



Agriculture and
Agri-Food Canada
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

G R O U P E
AGÈCO



UNIVERSITÉ
LAVAL

irda

**RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES
POUR LA GESTION DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE DANS UN
CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (RADEAU 1)**

PRÉSENTÉE AU
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DES PÊCHERIES ET
DE L'ALIMENTATION DU QUÉBEC (MAPAQ)

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**

Québec 

RAPPORT FINAL

JUIN 2019

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Isabelle Charron, agr., Groupe AGÉCO	Responsable du mandat
Antoine Beauchemin, Université Laval	Recension des technologies de gestion de l'eau
Arianne Blais-Gagnon, IRDA	Appui à l'élaboration des bilans régionaux
Sylvestre Delmotte	Élaboration du protocole – Volets agricole et direction des études de cas
Sandrine Ducruc, Groupe AGÉCO	Appui aux études de cas
David Dugré, IRDA	Appui à l'élaboration des bilans régionaux et aux études de cas
François Landry, IRDA	Intégration géomatique aux bilans régionaux
Guillaume Jego, AAC	Soutien à la modélisation des cultures
Aubert Michaud, IRDA	Élaboration du protocole - bilans régionaux et appui aux études de cas
René Morrissette, AAC	Soutien à la modélisation des cultures
Rosalie-M. St-Arnaud, Groupe AGÉCO	Revue réglementaire sur gestion de l'eau
Révision linguistique	Apogée Solutions Linguistiques

PROJET RÉALISÉ EN VERTU DU SOUS-VOLET 3.2 DU PROGRAMME PRIME-VERT 2013-2018



AVEC UNE AIDE FINANCIÈRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION (MAPAQ) ET DU FONDS VERT



REMERCIEMENTS AUX EXPERTS SUIVANTS CONSULTÉS

Conseillers régionaux du MAPAQ consultés pour l'élaboration des chartes de consommation agricoles

MONTÉRÉGIE

Mario Leblanc
Isabelle Couture
Evelyne Barriault
Liette Lambert

ESTRIE

Julie Marcoux
Dominique Paquette

CHAUDIÈRE-APPALACHES

Christian Lacroix

CENTRE-DU-QUÉBEC

Jacinthe Leblanc
Jacques Painchaud

LANAUDIÈRE

Mélissa Gagnon
Xavier Bernard
Marie Gaudreau

CAPITALE-NATIONALE

Daniel Bergeron

Autres experts consultés

Carl Boivin, expertise hydrologique, IRDA

Myriam Gagnon, Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation (FQPFLT)

Conseillers de clubs techniques et agroenvironnementaux : Denis Giroux (Réseau de Lutte intégrée de Bellechasse), Daniel Venneman (Duraclub), Amélie Lepage (Pousse Vert), Nadia Surdek (Pleine Terre)

Caroline Martineau pour horticulture et gazon, Institut québécois du développement de l'horticulture ornementale (IQDHO)

Jean Caron, professeur, Université Laval

Robert Lagacé, professeur, Université Laval

Yves Lefebvre, M. Sc., Coordonnateur du dossier aquaculture, Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, MELCC

Michel Ouellet, Direction de l'eau potable et des eaux souterraines, MELCC

Elizabeth Bussières, Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, MELCC

INTRODUCTION

Étant soucieux de participer à l'adaptation des entreprises agricoles dans un contexte de changements climatiques, le MAPAQ a confié la réalisation d'une étude pour mieux cerner les défis actuels et futurs de la gestion de l'eau. Le mandat impliquait de dresser un portrait des besoins hydriques à échelle régionale des différents usagers (secteurs agricole, résidentiel, de même qu'institutionnel, commercial et industriel [ICI]) pour comprendre quels usages et usagers de l'eau pourraient être les plus affectés dans le futur par les changements climatiques. Le projet avait également pour objectif d'identifier des innovations qui permettraient d'atténuer les conflits d'usage de l'eau. Au-delà des données, le projet a reposé sur une approche participative et a sollicité la participation des acteurs régionaux concernés. Une première phase (RADEAU 1) débutée en 2016 couvre les régions de la Montérégie, de l'Estrie, des Chaudière-Appalaches, de Lanaudière et du Centre-du-Québec. Une deuxième phase (RADEAU 2) s'est amorcée en 2017 pour six autres régions : Mauricie, Laval, Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Laurentides et Outaouais.

Ce rapport constitue le livrable final de la première phase (RADEAU 1) :

- Le premier volet (chapitre 1) synthétise les encadrements législatif et réglementaire concernant la gestion de l'eau au Québec (aménagement et entretien des cours d'eau, prélèvements). Les annexes 1 et 2 présentent des renseignements complémentaires sur le contenu de certains règlements.
- Un deuxième volet (chapitre 2) présente une courte revue de littérature sur la notion de conflit d'usage de l'eau ainsi que la définition retenue pour les fins de l'étude. Un inventaire des conflits d'usages existants, latents ou passés, a également été réalisé pour les cinq régions à l'étude. L'annexe 3 contient un tableau plus exhaustif des conflits répertoriés.
- Les chapitres 3 à 5 présentent la démarche méthodologique utilisée pour quantifier les prélèvements d'eau actuels pour les différents usages (agricole, résidentiel et ICI) avec des données fiables et comparables à une échelle territoriale pertinente (régionale ou municipale). Les annexes 4 et 5 contiennent l'information détaillée sur les chartes de consommation d'eau, par principale culture et production animale. L'annexe 6 expose en profondeur la méthodologie de simulation des besoins en eau utilisée pour différentes cultures.
- Le chapitre 6 décrit la méthodologie retenue pour quantifier les besoins en eau futurs (horizon 2050) des différents usagers à l'étude, de même que la démarche développée pour évaluer les ressources disponibles. L'annexe 7 rapporte les 4 scénarios narratifs élaborés pour décrire des futurs possibles.
- Le chapitre 7 résume la recension des technologies et des approches innovantes en matière de gestion de l'eau.
- Le chapitre 8 présente succinctement le portrait actuel et futur (5 scénarios) de la consommation d'eau pour les différents usagers, pour les 5 régions à l'étude. À noter que les bilans hydriques régionaux plus exhaustifs font l'objet de 5 rapports distincts, complémentaires au présent rapport.

- Le chapitre 9 rapporte la démarche et les résultats de deux études de cas réalisés sur des territoires à plus petite échelle (Saint-Rémi et complexe tourbeux de Lanoraie). Les annexes 8 et 9 correspondent au matériel d’animation utilisé avec les acteurs locaux lors de nos rencontres.
- Un sommaire de l’étude est présenté dans les pages suivantes.

SOMMAIRE

Le mandat confié par le MAPAQ visait à générer des connaissances sur les possibles conflits d'usage de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changements climatiques. L'approche choisie a largement contribué au succès de la démarche, en jumelant un travail méthodologique de haut niveau avec un lien terrain important. Plusieurs acquis ont été réalisés :

- Le projet a permis de constater le manque d'information pour bien comprendre les besoins en eau des usages agricoles. Un travail exhaustif de collecte et d'analyse de données a conduit à élaborer des chartes de consommation d'eau pour les principales productions végétales et animales au Québec; une information jusque-là inédite, du moins dans un format harmonisé et validé.
- Ce vaste travail de collecte de données s'est fait en partie à partir de la littérature, mais surtout auprès des intervenants terrain, dont, en premier lieu, les conseillers régionaux du MAPAQ. Ce faisant, un important exercice de sensibilisation à la question de l'eau, sous l'angle quantitatif, a été réalisé. Il en a été de même lors de la réalisation des rencontres régionales qui réunissaient des représentants de producteurs agricoles, des élus, des gestionnaires d'organismes de bassins versants et des intervenants des secteurs industriels. Alors que la question de la quantité d'eau disponible ne s'était pas ou peu trouvée au centre des échanges et des réflexions, le projet RADEAU a été l'occasion d'en faire la thématique centrale. L'étude s'étant déroulée sur un horizon temporel (2016-2019) caractérisé par des sécheresses et des épisodes de pluie trop abondante, l'éveil à l'importance de la gestion de l'eau a été favorisé.
- Dans cet esprit, la démarche a permis de révéler une importante méconnaissance de la réglementation entourant la gestion de l'eau. Tant les producteurs agricoles que les conseillers ne sont pas bien outillés pour en comprendre les tenants et les aboutissants. De plus, il y a une sensibilité élevée relative à l'accès à l'eau (renouvellement de permis pour des puits, prélèvements dans les cours d'eau pour l'eau de surface) qui contribue à rendre le sujet extrêmement délicat. Il apparaît essentiel de renforcer les connaissances des intervenants quant à cette question, afin de désamorcer des craintes et de corriger des interprétations parfois erronées de la réglementation.
- À ce titre, le survol de la réglementation entourant les prélèvements et la gestion des cours d'eau au Québec qui a été réalisé dans le cadre de l'étude, permet de tirer certains constats. Rappelons que les prises d'eau peuvent s'effectuer à trois niveaux : les prélèvements aux puits, les cours d'eau et les étangs privés.
- Il faut d'abord retenir que plusieurs paliers gouvernementaux sont concernés par la gestion des cours d'eau, et, au sein de ces paliers, nous retrouvons plusieurs instances ministérielles. Que ce soit pour les usagers (agricoles, industriels, municipalités) ou les professionnels qui interviennent auprès d'eux pour les conseiller en matière de prélèvements ou d'interventions sur les cours d'eau, nous comprenons donc que la dimension légale peut parfois porter à confusion et ralentir ou freiner la mise en place de solutions ou l'énoncé de recommandations relatives à l'eau.
- Dans ce domaine, les pouvoirs et les responsabilités dévolus aux MRC par le MELCC sont importants, autant pour gérer l'écoulement des cours d'eau que pour l'aménagement du territoire. Il est admis qu'il y a un manque d'harmonisation dans les façons de faire, en plus de

connaissances déficientes des gestionnaires des cours d'eau en droit, en géographie, en génie, en biologie, en hydrologie, etc. par rapport à la gestion des cours d'eau.

- **L'environnement réglementaire relatif aux prélèvements en eau** (eau de surface et eau souterraine) s'est considérablement modifié au cours de la dernière décennie, notamment à la faveur de la signature de l'Entente des Grands Lacs. En particulier, le nouveau régime de gestion de l'eau établi au Québec permet de prendre en compte l'aspect « quantité d'eau » dans le cadre des nouvelles réglementations. Auparavant, seul l'aspect « qualité de l'eau » était réglementé.
 - Les entreprises agricoles sont assujetties au nouveau régime d'autorisation. Il importe toutefois de préciser que la plupart des élevages d'animaux ne sont pas touchés par le règlement, car leurs prélèvements sont inférieurs à 75 000 litres par jour (sauf les piscicultures qui prélèvent des volumes quotidiens importants). Plusieurs entreprises produisant des produits végétaux, et notamment celles pratiquant l'irrigation, y sont toutefois assujetties.
 - Il faudra également surveiller la façon dont le MELCC raffiner ses indicateurs pour autoriser des prélèvements, et surtout les quantités permises. Le MELCC travaille actuellement à développer des outils pour calculer des impacts cumulatifs dans le cadre des autorisations (art. 31.75).
- **En ce qui concerne les prélèvements dans les cours d'eau**, malgré un encadrement réglementaire important, relativement peu de choses sont encore suffisamment définies en ce qui a trait aux infrastructures qui peuvent effectivement être installées sur les cours d'eau pour créer des prises d'eau (pompage) comme les mini-barrages. Or, dans un horizon à moyen terme, ce type de prise d'eau pourrait être une solution ponctuelle pour certains usagers qui souhaiteraient intervenir sur les débits d'eau en cas de besoin. Le MELCC est à revoir tout l'encadrement réglementaire lié à l'aménagement et à l'entretien des cours d'eau; ces questions sont donc à surveiller.
- Dans le même esprit, la récente *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* mérite d'être surveillée. Selon les définitions qui seront retenues et les interventions qui seront permises, des milieux humides pourraient être considérés comme fonctionnels -c'est-à-dire pourraient être autorisés comme source de prélèvement occasionnel- et non pas strictement désignés à des fins de conservation. Ceci pourrait faciliter le recours aux milieux humides comme outil de gestion de l'eau (réserve) individuel ou collectif. Il convient donc de suivre l'évolution de cette Loi et la façon dont elle se traduira en règlements.
- Enfin, du côté des **étangs privés**, là aussi relativement peu de balises ont été énoncées et concernent notamment les distances séparatrices, la profondeur de l'étang et le volume d'eau pompé par jour lorsqu'il s'agit d'étangs d'irrigation. Bien que mises en place à des fins de protection de l'environnement (gestion des nappes phréatiques), les distances séparatrices sont toutefois homogènes, peu importe le site, le type d'étang, les pentes et les écoulements (eau de ruissellement ou eau souterraine). Il semble que les distances séparatrices, quoique simples dans leur implantation, ne soient pas toujours appropriées selon les phénomènes physiques d'écoulement souterrain, créant un irritant chez les usagers privés qui souhaitent y intervenir.

BILANS HYDRIQUES RÉGIONAUX

- Nous avons également développé des bilans hydriques actuels et futurs qui ont mis en évidence un certain nombre d'observations.
 - Les bilans hydriques régionaux pour les zones à l'étude (Montérégie, Estrie, Lanaudière, Centre-du-Québec et Chaudière-Appalaches) ont permis d'identifier des territoires qui sont actuellement confrontés à des enjeux importants liés à l'approvisionnement en eau.
 - En ce qui concerne les eaux souterraines, elles sont particulièrement exploitées par rapport à la ressource disponible en Montérégie-Ouest; les usagers résidentiels et industriels y sont importants et croissants, et côtoient un bassin de producteurs maraîchers dont les prélèvements pour l'irrigation des cultures sont significatifs. Au nord-ouest de Chaudière-Appalaches, les différents usagers se partagent des ressources en eau souterraine relativement pauvres en qualité et en quantité. Le même constat s'applique pour le nord-ouest du territoire du Centre-du-Québec. Néanmoins, dans aucun de ces deux territoires, des conflits d'usage majeurs ne nous ont été rapportés; signe que la problématique n'est peut-être pas aussi importante qu'en Montérégie-Ouest.
 - En ce qui concerne les eaux de surface, les prélèvements des différents usages mettent de la pression sur la ressource dans les bassins versants : en amont de la rivière Yamaska en Montérégie-Est et dans les bassins versants de la rivière L'Assomption et de la rivière Mascouche dans Lanaudière. Dans le premier cas, l'usage est essentiellement résidentiel et lié aux industries, commerces et institutions. Dans le cas de Lanaudière, les trois secteurs (résidentiels – industries, commerces et institutions – agricoles) sont concernés. De fait, certaines municipalités comme Joliette s'approvisionnent dans la rivière, au même titre que des producteurs, pour l'irrigation des cultures. Au Centre-du-Québec, la rivière Nicolet ne représente actuellement pas d'enjeu majeur, mais la situation pourrait évoluer puisque davantage de municipalités vont y prélever leur eau, ainsi que des producteurs agricoles pour l'irrigation.
 - Dans les 5 régions à l'étude, les conflits d'usage observés dans le passé ont surtout concerné les usages résidentiels et ICI. Cependant, il semblerait que les conflits entre le secteur résidentiel et agricole, pour un usage d'eau potable, soient de plus en plus fréquents. La pratique de l'irrigation est croissante depuis la dernière décennie, et les programmes de salubrité comme Canada GAP imposent des critères élevés de qualité de l'eau d'irrigation aux producteurs maraîchers. Par ailleurs, il y a eu consolidation dans les secteurs de productions animales et une densification des cheptels, ce qui concentre les besoins pour l'abreuvement des animaux dans certains endroits sur le territoire.
 - À l'enjeu de la quantité d'eau disponible s'ajoute souvent un enjeu de qualité, en particulier dans les eaux de surface (contaminants émergents, polluants d'origine agricole, etc.). Cet enjeu explique parfois l'abandon de l'eau de surface comme source d'eau, et l'usage progressivement plus important de l'eau souterraine. C'est le cas en particulier en Montérégie-Ouest. Cependant, dans certains territoires, l'eau souterraine n'est pas accessible en quantité (aquifères peu productifs) ou en qualité (eau salée), rendant donc les utilisateurs d'eau plus vulnérables aux changements

climatiques. Leur seule source possible demeure l'eau de surface, une ressource affectée par les changements climatiques (diminution des débits d'étiage).

