingt dernières années, la tendance a favorisé l'enfouissement des fossés lors des travaux d'aménagement du drainage de surface. Lors de la planification de travaux de nivellement, l'aménagement de planches de trop grande superficie peut être évité en intégrant des rigoles d'interception au plan de drainage de surface. Celles-ci interceptent et conduisent le ruissellement vers le fossé. Une structure de captage peut aussi être aménagée en guise d'exutoire à la rigole, afin de prévenir l'érosion du fossé.

Planification concertée des travaux hydro-agricoles

Il y a bien sûr intérêt à planifier de façon intégrée l'aménagement du cours d'eau, de la bande riveraine et ses risbermes, des structures d'évacuation du ruissellement et du drainage de surface du champ. Concrètement, l'encadrement technique, financier et réglementaire de ces travaux interpellent plusieurs intervenants et ne peuvent être réalisés simultanément. Dans la perspective de réduire les coûts des travaux et de favoriser un partage clair de responsabilités dans la réalisation, le financement et le suivi des travaux, l'ensemble peut être réalisé en trois étapes.

Dans un premier temps, la planification et la réalisation de l'aménagement du cours d'eau sous l'égide de la MRC pourraient être avantageusement précédées d'un diagnostic d'érosion riveraine et mettre à profit les relevés LiDAR dans l'identification des points d'entrée du ruissellement au cours d'eau. L'identification de ces secteurs pourrait guider le façonnement approprié de la risberme au moment du régilage des déblais suivant la réfection des talus. En seconde étape, il y a intérêt à ce que les travaux d'aménagement des confluences (fossés-avaloirs et autres), de protection des talus et d'aménagement de la bande riveraine éligibles au programme PRIME-VERT suivent de près les travaux d'aménagement du cours d'eau. Il y aurait alors possibilité de tirer des avantages logistiques d'une réalisation concertée des travaux auprès de l'ensemble des entreprises riveraines. De cette façon, les inconvénients aux producteurs agricoles seraient minimisés. Enfin, chaque entreprise peut apporter à terme des améliorations au drainage de surface de ses champs.

3.6.2 Bassin versant de la rivière Champlain

Contexte

Le réseau d'études des rivières Brûlée et Noire de l'*Observatoire* de la qualité de l'eau en milieu agricole s'inscrit dans l'initiative ZIPP du bassin versant de la rivière Champlain, initiée en 2011 et coordonnée par le réseau Agriconseils Mauricie, en étroite collaboration avec l'équipe régionale du MAPAQ. Le comité ZIPP s'est entouré d'un large réseau de collaborateurs intervenant en services-conseils auprès des entreprises du bassin versant, dont quatre clubs agroenvironnementaux, la coopérative Univert et l'entreprise Synagri (Tchouansi, 2012). La collaboration établie avec les entreprises agricoles et les conseillers de la région, notamment dans le partage des données des PAEF, PAA et du suivi de bonnes pratiques agricoles, a permis au coordonnateur de la ZIPP de dresser un portrait géospatial relativement complet des systèmes cultureux et d'élevage, des bilans d'apports en nutriments et du statut de l'enrichissement des sols en phosphore. Le comité ZIPP concerte par ailleurs étroitement ses activités de caractérisation du milieu et d'action agroenvironnementale avec celles de la Société d'aménagement et de mise en valeur du bassin de la Batiscan (SAMBA).

Le bassin versant de la riv. Brûlée, identifié comme bassin *Intervention* dans le cadre du dispositif expérimental de l'*Observatoire* a été priorisé dès la mise en place du comité ZIPP Intervention dans la réalisation des diagnostics de terrain et la mise en place d'aménagements des terres ciblées sur le contrôle de l'érosion. Sur un total de 23 entreprises dans le bassin versant, 13 fermes (60 % de la superficie cultivée du bassin) avaient bénéficié en 2011 d'une démarche personnalisée, incluant un diagnostic de pollution diffuse et un projet d'aménagement hydro-agricole et d'implantation de bonnes pratiques culturales.

Les principales problématiques révélées par les diagnostics au champ dans le bassin versant concernent des zones d'érosion en rive, notamment les bris de talus occasionnés par le ruissellement en provenance du champ, l'accès d'animaux aux cours d'eau, de bandes riveraines trop étroites, des coulées dépourvues de végétation et en proie à l'érosion, et des sols à nu (Tchouansi, 2012). Ces observations sont cohérentes avec les constats du suivi hydrologique du bassin, qui présente des charges sédimentaires importantes à l'exutoire du bassin versant expérimental de l'ordre de 1,6 T/ha en culture par an. La très faible biodisponibilité du phosphore particulaire observée indique par ailleurs que ces sédiments trouvent leur principale origine dans les processus d'érosion en rive, plutôt que dans l'érosion au champ. Une contribution relativement moins importante de la charge sédimentaire associée au ruissellement au champ reflèterait aussi l'importance des superficies en culture bénéficiant de protection anti-érosive dans le bassin versant. En effet, une proportion de 93% des superficies en cultures annuelles des entreprises agricoles recensées par le comité ZIPP profitent d'une forme de culture sur résidus. Le labour d'automne serait alors pratiqué que sur 55 ha des terres en culture des fermes recensées.

Les relevés de terrain coordonnés par le comité ZIPP dresse par ailleurs un portrait exhaustif des foyers d'érosion en rive ou en fossé auprès des 13 fermes qui ont profité d'un diagnostic de pollution diffuse. Plus de la moitié des foyers d'érosion (58 sites) sont associés à des bris de talus associés au ruissellement de surface convergeant vers le cours d'eau. La dégradation des sorties de drain (21 sites) constitue la deuxième source d'érosion identifiée. Le piétinement des talus de fossés et de berges de cours d'eau constitue par ailleurs une importante source d'érosion dans quelques secteurs du bassin versant. Retenons aussi que de

nombreuses coulées présentent une instabilité et contribuent aux charges sédimentaires vers la riv. Brûlée.

Perspectives d'actions concertées

Compte tenu des problématiques d'érosion relevées par le comité ZIPP et de l'importance des charges de sédiments observées à l'exutoire de la riv. Brûlée, la prévention des processus d'érosion constitue certes une priorité d'intervention à l'échelle du bassin versant. Deux axes d'actions concertées, les pratiques culturales anti-érosives et l'aménagement hydro-agricole du parcellaire, ont intérêt à se compléter dans la perspective d'assurer des gains tangibles au plan des réductions de charges de sédiments.

Pratiques culturales de conservation

Le comité ZIPP, de concert avec le MAPAQ, a mis en œuvre une formation sur le semis direct en 2011 et prévoit soutenir des activités de démonstration en 2012. À cette initiative, s'ajoute la promotion du « zéro-labour » dans les zones les plus vulnérables du parcellaire en culture. Cette approche est bien adaptée au paysage du bassin versant, qui montre une importante variabilité spatiale dans la vulnérabilité du parcellaire à l'érosion. En parallèle à cette discrimination spatiale, le suivi hydrologique du bassin versant démontre aussi la concentration des flux de sédiments au cours de la période de la fonte des neiges. Aussi, c'est à cette période critique de l'année que les résidus de culture sont appelés à jouer pleinement leur rôle antiérosif. L'approche « zéro labour d'automne » et le semis direct rencontrent ces objectifs de protection optimale contre le l'érosion par ruissellement en période hâtive printanière.

Actuellement, le travail réduit du sol, comportant une façon culturale réduite à l'automne est la pratique culturale la plus répandue dans le bassin de la riv. Brûlée. La conversion à une pratique évitant tout travail de sol à l'automne est donc susceptible de réduire davantage la charge sédimentaire annuelle vers la rivière. En ce qui a trait au phosphore, rappelons que les sédiments en provenance des champs sont plus susceptibles d'affecter le milieu aquatique que la charge sédimentaire associée à l'érosion des fossés et des talus de cours d'eau. Dans ce contexte, le contrôle du ruissellement de surface et de l'érosion au champ au moyen de la culture sur résidus constitue une ligne de défense efficace dans la prévention de l'enrichissement en phosphore des eaux de la rivière Champlain. Le taux de saturation en P relativement faible des sols du bassin milite en ce sens, dans la mesure où il est clairement établi que la richesse et la solubilité du P présent dans le ruissellement de surface traduit généralement la richesse des premiers millimètres du sol. Cette efficacité peut cependant être compromise dans le cas d'épandage d'engrais de ferme non incorporé. Il devient dès lors important de sensibiliser les conseillers et éleveurs de la région à l'importance de concilier les bénéfices de la culture sur résidus avec l'incorporation superficielle des engrais de ferme. Au besoin, l'incorporation des engrais de ferme au printemps par une façon culturale secondaire, sur un retour de culture non labourée, aura atteint son objectif de protéger la parcelle de l'érosion au cours de la période critique de la fonte et des pluies hivernales, tout en minimisant l'enrichissement en P du ruissellement.

Aménagement hydro-agricole

Dans le cadre de sa démarche personnalisée auprès des entreprises du bassin versant de la riv. Brûlée, le comité ZIPP a identifié, de concert avec les producteurs, des correctifs à apporter au plan de l'aménagement des terres (Tchouansi, 2012). Compte tenu des problématiques soulevées lors des diagnostics de terrain, ceux-ci consistent principalement en des déversoirs enrochés (52), des protections de sorties de drains (22), des stabilisations de berges par génie végétal (12) et d'autres réfection en cours d'eau (8). Les chantiers étaient initiés ou complétés en 2011 auprès de six entreprises du bassin versant. L'aménagement des pâturages restreignant l'accès des animaux au cours d'eau est aussi planifié au cours de l'été 2012, année butoir pour la conformité au REA. Notons enfin que la SAMBA concentre ses efforts dans l'aménagement des coulées en proie à l'érosion dans le secteur d'étude.

L'effet cumulé de ces interventions ciblées sur la prévention des processus d'érosion en rive est fort susceptible de réduire de façon tangible le flux de sédiments charriés par la riv. Brûlée, compte tenu de l'importante contribution de ces charges suggérée par le suivi de la qualité de l'eau. Dans la plupart des cas, ces interventions auront cependant un impact négligeable sur les charges de sédiments en provenance des champs. Un moyen efficace de combiner la prévention de l'érosion en rive et de réduire la charge de sédiments en provenance des champs consiste à implanter de structures de captage et de sédimentation en amont de la rive. Dimensionnées sur mesure en fonction du relief et des propriétés du sol, celles-ci permettent de laminar les pointes de ruissellement les plus sévères et de provoquer la sédimentation au champ. Ce type d'intervention requière cependant une analyse fine du relief du champ et s'inscrit dans une démarche globale d'aménagement du drainage de surface.

Actuellement, le secteur d'étude ne dispose pas des données géospatiales adéquates pour supporter de telles démarches. Les modèles numériques d'élévation (MNE), construits par stéréoscopie à partir de couplets de photographies aériennes dans la riv. Brûlée, ainsi que les indices topographiques qui en sont dérivés (MAPAQ et IRDA, 2011), ont été mis à profit par les collaborateurs du comité ZIPP. Ceux-ci s'en sont servis dans l'interprétation des risques d'érosion du parcellaire et l'identification des correctifs. La précision de ce relevé n'est cependant pas adaptée aux besoins de planifications d'aménagement du drainage de surface. Il est souhaitable qu'à court terme, les conseillers et producteurs agricoles de la région disposent de relevés topographiques plus précis, générés par des relevés LiDAR, en appui au diagnostic des zones hydro-sensibles et à la planification sur mesure et intégrée des protections en rive et du contrôle du ruissellement de surface. L'acquisition d'un tel relevé et les analyses hydrologiques fines à l'échelle parcellaire qui en sont dérivées, de concert avec des indices d'égouttement générés à partir d'images multispectrales printanières, constituent un coffre à outils bien adapté à l'accompagnement des entreprises agricoles et des gestionnaires des cours d'eau dans l'aménagement intégré des terres. L'utilisation de ces outils dans d'autres régions agricoles québécoises en a clairement démontré tout le potentiel dans l'encadrement d'actions agroenvironnementales. Dans le bassin de la riv. Champlain, l'expertise du comité ZIPP dans la gestion des données géospatiales fait en sorte que de tels investissements seraient efficacement mis à profit au bénéfice de l'aménagement des terres et de la mise en valeur du patrimoine naturel exceptionnel du bassin versant.

3.6.3 Bassin versant de la rivière Madawaska

Contexte

Le projet ZIPP du bassin versant de la rivière Madawaska est coordonné par le Club de gestion des sols du Témiscouata. Les micro-bassins versants du cours d'eau Couturier et de la Petite rivière Savane y font respectivement office de bassin *Intervention* et *Témoin* dans le contexte du dispositif expérimental de l'*Observatoire*. Témoinnant du solide ancrage du club agroenvironnemental dans sa communauté, huit des dix entreprises agricoles des bassins versants expérimentaux sont membres du club agroenvironnemental et s'inscrivent dans une démarche d'amélioration de leurs pratiques culturales et d'aménagement de leurs terres depuis 2008. La prévention des exportations diffuses de phosphore est particulièrement ciblée dans une perspective de mise en valeur du Lac Témiscouata, affecté par des fleurs d'eau de cyanobactéries depuis quelques années. La création récente du Parc national du Lac-Témiscouata est venue soutenir toute la pertinence de concerter les efforts dans la préservation de ce joyau du patrimoine naturel.

Le club agroenvironnemental dispose ainsi d'un portrait précis et complet des pratiques agricoles des entreprises des deux bassins versants. La presque totalité des entreprises des bassins versants expérimentaux ont un PAEF et un PAA (9/10), et ont profité de diagnostics spécialisés de l'érosion (8/10). Dans l'ensemble les apports moyens en phosphore sont modérés, de l'ordre de 22 à 24 kg P ha⁻¹. Les lisiers de porc et de bovins comptent pour la majorité de ces apports. Les terres du bassin versant du c. d'eau Couturier profitent par ailleurs de cendres de papetière. Les modalités d'épandage des engrais de ferme limitent au minimum les risques de pression environnementale. Les parcelles profitent que d'un seul chantier d'épandage sur prairies par année pour les fumiers solides. Les lisiers sont épandus après les deux coupes de foin, ou en pré-semis de céréales, parfois en post-récolte. Le semis direct des céréales, où les façons culturales réduites n'impliquant aucun travail d'automne, est pratiqué par la majorité des entreprises agricoles de la région à l'étude. Des superficies voisinant 25 et 71 ha, respectivement pour les bassins de la Petite riv. Savane et du c. d'eau Couturier, sont labourés à l'automne précédant l'implantation des céréales.