- Au-delà des enjeux de manque d'eau ou de qualité, ceux liés au surplus d'eau (coups d'eau) ont été souvent rapportés par les acteurs régionaux et pourraient s'avérer tout aussi perturbants, notamment en milieu agricole; d'où la nécessité de gérer de mieux en mieux ces surplus d'eau dans une perspective de réserve. Des infrastructures de rétention devront se développer, menées par des interventions individuelles ou collectives.

FUTUR ET PISTES DE SOLUTION

- Dans les 5 régions à l'étude, outre le Centre-du-Québec (34 %) et Chaudière-Appalaches (26 %), les usages agricoles représentent une part relativement modeste des prélèvements en eaux totaux (entre 7 % et 17 %). Le secteur agricole doit donc certainement être mis à contribution dans l'effort d'un usage plus responsable de l'eau, mais ce n'est pas nécessairement le secteur qui exerce le plus de pression sur la ressource. La particularité du secteur agricole réside peut-être dans le fait que peu de mesures semblent pouvoir être mises en œuvre pour réduire les volumes d'eau consommés. En effet, les études réalisées au Québec sur l'usage de l'eau en irrigation par l'équipe de l'IRDA (Carl Boivin et collègues) tendent à montrer que si l'usage de l'eau fait par les producteurs n'est pas toujours optimal, une optimisation de son usage permettrait probablement d'augmenter la productivité par unité de volume consommé. Toutefois, cela ne se traduit pas nécessairement par une diminution de la consommation d'eau par unité de superficie cultivée. Davantage de recherches doivent être menées afin d'établir des pistes, notamment par l'amélioration des pratiques culturales, pour réduire les consommations d'eau.
- Ainsi, les scénarios futurs proposés ont permis de constater que c'est d'abord le taux de croissance de la population, et son comportement de consommation, qui auront des répercussions importantes sur les prélèvements en eau. En effet, dans les régions de la Montérégie et de Lanaudière, la hausse attendue de la population est tellement importante qu'elle va avoir des conséquences largement supérieures aux évolutions (aussi majeures soient-elles) des secteurs agricoles et industriels. En Estrie, au Centre-du-Québec et en Chaudière-Appalaches, les perspectives d'évolution de la population sont moins importantes, et, en conséquence, la pression sur la ressource est moindre, bien qu'encore une fois plus importante que les évolutions des secteurs industriels et agricoles. Dans le secteur résidentiel, il est avéré que des efforts de réduction des consommations d'eau peuvent être obtenus par divers incitatifs, allant de la sensibilisation jusqu'à une tarification dissuasive. Néanmoins, pour les municipalités responsables de la gestion des réseaux d'adduction d'eau potable, ces différentes mesures n'ont pas toute la même popularité auprès des résidents.
- L'étude de cas de Saint-Rémi illustre bien l'enjeu que peut représenter pour une municipalité l'approvisionnement en eau, alors que la population pourrait doubler d'ici 2050. Si l'usage agricole de l'eau est important à Saint-Rémi, la configuration du sous-sol et la direction d'écoulement de la nappe phréatique au roc font en sorte que les usages municipaux (concentrés sur 3 puits situés dans la partie urbanisée de la municipalité) et agricoles (puits dispersés sur le territoire) ne semblent pas

directement en compétition. La problématique d’approvisionnement rencontrée semble donc essentiellement liée aux usages résidentiels et industriels.

- Néanmoins, le secteur agricole est le plus touché par les changements climatiques par rapport à ses besoins en eau. Selon les scénarios climatiques, les besoins pour l’irrigation progresseront de manière significative. De même, les besoins pour l’abreuvement et le refroidissement des animaux pourraient également augmenter. Nos résultats de simulation montrent que les cultures actuellement irriguées pourraient nécessiter davantage d’apports d’eau d’irrigation du fait de la hausse de l’évapotranspiration.
- Des questions se posent quant à la possibilité d’irriguer certaines cultures qui ne le sont pas actuellement dans les 5 régions à l’étude, mais qui le sont ailleurs dans le monde, comme le maïs. L’interrogation a été soulevée à plusieurs reprises par certains intervenants régionaux rencontrés. L’épisode de sécheresse vécu en 2018 a stimulé les réflexions entourant l’irrigation des grandes cultures, de même que pour les fourrages. Le développement de l’irrigation pour ces cultures semble toutefois, à court terme, peu probable. Les importants investissements à réaliser pour se doter des systèmes d’irrigation et les opérer ne se rentabilisent pas facilement sur des cultures à faible valeur ajoutée. Cependant, des producteurs déjà équipés pourraient être tentés, dans le futur, de systématiser les pratiques d’irrigation à l’ensemble de leurs cultures.
- Dans des territoires où les producteurs comblent leur besoin d’irrigation dans les eaux de surface ou issues des aquifères de surface (comme le cas du complexe tourbeux de Lanoraie), les changements climatiques risquent d’entraîner une diminution de la ressource en eau. Cette pression s’observera en particulier au pic des besoins en période estivale. En effet, les débits d’étiage estivaux s’annoncent en baisse, avec des variations plus ou moins fortes selon les scénarios climatiques. Par ailleurs, l’évapotranspiration plus importante abaissera les niveaux des aquifères de surface. Des situations problématiques sont donc à prévoir. Si dans certains cas des solutions individuelles sont à envisager (par exemple, creuser un puits pour s’alimenter en eau souterraine pour l’irrigation), ce n’est pas toujours possible. En effet, à proximité du fleuve, la qualité de l’eau souterraine (salinité) peut limiter la possibilité de s’y alimenter. Dans ces cas, des solutions collectives pourraient devoir se mettre en œuvre. Ceci se justifiera d’autant plus dans des territoires agricoles avec des productions à forte valeur ajoutée (fruits, légumes).
- En ce sens, le cas du complexe tourbeux de Lanoraie est emblématique d’une problématique majeure qui pourrait toucher les producteurs qui utilisent de l’eau pour irriguer les cultures au Québec : plus de 3000 ha cultivés dans ce territoire (principalement de pommes de terre, d’asperge, de fraises, canneberges ainsi que des productions ornementales) pourraient être menacés par le manque d’eau si le niveau de la nappe continue à baisser. Il a été possible d’évaluer la valeur économique de ce petit territoire de production pour les cultures qui dépendent de l’irrigation. Selon les rendements et valeurs par tonne ou par superficie moyenne documentées en 2018, une valeur de production de plus de 28 M \$ a été générée. Dans le contexte de resserrement réglementaire, les producteurs de ce territoire auront à l’horizon 2024-2026 à renouveler leur permis ou à obtenir de nouvelles autorisations de prélèvement.

Un doute plane sur le renouvellement de ces autorisations, compte tenu des impératifs de préservation de l'écosystème exceptionnel qu'est ce complexe tourbeux. Ceci témoigne de l'importance d'entamer dès maintenant des démarches collectives et concertées avec les différents acteurs sur ce territoire.

- Si certaines solutions de gestion collective de l'eau nécessitent des ajustements réglementaires, l'inventaire des technologies effectué dans le cadre de l'étude a surtout permis de constater que nous pouvons faire mieux par rapport à l'efficacité d'utilisation de l'eau en agriculture. Comme mentionné, une optimisation des équipements et de la régie d'irrigation permettrait avec un même volume d'eau disponible une utilisation plus efficace de l'eau (produire plus avec moins). Il en est de même pour les bonnes pratiques culturales. Néanmoins, depuis quelques années, il semble que beaucoup de producteurs aient été sensibilisés à cette question, et que la régie de l'eau soit de plus en plus efficace.
- En ce sens, connaître et maîtriser les différents systèmes d'irrigation et leurs équipements de mesure semblent être un bon point de départ. L'implantation et le suivi de ces outils technologiques par des services-conseils auprès des agriculteurs semblent toutefois nécessaires pour en assurer un déploiement efficace. L'écosystème agricole québécois s'est engagé dans cette voie : il faut souligner depuis 2016 l'élaboration d'outils de gestion de l'irrigation et la tenue d'activité de sensibilisation (« Caravane de l'irrigation » par l'IRDA) auprès des producteurs agricoles.
- Nous constatons aussi une évolution récente des programmes de soutien à l'adoption de pratiques agroenvironnementales pour mieux inclure des mesures liées à la gestion de l'eau. Ainsi, pour la période 2018-2023, le programme Prime-Vert du MAPAQ propose une nouvelle mesure de soutien dédiée à la gestion optimale de l'eau et de l'irrigation (mesure 4 304 du programme Prime-Vert au Volet 1)¹ (MAPAQ, 2018). Le programme vise à mieux outiller les producteurs agricoles dans la mesure des quantités d'eau utilisées pour l'irrigation, afin d'en favoriser un usage optimal. Les projets admissibles doivent inclure le recours à des conseils techniques.
- Or, le manque de professionnels et de conseillers formés dans la gestion de l'eau au Québec est constaté. Les lacunes s'observent dès la formation initiale, que ce soit dans les programmes techniques ou universitaires. Sans diplômés formés, il est difficile de venir soutenir un réseau de service-conseil avisé en matière de gestion de l'eau. En attendant que s'ajuste la formation initiale, le besoin d'offrir un soutien de deuxième ligne pour assurer la formation de conseillers techniques sur le terrain a été soulevé.
- Aussi, pour faire progresser le milieu agricole dans sa gestion de l'eau, il semble nécessaire pour les acteurs gouvernementaux de déployer une stratégie qui misera sur la montée en compétence des conseillers actuellement sur le terrain et sur la formation initiale adéquate des futurs professionnels. Ces intervenants pourront alors agir comme catalyseur, contribuant à rehausser les pratiques culturales et d'irrigation, et à intégrer de manière pertinente les solutions technologiques.

¹ https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Formulaires/V1_M4304_Gestion-eau-irrigation.pdf

TABLE DES MATIÈRES

1.	Législations encadrant la gestion des cours d'eau au Québec.....	1
1.1	Instances gouvernementales impliquées.....	1
1.2	Lois encadrant les prélèvements en eau.....	4
1.3	Lois relatives à la gestion (entretien et aménagement) des cours d'eau	15
1.3.1	Lois fédérales	16
1.3.2	Lois provinciales	17
1.4	Synthèse	23
2.	Conflit d'usage de l'eau	26
2.1	Définition du conflit d'usage de l'eau	26
2.2	Constats et choix pour l'étude	27
2.3	Conflits d'usage de l'eau documentés dans la littérature.....	28
2.4	Conflits d'usage de l'eau documentés sur le terrain.....	31
3.	Prélèvements en climat actuel	33
3.1	Secteur résidentiel.....	33
3.2	Secteur agricole.....	35
3.2.1	Analyse documentaire et état de l'art	36
3.2.2	Productions végétales.....	37
3.2.3	Production animale.....	38
3.2.4	Production piscicole.....	39
3.3	Secteurs industriel, commercial et institutionnel	39
3.3.1	Industriel	39
3.3.2	Commercial et institutionnel	40
4.	Traitement spatial des données de prélèvements	42
4.1	Prélèvements d'eau de surface par bassin versant.....	42
4.1.1	Résidentiel, commercial et institutionnel (CI)	42
4.1.2	Agricole et industriel	42
4.2	Prélèvements d'eau souterraine par municipalité.....	42
4.2.1	Résidentiel, commercial et institutionnel (CI)	42
4.2.2	Agricole et industriel	42
4.3	Intégration des bassins versants	43
5.	Traitement spatial des données concernant la disponibilité de la ressource hydrique en climat actuel et futur	44
5.1	Eau de surface	44

5.1.1	Calcul des débits $Q_{2,7}$	45
5.1.2	Comparaison des ressources et des prélèvements	49
5.1.3	Présentation cartographique	49
5.2	Eau souterraine.....	50
6.	Prélèvements en climat futur	53
6.1	Élaboration des scénarios d'évolution	53
6.1.1	Scénarios narratifs.....	53
6.1.2	Scénarios climatiques.....	55
6.2	Secteur résidentiel.....	71
6.2.1	Hypothèses pour estimer l'évolution des besoins en eau	71
6.2.2	Répercussions des changements climatiques sur les besoins en eau du secteur résidentiel	75
6.3	Secteur agricole	75
6.3.1	Évolution des superficies cultivées et irriguées	76
6.3.2	Évolution des besoins en eau pour les activités d'élevage.....	103
6.3.3	Pisciculture	107
6.4	Secteurs industriel, commercial et institutionnel	108
6.4.1	Évolution de la production industrielle.....	108
6.4.2	Projection économique (2015-2050)	110
6.4.3	Efforts de réduction de la consommation d'eau	115
6.4.4	Répercussions des changements climatiques sur les besoins en eau du secteur industriel	115
6.5	Secteur récréotouristique.....	116
6.5.1	Répercussions des changements climatiques sur les besoins en eau du récréotourisme	117
6.5.2	Efforts de réduction de la consommation d'eau	118
7.	Pistes d'adaptation technologique et approches innovantes	120
7.1	Grille d'analyse	120
7.1.1	Usages et usagers ciblés.....	121
7.1.2	Approche et voie de changement.....	121
7.1.3	Implantation et mise en application	122
7.1.4	Aspect temporel.....	123
7.1.5	Aspect économique.....	123
7.2	Résultats	124
7.2.1	Pratiques agronomiques	126

7.2.2	Technologies d’irrigation	128
7.2.3	Sources d’approvisionnement	130
7.2.4	Approches politiques et institutionnelles	132
7.3	Constats	134
8.	Résultats sommaires des bilans hydriques actuels et futurs.....	135
8.1	Portrait global actuel	135
8.2	Portrait global futur	139
8.3	Bilans régionaux d’utilisation des eaux de surface et souterraine	140
9.	Études de cas	142
9.1	Saint-Rémi	142
9.1.1	Contexte et objectifs.....	142
9.1.2	Approche et démarche de travail	143
9.1.3	Présentation du territoire, ressources en eau, activités et prélèvements	145
9.1.4	Bilan hydrique actuel	149
9.1.5	Pistes de solutions envisagées avec le groupe de travail intersectoriel de Saint-Rémi 151	
9.1.6	Évolution des besoins futurs en eau selon trois scénarios	154
9.1.7	Retombées de l’étude de cas.....	163
9.2	Lanoraie	165
9.2.1	Contexte et objectifs	165
9.2.2	Bilan hydrique actuel et futur du territoire du complexe tourbeux de Lanoraie	177
9.2.3	Analyse des pistes de solutions envisagées avec les producteurs agricoles du complexe tourbeux de Lanoraie	183
9.2.4	Retombées de l’étude de cas.....	189
	Annexe 1 Délimitation du bassin du fleuve Saint-Laurent établie dans le cadre de l’entente des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent	191
	Annexe 2 Information complémentaire sur le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP).....	193
	Annexe 3 Inventaire des conflits liés à l’eau dans les régions à l’étude.....	197
	Annexe 4 Chartes de consommation pour les productions végétales	202
10.	Besoin en eau pour l’irrigation des cultures et la protection contre le gel.....	203
10.1	Cultures en serre	203
10.2	Bleuets de corymbes ou géants	212
10.3	Canneberges.....	213
10.4	Fraises d’automne (ou fraises à jours neutres).....	214

10.5	Fraises conventionnelles et à haute densité	215
10.5.1	Fraises à haute densité.....	215
10.5.2	Fraises en rang natté.....	216
10.6	Framboises conventionnelles et framboises d'automne	217
10.7	Melons et cantaloups	218
10.8	Vignes.....	218
10.9	Pommiers.....	219
10.10	Asperges	221
10.11	Betteraves potagères.....	221
10.12	Brocolis	222
10.13	Choux	222
10.14	Choux-fleurs.....	223
10.15	Citrouilles, courges et courgettes.....	223
10.16	Concombres pour le marché frais	224
10.17	Échalotes françaises	224
10.18	Épinards	225
10.19	Fines herbes.....	225
10.20	Navets et rutabagas.....	226
10.21	Oignons secs et oignons espagnols	226
10.22	Oignons verts.....	227
10.23	Poivrons	228
10.24	Pommes de terre	228
10.25	Radis.....	229
10.26	Tomates de champs.....	229
10.27	Autres légumes	230
10.28	Haricots.....	230
10.29	Carottes	231
10.30	Mais sucré.....	231
10.31	Laitues.....	232
10.32	Pois.....	233
10.33	Gazon	234
10.34	Arbres, arbustes et conifères au champ.....	234
10.35	Arbres, arbustes, conifères et vivaces en conteneurs.....	234
Annexe 5	Chartes de consommation pour les productions animales	236

Annexe 6 simulations des besoins en eau de quelques cultures en climat actuel.....	239
11. Méthodologie de simulation des besoins en eau.....	240
11.1 Fonctionnement des modèles STICS et Cropsyst.....	240
11.2 Identification des principaux types de sol cultivés dans chaque région, et de leurs propriétés.....	242
11.3 détails de mise en œuvre et simulations tests en climat actuel.....	244
11.3.1 Simulation des pommes de terre avec le modèle STICS.....	244
11.3.2 Simulation des besoins en eau des laitues en terres noires.....	250
11.3.3 Simulation des besoins en eau des pois.....	254
11.3.4 Simulation des besoins en eau des haricots.....	256
11.3.5 Simulation d'autres cultures.....	258
11.3.6 Constats.....	258
Annexe 7 Les scénarios narratifs.....	259
Annexe 8 Animations pour l'étude de cas de Saint-Rémi.....	264
Annexe 9 Animations pour l'étude de cas de Lanoraie.....	265
Bibliographie.....	266

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Compétence, pouvoirs et responsabilités des MRC en gestion des cours d'eau	3
Tableau 1.2	Exemples d'autorisation de prélèvements agricoles	10
Tableau 1.3	Travaux d'entretien des cours d'eau en milieu agricole nécessitant l'obtention du CA par les municipalités	20
Tableau 1.4	Milieus humides tels que définis par la Loi.....	22
Tableau 2.1	Exemples de conflit d'usage selon la notion de Banton et coll. (1995)	27
Tableau 3.1	Nombre de municipalités avec ou sans compteurs d'eau et représentativité selon la population desservie.....	35
Tableau 3.2	Explications des variables prises en compte dans le calcul des prélèvements d'eau pour les usages CI à partir de la base de données sur la consommation d'eau potable du MAMOT.....	41
Tableau 5.1	Micro-bassins de référence de L'IRDA retenus dans les projections de Q _{2,7}	46
Tableau 5.2	Bassins retenus de la DEH/MELCC dans les projections de Q _{2,7}	47
Tableau 6.1	Correspondance entre les scénarios narratifs et les scénarios climatiques	55
Tableau 6.2	Scénarios climatiques retenus pour la période de référence (1981-2010) et les climats futurs (2041-2070).....	56
Tableau 6.3	Comparaison des températures moyennes observées d'avril à octobre pour la période 1981-2010, simulées sur la période 1981-2010 et simulées sur la période 2041-2070.	57
Tableau 6.4	Comparaison du nombre annuel moyen de jours où la température maximale est supérieure à 30 °C dans les données météorologiques observées entre 1981-2010, simulées pour la même période et simulées pour la période future 2041-2070.	58
Tableau 6.5	Comparaison de la durée moyenne de la saison de croissance observée pour la période 1981-2010, simulée pour cette même période et pour la période 2041-2070 (nombre de jours)	60
Tableau 6.6	Comparaison du nombre de degrés-jours (DJ base 10 °C) calculé pour la saison de croissance sur la base des observations pour la période 1981-2010, et pour les simulations pour cette même période et pour la période future 2041-2070.....	61
Tableau 6.7	Comparaison des cumuls de précipitations observés sur la période d'avril à octobre pour la période 1981-2010, et simulés pour la même période et 2041-2070 (en mm).....	62
Tableau 6.8	Comparaison des précipitations totales cumulées sur la saison de croissance observées entre 1981 et 2010, simulées pour la même période et pour la période 2041-2070	63
Tableau 6.9	Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20 mm sur la période d'avril à octobre dans le climat observé de 1981 à 2010, avec les simulations pour cette même période et pour la période future (2041-2070).....	64

Tableau 6.10	Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 30 mm pour la période d’avril à octobre dans le climat observé de 1981 à 2010, avec les simulations pour cette même période et pour la période future (2041-2070).	64
Tableau 6.11	Comparaison du nombre d’épisodes d’au moins 5 jours sans précipitations durant la saison de croissance pour le climat observé entre 1881 et 2010, avec le nombre d’épisodes simulés pour les scénarios de référence pour la même période et avec les scénarios futurs (période 2041-2070).	65
Tableau 6.12	Comparaison de la durée moyenne des épisodes d’au moins 5 jours sans précipitations durant la saison de croissance dans le climat observé (1981-2010) avec les climats de références pour la même période et avec les scénarios futurs (2041-2070).....	66
Tableau 6.13	Comparaison du vent moyen dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées dans les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les climats futurs (2041-2070).	67
Tableau 6.14	Comparaison de la radiation solaire dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées de la radiation pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changement climatique (2041-2070).....	68
Tableau 6.15	Comparaison des valeurs moyennes annuelles de l’humidité relative en % dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changement climatique (2041-2070).	69
Tableau 6.16	Comparaison des valeurs moyennes annuelles de l’ETP en mm dans le climat observé pour la période 1981-2010 (méthode de Penman-Monteith) avec l’ETP simulée pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changements climatiques (2041-2070).	70
Tableau 6.17	Hypothèse d’évolution de la population selon les scénarios, par région.....	72
Tableau 6.18	Répartition de la consommation d’eau résidentielle	73
Tableau 6.19	Hypothèse de variation de la consommation d’eau par habitant, par scénario	75
Tableau 6.20	Détail des superficies cultivées (ha) par région, 2016	76
Tableau 6.21	Tendance passée et hypothèses d’évolution des légumes de serre, la hausse étant exprimée en % d’évolution des superficies cultivées	78
Tableau 6.22	Tendance passée et hypothèses d’évolution des superficies cultivées en fruits et petits-fruits.....	80
Tableau 6.23	Tendance passée et hypothèses d’évolution des superficies cultivées en gazon et horticulture ornementale	81
Tableau 6.24	Hypothèses d’évolution des superficies pour les cultures classées par type de tendance	82
Tableau 6.25	Tendance passée et hypothèses d’évolution des superficies cultivées en légumes de plein champ.....	85

Tableau 6.26	Pourcentage des superficies cultivées irriguées pour les scénarios 2 et 4.....	86
Tableau 6.27	Estimation du déficit hydrique estival en climat actuel pour une station météorologique d'Environnement Canada pour chaque région couverte par le projet.....	89
Tableau 6.28	Évolution simulée des précipitations sur la période de juin à août.....	90
Tableau 6.29	Évolution simulée de l'ETP sur la période de juin à août.....	91
Tableau 6.30	Évolution simulée du déficit hydrique (P-ETP) sur la période de juin à août (2041-2070).....	91
Tableau 6.31	Dates des semis utilisées pour les simulations avec le climat historique, les climats de référence et le climat futur, jours Julien	93
Tableau 6.32	Estimation des besoins en eau futurs pour les pommes de terre à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle STICS.	94
Tableau 6.33	Besoins en UTM des variétés utilisées pour les simulations en climat historique et futur pour les cinq stations.	96
Tableau 6.34	Dates des semis utilisées (jours Julien) pour les simulations avec le climat historique, les climats de référence et les climats futurs.	96
Tableau 6.35	Rendement en grain à 0 % d'humidité simulé pour le climat observé (1995-2015), pour la période de référence avec les scénarios climatiques (1981-2010) et pour la période future avec les scénarios climatiques (2041-2070)	97
Tableau 6.36	Besoin en eau d'irrigation simulé par STICS pour le climat observé (1995-2015), pour la période de référence avec les scénarios climatiques (1981-2010) et pour la période future avec les scénarios climatiques (2041-2070)	97
Tableau 6.37	Estimation des besoins en eau future pour les laitues en terre noire en Montérégie à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle STICS.	99
Tableau 6.38	Estimation des besoins en eau future pour les pois à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle CROPSYST.	100
Tableau 6.39	Estimation des besoins en eau future pour les haricots verts à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle Cropsyst.	101
Tableau 6.40	Coefficient cultural maximal pour chaque culture et hypothèse pour l'estimation de l'évolution du volume d'eau d'irrigation.	102
Tableau 6.41	Évolution récente et hypothèses d'évolution pour les cinq scénarios du nombre d'animaux.....	104
Tableau 6.42	Valeur de référence de consommation d'eau de différents systèmes de refroidissement des bâtiments d'élevage laitier, issus de différentes études.....	107
Tableau 6.43	Taux de croissance économique selon le secteur d'activité et le scénario	114
Tableau 6.44	Part de la valeur ajoutée manufacturière sectorielle par région.....	114
Tableau 6.45	Effort de réduction de la consommation d'eau selon l'industrie (code SCIAN)	115

Tableau 6.46	Part du volume d'eau prélevé pour le secteur récréotouristique (SCIAN 713) selon l'activité	116
Tableau 6.47	Hypothèse de consolidation de l'industrie récréotouristique, par région et par scénario	117
Tableau 6.48	Hypothèse de variation de la consommation d'eau par les centres de ski, par scénario	118
Tableau 6.49	Évolution des besoins en eau pour le secteur récréotouristique selon la région (en %)	119
Tableau 7.1	Répartition des technologies par type de champ d'application ou d'intervention..	126
Tableau 7.2	Technologies/bonnes pratiques de type agronomique.....	127
Tableau 7.3	Technologies/bonnes pratiques liées à l'irrigation.....	129
Tableau 7.4	Technologies/bonnes pratiques liées aux sources d'approvisionnement	131
Tableau 7.5	Technologies/bonnes pratiques liées au contexte institutionnel	133
Tableau 8.1	Quantité totale d'eau consommée par année selon la région et le type de source d'eau.....	135
Tableau 8.2	Répartition (%) de l'eau consommée selon le type d'usager	136
Tableau 8.3	Répartition des consommations selon le type d'usage et la région, % surface/souterraine.....	136
Tableau 8.4	Répartition des prélèvements en eau par secteur de production agricole et par région, et part relative par rapport aux autres usagers	138
Tableau 8.5	Évolution de la consommation totale d'eau selon les différents scénarios	139
Tableau 9.1	Composition du groupe de travail intersectoriel de Saint-Rémi	144
Tableau 9.2	Superficie cultivée et volume d'eau prélevé selon nos estimations pour les cultures représentant les plus grands volumes d'eau d'irrigation.	147
Tableau 9.3	Répartition des prélèvements par type de productions agricoles et part relative (%) par rapport au total des prélèvement de la catégorie et des autres usagers de St-Rémi.....	148
Tableau 9.4	Proportion d'économie fournie par les équipements économiseurs d'eau.....	152
Tableau 9.5	Variation des besoins en eau attendue par secteur, selon les trois scénarios de Saint-Rémi en 2050	155
Tableau 9.6	Proportion de la population utilisatrice d'équipements économes en 2050.....	156
Tableau 9.7	Sommaire des réponses des industries	156
Tableau 9.8	Sommaire des prélèvements en eau actuel pour l'irrigation des cultures.....	159
Tableau 9.9	Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé.....	160
Tableau 9.10	Changement dans la répartition entre les usagers.....	161
Tableau 9.11	Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé.....	162
Tableau 9.12	Changement dans la répartition entre les usagers.....	162

Tableau 9.13	Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé	163
Tableau 9.14	Changement dans la répartition entre les usagers	163
Tableau 9.15	Superficies cultivées et volumes d'eau prélevés estimés pour la zone d'étude.	172
Tableau 9.16	Répartition des prélèvements par type de productions agricoles et part relative (%) par rapport au total des prélèvements de la catégorie et des autres usagers municipaux.....	173
Tableau 9.17	Répartition mensuelle des différents termes postes du bilan hydrique en climat historique estimée pour le BV de la rivière David par le modèle SWAT-MAC.....	181
Tableau 9.18	Répartition mensuelle des différents termes postes du bilan hydrique en climat futur estimée pour le BV de la rivière David par le modèle SWAT-MAC.....	181
Tableau 9.19	Bilan hydrique mensuel en climat historique du complexe tourbeux de Lanoraie projeté sur la base des simulations hydrologiques validées pour le bassin versant de la rivière David.....	182
Tableau 9.20	Bilan hydrique mensuel en climat futur du complexe tourbeux de Lanoraie (moyenne des 5 scénarios climatiques) projeté sur la base des simulations validées pour le bassin versant de la rivière David.	182
Tableau 9.21	Évaluation sommaire de la valeur économique générée par les cultures irriguées sur le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie (4 municipalités)	190
Tableau 9.22	Catégories de prélèvement telles que définies par le RPEP	195
Tableau 9.23	Indice DRASTIC déterminant le niveau de vulnérabilité des eaux souterraines.....	196
Tableau 10.1	Total mensuel de la radiation incidente en J par mois.	204
Tableau 10.2	Table de conversion mensuelle de la radiation en ETP (issue de Technorem 2008).	204
Tableau 10.3	Produit du coefficient cultural et du taux d'occupation.....	206
Tableau 10.4	Besoin en eau (mm) des cultures sous serre au Centre-du-Québec.	207
Tableau 10.5	Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Estrie.	208
Tableau 10.6	Besoin en eau (mm) des cultures sous serre dans Lanaudière.....	209
Tableau 10.7	Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Montérégie	210
Tableau 10.8	Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Chaudière-Appalaches.....	211
Tableau 10.9	Informations recueillies sur l'irrigation des bleuets de corymbes.....	212
Tableau 10.10	Informations recueillies sur l'irrigation des canneberges.....	214
Tableau 10.11	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'automne	215
Tableau 10.12	Superficie estimée de chaque type de fraises.	215
Tableau 10.13	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été plantées à haute densité	216
Tableau 10.14	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été en rang natté.....	217
Tableau 10.15	Informations recueillies sur l'irrigation des framboises	218
Tableau 10.16	Informations recueillies sur l'irrigation des melons et cantaloups.....	218

Tableau 10.17	Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers nains	220
Tableau 10.18	Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers semi-nains	220
Tableau 10.19	Informations recueillies sur l'irrigation des asperges.....	221
Tableau 10.20	Informations recueillies sur l'irrigation des betteraves potagères.....	222
Tableau 10.21	Informations recueillies sur l'irrigation des brocolis	222
Tableau 10.22	Informations recueillies sur l'irrigation des choux	223
Tableau 10.23	Informations recueillies sur l'irrigation des choux-fleurs	223
Tableau 10.24	Informations recueillies sur l'irrigation des courges, citrouilles et courgettes	224
Tableau 10.25	Informations recueillies sur l'irrigation des concombres	224
Tableau 10.26	Informations recueillies sur l'irrigation des échalotes françaises	225
Tableau 10.27	Informations recueillies sur l'irrigation des épinards	225
Tableau 10.28	Informations recueillies sur l'irrigation des fines herbes	226
Tableau 10.29	Informations recueillies sur l'irrigation des oignons	226
Tableau 10.30	Informations recueillies sur l'irrigation des oignons verts	227
Tableau 10.31	Informations recueillies sur l'irrigation des poivrons.....	228
Tableau 10.32	Informations recueillies sur l'irrigation des pommes de terre	229
Tableau 10.33	Informations recueillies sur l'irrigation des radis	229
Tableau 10.34	Informations recueillies sur l'irrigation des tomates de champs	230
Tableau 10.35	Informations recueillies sur l'irrigation des haricots	231
Tableau 10.36	Informations recueillies sur l'irrigation des carottes.....	231
Tableau 10.37	Informations recueillies sur l'irrigation du maïs sucré	232
Tableau 10.38	Informations recueillies sur l'irrigation des laitues	233
Tableau 10.39	Informations recueillies sur l'irrigation des pois.....	233
Tableau 10.40	Informations recueillies sur l'irrigation du gazon	234
Tableau 10.41	Informations recueillies sur l'irrigation des arbres, arbustes, conifères et vivaces en conteneurs	235
Tableau 11.1	Principales séries de sol cultivées dans chaque région selon la BDCA 2015 (FADQ) et les données de sol de l'IRDA.....	243
Tableau 11.2	Propriétés des sols utilisés pour les simulations (pommes de terre)	246
Tableau 11.3	Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour les différents types de sols et différentes régions.....	248
Tableau 11.4	Apports totaux d'irrigation simulés par le modèle (mm/saison) pour chaque région et type de sol	249
Tableau 11.5	Propriétés du sol organique utilisé pour les simulations (laitues)	251
Tableau 11.6	Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour chaque date des semis.....	252