Depuis 2008, des diagnostics d'érosion des sols ont été réalisés chez la presque totalité des producteurs localisés dans les bassins versants expérimentaux. Rappelons ici que le territoire est affecté par des épisodes intenses de fonte de neige au printemps, et que la force d'arrachement et de transport des sédiments est relativement élevée en raison des pentes moyennes de l'ordre de 5,4 % et 6,7 %, soit les plus inclinées du réseau d'étude de l'*Observatoire*. La nature très perméable des sols, classés de *Bien drainé* à *Rapidement drainé* y tempère cependant l'activité hydrologique de surface, et favorise l'écoulement hypodermique bien apparent lors des épisodes de fonte ou de précipitations. Les principaux problèmes relevés au champ par les conseillers et les producteurs concernent des accumulations d'eau de surface dans des dépressions, provoquant du ruissellement et/ou de la compaction du sol. Certains fossés sont affectés aussi par la dégradation des sorties de drain, l'absence de bandes riveraines, la régression de fond ou l'érosion aux ponceaux. Des situations ponctuelles d'érosion affectent également les deux cours d'eau. La Petite riv. Savane est, de plus, affectée par l'accès des animaux de ferme au cours d'eau. Le ruisseau Couturier est pour sa part affecté par un sérieux et récurrent problème de barrages de Castors. Compte tenu des inondations qu'ils provoquent, ces barrages causent de l'érosion des talus, en y provoquant la perte de végétation. La protection des talus de la section aval du ruisseau Couturier, assurée

par d'importants investissements dans en génie végétal, ont d'ailleurs été détériorée en raison de leur immersion des talus.

Perspectives d'actions concertées

Le suivi hydrologique du bassin versant témoigne de la pression agroenvironnementale relativement faible des systèmes de production où dominant les prairies et les cultures de céréales sans labour, associées à des pratiques raisonnées de fertilisation. Le bon drainage naturel du parcellaire contribue aussi à prévenir la mobilisation des sédiments et des nutriments par le ruissellement. Les concentrations en phosphore des eaux du c. d'eau

Couturier et de la Petite riv. Savane, respectivement de l'ordre de 39 et 79 $\mu\text{g L}^{-1}$ (pondérées pour le débit), sont ainsi équivalentes à celles des bassins versants expérimentaux de l'Estrie, qui sont les plus faibles de tout le réseau de l'*Observatoire*. Quant aux nitrates, les concentrations moyennes sont définitivement les plus faibles de tout le réseau d'étude, en deçà de 0,6 mg L^{-1} (pondérées pour le débit). Bien que les charges exportées de sédiments et de phosphore soient relativement faibles, particulièrement dans le bassin du c. d'eau Couturier, il n'est pas exclu de réduire davantage les exportations diffuses de nutriments résultant d'une combinaison de pratiques de gestion alternatives. En ce qui a trait aux pratiques culturales, deux axes offrent un potentiel intéressant de bénéfices à la ferme, soit les modalités de gestion des engrais de ferme et l'introduction de cultures de couverture.

Pratique culturale et modalités de gestion des engrais de ferme

Les hydrogrammes et les sédigrammes mettent en relief la période hâtive du printemps (avril) comme étant particulièrement vulnérable au ruissellement de surface, avec des pointes d'hauteurs d'eau de l'ordre de 15 à 30 mm jour^{-1} et des exportations de sédiments atteignant 20 kg ha^{-1} (moyenne pondérée pour la superficie du bassin). Dans une moindre mesure, les précipitations automnales génèrent aussi des hauteurs significatives de ruissellement de surface, pouvant atteindre 10 mm jour^{-1} en octobre 2010 ou septembre 2011 par exemple. Il y a donc lieu d'éviter la présence d'engrais de ferme, non incorporés, à la surface du sol, lors de ces périodes à risque plus élevé de ruissellement de surface.

Une première préoccupation concerne la conversion au semi direct dans l'implantation des céréales à paille au printemps. Il s'agit en fait de prévenir les *pertes événementielles* de phosphore associées à l'action du ruissellement de surface. Rappelons que ce dernier interagit avec les premiers millimètres de la surface du sol. Des engrais de ferme non incorporés provoquent un sur-enrichissement temporaire de phosphore en surface du sol qui risque de se traduire en un accroissement du P dans le ruissellement. De façon à ne pas compromettre les avantages liés à la protection anti-érosive des résidus de culture ou de la prairie sur la mobilité du P, les parcelles destinées au semis direct ne devrait pas recevoir d'engrais de ferme, non incorporé, l'automne précédent. De la même façon, puisqu'il est pratique courante d'appliquer des lisiers en pré-semis des céréales dans les secteurs à l'étude, il serait préférable d'incorporer les lisiers au moyen d'un passage superficiel d'une herse à dents ou à disques adaptés aux résidus de culture. En règle générale, il y a en fait intérêt à réduire autant que possible les délais dans l'incorporation des engrais de ferme, un objectif que se sont donnés les conseillers et producteurs du club de gestion des sols du Témiscouata.

Culture de couverture

Il y a lieu de s'interroger sur la conservation de la valeur fertilisante azotée de l'engrais de ferme appliqué suivant la deuxième et dernière récolte de foin. Il en va de même pour les épandages qui suivent la récolte de céréale à paille non grainée, soit plus de la moitié des superficies ensemencées en avoine, en blé ou en orge. Pour les prairies en fin de rotation ou suivant la récolte de céréale non grainée, il y a là une intéressante opportunité d'introduire une culture de couverture. Les crucifères apparaissent particulièrement bien adaptés aux rigueurs du climat local et comportent de nombreux avantages, dont :

- L'introduction d'une fenêtre d'épandage avec incorporation en période très peu vulnérable aux pertes événementielles *via* le ruissellement de surface;
- Une protection efficace contre l'érosion pendant la période critique du printemps hâtif;
- La conservation de la valeur fertilisante azotée de l'engrais de ferme. La minéralisation de la biomasse des résidus de culture profitera en effet à la culture principale l'année suivante. Un réseau d'essai à la ferme intéressant à mettre de l'avant consisterait à évaluer la contribution en azote de la culture de couverture et l'économie résultante en intrants azotés au moyen d'un dosage printanier des nitrates du sol (ex : système *Nitra-check*).
- Et enfin, les résidus de la culture de couverture enfouis au printemps par un travail superficiel du sol constituent un excellent conditionneur des propriétés physiques du sol et améliore la fertilité du sol, le principal capital de l'agriculteur.

Aménagement hydro-agricole des terres

En ce qui a trait à l'aménagement hydro-agricole des terres, plusieurs interventions ont été réalisées depuis 2008 dans les deux bassins versants, en complément des changements apportés aux pratiques culturales. Celles-ci incluent un réseau de tranchées filtrantes dans le bassin de la Petite rivière Savane, de même que des travaux d'entretien et de stabilisation du cours d'eau Couturier et de son tributaire, le ruisseau de la Sauvagesse. Les projets d'aménagement à court terme des terres incluent l'aménagement de puits filtrants dans les zones dépressionnaires mal égouttées et génératrices de ruissellement de surface. L'aménagement intégré de quelques fossés, incluant de l'enrochement, le profilage de talus, la stabilisation végétale et l'implantation de bande riveraine, est aussi planifié. La planification de ces chantiers et assurément plusieurs autres dans la région, serait grandement facilitée par la disponibilité de données géospatiales plus précises que ce qui est disponible à l'heure actuelle. Une prochaine acquisition de photos aériennes devrait avantageusement prévoir un recoupage des lignes de vol de façon à générer des couplets spéréoscopiques et ainsi permettre de générer des modèles numériques de surface des champs. Au mieux, l'acquisition de relevés LiDAR serait plus précis et mieux adapté aux besoins de ce territoire comportant un couvert forestier important. Rappelons que de tels relevés permettent en effet de constituer un modèle numérique de surface en milieu forestier, ce qui demeure impossible avec des approches photographiques.

La gestion des problèmes liés aux barrages des castors demeure cependant la priorité à régler pour la communauté riveraine du c. d'eau Couturier. Le trappage des castors et l'ouverture de deux barrages ont été effectués en 2011. Compte tenu de l'épuisement des essences

végétales propres à son alimentation, il est peu probable que la population se rétablisse à moyen terme. Il y a donc lieu d'aménager en 2012 des ouvertures dans les barrages afin d'assurer une hauteur d'eau en écoulement de base qui ne soit pas contraignante pour la régie des champs et la végétation des talus du cours d'eau, tout en maintenant une capacité de laminage et de sédimentation des crues.

3.6.4 Bassin versant de la rivière de l'Esturgeon

Contexte

En raison de l'importance de la superficie occupée par les sols organiques (44 %), la gestion du bassin versant de la branche 6 se distingue nettement de l'ensemble des autres bassins versants expérimentaux du réseau, qui sont en terres minérales. L'étude d'un bassin versant expérimental en terres noires dans le cadre de l'*Observatoire* a été motivée par l'intérêt de mieux comprendre et de prévenir les transferts de nutriments particulièrement élevés dans ce type de sol. En ce sens, la problématique de la gestion du bassin versant de la tête de la branche 6 de la riv. de l'Esturgeon est représentative des bassins à vocation horticole du Sud-Ouest du Québec. Elle appelle à la conciliation de trois principaux objectifs :

- La **conservation du sol** est un important enjeu pour le secteur de production. Les sols organiques représentent un actif de productivité exceptionnelle en culture maraîchère. Ces sols demeurent cependant une ressource très vulnérable et limitée en superficie. D'une part, le matériel organique en surface est vulnérable à l'érosion hydrique par le ruissellement. Bien que le taux de ruissellement estimé soit relativement faible (68 mm an^{-1}), la concentration moyenne des matières en suspension exportées dans la lame d'eau est de l'ordre de 131 mg L^{-1} , soit la deuxième en importance de tout le réseau d'étude. À la charge annuelle de près d'une demi-tonne de sédiments exportés à l'exutoire, s'ajoutent les pertes de sol en provenance des champs qui se déposent dans les fossés. Ces derniers requièrent ainsi un curage presque à chaque année, en raison de l'importance des volumes de terre noire accumulés. Une autre source de perte en terre noire tient à l'oxydation naturelle de la matière organique, favorisée par l'aération du dépôt (baisse de la nappe) et du travail du sol. Enfin, les terres noires sont aussi sujettes à des épisodes d'érosion éolienne en période de déficit hydrique, en lien avec la pulvérulence du matériel.
-
- La **disponibilité de l'eau** est une autre préoccupation importante en raison des besoins en irrigation. La qualité et la valeur marchande des productions maraîchères sont en effet affectées tant par les déficits hydriques que les excès d'eau. Une surface du sol humide permet aussi de prévenir le risque d'érosion éolienne et ses effets indésirables sur la qualité de la récolte. Une bonne gestion de l'eau contribue également à réduire l'oxydation du dépôt organique et ainsi à maintenir sa conservation.
-
- Enfin, la **qualité de l'eau** à l'exutoire du bassin est problématique, particulièrement au plan de la concentration en phosphore. Celle-ci avoisine les $2\,000 \text{ ug P L}^{-1}$, essentiellement sous forme soluble et réactive. Le suivi hydrologique du bassin versant indique que cette concentration demeure peu affectée par les fluctuations du régime hydrique et que la plus large part du P mobilisé transite par les drains

souterrains ou la résurgence de la nappe peu profonde, en raison du faible pouvoir de rétention du P dans le matériel organique. Bien que des suivis ponctuels de la qualité de l'eau réalisés dans la région et au Québec aient mis en relief la vulnérabilité élevée des terres noires aux exportations diffuses de P, peu de mesures de flux de phosphore applicables aux conditions agroclimatiques québécoises ont été rapportées dans la littérature scientifique. En Ontario, des taux d'exportations de 2 à 37 kg P ha⁻¹ ont été mesurés dans les eaux de drainage par Miller (1979), soit dans l'ordre de grandeur des exportations mesurées un peu plus tôt dans l'État de New-York par Duxbury et Peverly (1978). À l'exutoire du bassin de la branche 6 de la riv. de l'Esturgeon, le taux d'exportation annuel moyen estimé est de 5,7 kg P ha. Bien qu'il soit le plus élevé du réseau de l'*Observatoire* de qualité de l'eau pour la période de référence 2009-2011, il se situe néanmoins dans l'ordre de grandeur des flux rapportés dans le Nord-Est américain en sols organiques.

Perspectives d'actions concertées

À l'instar des secteurs de production en terres noires au Québec, la régie des sols, de l'eau et des cultures en sols organiques du bassin de la riv. de l'Esturgeon est compliquée par trois facteurs. D'abord ces sols organiques sont valorisés principalement en productions horticoles, associées à des pratiques culturales intensives et des exigences phytosanitaires qui occasionnent une forte pression sur le capital principal de l'entreprise, le sol. Celui-ci est par ailleurs particulièrement vulnérable aux processus d'érosion et de pertes d'éléments nutritifs. Enfin, les développements techniques et scientifiques en matière de régie des sols au cours des dernières décennies ont surtout profité aux productions en terres minérales. Ces connaissances et recommandations ne s'appliquent pas directement, dans la plupart des cas, aux systèmes de production en terres noires, qui requièrent des adaptations ou des solutions qui leur sont propres. Le dispositif d'études en bassins versants de la rivière de l'Esturgeon offre dès lors une opportunité bien concrète de mettre en œuvre et de valider des pratiques culturales et de fertilisation, ainsi que des aménagements des terres innovateurs et adaptés aux contraintes spécifiques de la production horticole en terre noire. Ceci permettrait ensuite d'en mesurer les bénéfices à la ferme et en aval de ces fermes, en termes de qualité de l'eau de ces cours d'eau.

Les deux principaux chantiers qui s'offrent aux entreprises et conseillers agricoles du bassin versant en terres noires concernent la prévention de l'érosion par le ruissellement et l'équilibrage des apports en engrais minéraux. Compte tenu de l'importance des pertes de nutriments observée, cette conjugaison des lignes de défense agroenvironnementales s'impose. En effet, le contrôle du ruissellement et de l'érosion ne suffira vraisemblablement pas à obtenir une amélioration tangible de la qualité de l'eau. Le contrôle des apports en engrais minéraux est interpellé en première ligne. En effet, les concentrations moyennes en nitrates (6,4 mg L⁻¹) et en phosphore réactif soluble (2,2 mg L⁻¹), pondérées pour le débit, ne laissent planer aucun doute sur les bénéfices à la ferme et hors-ferme d'une rationalisation des apports d'engrais minéraux sur les terres noires du bassin versant.

Fertilisation raisonnée

Jusqu'à récemment, le secteur des productions horticoles en terres noires ne disposait pas des outils adaptés en matière de régie de la fertilisation, qui conciliaient les impératifs de la productivité des cultures et la préservation de la qualité de l'eau. Entre 2002 et 2009, plusieurs essais de fertilisation conduits sur les sols organiques de la région (Parent et Pellerin, 2010; Guérin 2009) ont permis de mieux baliser la réponse des cultures maraîchères aux fertilisations en azote et en phosphore, en fonction des propriétés du sol. Les entreprises agricoles du bassin versant expérimental et leurs conseillers agricoles peuvent tirer profit de ces nouveaux outils de régie des sols organiques pour la mise à jour de leurs plans agroenvironnementaux de fertilisation.