Tableau 11.7	Apports totaux d'irrigation simulés par le modèle (mm/saison) pour chaque date de semis	253
Tableau 11.8	Caractéristiques des sols utilisés pour les simulations, apport moyen d'irrigation et rendement obtenu (en kg/ha) pour les pois.....	255
Tableau 11.9	Résultats obtenus pour les simulations des besoins en eau des haricots.....	257

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Cadre législatif entourant la gestion de l'eau au Québec.....	2
Figure 1.2	Historique du régime encadrant les prélèvements en eau au Québec	5
Figure 4.1	Couverture des régions à l'étude avec les bassins versants de la DEH	43
Figure 5.1	Bassins couverts par l'Atlas hydroclimatique 2018 et bassins documentés par l'IRDA. .	45
Figure 5.2	Relation entre débit d'étiage estival et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km ²	48
Figure 5.3	Relation entre débit d'étiage hivernal et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km ²	48
Figure 5.4	Recharge (mm/an) pour la zone à l'étude d'après la littérature	50
Figure 5.5	Recharge (mm/an) moyenne estimée par municipalité pour les régions à l'étude.	52
Figure 6.1	Approche par scénario pour faire l'ébauche de trajectoires futures	54
Figure 6.2	Évolution historique de la production industrielle de certains secteurs d'activité (base 100=2000), 1995-2015	112
Figure 6.3	Production de pâtes, papiers et cartons au Québec ('000 tm), 1994-2015	113
Figure 9.1	Séance de plénière avec le groupe de travail de Saint-Rémi, 19 décembre 2018	145
Figure 9.2	Localisation et zone d'influence potentielle des puits municipaux (puits – rouge), des essais de pompage de 2018 (forage – violet) et des étangs (vert) potentiellement utilisés pour l'irrigation.	150
Figure 9.3	Localisation du puits du MELCC (n° 03097102) par rapport aux puits de la municipalité	151
Figure 9.4	Piézométrie du puits de suivi des eaux souterraines du MELCC sur le territoire de Saint-Rémi – puits n° 03097102	151
Figure 9.5	Localisation du complexe tourbeux de Lanoraie	166
Figure 9.6	Localisation du complexe tourbeux en fonction des territoires municipaux.	166
Figure 9.7	Coupe transversale réalisée dans le complexe tourbeux	167
Figure 9.8	Cartographie des exutoires du complexe tourbeux	168
Figure 9.9	Principaux flux d'eau souterraine dans le territoire de la tourbière.	169
Figure 9.10	Cartographie des perturbations du complexe tourbeux de Lanoraie	171
Figure 9.11	Estimation de la recharge annuelle de l'aquifère granulaire.	175
Figure 9.12	Localisation des zones présentant les prélèvements les plus importants par rapport à la recharge de l'aquifère granulaire.	176
Figure 9.13	Représentation schématique d'une coupe transversale du complexe tourbeux.....	177
Figure 9.14	Représentation schématique du bilan hydrique annuel.	178
Figure 9.15	Représentation schématique du devenir de l'eau infiltrée dans l'aquifère granulaire sur une base annuelle.	178

Figure 9.16	Bilan hydrique futur (période 2041-2070) projeté sur la base des scénarios climatiques fournis par Ouranos	180
Figure 9.17	Élévation du territoire modélisée à partir des données du LIDAR	184
Figure 9.18	Cage de protection des crépines de pompage pour le prélèvement de l'eau au fleuve.....	186
Figure 9.19	Représentation schématique du réseau d'aqueduc permettant d'amener l'eau sous pression jusqu'aux champs de pommes de terre.....	187
Figure 11.1	Structure des modèles de culture STICS et Cropsyst (adaptée de Jégo G., communication personnelle).....	241

1. LÉGISLATIONS ENCADRANT LA GESTION DES COURS D'EAU AU QUÉBEC

Il est important de comprendre les encadrements législatif et réglementaire qui balisent les prélèvements en eau au Québec afin de constater la façon dont les différents usagers (agricole et industriel en particulier) sont encadrés dans les quantités d'eau qu'il leur est permis d'utiliser, surtout dans un contexte où la ressource pourrait se raréfier. La prise d'eau est possible à trois niveaux : les cours d'eau (incluant les lacs, les rivières et les fleuves), les puits (eau souterraine) et les étangs privés. Le présent chapitre présente, pour chacune de ces prises d'eau, la réglementation en vigueur et ce qu'elle permet ou ne permet pas aux différents usagers de faire. Pour bien camper l'environnement réglementaire, une première section présente un bref portrait des différentes instances gouvernementales concernées.

1.1 INSTANCES GOUVERNEMENTALES IMPLIQUÉES

Plusieurs instances gouvernementales (fédérale, provinciale et municipale) interviennent dans la gestion des cours d'eau au Québec.

GOUVERNEMENT FÉDÉRAL

Au plan fédéral, trois ministères sont impliqués dans la gestion des cours d'eau.

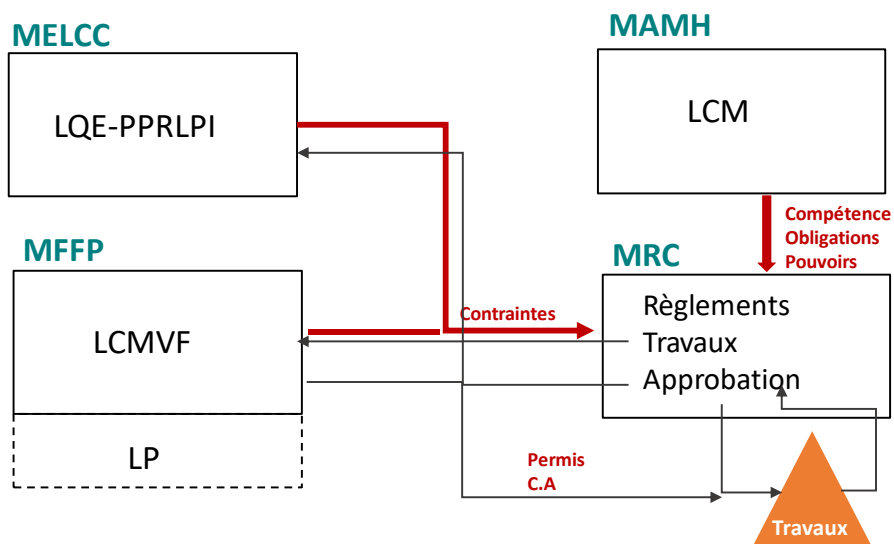
- Le **ministère des Pêches et des Océans du Canada** (MPO) a comme principal mandat de veiller à la gestion des pêches et à la protection des étendues d'eau, avec la *Loi sur les Pêches*. L'un de ses principaux objectifs est de contribuer à maintenir un environnement propre et sain ainsi que des écosystèmes aquatiques durables par l'entremise, notamment, de la protection de l'habitat.
- Le **ministère de l'Environnement et du Changement climatique du Canada** s'occupe principalement de préserver, conserver et protéger la qualité des ressources en eau au Canada.
- Le **ministère des Transports du Canada** a pour mandat de maintenir un réseau de transport sécuritaire et respectueux de l'environnement. Ces activités concernent les transports maritime, routier, ferroviaire et urbain.

GOUVERNEMENT PROVINCIAL ET MUNICIPALITÉS

À l'échelle provinciale, plusieurs ministères sont également sollicités dans la gestion des cours d'eau, en plus des MRC qui sont assujetties à ses lois et qui ont des responsabilités propres, notamment dans l'opérationnalisation des travaux dans les cours d'eau.

Le schéma de la page suivante illustre la façon dont ces différentes instances interviennent dans la gestion des cours d'eau et les réglementations qui sont sous leur responsabilité respective.

Figure 1.1
Cadre législatif entourant la gestion de l'eau au Québec



MELCC : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

LQE-PPRLPI : *Loi sur la qualité de l'environnement* — Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables

MFFP : ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

LCMVF : *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*

MAMH : ministre des Affaires municipales et de l'Habitation

LCM : *Loi sur les compétences municipales*

Source : Tiré de Robert Lagacé, ing. et agr., Ph. D. Professeur titulaire, Département des sols et de génie agroalimentaire, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Note de cours sur les aspects réglementaires et législatifs de la gestion de l'eau

- Le **ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC)** est le principal concerné avec la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE). Ses activités sont principalement le développement et la mise en œuvre de politiques, de règlements et de programmes touchant notamment à la prévention et à la réduction de la contamination de l'eau, à la qualité de l'eau potable, à l'application des lois et des règlements en matière de protection de l'environnement, à la gestion foncière et à l'intégrité du domaine hydrique du Québec (p. ex. : exploitation et surveillance des barrages).
 - En matière de gestion des cours d'eau, le MELCC s'occupe entre autres de délivrer les autorisations environnementales et les permis, de gérer les plaintes et les urgences environnementales, de faire des analyses environnementales et de fournir une expertise professionnelle et technique en matière d'environnement.
- Le **ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP)** délivre des avis fauniques pour tous les travaux sur les cours d'eau et émet des conditions à la réalisation des travaux (méthodes d'interventions et moment) dans le cadre de la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune* (LCMVF). Il interagit également avec le palier fédéral dans le cadre de la *Loi sur les pêches*.
- Le **ministre des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH)** est concerné par l'intermédiaire de la *Loi sur les compétences municipales* (LCM), qui fait le pont vers les municipalités régionales

de comté (MRC)² à qui sont dévolues des compétences, des pouvoirs et des responsabilités résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1.1
Compétence, pouvoirs et responsabilités des MRC en gestion des cours d'eau

Compétence	Pouvoirs	Responsabilités
<ul style="list-style-type: none"> À l'égard des cours d'eau à débit régulier ou intermittent, y compris ceux qui ont été créés ou modifiés par une intervention humaine, sauf exception. 	<ul style="list-style-type: none"> Adopter des règlements pour régir toute matière relative à l'écoulement des eaux d'un cours d'eau (influençant le débit), y compris les traverses, les obstructions et les nuisances. Réaliser des travaux permettant la création, l'aménagement ou l'entretien des cours d'eau. 	<ul style="list-style-type: none"> Réaliser les travaux requis pour rétablir l'écoulement normal des eaux d'un cours d'eau, lorsqu'informé de la présence d'une obstruction menaçant la sécurité des personnes/des biens. <u>Seule obligation légale</u> : assurer le libre écoulement de l'eau. <u>Aucune obligation par rapport à</u> : la conservation écologique, le maintien de la biodiversité ou la valorisation des milieux.

Source : tirée de AGRCQ. Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec, Chapitre 1 : Mise en contexte, 2017.

- Les MRC ont comme principales compétences obligatoires en vertu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU) : « d'adopter, maintenir et réviser un schéma d'aménagement et de développement (SAD), d'appliquer les règles de conformité au schéma ou au règlement de contrôle intérimaire (RCI) à l'égard des plans et règlements d'urbanisme locaux et à l'égard des interventions gouvernementales et d'adopter les règlements d'urbanisme pour les territoires non organisés (TNO)³ ».
- Également, en vertu de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) du MELCC révisée en 2014, elles ont la responsabilité d'appliquer les règles en matière de protection des rives. Lorsqu'une entente est conclue avec une MRC par rapport à la gestion des cours d'eau, la municipalité peut aussi être responsable de la délivrance des permis et des autorisations prévues par la réglementation de la MRC.
- Notons que le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) n'intervient pas comme tel au plan réglementaire, mais soutient la gestion des cours d'eau en milieu agricole par l'entremise de ses politiques agroenvironnementales et de protection de la qualité de l'eau. Mentionnons notamment que le programme de remboursement des taxes

² Créées en 1979 à la suite de l'adoption de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU).

³ Partie du territoire du Québec qui n'est pas celui d'une municipalité locale.

⁴ Le MELCC a instauré la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) en 1987 et l'a, par la suite, révisée à plusieurs reprises (1991, 1996, 2005, 2008 et 2014).

foncières agricoles, géré par le MAPAQ, rembourse une partie des frais liés aux travaux d'entretien des cours d'eau⁵.



Jusqu'à récemment, la définition d'un « cours d'eau » n'était pas nécessairement homogène selon les réglementations ou palier réglementaire, pouvant susciter des enjeux d'interprétation entre les intervenants. Depuis 2015, des définitions similaires sont utilisées dans la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (transcrite dans les SAD des MRC et les règlements d'urbanismes des municipalités) ainsi que dans la *Loi sur les compétences municipales*⁶. On définit généralement un cours d'eau par exclusion dans les réglementations (sauf fossés de voies publiques ou privées, mitoyens et de drainage). Toutefois, certaines exemptions s'appliquent (p. ex. : portion d'un cours d'eau qui sert de fossé) et demeurent de la compétence des MRC et non des producteurs agricoles comme le sont la plupart des autres fossés. Notons que dans le REA, les cours d'eau sont définis par une aire d'écoulement supérieure à 2 m².

1.2 LOIS ENCADRANT LES PRÉLÈVEMENTS EN EAU

Une série de lois et règlements intervient pour baliser les prélèvements en eau. Ces prélèvements réfèrent au sens légal à « toute action de prendre de l'eau de surface ou de l'eau souterraine par quelque moyen que ce soit » (LQE, art. 31.74). **Les entreprises alimentées par un réseau d'aqueduc en sont exclues.**

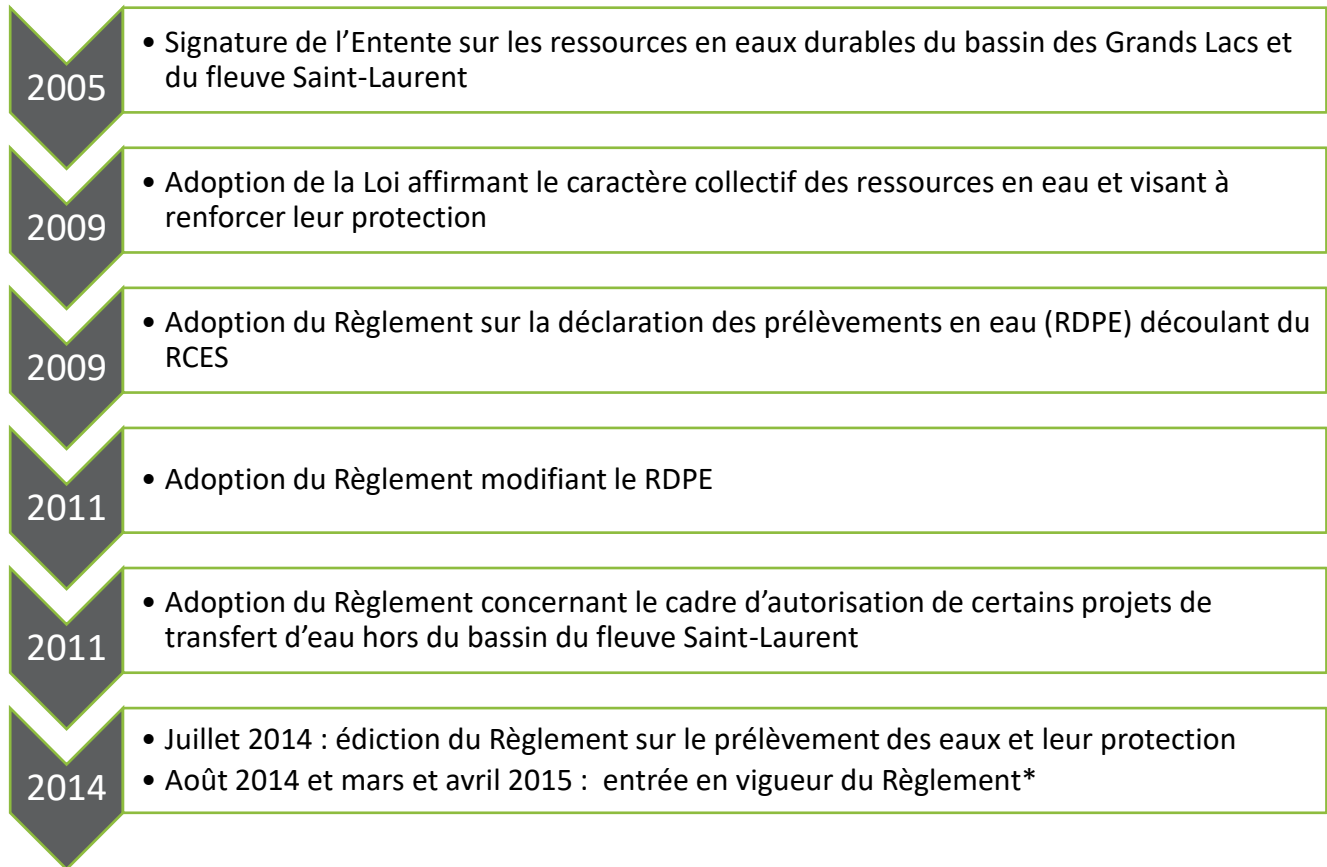
La Figure 1.2 présente l'historique du régime de protection et de gestion des ressources en eau implanté au Québec au cours des années 2000. Chaque entente, loi et règlement est approfondi au cours de cette section. Une importante refonte de l'encadrement réglementaire a débuté en 2009, visant à simplifier et à optimiser la gestion de l'eau au Québec. Par ailleurs, elle avait aussi l'objectif de mieux couvrir sa gestion sur le plan de la quantité, alors que les aspects qualitatifs avaient été les enjeux dominant la structure législative depuis les années 1970⁷.

⁵ Le MAPAQ finance divers programmes et accompagne la mise en place d'interventions chez les entreprises agricoles permettant de réduire les répercussions de l'agriculture sur la qualité de l'eau en rivière. Soulignons le développement d'outils, de conseil et la démonstration de bonnes pratiques concernant la gestion de la fertilisation et des pesticides (programme service-conseil), l'entreposage étanche des engrais organiques, la conservation des sols et la biodiversité (programme Prime-vert).

⁶ Élisabeth Bussièrès, MELCC, décembre 2017.

⁷ Communication personnelle, 24 novembre 2017, Michel Ouellet, Direction de l'eau potable et des eaux souterraines, Direction générale des politiques de l'eau, MELCC.

Figure 1.2
Historique du régime encadrant les prélèvements en eau au Québec



* Les articles 11 à 30 sont entrés en vigueur le 2 mars 2015 et les articles 68 et 75 sont entrés en vigueur le 1^{er} avril 2015.

GLOSSAIRE DES TERMES UTILISÉS DANS LES RÉGLEMENTATIONS SUR LES PRÉLÈVEMENTS D'EAU

- **Préleveur** (RDPE, art.2) : entreprise qui possède un ou des établissements d'un ou de plusieurs sites de prélèvements d'eau.
- **Établissement** : lieu où s'effectue une activité économique. Les établissements dont les activités sont connexes ou complémentaires et qui relèvent d'un même préleveur sont reconnus comme faisant partie d'un même établissement.
 - Plusieurs établissements peuvent être rattachés à un préleveur. Par exemple, un préleveur qui est propriétaire de 4 fermes (4 établissements), équipées chacune de 2 sites de prélèvement, possède 8 sites de prélèvements d'eau.
- **Site de prélèvement d'eau** (art.2 RDPE) : lieu d'entrée de l'eau dans un ouvrage aménagé par l'homme afin d'effectuer un prélèvement.
 - 2 types de sites de prélèvement
 - **Prélèvements d'eau souterraine** : endroit où se trouve le puits (puits tubulaires, puits de surface, pointe filtrante, source à drains horizontaux, source à bassin unique).
 - **Prélèvements d'eau de surface** : endroit où s'exerce le prélèvement (ouverture de la conduite aménagée dans une rivière, un lac ou un fleuve, sous la forme d'un fossé ou d'un canal de dérivation ou encore d'un tuyau).
- **Capacité de prélèvement** : capacité maximale théorique de prélèvement durant 24 h. Chaque site possède sa propre capacité.
- **Consommation d'eau** (LQE, art. 31.89) : la quantité d'eau prélevée ou retenue du bassin versant et qui est perdue ou non retournée au bassin en raison de son évaporation, de son intégration à un produit ou pour toute autre raison.
- **Transfert d'eau** : l'action de transporter de l'eau en vrac du bassin du fleuve Saint-Laurent vers un autre bassin, quel que soit le moyen utilisé (aqueduc, pipeline, conduite ou toute autre canalisation, véhicule-citerne, etc.).

ENTENTE SUR LES RESSOURCES EN EAUX DURABLES DU BASSIN DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT

L'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent a été signée en décembre 2005 par le Québec, l'Ontario et les 8 États américains qui bordent les Grands Lacs (New York, Michigan, Illinois, Minnesota, Pennsylvanie, Ohio, Wisconsin et Indiana)⁸. Elle dicte des règles communes visant à préserver les eaux du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent et à en faire une gestion durable. Dans le cadre de cette entente, les signataires se sont engagés à adopter des mesures législatives et réglementaires permettant la mise en œuvre de l'entente et interdisant notamment les transferts d'eau vers l'extérieur du bassin. C'est dans ce contexte que le Québec a adopté la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection en 2009.

LOI AFFIRMANT LE CARACTÈRE COLLECTIF DES RESSOURCES EN EAU ET VISANT À RENFORCER LEUR PROTECTION (LOI SUR L'EAU)

Adoptée en juin 2009, la *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection* confirme le statut juridique de l'eau (de surface et souterraine) à titre de ressource collective pour les Québécois, et définit les règles de gouvernance de l'eau à l'échelle des unités hydrographiques désignées par le MELCC.

- En outre, cette loi établit un nouveau régime d'autorisation pour les prélèvements d'eau qui renforce la protection des ressources en eau. Cette dernière reconnaît notamment « la nécessité de satisfaire en priorité les besoins de la population et de concilier ensuite les besoins des écosystèmes et des activités à caractère économique ». Cette loi limite la période de validité des prélèvements d'eau à 10 ans (sauf exception) et donne au ministère le « pouvoir de limiter et de faire cesser tout prélèvement d'eau qui présente un risque sérieux pour la santé publique ou pour les écosystèmes aquatiques, sans indemnités de la part de l'État »⁹.
- Comme mentionné, la *Loi sur l'eau* rend également possible l'application de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent¹⁰.

Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)

Le RPEP a été édicté en juillet 2014. Il est entré en vigueur de façon progressive en août 2014 et en 2015¹¹. Il remplace le Règlement sur le captage des eaux souterraines (RCES). Précisons que bien que

⁸ L'annexe 1 présente la délimitation du bassin du fleuve Saint-Laurent. Le bassin du fleuve Saint-Laurent correspond à la « partie du territoire du Québec dont les eaux convergent vers le fleuve Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières, c'est-à-dire la section du fleuve qui s'étend de Cornwall à l'ouest jusqu'à la fin du lac Saint-Pierre dans la région de Trois-Rivières à l'est, excluant le bassin de la rivière Saint-Maurice et de la rivière Bécancour et la partie aval du fleuve, soumise à l'influence des marées. Des cartes précisent également si les sites de prélèvement sont situés à l'intérieur ou à l'extérieur de ce bassin » (MELCC. Guide de soutien aux entreprises agricoles pour l'application du Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau, juillet 2015, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-applicationRDPE-entreprises-agricoles.pdf>).

⁹ MELCC. *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*. Adoptée le 11 juin 2009, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/protection/index.htm>

¹⁰ ÉDITEUR OFFICIEL DU QUÉBEC. *Projet de loi n° 27 (2009, chapitre 21), Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*, <http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=5&file=2009C21F.PDF>

¹¹ Les articles 11 à 30 sont entrés en vigueur le 2 mars 2015 et les articles 68 et 75 sont entrés en vigueur le 1^{er} avril 2015.

plusieurs dispositions incluses dans le RCES aient été reconduites dans le RPEP, certains nouveaux concepts et quelques nuances ont également été introduits¹².

Prélèvements visés par le RPEP¹³ :

- En vertu de l'article 31.75 de la LQE, seuls les prélèvements d'eau de plus de 75 000 litres par jour¹⁴ (actuels ou futurs) doivent obtenir une autorisation du MELCC (certaines exclusions s'appliquent)¹⁵. Selon l'article 3 du RPEP, la quantité de 75 000 litres par jour est calculée à partir du principe que « les prélèvements d'eau effectués à chacun des sites de prélèvements qui sont reliés à un même établissement, à une même installation ou à un même système d'aqueduc » constituent un seul prélèvement.



Les entreprises agricoles sont assujetties à ce nouveau régime d'autorisation. Il importe toutefois de préciser que la plupart des élevages d'animaux ne sont pas touchés par le règlement, leurs prélèvements étant inférieurs à 75 000 litres par jour (sauf les piscicultures qui prélèvent des volumes quotidiens importants). Plusieurs entreprises produisant des produits végétaux, et notamment celles pratiquant l'irrigation, y sont toutefois assujetties.

- Selon l'article 33 de la Loi sur l'eau, tous les prélèvements d'eau qui ont débuté avant le 14 août 2014 sont considérés comme « autorisés », c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas de demande d'autorisation jusqu'à l'échéance de leur période de validité. Cette dernière varie entre 10 et 15 ans, selon le volume moyen prélevé (article 102, RPEP)¹⁶. Les préleveurs « autorisés » devront ainsi renouveler leur autorisation entre 2024 (préleveurs importants titulaires d'une attestation d'assainissement) et 2029 (petits préleveurs : volume moyen prélevé de moins de 200 000 litres par jour et préleveurs aquacoles¹⁷).

¹² Par exemple, pour les eaux souterraines, les prélèvements à des fins de géothermie sont visés. Les puits doivent également être entretenus (couverture, finition et repère visuel) sinon ils doivent être obturés conformément au règlement.

¹³ À noter que lors de l'entrée en vigueur de la nouvelle Loi n° 102 intitulée « *Loi modifiant la Loi sur la qualité de l'environnement afin de moderniser le régime d'autorisation environnementale et modifiant d'autres dispositions législatives notamment pour réformer la gouvernance du Fonds vert* » le 23 mars 2018, les prélèvements d'eau seront autorisés en vertu de l'article 22 (régime d'autorisation) au lieu de l'article 31.75 de la LQE.

¹⁴ Représente en équivalence plus ou moins 1 po d'eau sur 0,3 hectare. Soulignons que le calcul de prélèvement moyen est basé en fonction de la période de 90 jours pendant lesquels les prélèvements sont les plus importants (art. 3 RPEP)

¹⁵ Exclusions : prélèvement de tout volume effectué à des fins de consommation humaine pour desservir un campement industriel temporaire alimentant plus de 80 personnes lorsque ce campement est assujéti à l'autorisation prévue à l'article 32 de la LQE; et prélèvement d'eau effectué à des fins de consommation humaine pour desservir tout autre établissement, installation ou système d'aqueduc alimentant plus de 20 personnes.

¹⁶ 2015 : préleveur dont le volume moyen par jour est égal ou supérieur à 5 000 000 litres, 2026 : préleveur dont le volume moyen par jour est égal ou supérieur à 1 500 000 litres et inférieur à 5 000 000 litres, 2027 : préleveur dont le volume moyen par jour est égal ou supérieur à 600 000 litres et inférieur à 1 500 000 litres, 2028 : préleveur dont le volume moyen par jour est égal ou supérieur à 200 000 litres et inférieur à 600 000 litres.

¹⁷ Préleveur exploitant un site aquacole en milieu terrestre qui, pour chaque tonne de production annuelle, prélève un volume d'eau égal ou inférieur à 20 000 litres par heure et est autorisé, en vertu d'un certificat, à produire un rejet annuel de phosphore, dans ses effluents, égal ou inférieur à 4,2 kg par tonne de production.

- Une augmentation au prélèvement autorisé (volume journalier maximum prélevé et nombre de personnes desservies) avant la date d'échéance de la période de validité du prélèvement nécessite une demande d'autorisation immédiate.
- Le nouveau régime d'autorisation s'applique aux prélèvements d'eau de surface et aux prélèvements d'eau souterraine, sous réserve des exceptions prévues à l'article 6 du RPEP qui y sont soustraites. Parmi celles-ci figurent :
 - Un prélèvement d'eau effectué au moyen d'un fossé, d'un drain ou d'un égout aménagé pour recueillir les eaux de ruissellement ou pour rabattre les eaux souterraines, selon le cas (art.6 [1]) :
 - a) le fossé, le drain ou l'égout est aménagé à plus de 30 m d'un étang autre qu'un étang d'irrigation, d'un marais, d'un marécage ou d'une tourbière;
 - b) le prélèvement est destiné à la mise en culture de terre noire, à l'exploitation de la tourbe, au drainage d'une voie publique ou privée ou au drainage d'un bâtiment.
 - Un prélèvement d'eau effectué à même un étang d'irrigation alimenté par l'infiltration d'eau souterraine ou par des eaux de ruissellement, si un certain nombre de conditions sont respectées (art. 6 [3])¹⁸.

Le Tableau 1.2 montre quelques cas de prélèvements agricoles qui sont assujettis à une autorisation ministérielle. De façon générale, seuls les prélèvements de plus de 75 000 litres par jour réalisés par l'entremise d'un puits, d'une rivière ou d'un lac doivent obtenir une autorisation du ministre. Ceux de moins de 75 000 litres ne sont assujettis à aucune autorisation ministérielle, toutefois les travaux d'aménagement réalisés sur ces cours doivent obtenir une autorisation municipale.

¹⁸ Ces conditions sont :

- a) l'étang d'irrigation est d'origine anthropique (artificiel);
- b) la profondeur de l'étang d'irrigation n'excède pas 6 m;
- c) l'étang d'irrigation est aménagé à plus de 30 m d'un étang autre qu'un étang d'irrigation, d'un marais, d'un marécage, d'une tourbière, d'un lac ou d'un cours d'eau;
- d) l'étang d'irrigation est aménagé à plus de 100 m d'un site de prélèvement d'eau souterraine effectué sur une propriété voisine à des fins de consommation humaine;
- e) le prélèvement d'eau n'est pas effectué pour inonder un terrain à des fins de récolte;
- f) le prélèvement d'eau est effectué à l'extérieur du bassin du fleuve Saint-Laurent décrit à l'article 31.89 de la LQE ou, s'il est effectué à l'intérieur de ce bassin, il n'excède pas un volume moyen de 379 000 litres par jour.

Tableau 1.2
Exemples d'autorisation de prélèvements agricoles

Types de prélèvement	Autorisation requise
Puits	Prélèvement > 75 000 L par jour : autorisation ministérielle requise Prélèvement < 75 000 L par jour : autorisation municipale requise pour les travaux d'aménagement
Rivière ou lac	Prélèvement > 75 000 L par jour : autorisation ministérielle requise même s'il n'y a pas de pompe Prélèvement < 75 000 L par jour : autorisation municipale requise pour les travaux d'aménagement <i>Remarque : Certains prélèvements réalisés à d'autres fins qu'agricoles nécessitent une autorisation ministérielle pour les travaux d'aménagement.</i>
Bassin étanche	Seulement le 1 ^{er} prélèvement dans l'environnement est assujéti à une autorisation . Un bassin étanche de 75 000 L est généralement approvisionné en eau de surface ou souterraine.
Étang d'irrigation	Bassin d'irrigation alimenté par l'infiltration d'eau souterraine ou par des eaux de ruissellement non assujéti à une autorisation s'il respecte certaines conditions (art. 6 [3])
Drainage (fossés ou drains)	Prélèvement réalisé avec un fossé, un drain ou un égout pour recueillir les eaux de ruissellement non assujéti à une autorisation s'il respecte certaines conditions (art. 6 [3])

Source : MELCC (2015).

- Dans le cadre du RPEP, le ministre peut, lorsqu'il délivre, renouvelle ou modifie une autorisation, prescrire toute condition, restriction ou interdiction qu'il estime indiquée (art. 31.79 et 31.80, LQE).
 - Celles-ci incluent la provenance, la quantité prélevée, la quantité et la qualité rejetée, les installations, les ouvrages et les travaux nécessaires, les usages de l'eau, les mesures de protection de l'environnement, les mesures d'économie d'eau et les mesures de mitigation¹⁹.
 - Précisons que selon l'article 31.77 de la LQE, les décisions prises par le ministre prennent en compte les répercussions environnementales des prélèvements à court, à moyen et à long terme. Ainsi, le ministre pourrait théoriquement refuser ou assujettir de conditions un prélèvement qui s'avère actuellement non problématique, mais qui le deviendrait dans un futur proche (p. ex. : étiage plus fréquent).