En ce qui a trait au phosphore, soulignons qu'un test a été proposé et validé récemment par Guérin (2009) en sol organique. Celui-ci est basé sur la saturation du sol en phosphore par rapport aux teneurs de fer et d'aluminium extractibles par la méthode Mehlich-III. Les études ont permis de situer le seuil environnemental critique de saturation à 5%, au-delà duquel l'apport ne devrait pas dépasser le prélèvement des cultures. Ces travaux ont pavé la voie au développement des grilles de fertilisation adaptées aux sols organiques, qui devraient être diffusées en 2012.

En ce qui a trait à l'azote, les chercheurs concluent qu'un seul test de sol ne suffit pas à obtenir une recommandation précise, qui requiert de prendre en considération plusieurs propriétés du sol et les conditions climatiques (Parent et Pellerin, 2010). Aussi, l'approche des méta-analyses, qui permet de regrouper les réponses des cultures selon les différents facteurs inhérents au sol, a permis d'améliorer la régie de la fertilisation dans les terres noires. Il y a dès lors intérêt pour les entreprises du bassin à l'étude, de concert avec leurs conseillers en fertilisation, à profiter de ces nouvelles approches en matière de fertilisation appliquées aux terres noires.

Toujours au chapitre des développements récents en matière de fertilisation agroenvironnementale, le recours aux engrais azoté à libération contrôlée (ELC), en remplacement des engrais conventionnels, ont récemment fait l'objet d'un projet de recherche prometteur à la ferme au Québec, en production de fraises sur sol minéral. Les engrais ELC sont déjà utilisés en Californie et en Floride, mais n'ont pas bénéficié de banc d'essai public à ce jour au Québec. Landry et Boivin (2012) ont également évalué le potentiel d'engrais organiques, avec minéralisation par les micro-organismes du sol, pour contrôler la libération graduelle. L'étude conclue à l'avantage technico-économique et environnemental de ces deux avenues de gestion de fertilisation azotée par rapport à la technique de fertigation avec fertilisation minérale. Retenons que ces études ont été réalisées en sol minéraux et en conditions climatiques plus fraîches, dans la région de Québec, qu'au Sud-Ouest de la Montérégie. La température du sol étant un facteur déterminant de la libération graduelle de l'azote contenu dans l'engrais, le climat relativement plus chaud de la Montérégie-Ouest devrait y favoriser la faisabilité de l'approche dans les bassins de terres noires. Le recours aux déterminations rapides des taux de nitrates du sol (e.g. *Nitracheck*) s'avérerait un outil complémentaire bien adapté au suivi de l'évolution du stock de N disponible aux cultures, qui résulte à la fois de la libération graduelle de l'azote des engrais et de la minéralisation du sol organique.

Nouveaux indices de fertilité, nouvelles approches de recommandations des apports, nouvelles grilles de fertilisation et nouveaux engrais. Plusieurs opportunités prometteuses

méritent considération, et expérimentation, auprès du secteur de production horticole en terres noires dans la perspective d'y rationaliser les apports des engrais minéraux. L'importance des flux de nutriments mesurés à l'exutoire du bassin versant expérimental de la riv. de l'Esturgeon illustre la faisabilité de réduire les apports à la source, et de mieux les synchroniser avec le prélèvement des cultures. Il reste à en préciser les modalités, conciliant la productivité exceptionnelle de ces sols, avec la préservation et la mise en valeur de la rivière de l'Esturgeon. Les connaissances acquises sur la dynamique des fertilisants en terres noires et les outils développés récemment représentent autant d'actifs pour les entreprises agricoles et les conseillers du secteur, afin de soutenir la mise au point de programmes de fertilisation adaptés aux cultures et aux propriétés des sols.

Cultures de couverture

Les périodes hivernales et printanières demeurent les plus vulnérables aux processus de ruissellement et d'érosion. En absence de culture, le sol à nu est facilement entraîné dans les zones de champ où se concentre le ruissellement de surface. En complément à un aménagement des terres propices à atténuer l'intensité du ruissellement, les cultures de couverture peuvent jouer un rôle complémentaire et efficace dans la résistance à l'arrachement des fines particules de sol organique et leur transport dans la lame d'eau ruisselée. Plusieurs types de cultures de couverture ont fait leurs preuves au Québec en production maraîchère (Lafrance et Maynard, 2006). En sol organique sous production maraîchère intensive, le choix de la culture de couverture sera particulièrement dicté par les exigences phytosanitaires des cultures principales. Les céréales de printemps ou d'automne, comme le seigle, apparaissent bien adaptées pour assurer une protection en fin de saison, voire jusqu'au printemps suivant. Les crucifères connaissent aussi une très bonne croissance automnale dans la région. Il faut toutefois apporter une attention particulière au phénomène de colmatage des drains souterrains. Enfin, les légumineuses peuvent aussi contribuer à protéger le sol, tout en stockant de l'azote qui puisse ensuite servir la culture principale. Des études ont ainsi démontré que le trèfle rouge, malgré sa capacité à fixer l'azote de l'air, est aussi efficace que les autres cultures de couverture pour réduire la teneur en nitrates du sol à la fin de la saison de croissance (OMAFRA, 2011). Le recours aux légumineuses se limite cependant à une implantation intercalaire ou en mi-saison, compte tenu de la croissance insuffisante en implantation tardive.

Quel que soit la culture de couverture retenue, il y aura intérêt à comptabiliser sa contribution en azote au printemps suivant. Les concentrations en nitrates observées à l'exutoire du bassin versant expérimental à l'automne témoignent de l'importance de reliquats de fertilisation azotée et de minéralisation de l'azote organique. La culture de couverture pourra alors jouer un rôle important dans la séquestration de cet azote et prévenir ainsi sa lixiviation durant l'automne, l'hiver et le printemps. Le recours au test de nitrates du sol au printemps permettra de jauger cette contribution et d'adapter les apports d'azote en conséquence.

Aménagement hydro-agricole

Le cours d'eau principal du bassin versant expérimental (branche no.6) fera l'objet de travaux d'entretien au cours de l'été 2012. À défaut de mitigations appropriées, l'enlèvement des

sédiments et le profilage des sections ne régleront vraisemblablement pas le problème de sédimentation et d'instabilité des talus. Il y a donc intérêt à associer à ces travaux d'entretien un ensemble d'ouvrages hydro-agricoles complémentaires visant à assurer à plus long terme la stabilité des talus et à conserver le précieux matériel organique dans les champs. Un tel chantier s'inscrit dès lors dans une perspective d'action concertée qui interpelle l'ensemble des entreprises agricoles du bassin versant et les ressources conseils régionales. L'invitation a été lancée auprès des riverains à l'assemblée des intéressés par le projet d'entretien du cours d'eau en 2011. De façon à optimiser les bénéfices à la ferme et hors ferme à ces investissements dans l'aménagement intégré du bassin, il y aurait lieu de coordonner trois axes d'intervention complémentaires aux travaux d'entretien du cours d'eau.

Génie végétal

Le recours au génie végétal a fait ses preuves au Québec dans la protection des cours d'eau et l'implantation de bandes riveraines. L'expertise est cependant encore peu développée en sols organiques. Des essais fructueux ont cependant été réalisés en terre noire dans la région de la Montérégie-Ouest, avec certains saules arbustifs hydribes (Vézina, 2012). Ces derniers ont démontré un bon potentiel de croissance, tout en procurant des avantages en matière d'uniformité des pulvérisations de produits phyto-sanitaires.

Dans le cas du bassin versant à l'étude, suivant la pratique courante, un mélange approprié de graminées sera ensemencé sur les talus fraîchement exposés lors des travaux d'entretien du cours d'eau. Cette démarche favorisera la stabilité des talus à court terme. En complément, il y aurait lieu de considérer l'implantation d'essences arbustives en rive, de façon à offrir une stabilité supplémentaire aux fragiles talus, tout en protégeant de l'érosion par le courant et les glaces. La plantation de boutures de cornouiller apparaît bien adaptée à jouer ce rôle sur les talus de cours d'eau qui traversent les terres noires. En haut de talus, l'implantation sous paillis plastique d'arbustes à croissance modérée (2 à 3 m de hauteur), en bande riveraine étroite, pourrait jouer un rôle complémentaire aux protections en talus, en garantissant la stabilité de la rive à long terme, tout en limitant l'envahissement du cornouiller vers les champs. Le physocarpe, une essence qui a démontré une bonne croissance en terre noire, apparaît bien adapté aux contraintes de la production agricole et ne requiert peu ou pas d'entretien à maturité. En prime à la stabilisation du cours d'eau, la haie faciliterait à terme l'uniformité des pulvérisations et limiterait les effets de dérives par son effet brise-vent. Enfin, la haie participerait à l'interception des nutriments qui transitent *via* l'écoulement latéral, avant leur résurgence au talus.

Aménagement des confluences

Les confluences des fossés et des cours d'eau sont particulièrement vulnérables à l'érosion. Le ruissellement de surface en provenance des fossés peut être évacué « en douceur » au moyen d'un avaloir positionné dans le fossé, en retrait du cours d'eau. Au moment des travaux d'aménagement du cours d'eau, la disposition des déblais devrait permettre de façonner une risberme qui dirigera le ruissellement de la bande riveraine vers l'avaloir, éliminant ainsi une autre source d'érosion des talus.

La stabilité des talus du cours d'eau est aussi compromise en certains points où converge le ruissellement de surface en provenance du champ. Si le relief du terrain ne permet pas de

diriger le ruissellement vers les fossés-avaloirs au moyen de la risberme, la protection depuis le haut du talus peut être assurée afin de prévenir le ravinement. Encore là, une interception au moyen d'une structure de captage sera préférable à une descente enrochée, de façon à favoriser la sédimentation au champ. Dans la perspective de minimiser la perte de superficie cultivable et les inconvénients à la circulation de la machinerie. Un puits d'infiltration peut jouer un rôle similaire à l'avaloir. Pour les zones de champ sujettes à une plus importante concentration des parcours du ruissellement de surface, il y aurait lieu de considérer une combinaison judicieuse de la tranchée filtrante et de la rigole d'interception, afin de diriger et d'évacuer le ruissellement sans risque de ravinement des talus.

Gestion de l'eau

Compte tenu de la faible rétention du phosphore et son cheminement préférentiel souterrain dans le matériel organique, les pratiques culturales anti-érosives et l'aménagement hydro-agricole des terres auront vraisemblablement un effet marginal sur les concentrations des formes solubles de P dans l'eau du ruisseau. Une approche de réduction des flux globaux de P réside donc en partie dans la réduction des exportations d'eau à l'exutoire du bassin en terre noire, et bien sûr dans la rationalisation des apports d'engrais minéraux. Il apparaît clair que l'objectif d'optimiser l'utilisation de l'eau est aujourd'hui en partie atteint dans le bassin versant, comme le suggère la faible hauteur de d'eau exportée à l'exutoire (193 mm an^{-1}) en période de référence 2009-2011, malgré des saisons relativement pluvieuses.

En complément au stockage d'eau dans les étangs d'irrigation, il apparaît pertinent de considérer le contrôle du drainage souterrain dans une approche globale de gestion de l'eau du bassin versant. Une telle approche vise à ralentir la baisse de la nappe en saison de production. Les entreprises maraîchères pourraient ainsi profiter de la période des travaux d'entretien du cours d'eau et de la réalisation des aménagements hydro-agricoles complémentaires pour mettre en place les chambres de contrôle sur les collecteurs du réseau de drainage souterrain.

3.6.5 Bassin de la rivière Tomifobia

Contexte

La prévention de l'enrichissement en nutriments du Lac Massawippi, aux prises avec des épisodes récurrents d'inflorescences de cyanobactéries est à l'origine de la création de la zone d'intervention prioritaire sur le phosphore (ZIPP) de la rivière Tomifobia. Dans le cadre du dispositif d'étude en bassins versants de l'*Observatoire*, le ruisseau Cass, tributaire de la rivière Tomifobia, a été ciblé comme bassin *Intervention*. Son jumeau, le ruisseau Brook, est localisé dans le bassin versant voisin. L'ensemble des entreprises agricoles du ruisseau Cass ont été visitées par les coordonnatrices de bassin versant des ZIPP Tomifobia et Coaticook, qui concertent leurs services conseils en matière d'agronomie et d'ingénierie agricole. Les gestionnaires des entreprises agricoles ont également été conviés à une rencontre de groupe à l'automne 2011, où les résultats de suivi de qualité de l'eau ont fait l'objet d'une présentation et d'échanges. Selon le portrait dressé par les conseillères ZIPP (Boucher-Ravenhorst et Audet, 2012), les huit principales entreprises agricoles du bassin versant disposent d'un plan

agroenvironnemental de fertilisation (PAEF), dont la mise à jour est supportée par deux entreprises privées impliquées dans la fourniture de semences et d'engrais. Une seule entreprise est membre d'un club agroenvironnemental et détient un plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) en complément de son PAEF. Le recours aux travaux à forfaits est par ailleurs bien implanté auprès des fermes du secteur, qui se partagent les services de quatre entreprises distinctes. La production laitière est la principale vocation des entreprises agricoles du bassin versant (4/8). Une entreprise spécialisée en grandes cultures (maïs et soya), une autre impliquée en production fourragère et deux producteurs de sapins de Noël se partagent les autres superficies en culture du bassin versant.

Globalement, le suivi hydrologique du bassin versant pour la période de référence 2009-2011 témoigne d'une pression agroenvironnementale relativement faible exercée par les activités agricoles. La concentration moyenne en phosphore total pondérée pour le débit du ruisseau Cass se situe à 40 ug P L^{-1} . Considérant l'ensemble des bassins de l'*Observatoire*, il s'agit de la concentration en P total la plus faible, comparable à celle observée à l'exutoire du cours d'eau Couturier, dans le Témiscouata. La bonne qualité du drainage naturel des sols contribue à y limiter l'intensité du ruissellement de surface et l'exportation du P. Rappelons que malgré un relief fortement incliné, avec une pente moyenne de 6,7 %, le ruissellement de surface ne représente que 23 % de la hauteur d'eau annuelle. Cette relative faible *hydro-activité* de surface se traduit en un taux modéré d'exportation annuelle, de l'ordre de 300 kg ha^{-1} en culture. Ce taux reflète également les effets la sédimentation associée à la présence des deux zones humides situées sur les deux principaux parcours de l'eau.