¹⁹ MELCC. Tout préleveur doit tenir à jour un registre qui contient les renseignements requis pour la déclaration annuelle, 17 février 2015, https://www.agrireseau.net/documents/Document_89547.pdf



Le MELCC travaille actuellement à développer des outils pour calculer des impacts cumulatifs dans le cadre des autorisations (art. 31.75). Il finance notamment des projets de recherche pour l'outiller dans sa prise de décision (p. ex. : choix d'indice hydrologique approprié au contexte hydrologique et climatique du Québec). En ce moment, la norme du MFFP, et plus précisément la notion du 15 % du débit d'étiage $Q_{2,7}$ (voir encart), est utilisée pour évaluer les répercussions des prélèvements. Cette base de calcul est issue de l'article 17 du Règlement sur les habitats fauniques (Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune) qui stipule que « le prélèvement ne peut excéder 15 % du débit du cours d'eau à l'endroit où le prélèvement est effectué »²⁰.

DÉBIT D'ÉTIAGE ($Q_{2,7}$)

- **Définition** : baisse périodique des eaux d'un « cours d'eau » ou comme « le plus bas niveau des eaux » (Larousse, 2017). Il correspond à la période de l'année où le niveau d'un cours d'eau atteint son point le plus bas (basses eaux ou en période de sécheresse).
 - Au Québec, l'hiver est une saison propice aux étiages puisque les « précipitations solides s'accumulent en surface sans atteindre le réseau de drainage ni la nappe d'eau souterraine »²¹. Lorsque les précipitations sont rares sur une période prolongée, on observe également des étiages en été ou au début de l'automne.
- Parmi les dossiers qui prennent en compte ce calcul, mentionnons la gestion des eaux retenues par des barrages dans les lacs et les réservoirs, le détournement de cours d'eau, l'approvisionnement des villes en eau potable, l'irrigation, les piscicultures et le traitement des eaux usées.
- Le MELCC utilise 3 variables pour définir les débits d'étiage :
 - $Q_{2,7}$: Débit d'étiage de récurrence de 2 ans sur 7 jours consécutifs
 - $Q_{10,7}$: Débit d'étiage de récurrence de 10 ans sur 7 jours consécutifs
 - $Q_{5,30}$: Débit d'étiage de récurrence de 5 ans sur 30 jours consécutifs

DÉBIT ÉCOLOGIQUE OU RÉSERVÉ

- **Définition** : « débit minimum requis pour maintenir une quantité et une qualité suffisantes d'habitats pouvant assurer le déroulement normal des activités biologiques des espèces de poisson qui accomplissent, en tout ou en partie, leur cycle vital dans le ou les tronçons perturbés »²².

Nouveautés pour les agriculteurs en lien avec les mesures de protection du RPEP

- Le RPEP comporte plusieurs nouveautés pour les agriculteurs.
 - Parmi celles-ci figure la nécessité de réaliser une étude de l'incidence économique sur les activités agricoles (par la municipalité) des nouveaux prélèvements d'eau. À cet effet, un programme de soutien technique et financier sera implanté à l'intention des municipalités

²⁰ Judith Kirby, Direction de la gestion intégrée de l'eau, décembre 2017.

²¹ MELCC. Lignes directrices pour l'estimation des débits d'étiage sur le territoire québécois, <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/methode/>

²² BAPE. Débit écologique, http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/riviere_ouiatchouan_val-jalbert/documents/DA18.pdf

pour réaliser des analyses de vulnérabilité, mais également pour compenser les pertes potentielles de revenus des producteurs agricoles.

- Les autres nouveautés touchent essentiellement des normes liées à la qualité de l'eau et plus précisément à l'épandage, aux distances séparatrices et à la localisation des bâtiments d'élevage et des ouvrages de stockage. Dans le cadre du RPEP, les éléments suivants s'appliquent :
 - « L'épandage est maintenant permis à plus de 100 mètres du site de prélèvement d'eau souterraine s'il s'agit d'une aire de vulnérabilité moyenne^{23,24}. L'épandage est toujours permis à partir de 30 mètres dans une aire de vulnérabilité faible²⁵.
 - La distance séparatrice de 300 mètres est abolie entre un puits et les amas au champ (stockage de déjections animales ou de compost) lorsqu'il s'agit d'une aire de vulnérabilité faible.
 - Un bâtiment d'élevage d'animaux et un ouvrage de stockage sont maintenant permis à plus de 100 mètres d'un site de prélèvement d'eau souterraine si l'étanchéité est attestée par un professionnel, et ce, même dans les aires de vulnérabilité moyenne ou élevée²⁶.
 - Les municipalités n'ont plus la possibilité de réglementer l'épandage de matières fertilisantes azotées lorsque le seuil de 5 mg/l dans l'eau potable est excédé dans l'eau souterraine. Dans les cas où ce seuil serait dépassé, l'épandage de matières fertilisantes azotées devrait être effectué sur recommandation d'un professionnel.
 - Il est maintenant interdit d'épandre des matières fertilisantes à moins de 500 mètres en amont et à 50 mètres en aval d'un site de prélèvement d'eau de surface situé en rivièrre sur une bande de terre de 10 mètres le long des berges »²⁷.

LOI SUR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (LQE) (RLRQ, c. Q-2)

Plusieurs règlements encadrant les prélèvements en eau découlent de la LQE.

- La LQE a été adoptée en 1972 pour protéger l'environnement. Elle définit notamment les dispositions qui traitent de la contamination, de la protection des ressources en eau, du traitement de l'eau et de la gestion des matières résiduelles ou dangereuses. Elle dicte également les procédures d'évaluation des répercussions des projets d'envergure. Elle intervient autant sur des aspects de gestion des cours d'eau que pour encadrer les prélèvements.

²³ Les aires de protection et de vulnérabilité des eaux souterraines sont documentées en annexe 2.

²⁴ Indice DRASTIC entre 100 et 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection.

²⁵ Indice DRASTIC < 100, sur l'ensemble de l'aire de protection.

²⁶ Indice DRASTIC > 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection.

²⁷ MELCC. Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) – Fiche technique, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/ficheTechnique.pdf>

Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau (RDPE)

- Adopté en août 2009, puis modifié en 2011, le RDPE établit les exigences relatives au suivi et à la déclaration des quantités d'eau prélevées au Québec. Il vise notamment à répondre aux exigences de l'Entente sur les ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Dans le cadre de ce règlement, 3 types de déclarations de prélèvements sont exigées :
 - **Déclaration générale annuelle** : tous les premiers préleveurs²⁸ de plus de 75 000 litres par jour situés sur tout le territoire du Québec doivent déclarer les volumes prélevés l'année précédente tous les 31 mars.
 - Les prélèvements agricoles destinés à des fins agricoles et piscicoles ne sont pas visés par la déclaration générale annuelle, dans la mesure où ils ont lieu en totalité à l'extérieur du bassin du fleuve Saint-Laurent (article 3, al.3).
 - **Déclaration initiale sur le territoire de l'Entente** : tous les premiers préleveurs qui ont l'autorisation ou la capacité de prélever 379 000 litres ou plus d'eau par jour (tous secteurs d'activités confondus incluant agricole) doivent déclarer les volumes prélevés et la capacité des équipements au MELCC.
 - **Déclaration annuelle spécifique au territoire de l'Entente** : vise tous les premiers préleveurs qui ont une capacité nominale de prélèvement égale ou supérieure à 379 000 litres par jour ainsi que tout prélèvement d'eau destiné à un transfert à l'extérieur du territoire de l'entente (peu importe le volume). En complément à la déclaration générale, cette déclaration, requise depuis le 31 mars 2013 pour les prélèvements d'eau de tous les secteurs d'activités effectués en 2012 (sauf pour ceux des secteurs agricole et piscicole dont les déclarations sont requises depuis 2016 [pour 2015]), ajoute les volumes de consommation, les transferts hors bassin et les retours d'eau au milieu lorsqu'il y a un transfert d'eau.

Entreprises agricoles dont les prélèvements en eau sont à déclaration obligatoire

- Seules les entreprises qui possèdent un ou des sites de prélèvements d'eau sur le site du territoire de l'Entente et qui ont une capacité cumulée de prélèvement d'eau égale ou supérieure à 379 000 litres par jour. Toutes les autres entreprises sont exclues de l'obligation.
 - Rappelons que les entreprises les plus susceptibles de prélever des quantités importantes d'eau sont les entreprises de productions végétales qui irriguent leurs cultures et les piscicultures.

Prélèvements visés par le RDPE

- Prélèvements d'eaux de surface, y compris le stockage ou le pompage à partir d'un drain ou d'un fossé
- Prélèvements d'eaux souterraines

²⁸ Industries, commerces et institutions qui sont alimentés par un réseau d'aqueduc municipal ainsi que les municipalités qui effectuent des prélèvements pour alimenter leur système d'aqueduc.

- Eau pompée d'un étang ou d'un bassin, sans aucun lien avec les eaux souterraines
- Étangs ou bassins alimentés totalement ou partiellement par les eaux souterraines

« Dans le cas où l'eau est prélevée d'un étang ou d'un bassin ayant un lien avec les eaux souterraines (non étanche), les prélèvements ne demanderont ni mesure ni estimation, mais uniquement une déclaration du volume nominal de l'étang ou du bassin en question, c'est-à-dire la capacité totale de l'étang ou du bassin (art.18.5 RDPE) »²⁹.

Prélèvements d'eau non visés par le RDPE (aucune déclaration obligatoire)

- Eau destinée à être stockée (non utilisée) dans un étang ou un bassin, s'il est alimenté uniquement par le ruissellement de surface, sans alimentation par la nappe phréatique (étanche) ni par un système de drainage de surface (fossés)
- Prélèvements d'eau d'aqueduc

Calcul du seuil de prélèvement

- Le seuil de prélèvement correspond à la somme de prélèvements effectués dans un mois de calendrier à tous les sites de prélèvement, divisée par le nombre de jours de prélèvement dans le mois.
 - C'est la capacité cumulée des sites de prélèvements d'eau de l'entreprise qui est utilisée pour déterminer si sa capacité de prélèvement est supérieure à 379 000 litres par jour. L'entreprise est assujettie, peu importe son prélèvement réel.
 - Les capacités maximales quotidiennes (théorique durant 24 h) de tous les sites de prélèvement d'eau de l'entreprise doivent être additionnées.
 - Les sites de prélèvement situés à l'extérieur du territoire de l'entente ne doivent pas être considérés.
 - Le préleveur doit faire une déclaration au MDDEPC dès que le seuil est atteint pour un mois durant l'année.

Mesure et estimation des prélèvements d'eau

- Selon le RDPE, les producteurs agricoles visés par l'obligation de réaliser une déclaration annuelle doivent fournir des renseignements mensuels pour tous les prélèvements d'eau de chacun de leurs sites de prélèvement³⁰ et tenir à jour un registre qui contient les renseignements requis pour la déclaration annuelle.

²⁹ MELCC. Guide de soutien aux entreprises agricoles pour l'application du Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau, juillet 2015, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-applicationRDPE-entreprises-agricoles.pdf>

³⁰ La mesure peut être réalisée par l'entremise d'un appareil de mesures (compteur d'eau ou débitmètre). Elle peut également être estimée pour les sites non munis d'un outil de mesure. Dans ce cas, les méthodes approuvées par le MELCC doivent être utilisées (p. ex. : mesure du temps de remplissage d'étangs ou rendement théorique de la pompe). De plus, les estimations doivent être approuvées par un expert et ne peuvent pas dépasser une marge d'erreur de 25 %.

Règlement concernant le cadre d'autorisation de certains projets de transfert d'eau hors du bassin du fleuve Saint-Laurent

Ce Règlement, adopté en juin 2011, vise à appliquer l'interdiction des transferts d'eau à l'extérieur du bassin du fleuve Saint-Laurent. Il précise également, pour certains cas d'exception précis³¹, le cadre des autorisations qui peuvent être accordées par le ministre, en vertu de la Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection.

Règlement sur la redevance exigible pour l'utilisation de l'eau

Adopté le 1^{er} décembre 2010, le Règlement sur la redevance exigible pour l'utilisation de l'eau vise à « établir une redevance pour l'utilisation de l'eau dans certains secteurs afin de favoriser la protection et la mise en valeur de cette ressource, et de la conserver en qualité et en quantité suffisante dans une perspective de développement durable »³².

- Industries visées : celles qui « prélèvent ou utilisent plus de 75 m³ d'eau par jour, directement de la ressource ou à partir d'un système de distribution d'eau »
- Taux de redevance pour certaines industries en particulier : 0,07 \$ par m³ d'eau utilisé
 - Production d'eau en bouteilles ou dans d'autres contenants (destinée à la consommation humaine ou non)
 - Fabrication de boissons (code SCIAN 3121)
 - Fabrication de produits minéraux non métalliques (code SCIAN 327) (si eau incorporée au produit)
 - Fabrication de pesticides, d'engrais et d'autres produits chimiques agricoles (code SCIAN 3253) (si eau incorporée au produit)
 - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base (code SCIAN 32518) (si eau incorporée au produit)
 - Extraction de pétrole et de gaz (code SCIAN 211)
- Taux de redevance pour les autres industries : 0,0025 \$ par m³ d'eau utilisé³³

1.3 LOIS RELATIVES À LA GESTION (ENTRETIEN ET AMÉNAGEMENT) DES COURS D'EAU

Cette section présente certains encadrements réglementaires relatifs aux interventions (p. ex. : création, entretien ou aménagement des cours d'eau) et infrastructures (p. ex. : micro-barrages) permises sur les cours d'eau. En effet, certains de ces règlements peuvent nuire à la mise en place de solutions qui permettraient à certains usagers, par exemple, de pomper de l'eau dans les cours d'eau pour réguler, au besoin, leur approvisionnement en eau.

³¹ Précisons que les exceptions visent uniquement l'approvisionnement en eau potable et les municipalités locales qui chevauchent la ligne de partage des eaux du bassin ainsi que les municipalités locales situées à l'extérieur du bassin, mais incluses dans une MRC qui chevauche la ligne de partage des eaux.

³² MELCC. La gestion des prélèvements d'eau, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/index.htm>

³³ MLECC. Règlement sur la redevance exigible pour l'utilisation de l'eau, Faits saillants, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/redevance/faits-saillants.pdf>

GLOSSAIRE DES TERMES UTILISÉS DANS LES LOIS RELATIVES À LA GESTION DES COURS D'EAU³⁴

- **Aménagement d'un cours d'eau** : toute intervention qui affecte ou modifie la géométrie, le fond, les talus d'un cours d'eau en milieu agricole qui n'a pas déjà fait l'objet d'un aménagement dans le cadre d'un programme gouvernemental *ou* toute intervention sur un cours d'eau en milieu agricole qui a déjà été aménagé à des fins de drainage des terres et qui consiste notamment, à approfondir à nouveau le fond du cours d'eau, à modifier son tracé, à le canaliser ou à aménager des ouvrages de retenue tels que seuil en rampe, barrage et déflecteur.
- **Cours d'eau** : toute masse d'eau qui s'écoule dans un lit avec un débit régulier ou intermittent, y compris les cours d'eau qui ont été créés ou modifiés par une intervention humaine, à l'exception du fossé de voie publique ou privée, du fossé mitoyen et du fossé de drainage.
 - **À débit régulier** : cours d'eau qui coule en toute saison, pendant les périodes de forte pluviosité comme pendant les périodes de faible pluviosité ou de sécheresse.
 - **À débit intermittent** : cours d'eau ou partie d'un cours d'eau dont l'écoulement dépend directement des précipitations et dont le lit est complètement à sec à certaines périodes.
- **Entretien d'un cours d'eau** : intervention sur un cours d'eau ayant déjà fait l'objet d'un aménagement qui consiste à enlever, par creusage, des sédiments accumulés au fond du cours d'eau afin de le ramener à son niveau de conception au moment de son aménagement. À cela s'ajoutent la stabilisation des sorties de drains, des fossés, des extrémités des ponceaux ainsi que l'aménagement de fosses temporaires à sédiments, et si requis, la stabilisation de la base des talus et le retalutage en pente plus faible.
- **Fossé de voie publique ou privée** : dépression en long creusée dans le sol, servant exclusivement à drainer une voie publique ou privée.
- **Fossé mitoyen** : dépression servant de ligne séparatrice entre voisins.
- **Fossé de drainage** : dépression en long creusée dans le sol et utilisée aux seules fins de drainage et d'irrigation, qui n'existe qu'en raison d'une intervention humaine et dont la superficie du bassin versant est inférieure à 100 hectares.
- **Littoral** : tel qu'il est défini dans la PPRLP, le littoral est cette partie des lacs et des cours d'eau qui s'étend à partir de la ligne des hautes eaux vers le centre du plan d'eau.