Malgré une charge de P total exportée relativement basse ($0,67 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$), le suivi hydrologique du bassin versant attribue au flux de P du ruisseau Cass la plus forte biodisponibilité du phosphore (61 % du P total) de l'ensemble du réseau d'étude de l'*Observatoire* en sols minéraux (excluant le bassin en terre noire en Montérégie). Rappelons que 80 % du flux de P y est pourtant de nature particulière. La forte réactivité du P tient donc à un indice élevé de biodisponibilité du P particulière (51 %), le plus élevé de l'*Observatoire* en sols minéraux. Trois facteurs contribueraient à cette spéciation particulière du P. D'abord, une biodisponibilité élevée indique qu'une proportion importante de ces sédiments trouve son origine dans le ruissellement des champs, typiquement plus réactifs que ceux associés à l'érosion du réseau de fossés et des rives du ruisseau. Un deuxième facteur tiendrait à l'enrichissement ponctuel des sols suivant la valorisation des engrais de ferme, coïncidant avec des épisodes de ruissellement de surface. Les hauteurs exceptionnellement élevées de précipitations au printemps et à l'automne 2011 ont en effet généré des concentrations élevées de P, associées au ruissellement de surface, en période de chantiers d'épandage des engrais de ferme. Ce phénomène de pertes événementielles de phosphore apparaît par ailleurs plus marqué dans le bassin du ruisseau Brook, où les propriétés des sols les rendent plus vulnérables au ruissellement de surface. Enfin, le processus de sédimentation encouragé par les milieux humides présents dans le ruisseau Cass y favorise la rétention et le tri des sédiments. Alors que les sédiments les plus grossiers, et moins réactifs, sont retenus en zone humide, les sédiments les plus fins, plus réactifs et enrichis en P, sont plus susceptibles de poursuivre leur cours en aval de la zone humide. La rétention dans le milieu humide favorise par ailleurs la réorganisation du phosphore, notamment l'adsorption des formes solubles de P sur les fines particules sédimentaires. Il en résulte des sédiments présentant une biodisponibilité relativement plus élevée.

Deux implications pratiques découlent de ce phénomène de rétention et de triage appréhendé des sédiments en matière de diagnostic et d'action agroenvironnementale. D'abord, ces observations valident l'importance de considérer la biodisponibilité globale du P exporté comme indicateur de pression environnementale dans le diagnostic de la qualité de l'eau. La proportion des fractions soluble ou particulaire ne traduit pas nécessairement la pression environnementale sur le milieu aquatique en raison du phénomène de réorganisation du P dans le milieu hydrique. D'autre part, ces observations témoignent, encore ici, de la pertinence de jumeler les actions sur les sources et le transport du P pour limiter l'impact sur le milieu aquatique. L'atténuation de l'érosion et du transport de sédiments ne se traduit pas nécessairement en réduction de flux de P réactif ou biodisponible. C'est la richesse du sol dans ses premiers millimètres d'épaisseur, qui contrôle en bonne partie l'enrichissement du ruissellement de surface en P, et sa biodisponibilité. Cet enrichissement peut être hérité des apports historiques excédentaires en P, ou peut aussi découler de l'épandage d'engrais de ferme non incorporé. Un sol pauvre peut ainsi enrichir le ruissellement en phosphore, pour autant que les épandages d'engrais de ferme non incorporés coïncident avec les épisodes de ruissellement de surface. Quelques concentrations événementielles très élevées de P à l'exutoire du ruisseau Brook, cultivé en prairie dans sa presque totalité, témoigne de cette réalité. Celles-ci atteignent entre 700 et 800 $\mu\text{g P L}^{-1}$, en réponse à de courts épisodes de ruissellement de surface atteignant 5 à 15 mm par jour, au début octobre 2009 et à la mi-mai 2011.

Les particularités du bassin versant du ruisseau Cass, au plan des propriétés du paysage, de sa réponse hydrologique et des systèmes cultureux en place, suggèrent que l'atténuation des flux de phosphore est possible. Celle-ci serait tributaire d'une action concertée cumulant les effets bénéfiques de trois principaux axes d'intervention, soit celui des pratiques culturelles anti-érosives, des modalités d'épandage des engrais de ferme et de l'aménagement des terres et du réseau hydrique.

Perspectives d'actions concertées

Pratiques culturelles anti-érosives

Dans l'intérêt de conserver à long terme la productivité des sols, parfois minces dans ce secteur d'étude au relief incliné, et d'y prévenir le ravinement, des pratiques culturelles anti-érosives sont de mises. Bien que le suivi hydrologique témoigne de rares et courts épisodes de ruissellement de surface, ces derniers sont néanmoins chargés en matières en suspension (MES). Un flux élevé de plus 3 T de sédiments exportés à l'heure a ainsi été mesuré en avril 2011 à l'exutoire du ruisseau Cass. Bien que les données sur les pratiques culturelles des entreprises du bassin soient encore incomplètes, il est établi que le travail réduit du sol au printemps sur les retours de cultures annuelles est une pratique courante dans la région. Les résidus de culture de maïs grain et de soya, non labourés à l'automne, offrent une protection durant la période la plus propice au ruissellement de surface, soit au cours des fréquentes fontes et pluies hivernales dans la région, de même qu'au début du printemps. Deux entreprises agricoles du bassin versant privilégient ces cultures et ont tout intérêt à maintenir les résidus en surface sur un relief qui présente une forte érosivité. De plus que ce secteur est vulnérable aux épisodes de ruissellement de surface, dues à la fonte de neige, au gel ou à la saturation en eau du sol.

Les retours de prairies labourées à l'automne ou de maïs ensilage offrent cependant peu de protection du sol durant la même période. La rugosité de surface associée au labour et le lacis racinaire de la chaume de prairie offre un certain rempart contre le ruissellement de surface et à l'érosion, par une plus grande détention de surface et une résistance à l'arrachement des particules de sol. Les retours de maïs ensilage demeurent cependant beaucoup plus vulnérables, en raison de l'absence des résidus de culture et de la faible rugosité de surface des champs. En alternative, la valorisation des plantes fourragères pérennes et des céréales à paille avec légumineuses associée permet de mieux concilier la protection des sols sensibles à l'érosion durant les périodes critiques de la fin de l'automne du début du printemps, avec une saine alimentation du cheptel de ruminants. La priorisation des prairies dans la rotation, ou la gestion intensive des pâturages, s'inscrit ainsi en première ligne de défense contre l'érosion de sols pour les entreprises bovines et laitières, particulièrement dans les secteurs de relief ondulé. En période critique de retour de prairies ou de maïs ensilage, les cultures de céréales d'hiver, de même que les cultures de couverture, intercalaire ou à la dérobée, offrent aussi la possibilité de concilier les besoins en fourrages et en céréales des entreprises, avec la conservation du sol.

L'équipe ZIPP régionale a conduit des essais prometteurs de culture de couverture en 2011 en réseau de fermes, avec la collaboration d'un producteur du bassin versant du ruisseau Cass (Audet, 2012). Les essais ont démontré l'intérêt d'associer le seigle d'automne ou du ray-grass au maïs ensilage. L'implantation intercalaire du ray-grass dans le maïs au moment du sarclage ou du fractionnement de l'azote a été bien réussie. La survie à l'hiver a contribué à protéger le sol contre l'érosion. L'implantation de seigle d'automne à la dérobée suivant la récolte du maïs ensilage s'est aussi avérée prometteuse. Les suites au projet permettront de valider l'utilisation du seigle pour la paille et le grain, la pâture et la récolte en fourrage.

Toujours dans la perspective de protéger le sol en période de dormance, l'implantation intercalaire de légumineuses fourragères (trèfle rouge et luzerne) a aussi démontré un bon potentiel dans la région de l'Estrie dans le cadre d'autres essais à la ferme (Bernard, 1989), de même qu'auprès de la région voisine de Lotbinière avec le trèfle et la fléole (Couture, 2005a,b) et en station expérimentale (Côté, 1994). Le principe ici est d'aménager la rotation de cultures de façon à profiter à la fois de la protection anti-érosive de la culture de couverture, tout en la valorisant dans l'alimentation du bétail. La céréale d'automne, tout comme l'implantation intercalaire de la prairie, offre le mérite de concilier ces bénéfices. Il apparaît clair que le dynamisme des entreprises et des services-conseils du secteur est propice au développement et à validation de ces approches de régie innovante des sols et des cultures. Le dispositif expérimental de suivi hydrologique des bassins des ruisseaux Cass et Brook dans le cadre de l'*Observatoire* offre l'opportunité d'en évaluer aussi les bénéfices sur la qualité de l'eau.

Modalités de gestion des engrais de ferme

Les observations de qualité de l'eau colligées en période de valorisation au champ des engrais de ferme aux exutoires des bassins versants expérimentaux témoignent du risque accru de mobilisation du phosphore en lien avec des engrais de ferme non incorporés. Il y a donc lieu de considérer le niveau de risque de ruissellement de surface dans la planification des périodes et des modalités des épandages. Pour les prairies, les épandages estivaux après coupes présentent peu de risque de mobilisation, en raison de la relativement faible

probabilité de ruissellement de surface. Les épandages à l'automne et au printemps hâtif présentent cependant un risque relativement plus élevé, d'où l'intérêt d'y proscrire des épandages d'engrais de ferme non incorporés.

Les apports d'engrais de ferme en pré-semis du maïs grain ou ensilage peuvent profiter d'une incorporation printanière superficielle, tout en maintenant une portion significative des résidus de culture du précédent cultural. Quelques outils de travail secondaire du sol adaptés à cette tâche sont disponibles sur le marché. L'intérêt ici est de combiner le conditionnement des résidus, l'incorporation des engrais de ferme et la préparation du lit de semence en un seul passage d'outil combiné. Ce type d'outil associe typiquement le travail de disques droits, des dents à dégagement élevé et d'une herse robuste. Dans le cas où le semis direct des cultures est envisagé, il faudra alors privilégier l'épandage des engrais ferme ailleurs, ou en post-levée, si le relief du champ permet cette avenue.

Aménagement hydro-agricole

L'aménagement des terres peut également compléter le rôle des pratiques culturales anti-érosives. Les coordonnatrices ZIPP ont entamé le processus de diagnostic terrain à l'automne 2011 par des visites de deux des quatre fermes laitières et sur les champs exploités par l'entreprise de grandes cultures. Une seule entreprise laitière du bassin versant avait déjà profité d'un diagnostic d'érosion par le club agroenvironnemental en 2009. L'aménagement de voies d'eau engazonnées et de fossé enrochés y a été réalisé dans deux champs, au printemps et à l'automne 2011. Une modification du sens des cultures est également prévue pour ces champs. Pour les autres entreprises du bassin versant expérimental, peu d'investissement ont donc été consentis dans l'aménagement hydro-agricole en date. Des cartes de parcours d'écoulement ont cependant été produites pour toutes les entreprises agricoles, suivant une approche de traitement de couplets stéréoscopiques de photos aériennes (application du logiciel Correlator 3-D). Celles-ci appuieront les démarches d'accompagnement des entreprises en 2012 en matière de recommandations d'aménagements hydro-agricoles des champs.

Enfin, il y a intérêt à documenter l'influence des deux milieux humides du ruisseau Cass au plan hydrodynamique, tant sur le laminage des crues qu'au plan de la sédimentation. Le suivi hydrologique témoigne en effet d'une influence de ces derniers sur la rétention de sédiments. Il serait pertinent d'évaluer la possibilité d'accroître l'efficacité du système, en encourageant la sédimentation des quelques crues annuelles dans les secteurs inondables, en retrait du chenal principal du cours d'eau. Une telle étude est cependant limitée par la disponibilité de données précises et complètes du relief. Rappelons ici que les modèles numériques d'élévation (MNE) générés par les photos aériennes ont une précision insuffisante pour ce type d'évaluation, et que les secteurs boisés ne sont pas couverts. Un investissement stratégique à considérer ici, à l'instar de bon nombre de régions agricoles québécoises, est l'acquisition de relevés LiDAR. Ces derniers ont démontré depuis 2006 leur efficacité dans le diagnostic et l'aménagement hydro-agricole sur mesure dans plusieurs régions agricoles (Michaud et coll., 2009a – GRISE; Michaud et col, 2009b - LISIERE VERTE; et Michaud et coll., 2011 - WEB). L'équipe de l'IRDA demeure disposée à épauler l'équipe ZIPP dans la mise en forme et l'analyse d'éventuels relevés LiDAR dans la région d'étude.

4 RÉFÉRENCES

- Audet, A.-M. 2012. Rapport de projet. Utilisation des cultures de couverture dans le maïs-ensilage pour contrer l'érosion des sols : semis de ray-grass intercalaire en post-levée et semis de seigle d'automne à la dérobée en post-récolte. Saison 2011. Réseau Agriconseils de l'Estrie. 48 p.
- Beaudin, I., A. Drouin, I. Saint-Laurent, J. Belvisi et A.R. Michaud. 2009. Atlas électroniques (16) des bassins versants réalisés dans le cadre du projet «Activité de diffusion et de transfert de l'outil de diagnostic des exportations de phosphore (ODEP) et mise à disposition de données à référence spatiale nécessaire à son utilisation». Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Géomont. Projet financé par Agriculture et Agroenvironnement Canada et par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Belvisi, J., G. Paré, J. Deslandes, I. Beaudin, I. Saint-Laurent, G. Poisson, et A.R. Michaud. 2009. Atlas électronique du bassin versant de la rivière Yamaska. Géomont, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Union des producteurs agricoles, Université de Sherbrooke (CARTEL) et COGEBY.
- Bernard, F., P. Benoît, S. Thibodeau, M. Perron, D. Brouillard, M. Clément et L. Degrâce. 1989. Culture intercalaire dans une production de maïs ensilage. Programme d'aide à l'innovation technologique en conservation du sol agricole et de l'eau. Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement agro-alimentaire.
- Biron, P. 2013. Communication électronique personnelle. Professeure agrégée, Université Concordia.
- Boucher-Ravenhorst, C. et M.-A. Audet. 2012. Projet de suivi de la qualité de l'eau en milieu agricole. Bassins jumeaux : ruisseau Brook et Cass, sous-bassins de la rivière Tomifobia. Rapport de projet 1 : mars 2012. Réseau Agriconseils de l'Estrie. 3 p.
- Côté, D. 1994. Effects of perennial forage species intercropped with silage corn on soil quality in Eastern Quebec. International Soil Tillage Research Organization, 13e international Conference Denmark, p. 147-152
- Couture, J.-N. 2005a. Culture intercalaire dans le maïs: réduction importante de l'érosion! Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ). En ligne: <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/regions/chaudiereappalaches/journalvisionagricole/autresarticles/grandescultures/pages/cultureintercalaire.aspx>
- Couture, J.-N. 2005b. Contrer l'érosion: résultats d'essais prometteurs. En ligne: <http://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs15645>
- Deslandes, J., I. Beaudin, A.R. Michaud, F. Bonn et C. A. Madramootoo. 2006. Influence of landscape and cropping system on phosphorus mobility within the Pike River watershed of Southwestern Quebec. Canadian Water Resources Journal 32(1): 21-42. January.
- Duxbury, J.M. et J.H. Peverly.,1978. Nitrogen and phosphorus losses from organic soils. J. Environ. Qual. 7:566-570.
- Géomont et MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries du Québec). 2011. Info-Sols, Montérégie-Est. www.geomont.qc.ca/info-sols.
- Georlette, C. 2012. Communication personnelle. 9p.
- Giroux, M., M. Duchemin, A.R. Michaud, I. Beaudin, C. Landry, P. Enright, C.A. Madramootoo et M.R. Laverdière. 2008. Relation entre les concentrations en phosphore particulaire et dissous dans les eaux de ruissellement et les teneurs en P total et assimilable des sols pour différentes cultures. Agrosolutions, 19(1) :4-14.
- Greenberg, E.A., L.S. Clesceri et A.D. Eaton. 1992a. Total Suspended Solids Dried at 103-105oC. Standard method for examination of waste and waster water, 18th edition, pp 2-56.
- Greenberg, E.A., L.S. Clesceri et A.D. Eaton. 1992b. Persulfate Digestion Method. Standard method for examination of waste and waster water, 18th edition, pp 4-112.

- Greenberg, A.E., S. Lenore et S. Clesceri. 1992c. No: 4500-NH₃ H. Automated Phenate Method, p. 4-84; No: 4500-NO₃- F. Automated Cadmium Reduction Method, p. 4-84, In E. A.D., ed. Standard Methods For Examination of Waste and Waste Water, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Greenberg, A.E., S. Lenore et S. Clesceri. 1992d. No: 3030 A, Preliminary Treatment of Samples, p. 3-3; No: 3120, Metals by Plasma Emission Spectroscopy, p. 3-34 – 3-40, In E. A.D., ed. Standard Methods For Examination of Waste and Waste Water, 18th Edition ed. Corporation Tarrytown, N.Y. 10591.
- Guérin, J. 2009. Diagnostic agroenvironnemental de la fertilisation phosphatée des cultures maraîchères en sols organiques. Thèse de doctorat. Université Laval. Département des sols et de génie agroalimentaire. Québec. 128 p.
- IRDA (Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc.) et MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries du Québec). 2008. Séries de 10 atlas électroniques dans le cadre du plan d'action concerté sur l'agroenvironnement et la cohabitation harmonieuse. IRDA et MAPAQ, Québec.
- Landry, C. et C. Boivin. 2012. Engrais à libération contrôlée : potentiel d'utilisation dans la pomme de terre irriguée. Projet no. PSIH 11-1-546. Rapport d'étape. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) 27 p.
- Lafrance, D. et E. maynard. 2006. Intensification des engrais verts en culture maraîchère. Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec. Longueuil.
- Michaud, A.R. et M.R. Laverdière. 2004. Cropping, soil type and manure application effects on phosphorus export and bioavailability. *Can. J. Soil Sci.*, 84:295-305.
- Michaud, A.R., R. Lauzier et M.R. Laverdière. 2005. Mobilité du phosphore et intervention agroenvironnementale en bassin versant agricole : Étude de cas du Ruisseau au Castor, tributaire de la Rivière aux Brochets, Québec. *Agrosol*, 16(1): 47-59. <http://www.irda.qc.ca/publications/1.htm>.
- Michaud, A.R., I. Beaudin, J. Deslandes, F. Bonn et C. A. Madramootoo. 2007. SWAT-predicted influence of different landscape and cropping systems alterations on phosphorus mobility within the Pike River watershed of South-western Quebec. 2007. *Canadian Journal of Soil Science* 87(3) 329-344. May.
- Michaud, A.R., M. Giroux, I. Beaudin, J. Desjardins, G. Gagné, M. Duchemin, J. Deslandes, C. Landry, P. Beaudet et J. Lagacé. 2008. ODEP, un outil de diagnostic des exportations de phosphore. Projet « Gestion du risque associé aux facteurs source et transport du phosphore des sols cultivés au Québec », réalisé dans le cadre de l'Initiative d'appui aux conseillers agricoles (PIACA-204). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) et le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), Québec, Canada. 107 p. et annexes. <http://www.irda.qc.ca/fr/ODEP>
- Michaud, A.R., J. Deslandes, J. Desjardins et M. Grenier. 2009a. Réseau d'actions concertées en bassins versants agricoles. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), MAPAQ, Club du bassin LaGuerre, Dura-Club, Club de fertilisation de la Beauce, Fonds d'action québécois pour le développement durable, Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec et Programme d'aide technique de Couverture végétale du Canada. Québec, Québec, 155 p. <http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/204.html>
- Michaud, A.R., J. Desjardins, M. Grenier et R. Lauzier. 2009b. Suivi de la qualité de l'eau des bassins versants expérimentaux Ewing et au Castor – Dans le cadre du projet Lisière verte. Rapport final de projet. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Coopérative de solidarité du bassin versant de la rivière aux Brochets, AAC (PASCIA) et MAPAQ, Québec, Québec, 27 p. <http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/197.html>
- Michaud, A.R., J. Deslandes, G. Gagné, L. Grenon, et K. Vézina. 2009c. Gestion raisonnée et intégrée des sols et de l'eau (GRISE). Rapport final. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), Université de Sherbrooke, CDAQ, Québec, Québec, 87 p. <http://www.irda.qc.ca/resultats/publications/196.html>
- Miller, M.H. 1979. Contribution of nitrogen and phosphorus to subsurface drainage water from intensively cropped mineral and organic soils in Ontario. *J. Environ. Qual.* 8:42-48.

- Murphy, J., et J.R. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphates in surface waters. *Anal. Acta* 27:31-36.
- OMAFRA. 2012. Comment choisir la bonne culture de couverture. <http://omafra.gov.on.ca/french/crops/hort/news/hortmatt/2007/18hrt07a2.htm>
- Parent, I.-E., et A. Pellerin. 2010. Fertilisation azotée en terre noire dans le Sud-Ouest du Québec (2002-2006). Département des sols et de génie agroalimentaire, Université laval et de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries du Québec (MAPAQ). 10 p.
- Poirier, S.C., J.K. Whalen et A. R. Michaud. 2012. Bioavailable Phosphorus in Fine-Sized Sediments Transported from Agricultural Fields. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76:258–267.
- Sunborg, M., A.R. Michaud, J. Deslandes et R. Fournier. 2009. Diagnostic d'érosion hydrique au moyen d'indices spatiaux dérivés de données LiDAR. 62e congrès annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques, Loews Le Concorde, Québec. Juin.
- Sharpley, A.N., W.W. Troeger et S.J. Smith. 1991. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *J. Env. Qual.* 20:235-238.
- Tchouansi, M. 2012. Bilan des activités 2011-2012. Projet de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole. Projet de gestion intégrée de l'eau par bassin versant de la rivière Champlain. Projet no 33. Agriculture, Agroalimentaire Canada (AAC), Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries du Québec (MAPAQ) et Union des producteurs agricole (UPA). 43 p.
- Vézina, A. 2012. Communications personnelles.
- Vézina, L., A. Marcoux, M. Trudelle, D. Côté, A. Mailloux et G. Tremblay. 1998. Influence de cultures intercalaire établies avec divers modes de semis sur la production du maïs-grain et les propriétés d'une argile lourde Sainte-Rosalie. *Agrosol*, vol. 10, no. 2 p. 41.
- Walker, W. 1998. Flux, *Stream loads computations, version 5.0*. Environmental laboratory USAE Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi, USA.
- WHO (World Health Organization). 2008. World Health Statistics 2008. World Health Organization. 112 p. <http://www.who.int/whosis/whostat/2008/en/index.html>

Annexe 1. Montérégie-Ouest



Photo A1.1. Paysages du bassin versant de la rivière de l'Esturgeon

Tableau A1.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière de l'Esturgeon.

Bassins de la rivière Esturgeon	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Branche 21			Branche 6		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Élévation (m)						
Totalité du bassin	48	52	51,1	43	49	46,1
Zone agricole*	48	52	51,1	43	49	46,2
Pentes (%)						
Totalité du bassin	0	4,4	0,8	0	3,9	0,8
Zone agricole*	0	4,4	0,8	0	3,9	0,8

* Zone agricole telles que définies par la Banque de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière Agricole du Québec.

Tableau A1.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière de l'Esturgeon.

Matériel parental	Série de sol	Texture	Drainage	Témoïn		Intervention	
				Branche 21		Branche 6	
				ha	%	ha	%
Sols argileux	Saint-Blaise	Loam argileux lourd	Mal drainé	227,48	98,19	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols issus de dépôts de tills	Napierville	Loam sablo-argileux	Imparfaitement drainé	3,54	1,53	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols organiques	Tourbe noire sur argile	Organique	Très mal drainé	0,51	0,22	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols graveleux	Grande Ligne	Sable	Très rapidement drainé	0,03	0,01	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols argileux	Saint-Urbain	Loam limono-argileux	Mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	19,28	6,09
Sols argileux	Saint-Urbain	Argile limoneuse	Mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	78,77	24,89
Sols argileux	Sainte-Rosalie	Argile	Imparfaitement drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	1,61	0,51
Sols argileux	Laplaine variante non calcaire humique	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	41,25	13,03
Sols issus de dépôts de tills	Saint-Régis loam graveleux 3-8% de pente légèrement à modérément pierreux	Loam	Imparfaitement drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	5,98	1,89
Sols issus de dépôts de tills	Norton loam caillouteux 3-8% de pente très pierreux	Loam	Modérément bien drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	2,52	0,80
Sols organiques	Terre noire bien décomposée	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	22,78	7,20
Sols organiques	Terre noire moyennement décomposée	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	24,48	7,74
Sols organiques	Terre noire peu décomposée	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	18,37	5,80
Sols organiques	St-Dominique humique	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	36,26	11,46
Sols organiques	Saint-Isidore humique	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	23,81	7,52
Sols organiques	Verchères humique	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	37,11	11,73
Sols organiques	La Rabastalière humique	Organique	Très mal drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	2,59	0,82
Sols divers	Étendue d'eau	<i>np</i>	<i>np</i>	0,11	0,05	1,66	0,52
Total				231,67	100	316,47	100

Tableau A1.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Esturgeon.

Bassins expérimentaux de la rivière Esturgeon	<i>Témoïn</i>			<i>Intervention</i>		
	Branche 21			Branche 6		
	ha	% du total	% de la zone agricole	ha	% du total	% de la zone agricole
Eau	0,11	0,05		1,66	0,5	
Forêt				2,67	0,8	
Centre urbain	19,18	8,28				
En culture	212 ha, 92 % du total			312 ha, 99 % du total		
Foin	9,98	4,3	4,7			
Blé	7,11	3,1	3,3			
Maïs	17,37	7,5	8,2	75,39	23,8	24,2
Soya	47,59	20,5	22,4	38,72	12,2	12,4
Maraîchage	104,72	45,2	49,3	46,15	14,6	14,8
Champs assurés (culture inconnue)	9,8	4,2	4,6	94,38	29,8	30,2
Agricole autre*	15,82	6,8	7,4	57,53	18,2	18,4
Superficie totale du bassin	231,68	100	100	316,5	100	100

* Superficie agricole pouvant inclure champs non assurés, bâtiments, fossés, etc..
Source : BDCA, 2009

Figure A1.1. Sols et cultures du bassin de la branche 21 (*Témoin*).

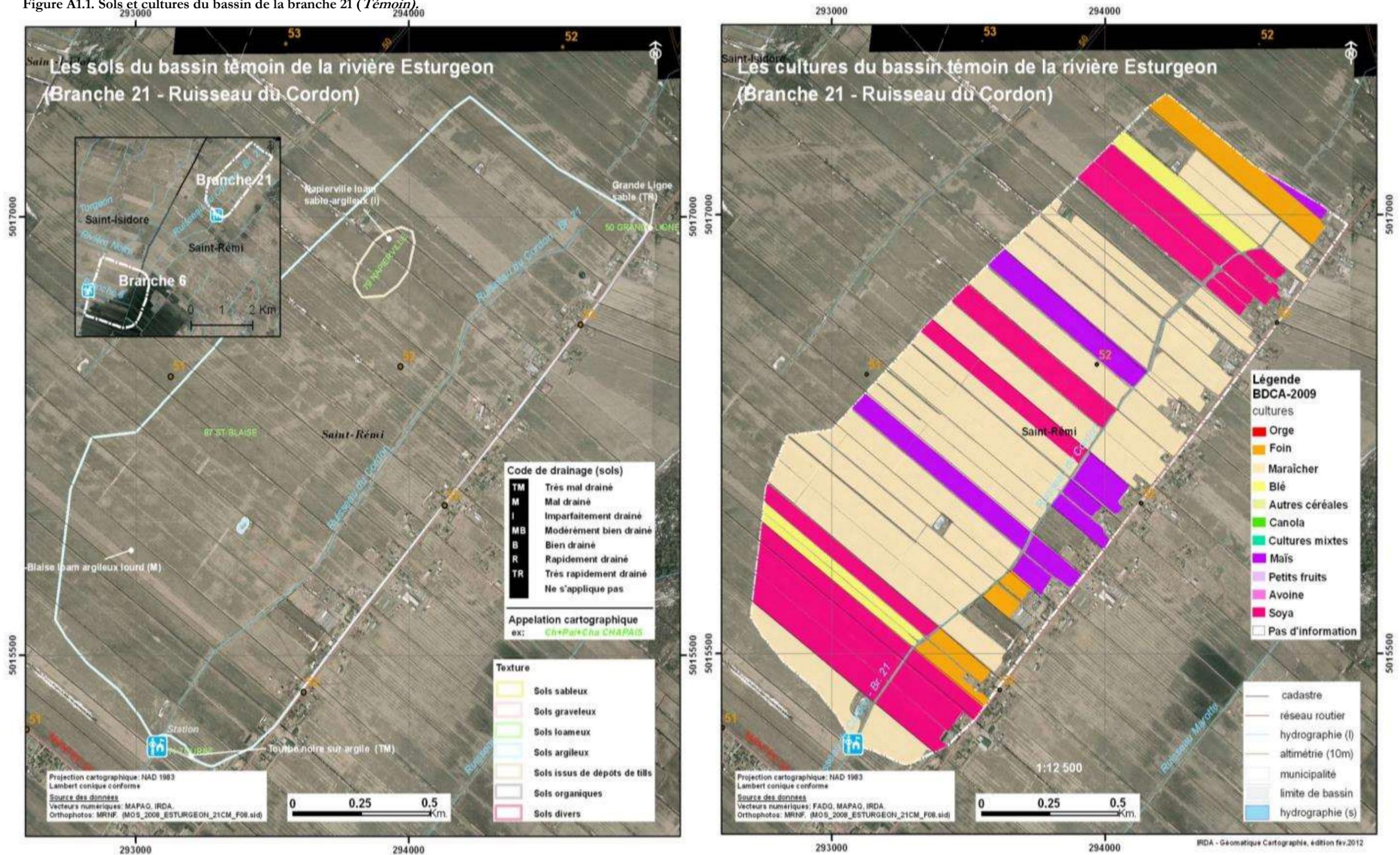
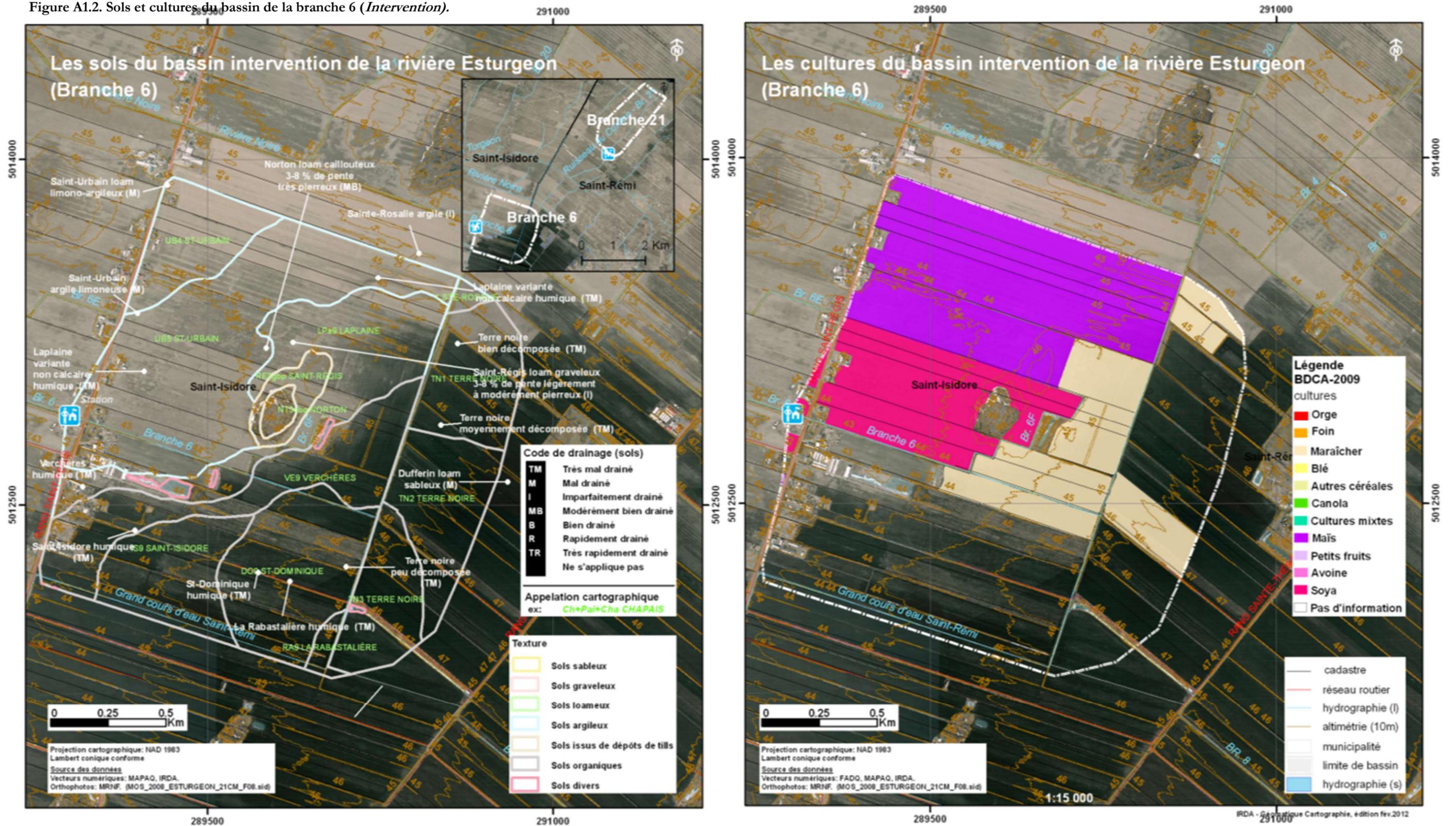