1.3.1 LOIS FÉDÉRALES

La législation fédérale intervient à plusieurs niveaux dans la gestion des cours d'eau. Une MRC ou un promoteur peut ainsi être assujéti à certaines réglementations fédérales (*Loi sur les pêches* [LP], *Loi*

³⁴ MELCC. Guide d'interprétation – Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, chapitre 10 : Les lois et règlements, 2007, <http://www.coursdeauagricoles.ca/pdf-chapitre/10-lois-reglements.pdf>

sur les espèces en péril [LEP], Loi canadienne sur la protection de l'environnement [LCPE], *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* [LCEE] et la *Loi sur la protection de la navigation* [LPN]. Cette section s'attarde aux principales, soit la LP, la LEP et la LPN.

Soulignons notamment qu'en vertu de la ***Loi des Pêches, administrée par Pêches et Océans Canada, les travaux d'entretien ou d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles sont assujettis à un examen***. À titre d'exemple, les projets visant « l'enlèvement partiel ou complet par creusage des sédiments accumulés sur le lit du cours d'eau, la stabilisation des sorties de drains, des fossés, des extrémités des ponceaux, l'aménagement de fosses temporaires à sédiments, la stabilisation de la base des talus et le retalutage en pente plus faible »³⁵ doivent être examinés par le MPO parce qu'ils présentent un risque de causer des dommages aux poissons et à leur habitat.

- Les agents de protection de la faune du MFFP ont le pouvoir de faire appliquer la *Loi sur les pêches*.

En juin 2018, le gouvernement du Canada a adopté le projet de loi C-68 visant à modifier la *Loi sur les pêches*³⁶. Ce dernier réinstaure notamment les protections sur le poisson et son habitat enlevées lors des modifications législatives de 2012. De façon plus précise, il remplace le concept de « dommages sérieux » par celui de « détérioration, destruction ou perturbation de l'habitat du poisson » qui prévalait antérieurement. Il élargit également le concept d'« habitat » à celui de toutes les eaux où vit le poisson³⁷.

1.3.2 LOIS PROVINCIALES

Plusieurs lois et règlements encadrent la gestion des cours d'eau au Québec. Cette section présente les grandes lignes des principales réglementations.

LOI SUR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (LQE) (RLRQ, c. Q-2)

La LQE (présentée ci-haut) concerne non seulement les prélèvements en eau, mais également les interventions et infrastructures qui peuvent être réalisées sur les cours d'eau.


- Selon l'article 22 de la LQE, tous projets, travaux ou activités susceptibles de nuire à l'environnement ou de modifier sa qualité sont assujettis à l'obtention d'un certificat d'autorisation (CA). Ceux réalisés dans un cours d'eau à débit régulier ou intermittent, un lac, un marais, un marécage, un étang ou une tourbière sont inclus dans cette obligation.

³⁵ MPO. Guide de bonnes pratiques pour les travaux d'entretien de cours d'eau à des fins agricoles, 1^{er} avril 2014, <http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2012/02/Guide-MPO-entretien-cours-deau-agricoles-2014.pdf>

³⁶ Gouvernement du Canada. Amendements au projet de loi, <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/conservation/evaluation/examens-environnementaux/loi-c-69.html>

À pareille date, le projet de loi C-69 a également été adopté par la Chambre des communes afin de modifier la Loi sur la protection de la navigation. Les changements apportés par ce projet sont principalement la modification du nom de la loi en « Loi sur les eaux navigables », l'élargissement de la définition des eaux navigables, l'élargissement des pouvoirs de surveillance et d'approbation et l'augmentation des infractions et des pénalités (FASKEN. Session de formation sur la réglementation fédérale, provinciale et municipale de l'eau et certaines évolutions en 2018, 24 avril 2018.)

³⁷ PIETTE, Jean. Le gouvernement dépose le projet de loi C-68 modifiant la Loi sur les pêches pour offrir davantage de protection au poisson et à son habitat, mars 2018, <http://www.nortonrosefulbright.com/centre-du-savoir/publications/163922/le-gouvernement-depose-le-projet-de-loi-c-68-modifiant-la-loi-sur-les-peches-pour-offrir-davantage-de-p>

 En mars 2017, le gouvernement du Québec a sanctionné la loi modifiant la LQE dans le but de doter le Québec d'un régime d'autorisation clair, prévisible, optimisé. La nouvelle loi (projet de loi n° 102) intitulée « *Loi modifiant la Loi sur la qualité de l'environnement afin de moderniser le régime d'autorisation environnementale et modifiant d'autres dispositions législatives notamment pour réformer la gouvernance du Fonds vert* » simplifie le processus de demande d'autorisation pour les projets qui présentent un risque pour l'environnement. Elle introduit notamment le mécanisme de « déclaration de conformité » pour simplifier la réalisation d'activités et de travaux à faible risque et celui « d'autorisation générale » pour les activités à risque modéré (p. ex. : aménagement de cours d'eau). Certaines dispositions sont entrées en vigueur au moment de la sanction de la loi et en mars 2018. D'autres, dont l'entrée en vigueur était prévue pour décembre 2018 (p. ex. : projets de règlements visant les activités à risque modéré, faible ou négligeable), ont vu leur date de mise en œuvre reportée. Ce report vise principalement à approfondir les projets de règlements avec les diverses parties prenantes et à s'assurer qu'ils permettent d'instaurer un régime d'autorisation plus simple, plus clair et plus prévisible³⁸.

Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) (RLRQ, c. Q-2, r. 35)

- Adoptée en 1987 et révisée pour la dernière fois en 2014, la PPRLPI est un « cadre normatif minimal qui précise les types d'interventions qui peuvent être réalisés ou non dans les milieux riverains, dans le littoral ou dans la plaine inondable en tenant compte de la qualité du milieu, dont, entre autres, son artificialisation »³⁹. L'objectif principal de la politique est « d'assurer la qualité des milieux riverains et aquatiques, de prévenir la dégradation de ceux-ci et de limiter les interventions dans ces milieux ». Plusieurs termes sont définis dans le cadre de cette politique (ligne des hautes eaux, etc.)⁴⁰.
- Pour adopter la PPRLPI, les MRC doivent l'intégrer dans leur schéma d'aménagement et de développement (SAD) et l'inclure dans leurs règlements d'urbanisme. Précisons qu'en date de décembre 2017, la quasi-totalité des MRC l'avait intégrée.

Règlement relatif à l'application de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (RLRQ, c. Q-2, r. 3)

- Le règlement relatif à l'application de la *Loi sur la qualité de l'environnement* dicte les règles qui encadrent la demande de certificat d'autorisation et son contenu.
 - L'article 1 (3) prévoit notamment que les « travaux, constructions ou ouvrages sur une rive, dans une plaine inondable ou sur le littoral d'un cours d'eau ou d'un lac au sens de la PPRLPI » et qui sont autorisés par une municipalité en application de son règlement d'urbanisme sont soustraits de l'article 22 (obligation d'obtenir un CA). Les travaux

³⁸ MELCC. Communication de presse, Modernisation du régime d'autorisation environnementale – La ministre Melançon annonce la mise sur pied de tables de cocréation sectorielles pour les règlements d'application de la LQE, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/infuseur/communiqu.asp?no=4049>

³⁹ AGRCQ. Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec, Chapitre 1: Mise en contexte, 2017, http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2016/11/GuideAGRCQ_Chapitre-1_27032017.pdf

⁴⁰ Il existe des discordances dans la LQE et la LCM sur les critères d'identification des cours d'eau. La directive du MELCC « Identification et délimitation des milieux hydriques » règle en partie les discordances entre la PPRLPI, les SAD, les règlements d'urbanisme et les règlements régissant les matières relatives à l'écoulement des eaux découlant des articles 103 et 104 de la LCM.

destinés à des fins d'accès public ou municipales, industrielles, commerciales y sont toutefois assujettis et doivent ainsi obtenir un CA du MELCC en vertu de la LQE.

- La construction, la reconstruction, l'entretien, la réfection ou la réparation de ponceaux sont également exemptés de l'obligation d'obtenir un CA (article 3 [4]), tout comme certains travaux d'aménagement fauniques (article 1 [4]). Parmi ceux-ci figurent le nettoyage d'un cours d'eau ou d'un lac ne comportant aucun dragage, le contrôle du niveau d'eau en présence d'un barrage de castors et le démantèlement d'un barrage de castors.



De façon générale, la réalisation de travaux d'aménagement nécessite l'obtention d'un CA alors que les travaux d'entretien n'en requièrent pas. Les travaux de stabilisation des rives ou des talus sont également exclus de la nécessité d'obtenir un CA puisqu'ils sont définis dans la PPRLP⁴¹. L'exclusion des travaux d'entretien de la nécessité d'obtenir un CA favoriserait les travaux d'entretien au détriment des travaux d'aménagement. En effet, afin de contourner la nécessité d'obtenir un CA et de réduire la lourdeur administrative qui y est associée, plusieurs MRC privilégieraient les travaux d'entretien alors que des travaux d'aménagement seraient requis pour améliorer le cours d'eau. L'autorisation générale prévue dans le cadre du nouveau Règlement d'application de la LQE prévoit une ouverture pour certains travaux d'aménagement. Effectivement, selon l'article 31.0.5.1 de la LQE, le « ministre peut délivrer à une municipalité une autorisation générale relative à la réalisation de travaux d'entretien d'un cours d'eau visé à l'article 103 de la *Loi sur les compétences municipales* de même qu'à la réalisation de travaux dans un lac visant la régularisation du niveau de l'eau ou l'aménagement du lit⁴².

TRAVAUX D'ENTRETIEN EN MILIEU AGRICOLE

- Les MRC qui doivent entreprendre des travaux d'entretien de cours d'eau en milieu agricole sont soustraites de l'obligation d'obtenir au préalable un CA du MELCC en vertu de l'article 22 de la LQE en raison de l'accord de principe entériné en 1995 entre le MELCC, le MAMOT, l'Union des municipalités du Québec et la Fédération québécoise des municipalités⁴³. Certaines limites s'appliquent toutefois à cet accord. Pour certains travaux, l'obtention d'un CA de la part du MELCC demeure obligatoire. Le tableau suivant (Tableau 1.3) présente ces exceptions.

⁴¹ LAGACE, Robert. Aspects légaux et réglementaires, chapitre 17.

⁴² MELCC. Guide de référence de la loi sur la qualité de l'environnement, 5 juin 2018, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/guide-referance-lqe.pdf>

⁴³ MELCC et MFFP. Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole, 2016, <http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2012/04/Procedure-entretien-des-cours-deau-en-milieu-agricole-24-f%C3%A9vrier-2016.pdf>

Tableau 1.3
Travaux d'entretien des cours d'eau en milieu agricole
nécessitant l'obtention du CA par les municipalités

	Type de travaux	Type de permis
1	Travaux d'entretien utilisant exclusivement la méthode du tiers inférieur (sans retalutage), à réaliser à l'intérieur de la période du 1 ^{er} novembre au 14 mai.	CA (LQE)
2	Travaux d'entretien avec enlèvement des sédiments et retalutage partiel ou complet, à réaliser à l'intérieur de la période du 1 ^{er} octobre au 14 mai.	CA (LQE)
3	Travaux d'entretien à réaliser dans l'habitat du poisson à l'extérieur des périodes préférentielles précisées par le MFFP.	CA (LQE)
4	Travaux d'entretien à réaliser sur une distance de plus de 300 mètres linéaires ou 5 000 m ² sous la limite des inondations de récurrence de deux ans d'un cours d'eau visé par le Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (Q-2, r.23) notamment le lit du fleuve.	Évaluation environnementale (LQE)
5	Travaux d'entretien à réaliser à l'intérieur des limites d'une aire protégée notamment les réserves de biodiversité, les réserves écologiques, les réserves naturelles en milieu privé.	Autorisation <i>Loi sur la conservation du patrimoine naturel</i>
6	Travaux d'entretien à réaliser à l'intérieur des limites d'une zone d'intérêt écologique ou de toute autre zone de conservation notamment, les servitudes de conservation, zonage de conservation, terrains ciblés par la conservation ou des mesures de compensation liées à un CA.	CA (LQE)
7	Travaux d'entretien visant à rétablir le drainage agricole dans un cours d'eau qui n'a jamais fait l'objet de travaux d'aménagement par le passé.	CA (LQE)
8	Travaux d'entretien à réaliser dans un cours d'eau pouvant entraîner le drainage de milieux naturels sensibles situés en tête de ce cours d'eau ou à proximité de celui-ci. Sont considérés comme un milieu naturel sensible, les étangs, marais, marécages ou tourbières où il ne se pratique pas actuellement des activités agricoles.	Vérification préalable pour évaluer si un CA (LQE) est nécessaire ou une autorisation LEMV
9	Travaux d'entretien à réaliser pour des besoins autres que le rétablissement du drainage agricole.	CA (LQE)
10	Travaux d'entretien à réaliser dans un cours d'eau où il y a présence d'espèces floristiques ou fauniques menacées ou vulnérables.	Vérification préalable pour évaluer si un CA (LQE) est requis
11	Aménagement de cours d'eau, ouvrages de retenue et fosses permanentes à sédiments.	CA (LQE)

Sources : MELCC et MFFP. Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole, 2016

Règlement sur les exploitations agricoles (REA) (RLRQ, c. Q-2, r. 26)

- Le REA a comme principal objectif la protection des sols et de l'eau en milieu agricole, et prend la forme de restrictions liées à l'élevage et l'épandage de matières fertilisantes sur les sols. Parmi les principales restrictions relatives à la protection de l'eau, mentionnons l'interdiction de donner accès aux animaux aux cours d'eau et aux plans d'eau ainsi qu'à leur bande riveraine.
- Outre le REA, comme mentionné, les exploitants agricoles sont également assujettis au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection et au Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau. Ces derniers sont documentés à la section 1.2.

LOI SUR LES COMPÉTENCES MUNICIPALES (LCM)

- La LCM est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2006 dans un processus de révision, regroupement et simplification des lois municipales, et notamment de celles traitant des compétences municipales. Comme mentionné précédemment, la LCM définit les compétences exclusives des MRC relatives à la gestion des cours d'eau (articles 103 à 110). Selon cette loi, toutes structures hydrauliques sont considérées comme un cours d'eau et font partie des compétences des MRC à l'exception de certains fossés visés par l'article 103⁴⁴ et des cours d'eau inscrits au décret numéro 1292-2005⁴⁵.

LOI SUR L'AMÉNAGEMENT ET L'URBANISME (LAU)

- Adoptée en 1979, la LAU définit les instruments de planification (Schéma d'aménagement et de développement, plan d'urbanisme et règlements d'urbanisme municipaux) qui permettent d'assurer un développement harmonieux des milieux de vie. Elle spécifie également les responsabilités des acteurs politiques à l'œuvre sur le territoire.
- En vertu de l'article 104 de la LCM, les MRC ont la possibilité d'adopter leurs propres règlements pour régir toute matière relative à l'écoulement des eaux d'un cours d'eau et les imposer directement à ses citoyens sans devoir passer par son SAD ou son règlement d'urbanisme.

LOI SUR LA CONSERVATION ET LA MISE EN VALEUR DE LA FAUNE (LCMVF)

- La LCMVF vise à protéger les 11 habitats fauniques définis par le Règlement sur les habitats fauniques menacés ou vulnérables et leurs habitats (RLRQ, c.E-12.01, r.2). La LCMVF permet de statuer sur les activités assujetties à une autorisation notamment pour l'habitat du poisson.
 - Les activités d'entretien de cours d'eau en milieu agricole peuvent requérir du ministère une autorisation en vertu de l'article 128.7 si elles sont effectuées dans un habitat faunique dont la tenure est publique ou s'il est jugé que le projet est susceptible

⁴⁴ Fossé de voie publique ou privée, fossé mitoyen au sens de l'article 1002 du Code civil et fossé de drainage qui satisfait aux exigences suivantes : utilisé aux seules fins de drainage et d'irrigation, qui n'existe qu'en raison d'une intervention humaine ou dont la superficie du bassin versant est inférieure à 100 hectares.