Figure A1.2. Sols et cultures du bassin de la branche 6 (*Intervention*).



Annexe 2. Montérégie-Est



Photo A2.1. Paysages du bassin versant de la Baie de Lavallière

Tableau A2.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la Baie de Lavallière.

Territoire concerné	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Petite rivière Bellevue			Petite rivière Pot-au-beurre		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Élévation (m)						
Totalité du bassin	15	25	20,45	15	28	22,65
Zone agricole*	15	25	20,38	15	28	22,65
Pentes (%)						
Totalité du bassin	0	5,38	0,67	0	8,84	0,65
Zone agricole*	0	4,76	0,67	0	7,5	0,65

* Zone agricole telles que définies par la Banque de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière Agricole du Québec. *Statistiques établies à partir d'un modèle numérique de terrain (mna) du Fédéral (1:50 000)*

Tableau A2.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la Petite rivière Bellevue et de la Petite rivière Pot-au-Beurre

Bellevue

Matériel parental	Série de sol de la Petite rivière Bellevue	Texture	Drainage	ha	%
Sols argileux	Kierkoski variante non calcaire loam limono-argileux	Loam limono-argileux	Mal drainé	161,36	10,0
Sols argileux	Kierkoski variante non calcaire loam	Loam	Mal drainé	40,17	2,49
Sols loameux	Bellevue loam	Loam	Mal drainé	92,1	5,71
Sols loameux	Bellevue loam humifère	Loam	Mal drainé	68,8	4,26
Sols loameux	Bellevue loam sableux fin	Loam	Mal drainé	4,47	0,28
Sols loameux	Saint-Aimé loam	Loam sableux fin	Mal drainé	7,47	0,46
Sols loameux	Saint-Aimé variante non calcaire loam	Loam sableux fin	Mal drainé	149,11	9,24
Sols loameux	Saint-Aimé variante non calcaire loam légèrement à modérément érodé	Loam sableux fin	Mal drainé	76,41	4,74
Sols loameux	Saint-Aimé variante non calcaire loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	46,83	2,90
Sols loameux	St-Ours loam	Loam	Mal drainé	7,07	0,44
Sols loameux	St-Ours loam limono-argileux	Loam limono-argileux	Mal drainé	25,52	1,58
Sols organiques	Ste-Victoire	Organique	Très mal drainé	45,52	2,82
Sols sableux	Massueville loam sableux fin	Loam sableux fin	Imparfaitement drainé	11,73	0,73
Sols sableux	Massueville sable fin loameux	Sable fin loameux	Imparfaitement drainé	203,74	12,6
Sols sableux	Fleury sable fin loameux	Sable fin loameux	Mal drainé	39,33	2,44
Sols sableux	Fleury loam sableux fin humifère	Loam sableux fin	Mal drainé	0,61	0,04
Sols sableux	Fleury variante non calcaire sable fin	Sable fin	Mal drainé	28,51	1,77
Sols sableux	St-Jude sable loameux	Sable loameux	Imparfaitement drainé	201,36	12,48
Sols sableux	Joseph loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	0,35	0,02
Sols sableux	Joseph sable fin loameux	Sable fin loameux	Mal drainé	27,19	1,69
Sols sableux	Ste-Sophie sable loameux	Sable loameux	Bien drainé	11,54	0,72
Sols sableux	Michaudville sable fin loameux	Sable fin loameux	Imparfaitement drainé	93,86	5,82
Sols sableux	Michaudville loam sableux fin	Loam sableux fin	Imparfaitement drainé	8,75	0,54
Sols sableux	Michaudville loam sableux fin érodé	Loam sableux fin	Imparfaitement drainé	34,58	2,14
Sols sableux	St-Thomas sable fin	Sable fin	Bien drainé	19,62	1,22
Sols sableux	Ste-Rose loam	Loam	Mal drainé	35,02	2,17
Sols sableux	Ste-Rose loam érodé	Loam	Mal drainé	42,46	76,2
Sols sableux	Du Bourrelet loam érodé	Loam	Imparfaitement drainé	9,84	0,61
Sols sableux	Du Bourrelet loam sableux fin érodé	Loam sableux fin	Imparfaitement drainé	32,03	1,99
Sols divers	Étendue d'eau	Ne s'applique pas		0,59	1,39
Sols divers	Ravin escarpé et Sainte-Rose loam modérément érodé	Ne s'applique pas		44,74	2,77
Sols divers	Ravin escarpé et Yamaska loam sableux fin modérément érodé	Ne s'applique pas		42,47	2,63

Pot-au-Beurre

Matériel parental	Série de sol de la Petite rivière Pot-au-Beurre	Texture	Drainage	ha	%
Sols argileux	Kierkoski loam	Loam	Mal drainé	67,74	3,37
Sols argileux	Kierkoski loam argileux	Loam argileux	Mal drainé	60,36	3,00
Sols argileux	Kierkoski loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	266,38	13,25
Sols argileux	Kierkoski variante non calcaire loam argileux érodé	Loam argileux	Mal drainé	130,58	6,50
Sols argileux	Kierkoski variante non calcaire loam limono-argileux	Loam limono-argileux	Mal drainé	119,93	5,97
Sols argileux	Kierkoski variante non calcaire loam	Loam	Mal drainé	31,43	1,56
Sols argileux	Rideau loam argileux	Loam argileux	Modérément bien drainé	48,55	2,42
Sols argileux	Sainte-Rosalie argile	Argile	Imparfaitement drainé	7,82	0,39
Sols loameux	Saint-Aimé loam humifère	Loam	Mal drainé	20,14	1,00
Sols loameux	Saint-Aimé loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	18,36	0,91
Sols loameux	Saint-Aimé substratum argileux calcaire loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	7,53	0,37
Sols sableux	Saint-Damase sable	Sable	Imparfaitement drainé	0,08	0,00
Sols sableux	Aston variante calcaire loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	22,44	1,12
Sols sableux	Aston variante calcaire sable fin loameux	Sable fin loameux	Mal drainé	236,29	11,76
Sols sableux	Fleury loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	103,33	5,14
Sols sableux	Fleury loam sableux fin humifère	Loam sableux fin	Mal drainé	541,04	26,92
Sols sableux	Massueville sable fin loameux	Sable fin loameux	Imparfaitement drainé	15,59	0,78
Sols sableux	St-Jude sable loameux	Sable loameux	Imparfaitement drainé	5,26	0,26
Sols sableux	Joseph loam sableux fin	Loam sableux fin	Mal drainé	51,35	2,55
Sols sableux	Joseph loam sableux fin humifère	Loam sableux fin	Mal drainé	185,88	9,25
Sols sableux	Joseph sable fin loameux	Sable fin loameux	Mal drainé	9,06	0,45
Sols sableux	Ste-Rose loam	Loam	Mal drainé	4,93	0,25
Sols divers	Étendue d'eau	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	0,3	0,01
Sols divers	Ravin escarpé et Rideau argile	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	2,7	0,13
Sols divers	Ravin escarpé et Sainte-Rose loam modérément érodé	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	45,28	2,25
Sols divers	Zone récréative de plein air	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	7,52	0,37
Sols argileux	Kierkoski loam	Loam	Mal drainé	67,74	3,37

Tableau A2.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins jumeaux de la Baie de Lavallière.

Bassins expérimentaux de la Baie de Lavallière	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Petite rivière Bellevue			Petite rivière Petite-Rivière-Pot- au-beurre		
	ha	% du total	% de la zone agricole	ha	% du total	% de la zone agricole
Eau	0,59	0,04		0,3	0,01	
Milieu humide	2,81	0,17				
Forêt	663,71	41,1		54,23	2,70	
Friche	4,08	0,25				
Centre urbain	3,82	0,24				
En culture	938 ha, 58 % du total			1 955 ha, 97 % du total		
Foin	127,08	7,88	13,5	141,64	7,05	7,2
Avoine				21,27	1,06	1,1
Blé	42,38	2,63	4,5	2,18	0,11	0,1
Orge	20,79	1,29	2,2	7,9	0,39	0,4
Autres céréales	1,88	0,12	0,2	16,25	0,81	0,8
Mais	447,52	27,7	47,7	1169,7	58,2	59,8
Soya	229,21	14,2	24,4	245,13	12,2	12,5
Maraîchage	14,43	0,89	1,5	24,83	1,24	1,3
Cultures mixtes				2,05	0,10	0,1
Champs assurés (culture inconnue)	3,33	0,21	0,4	167,71	8,34	8,6
Autre***	51,5	3,31	5,5	156,68	8,60	8,0
Superficie totale du bassin	1 613,1	100	100	2 009,809	100	100

* Superficie agricole pouvant inclure champs non assurés, bâtiments, fossés, etc.

Source : BDCA, 2009.

Figure A2.2. Cultures du bassin de la Petite rivière Bellevue (*Témoin*).

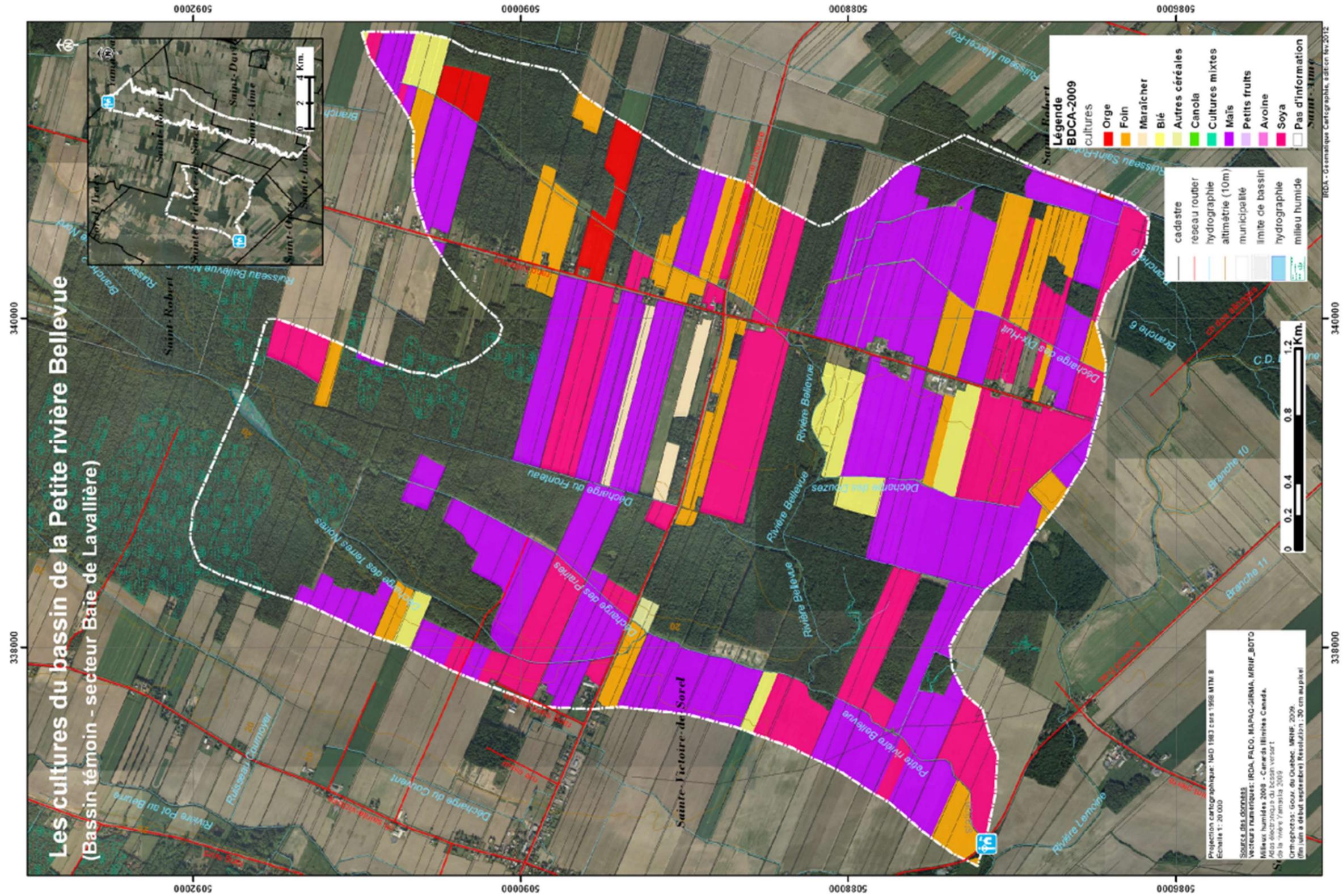


Figure A2.3. Sols du bassin de la 3e Petite-Rivière-Pot-au-beurre (*Intervention*)

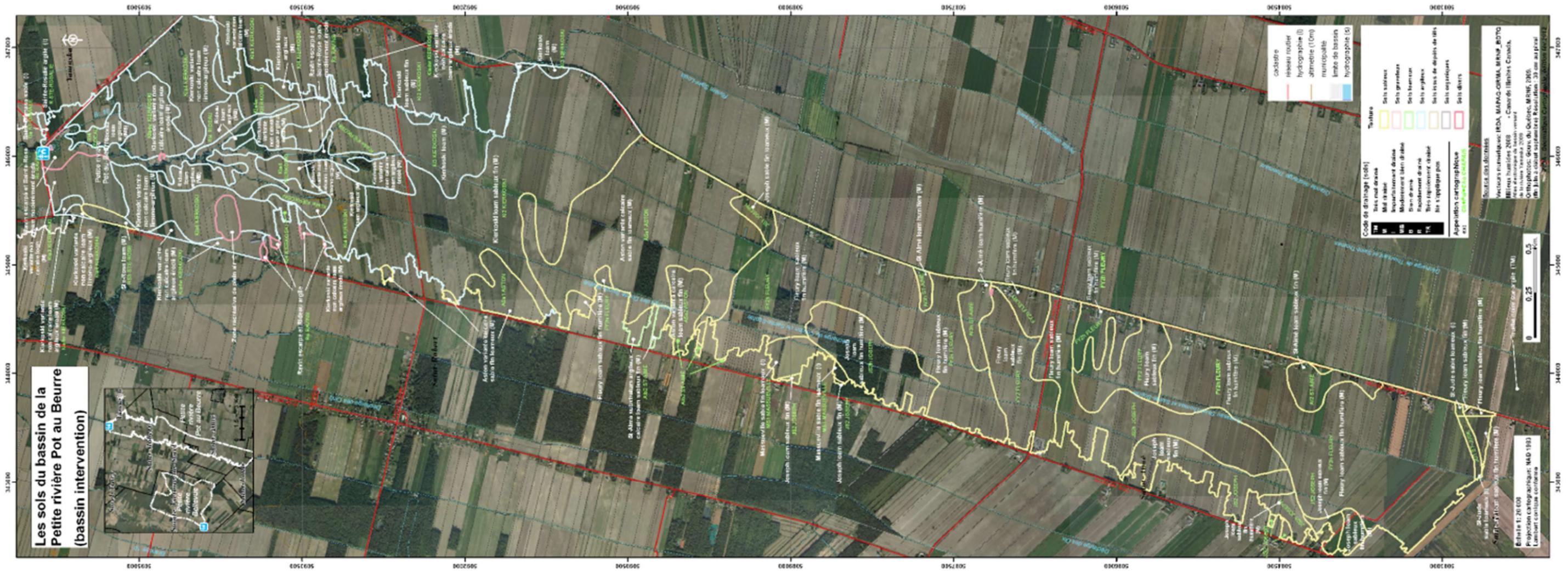


Figure A2.4. Cultures du bassin la 3^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre (*Intervention*)



Annexe 3. Mauricie



Photo A3.1. Paysages du bassin versant de la rivière Champlain

Tableau A3.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière Champlain.

Territoire concerné	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Rivière Noire			Rivière Brûlée		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Élévation (m)						
Totalité du bassin	47	120	72,45	39	160	71,37
Zone agricole*	47	94	53,29	39	99	56,38
Pentes (%)						
Totalité du bassin	0	10,34	2,38	0	43,53	2,04
Zone agricole*	0	5,59	1,31	0	5,59	1,31

* Zone agricole telles que définies par la Banque de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière Agricole du Québec. *Statistiques établies à partir d'un modèle numérique de terrain (mna) du Fédéral (1:50 000)*

Tableau A3.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière Champlain.

Matériel parental	Série de sol	Texture	Drainage	<i>Témoin</i>		<i>Intervention</i>	
				Rivière Noire		Rivière Brûlée	
				ha	%	ha	%
Sols argileux	Courval	Sable limoneux	Imparfaitement drainé	65,8	8,03	173,22	18,09
Sols argileux	Sainte-Rosalie	Argile limoneuse	Imparfaitement drainé	160,27	19,57	116,93	12,21
Sols loameux	Chaloupe	Loam limoneux	Imparfaitement drainé	Np	<i>np</i>	125,18	13,07
Sols loameux	Pontiac	Loam	Bien drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	82,19	8,58
Sols sableux	Saint-Jude	Sable	Imparfaitement drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	300,37	31,36
Sols sableux	Achigan	Sable fin	Imparfaitement drainé	61,9	7,56	28,4	2,97
Sols sableux	Morin	Sable limoneux	Très rapidement drainé	<i>np</i>	<i>np</i>	35,48	3,70
Sols sableux	Aston	Sable limoneux	Mal drainé	32,28	3,94	39,33	4,11
Sols graveleux	Saint-Faustin	Loam sableux caillouteux	Très rapidement drainé	127,68	15,59	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols graveleux	Mont-Rolland	Loam sableux	Très rapidement drainé	0,83	0,10	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols issus de dépôts de tills	Sainte-Agathe	Loam sableux	Bien drainé	355,41	43,39	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols sableux	Lanoraie	Sable fin	Bien drainé	8,55	1,04	<i>np</i>	<i>np</i>
Sols divers	Étendue d'eau	<i>np</i>	<i>np</i>	0,11	0,01	1,62	0,17
Sols divers	Alluvions non différenciées	à textures variables	Ne s'applique pas	<i>np</i>	<i>np</i>	54,98	5,74
Sols divers	Affleurements rocheux	<i>np</i>	<i>np</i>	6,31	0,77	54,98	5,74
Total				819,14	100	957,7	100

Tableau A3.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Champlain.

Bassins expérimentaux de la rivière Champlain	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Rivière Noire			Rivière Brûlée		
	ha	% du total	% de la zone agricole	ha	% du total	% de la zone agricole
Eau	0,11	0,01		1,63	0,17	
Forêt	405,33	49,48		397,61	41,52	
Gravière	0,38	0,05		3,1	0,32	
Ligne de transport d'énergie	26,99	3,29		16,65	1,74	
Friche	4,55	0,56		<i>np</i>	<i>np</i>	
Centre urbain	<i>np</i>	<i>np</i>		15,05	1,57	
En culture	382 ha, 47 % du total			524 ha, 55 % du total		
Foin	109,32	13,35	28,6	101,34	10,6	19,4
Avoine	6,17	0,75	1,6	9,3	0,97	1,8
Blé	<i>np</i>	<i>np</i>	<i>np</i>	29,95	3,13	5,7
Orge	<i>np</i>	<i>np</i>	<i>np</i>	19,38	2,02	3,7
Maïs	48,09	5,87	12,6	145,88	15,2	27,9
Soya	40,51	4,95	10,6	52,48	5,48	10,0
Maraîcher	<i>np</i>	<i>np</i>	<i>np</i>	12,02	1,26	2,3
Cultures mixtes	<i>np</i>	<i>np</i>	<i>np</i>	11,08	1,16	2,1
Champs assurés (culture inconnue)	45,3	5,53	11,9	34,13	3,56	6,5
Autre***	132,39	16,16	34,7	108,12	11,3	20,6
Superficie totale du bassin	819,14	100	100	957,72	100	100

* Superficie agricole pouvant inclure champs non assurés, bâtiments, fossés, etc..

Source : BDCA, 2009.

Figure A3.1. Sols et cultures du bassin de la rivière Noire (Témoïn)

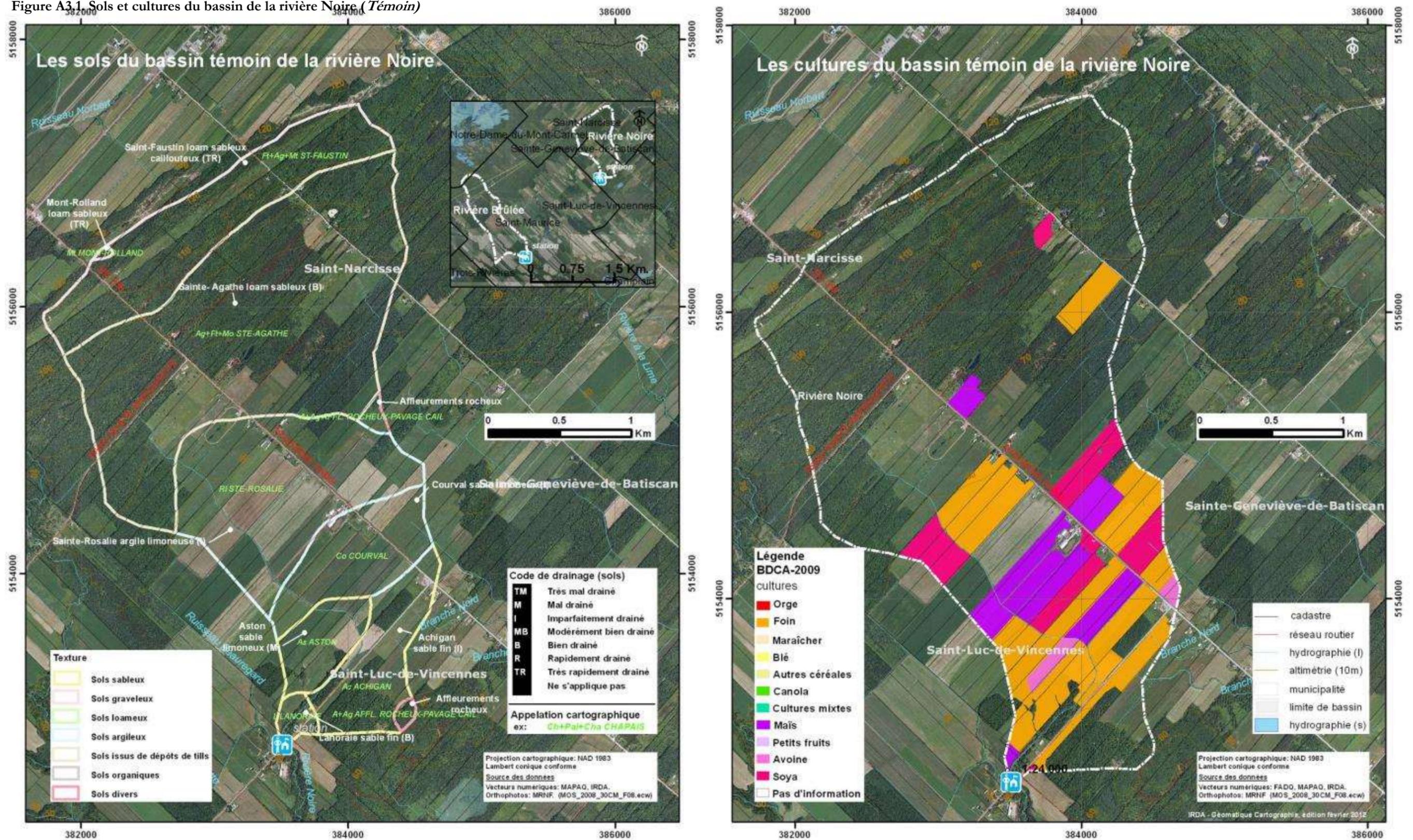
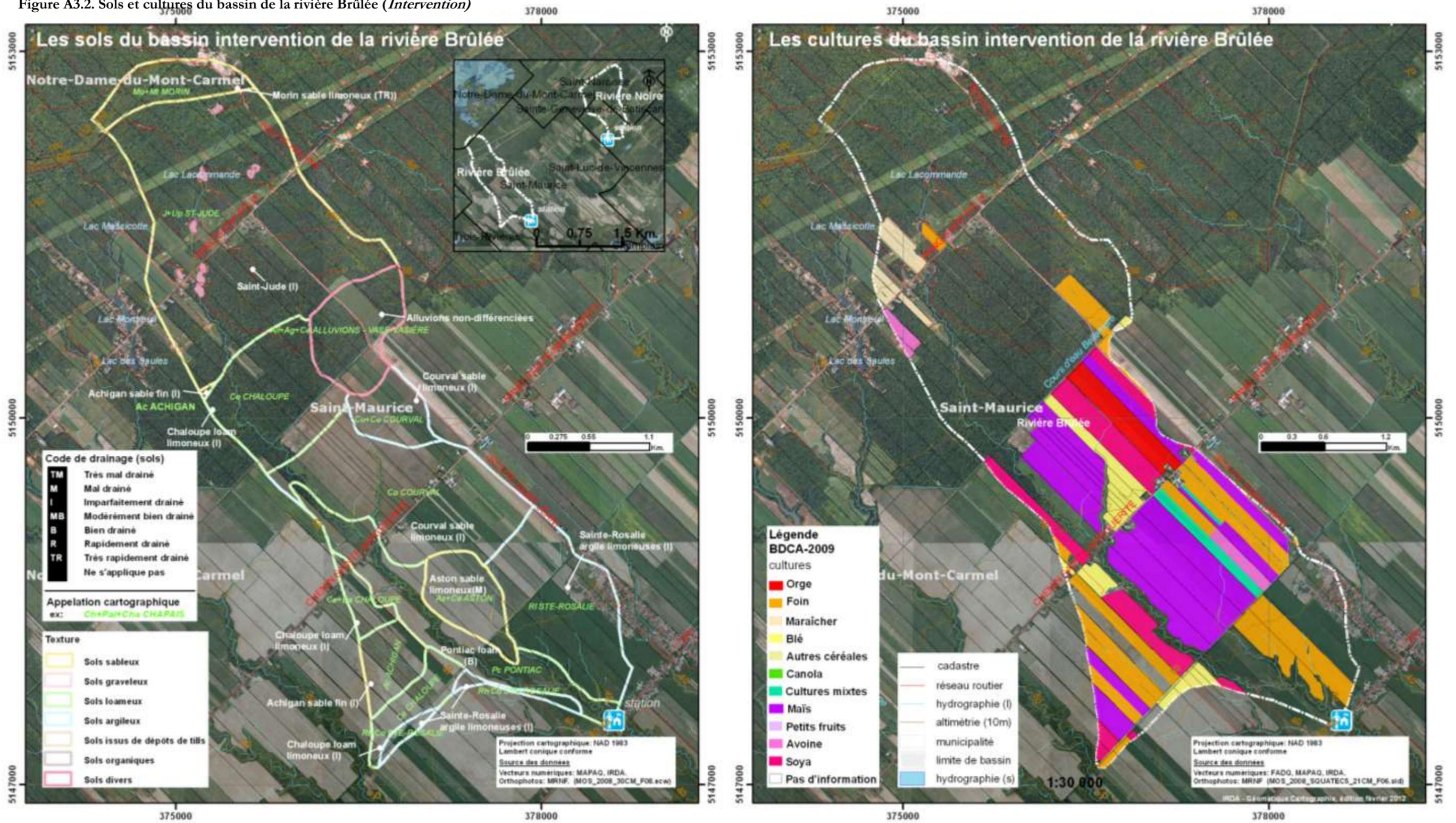


Figure A3.2. Sols et cultures du bassin de la rivière Brûlée (*Intervention*)



Annexe 4. Bas Saint-Laurent



Photo A4.1. Paysages du bassin versant de la rivière Madawaska

Tableau A4.1. Élévations et pentes dans les bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.

Territoire concerné	<i>Témoin</i>			<i>Intervention</i>		
	Petite rivière Savane			Cours d'eau Couturier		
	Min.	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.
Élévation (m)						
Totalité du bassin	240	470	328	229	373	283
Zone agricole*	272	380	333	229	372	293
Pentes (%)						
Totalité du bassin	0	63,4	9,1	0	37,2	5,6
Zone agricole*	0	32,6	6,7	0	22,4	5,4

* Zone agricole telles que définies par la Banque de données des cultures assurées (BDCA) de la Financière Agricole du Québec. *Statistiques établies à partir d'un modèle numérique de terrain (mna) du Fédéral (1:50 000)*

Tableau A4.2. Série, texture et qualité du drainage des sols des bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.

Matériel parental	Série de sol	Texture	Drainage	Témoin		Intervention	
				Petite rivière Savane		Cours d'eau Couturier	
				ha	%	ha	%
Sols graveleux	Pohénégamook loam sableux à sable loameux graveleux	Loam sableux	Rapidement drainé	162,43	10,8	174,16	9,29
Sols issus de dépôts de tills	Chapais loam à loam sableux fin pierreux et caillouteux à cherts	Loam	Bien drainé	407,83	27,0	918,37	49,0
Sols issus de dépôts de tills	Chapais loam à loam sableux fin pierreux et caillouteux à cherts phase mince	Loam	Bien drainé	724,72	48,0	404,27	21,6
Sols issus de dépôts de tills	Painchaud loam à loam sableux fin pierreux et caillouteux à cherts	Loam	Imparfaitement drainé	158,84	10,5	371,5	19,8
Sols issus de dépôts de tills	Chabot loam à loam sableux fin pierreux et caillouteux à cherts	Loam	Mal drainé	np	np	6,13	0,33
Sols divers	Étendue d'eau	np	np	55,72	3,69	0,15	0,01
Total				1 509,5	100	1 874,6	100

Tableau A4.3. Occupation et utilisation du territoire des bassins expérimentaux de la rivière Madawaska.

Bassins expérimentaux de la rivière Madawaska	Témoin			Intervention		
	Petite rivière Savane			Cours d'eau Couturier		
	ha	% du total	% de la zone agricole	ha	% du total	% de la zone agricole
Eau	55,7	3,7		0,15	0,01	
Milieu humide	11,77	0,8		6,02	0,3	
Forêt	829	55		862,65	46	
Ligne de transport d'énergie	13,9	0,9				
Friche	267,71	17,7		236,52	12,6	
Gravière	3,5	0,2				
Centre urbain	26,51	1,8				
En culture	301 ha, 39,4 % du total			769 ha, 41 % du total		
Foin	87,94	5,8	29,2	395,56	21	51
Avoine				7,8	0,4	1,0
Blé	27,19	1,8	9,0	84,81	4,5	11
Orge	12,26	0,8	4,1	70,94	3,8	9,2
Canola	7,16	0,5	2,4	25,39	1,4	3,3
Cultures mixtes				3,46	0,2	0,4
Champs assurés (culture inconnue)	51,8	3,4	17,2	21,13	1,1	2,7
Agricole autre*	115	7,6	38,1	160,22	8,6	21
Superficie totale du bassin	1 509,5	100	100	1 874,6	100	100

* Superficie agricole pouvant inclure champs non assurés, bâtiments, fossés, etc..

Source : BDCA, 2009.

Figure A4.1. Sols et cultures du bassin de la Petite rivière Savane (*Témoin*)

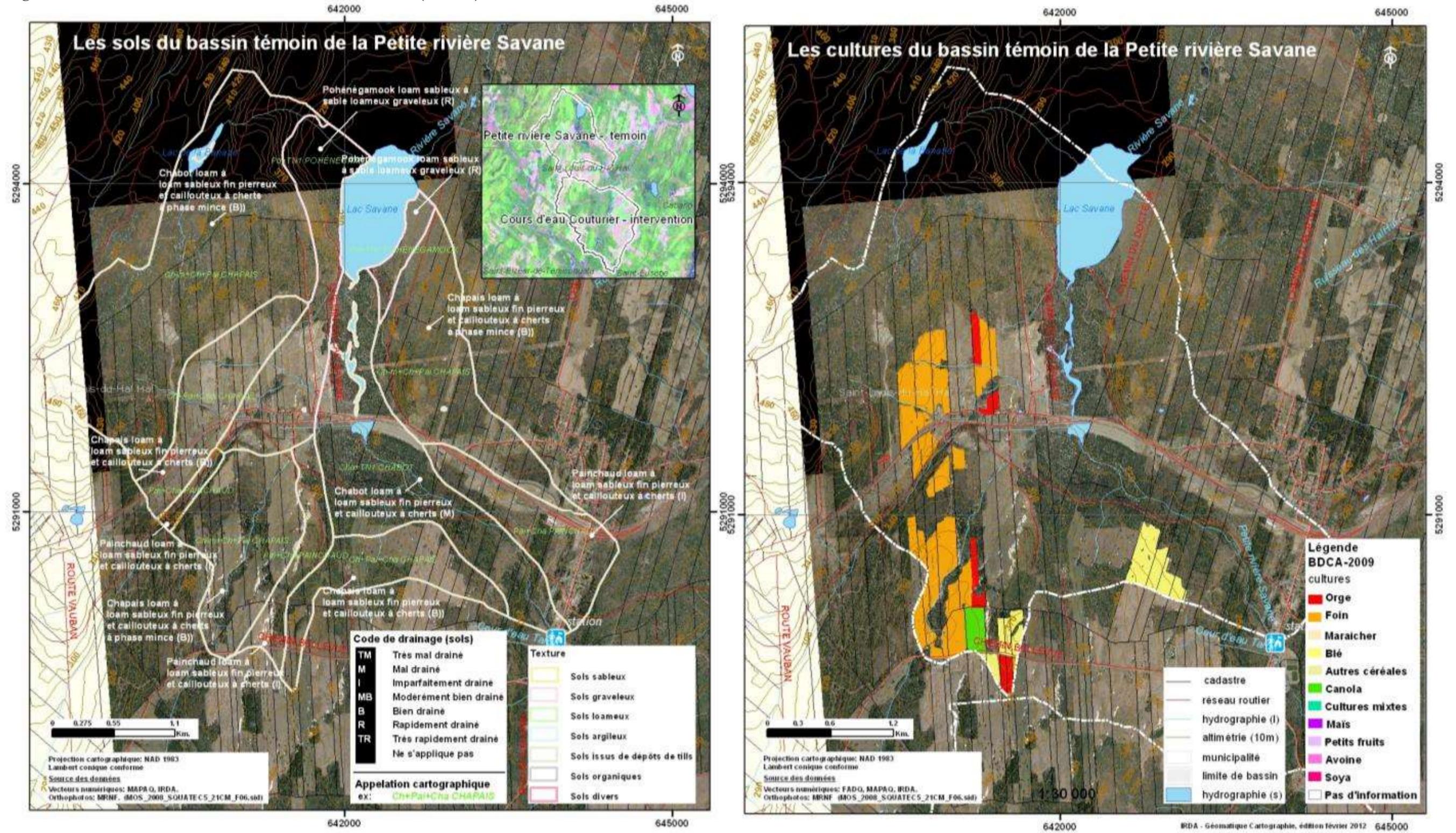
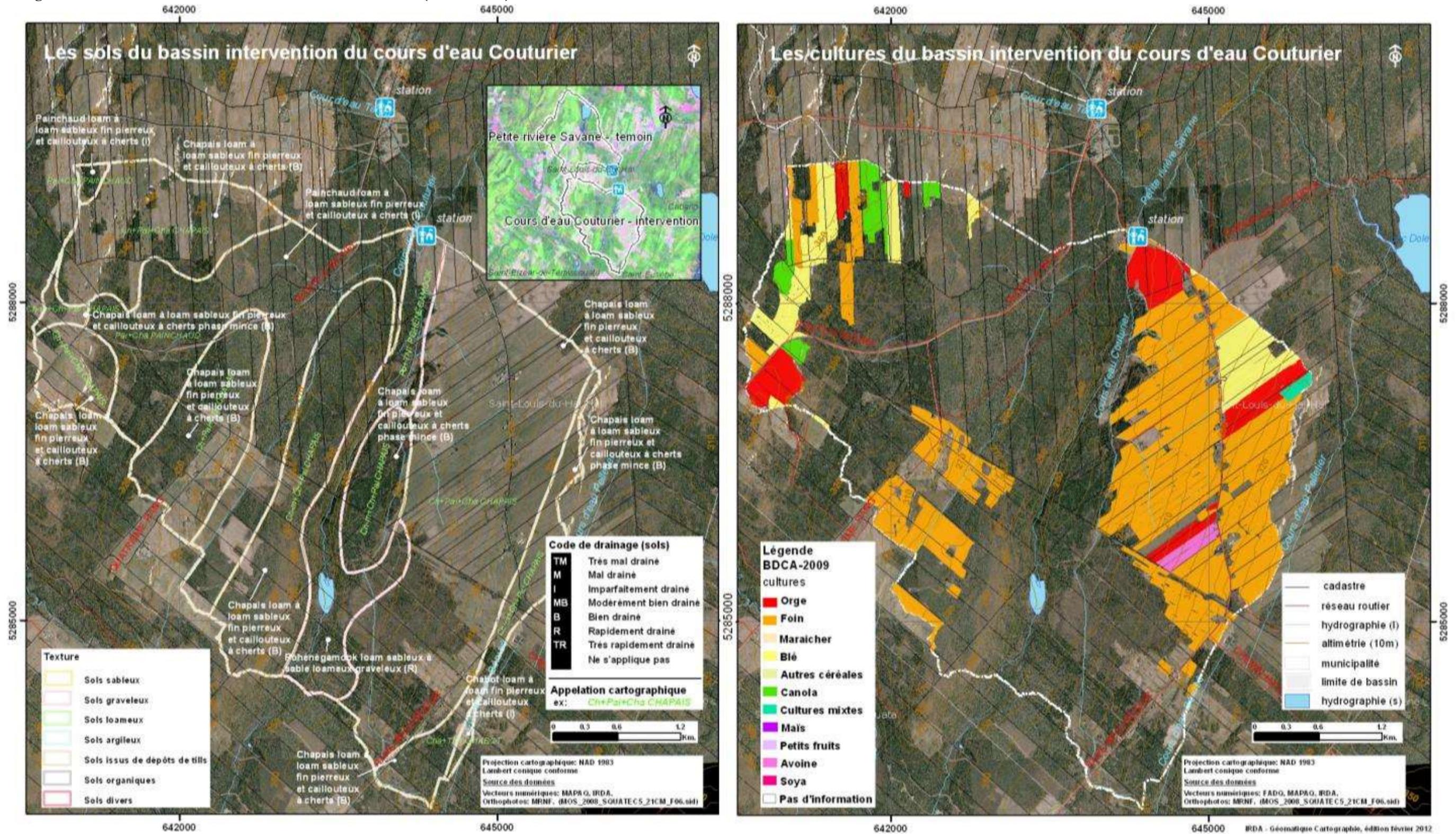


Figure A4.2. Sols et cultures du bassin du cours d'eau Couturier (*Intervention*)



Annexe 5. Inventaire des équipements des bassins versants de l'Observatoire

MICRO-BASSIN	GRAND BASSIN	RÉGION	Appareils de mesure de pressions et vitesse*					Multisondes YSI Sonde conductivité et turbidité	Stations météo Vantage Pro2 Plus™
			WL16	Level-logger	PT2x	ISCO 2150*	ISCO 6712 avec module 730		
Petite rivière Bellevue	Baie de la Vallière	Montérégie Est	1			1		1	1
Pot au Beurre			1			1		1	
Brook	Tomifobia	Estrie	1					1	
Tomifobia - Intervention			1 ^d	1				1	1
Branche 21 Esturgeon - Témoin	Esturgeon	Montérégie Ouest	1					1	
Branche 6 Esturgeon - Intervention					1			1	2
Cours d'eau Brulé - Intervention ^m	Champlain	Mauricie	2					1	
Ruisseau Noire - Témoin			2 ^d					1	
Couturier - Intervention	Madawaska	Bas St-Laurent	2			1		1	1
Petite Rivière Savane - Témoin			1					1	
Réserve - en bon état			1			1	2	2	2
Réserve - défectueux			1		2	1		1	

Remarques :

Certains équipements n'ont pas été acquis dans le cadre de ce projet.

^m Station météo MDDEP à proximité.

^d Sonde de pression WL16 défectueux.

Multisondes YSI, modèle 6920

- Défectuosité de 1 sonde de conductivité durant la saison 2010;
- Défectuosité de 1 sonde de turbidité durant la saison 2010;
- Arrêt du fonctionnement sans connaître la raison ;
- Corrections des dommages causés par les glaces aux installations ;
- Ensablement sur certains sites.

Sondes de pressions

- Défectuosité de 3 sondes WL16 en 2010 qui ne sont pas encore réparées;
- Défectuosité à l'occasion des certaines sondes WL16 en 2010 mais réparable lors des visites;
- Durée des batteries pour les sondes WL16 de plus en plus court ;
- Câble coupé d'une sonde Isco (Couturier) ;
- Mesure erronées au printemps 2010 d'une sonde Isco, OK depuis ce temps (Bellevue);
- Fixation d'une sonde Isco arrachée par la glace et repositionnée en 2010 (Couturier).