⁴⁵ Lac des Deux-Montagnes, Lac Memphrémagog, Lac Saint-Jean, Canal de Beauharnois, Canal Lachine, Rivière des Mille-Îles, Rivière des Prairies, Rivière Richelieu, Rivière Saint-Maurice, Rivière Saguenay et Fleuve Saint-Laurent.

d’entraîner des répercussions sur l’habitat ou sur les espèces fauniques menacées et vulnérables »⁴⁶.

LOI CONCERNANT LA CONSERVATION DES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES⁴⁷

- Sanctionnée en juin 2017, la *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* (projet de loi n° 132) a pour principal objectif de freiner la perte des milieux humides et hydriques (MHH) au Québec. Elle vise notamment à conserver, restaurer ou créer de nouveaux milieux afin de contrebalancer les pertes de MHH (principe d’aucune perte nette).
- La *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* vient compléter le nouveau régime d’autorisation environnementale de la Loi 102 qui a modifié la LQE. La section V.1 du chapitre IV de la LQE qui traite des MHH est entrée en vigueur le 23 mars 2018. Le Tableau 1.4 présente les MHH comme définis par l’article 46.0.2 de la LQE.

Tableau 1.4
Milieux humides tels que définis par la Loi

Milieux humides et hydriques	Exclusions
<ul style="list-style-type: none"> • Lacs, cours d’eau, y compris l’estuaire et le golfe du Saint-Laurent et les mers qui entourent le Québec • Rives, littoral et plaines inondables des milieux visés au paragraphe, comme définis par règlement du gouvernement • Étangs, marais, marécages et tourbières 	<ul style="list-style-type: none"> • Fossés de voies publiques ou privées, fossés mitoyens et fossés de drainage, comme définis aux paragraphes 2° à 4° du premier alinéa de l’article 103 de la LCM

Source : MELCC, 2017.

- Le règlement sur la compensation pour l’atteinte aux milieux humides et hydriques, qui entrerait en vigueur en septembre 2018, est une pièce maîtresse de la section VI de la LQE. Ce dernier propose plusieurs changements, dont une nouvelle méthode de calcul de la contribution financière et une reconnaissance des efforts réalisés par les demandeurs d’autorisation pour minimiser les répercussions de leurs projets affectant les MHH. Le nouveau règlement permet également de :
 - « Clarifier les critères d’assujettissement à l’obligation de compenser les pertes de MHH
 - Offrir une formule de calcul modulée qui considère davantage le contexte régional dans lequel le projet s’inscrit et qui tient compte à la fois de la valeur écologique initiale des MHH et de la perte de fonctions écologiques engendrée par un projet

⁴⁶ MELCC. Procédure relative à l’entretien de cours d’eau en milieu agricole, 24 février 2016, <http://agrqc.ca/wp-content/uploads/2012/04/Procédure-entretien-des-cours-deau-en-milieu-agricole-24-f%C3%A9vrier-2016.pdf>

⁴⁷ Dans le cadre de la Loi, les milieux humides et hydriques font référence à des lieux d’origine naturelle ou anthropique qui se distinguent par la présence d’eau de façon permanente ou temporaire, laquelle peut être diffuse, occuper un lit ou encore saturer le sol et dont l’état est stagnant ou en mouvement. Lorsque l’eau est en mouvement, elle peut s’écouler avec un débit régulier ou intermittent. Un milieu humide est également caractérisé par des sols hydromorphes ou une végétation dominée par des espèces hygrophiles.

- Donner la possibilité de remplacer la contribution financière par des travaux de restauration ou de création de MHH, dans le cadre de certains travaux et à la demande de l’initiateur de projet;
 - Soustraire au paiement de la contribution financière certains projets réalisés dans des situations particulières (travaux d’urgence, travaux améliorant les fonctions écologiques des milieux humides et hydriques, etc.) »⁴⁸.
- Éventuellement, la *Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques* pourrait permettre de reconnaître les bénéfices apportés par les milieux humides au secteur agricole, même comme réserve d’eau. Parmi ces bénéfices, mentionnons :
 - La régulation des débits et l’alimentation du débit d’étéage des cours d’eau
 - Le maintien de la quantité et de la qualité de l’eau
 - La régulation des nutriments
 - La fertilité des sols
 - La rétention des produits toxiques (micropolluants)
 - La Pollinisation⁴⁹

1.4 SYNTHÈSE

Ce chapitre du survol de la réglementation entourant les prélèvements et la gestion des cours d’eau au Québec permet de tirer certains constats en lien avec la présente étude. Rappelons que les prises d’eau peuvent s’effectuer à trois niveaux : les prélèvements aux puits, les cours d’eau et les étangs privés.

- D’abord, il faut retenir que plusieurs paliers gouvernementaux sont concernés par la gestion des cours d’eau, et, au sein de ces paliers, on retrouve plusieurs instances ministérielles. Que ce soit pour les usagers (agricoles, industriels, municipalités) ou les professionnels qui interviennent auprès d’eux pour les conseillers en matière de prélèvements ou d’interventions sur les cours d’eau, on comprend donc que la dimension légale peut parfois porter à confusion et ralentir ou freiner la mise en place de solutions ou l’énoncé de recommandations relatives à l’eau.
- À ce titre, les pouvoirs et responsabilités dévolus aux MRC par le MELCC sont importants, autant pour gérer l’écoulement des cours d’eau que pour l’aménagement du territoire. Il est admis qu’il y a un manque d’harmonisation dans les façons de faire, en plus de connaissances déficientes des gestionnaires des cours d’eau en droit, en géographie, en génie, en biologie, en hydrologie, etc. par rapport à la gestion des cours d’eau⁵⁰. Plusieurs cas de non-conformité lors de la réalisation de travaux d’entretien ont d’ailleurs été soulevés lors d’une enquête réalisée par le MELCC en

⁴⁸ Portail Québec. Le Règlement sur la compensation pour l’atteinte aux milieux humides et hydriques entrera en vigueur le 20 septembre 2018, Québec, le 5 sept. 2018, <http://www.fil-information.gouv.qc.ca/Pages/Article.aspx?idArticle=2609056445>

⁴⁹ MELCC. Feuillet d’information sur la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/milieux-humides/feuillet-info.pdf>

⁵⁰ Association des gestionnaires de cours d’eau du Québec, http://canieca.org/wp-content/uploads/2017/05/2017-04-11_AGRCQ_Symposium-erosion.pdf

2012⁵¹. D'ailleurs, afin de mieux outiller les MRC, un Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec a été élaboré en 2016 comme outil de gestion et d'appui à la décision.

- **L'environnement réglementaire relatif aux prélèvements en eau** (eau de surface et eau souterraine) s'est considérablement modifié au cours de la dernière décennie, notamment à la faveur de la signature de l'Entente des Grands Lacs. En particulier, le nouveau régime de gestion de l'eau établi au Québec permet de prendre en compte l'aspect « quantité d'eau » dans le cadre réglementation. Auparavant, seul l'aspect « qualité de l'eau » était réglementé.
 - Les entreprises agricoles sont assujetties au nouveau régime d'autorisation. Il importe toutefois de préciser que la plupart des élevages d'animaux ne sont pas touchés par le règlement, leurs prélèvements étant inférieurs à 75 000 litres par jour (sauf les piscicultures qui prélèvent des volumes quotidiens importants). Plusieurs entreprises produisant des produits végétaux, et notamment celles pratiquant l'irrigation, y sont toutefois assujetties.
 - Il faudra également surveiller la façon dont le MELCC raffiner ses indicateurs pour autoriser des prélèvements, et surtout les quantités permises. Le MELCC travaille actuellement à développer des outils pour calculer des impacts cumulatifs dans le cadre des autorisations (art. 31.75). Il finance notamment des projets de recherche pour l'outiller dans sa prise de décision (p. ex. : choix d'indice hydrologique approprié au contexte hydrologique et climatique du Québec). En ce moment, la norme du MFFP, et plus précisément la notion du 15 % du débit d'étiage $Q_{2,7}$, est utilisée pour évaluer l'incidence des prélèvements. Cette base de calcul est issue de l'article 17 du Règlement sur les habitats fauniques (*Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*) qui stipule que « le prélèvement ne peut excéder 15 % du débit du cours d'eau à l'endroit où le prélèvement est effectué »⁵². Le changement de cette référence pourrait avoir des implications importantes sur les quantités d'eau autorisées.
- **En ce qui concerne les prélèvements dans les cours d'eau**, malgré un encadrement réglementaire important, relativement peu de choses sont encore suffisamment définies en ce qui a trait aux infrastructures qui peuvent effectivement être installées sur les cours d'eau pour créer des prises d'eau (pompage) telles que les mini-barrages. Or, dans un horizon de moyen terme, ce type de prise d'eau pourrait être une solution ponctuelle pour certains usagers qui souhaiteraient intervenir sur les débits d'eau en cas de besoin; notons que même si la pratique est interdite, la mise en place de mini-barrages en cours d'eau pour un usage privé se ferait par un nombre non négligeable d'entreprises.
- Dans le même esprit, la récente *Loi sur les milieux humides et hydriques* mérite d'être surveillée. Selon les définitions qui seront retenues et les interventions qui seront permises, des milieux humides pourraient être considérés comme fonctionnels, et non pas strictement désignés à des fins de conservation. Ceci pourrait faciliter le recours aux milieux humides comme outil de gestion de l'eau individuel ou collectif (pour une meilleure alimentation des débits d'étiage en cours d'eau). Il convient donc de suivre l'évolution de cette Loi et la façon dont elle se traduira en règlements.

⁵¹ Élisabeth Bussièrès. MDDELCC, décembre 2017.

⁵² Judith Kirby, Direction de la gestion intégrée de l'eau, décembre 2017.

Enfin, du côté des **étangs privés**, là aussi relativement peu de balises ont été énoncées et concernent notamment les distances séparatrices, la profondeur de l'étang et le volume d'eau pompé par jour lorsqu'il s'agit d'étangs d'irrigation. Bien que mises en place à des fins de protection de l'environnement (gestion des nappes phréatiques), ces distances séparatrices sont toutefois homogènes, peu importe le site, le type d'étang, les pentes et les écoulements (eau de ruissellement ou eau souterraine). Il semble que les distances séparatrices, quoique simples dans leur implantation, ne soient pas toujours appropriées selon les phénomènes physiques d'écoulement souterrain, créant un irritant chez les usagers privés qui souhaitent y intervenir.

2. CONFLIT D'USAGE DE L'EAU

2.1 DÉFINITION DU CONFLIT D'USAGE DE L'EAU

La notion de conflit d'usage de l'eau apparaît centrale à définir pour établir la portée de l'étude. La notion de conflit d'usage fait référence à une concurrence dans l'utilisation (ou l'appropriation) d'une ressource naturelle (Melé, 2013). Un conflit d'usage apparaît lorsque deux usages distincts sont souhaités pour une même ressource naturelle possédant un potentiel d'utilisation fini. Il peut s'agir d'un même individu souhaitant faire des usages différents d'une même ressource comme il peut y avoir une concurrence entre des individus pour l'utilisation de la ressource. L'utilisation souhaitée peut être identique ou différente. Par exemple, deux individus pourraient avoir le projet de cultiver sur une même parcelle de terre, ou encore l'un d'eux aurait ce projet et l'autre voudrait plutôt forer un puits sur cette même parcelle.

Ce qui caractérise donc le conflit d'usage est le **caractère de concurrence entre les usages**, où une utilisation de la ressource porte atteinte à un autre usage potentiel de cette même ressource (Organisme de bassins versants de Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup, 2014). Ingold (2011, tiré de Fernandez, 2013) souligne qu'il ressortira de cette concurrence **une reconnaissance d'usages non exclusifs de la ressource**, ce que Melé (2013) appelle une manifestation d'incompatibilité entre usages.

L'utilisation de l'eau, en tant que ressource naturelle, est susceptible d'engendrer des conflits d'usages, d'autant plus que la législation québécoise reconnaît l'eau de surface et l'eau souterraine comme étant des biens communs (Càrdenas, 2012; gouvernement du Québec, 2016). Banton et coll. (1995) soulignent que l'émergence de conflits d'usages de l'eau au Québec est liée à un mélange de trois notions de droit fondamentales des ressources naturelles :

- *Usus* ou le droit à l'usage de l'eau (p. ex : alimentation, irrigation, etc.)
- *Fructus* ou le droit à l'usage des caractéristiques de l'eau (p. ex : géothermie, respiration aquatique, etc.)
- *Abusus* ou l'abus de la ressource (p. ex : surexploitation, pollution, rabattement, etc.)

Selon ces auteurs, les conflits d'usages de l'eau pourraient également émerger d'une concurrence entre ces trois notions de droit. En effet, un usage de l'eau par abreuvement des animaux (*Usus*) limitera par exemple l'utilisation de la chaleur contenue dans cette quantité d'eau pour chauffer une résidence (*Fructus*) par exemple. De la même façon, une pollution de l'eau (*Abusus*), par une quelconque industrie, la rendra impropre à la consommation humaine (*Usus*).

De leur côté, Marcotte-Latulippe et Trudelle (2012) identifient trois enjeux liés à l'eau qui peuvent entraîner des conflits d'usage : la quantité d'eau, la qualité de l'eau et l'appropriation de l'eau (accès à l'eau). Ces derniers ne sont pas sans rappeler les trois notions de droit soulevées par Banton et coll. (1995).

Pour diminuer les conflits d'usage, l'État peut toutefois distribuer des droits d'usages sous la forme de permis (à des industries ou à des municipalités, par exemple) qui viennent délimiter l'usage maximal que les titulaires peuvent faire de la ressource. Banton et coll. (1995) identifient ainsi les normes

maximales de contaminations de l'eau comme étant une reconnaissance des droits d'usage ou de l'octroi d'un permis de polluer.

Le tableau suivant résume les cas de figure possibles en prenant le cadre d'analyse de Banton et coll. (1995).

Tableau 2.1
Exemples de conflit d'usage selon la notion de Banton et coll. (1995)

	USUS	FRUCTUS	ABUSUS
USUS	<ul style="list-style-type: none"> Irrigation par rapport à l'eau utilisée en transformation alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> Eau utilisée à titre de solvant dans l'industrie par rapport à l'eau utilisée pour le nettoyage ou l'hygiène 	<ul style="list-style-type: none"> Surexploitation de l'eau par la population grandissante par rapport à la disponibilité de l'eau pour l'irrigation
FRUCTUS	<ul style="list-style-type: none"> Abreuvement des animaux par rapport à l'utilisation de l'eau pour chauffer une résidence 	<ul style="list-style-type: none"> Flottage du bois par rapport à l'accès d'une embarcation à moteur 	<ul style="list-style-type: none"> Contamination de l'eau par les déjections animales et les terrains de golfs par rapport à la baignade et les autres activités nautiques
ABUSUS	<ul style="list-style-type: none"> Consommation humaine par rapport à la spoliation de l'eau par une industrie 	<ul style="list-style-type: none"> Habitat pour les poissons par rapport à la pollution de l'eau par les pesticides 	

Usus (droit à l'usage de l'eau)

Fructus (droit à l'usage des caractéristiques de l'eau)

Abusus (abus de la ressource)

2.2 CONSTATS ET CHOIX POUR L'ÉTUDE

Dans le cadre de la présente étude et sur la base de la littérature consultée, il est établi qu'un conflit d'usage :

- Survient lorsqu'il y a utilisations **concurrentielles** entre plusieurs usagers ou usages
- Concerne autant les aspects **quantitatifs** que **qualitatifs**, dans la mesure où un enjeu de qualité peut limiter l'usage de la ressource et entraîner le recours, par exemple, à d'autres sources

(souterraines). Par ailleurs, il semble que l'aspect quantitatif seul soit rarement une source de conflit. À ce sujet, c'est précisément l'aspect quantitatif qui est le point de mire du projet confié par le MAPAQ; les aspects qualitatifs sont pris en compte seulement s'ils ont une incidence sur les aspects quantitatifs (p. ex. changement de source d'approvisionnement en eau)

- Concerne autant les eaux de **surface** que les eaux **souterraines**
- Est **actuel** ou **latent**, c'est-à-dire qu'un conflit peut se déclarer si une situation aujourd'hui soutenable se détériore (notamment en contexte de changement climatique)

2.3 CONFLITS D'USAGE DE L'EAU DOCUMENTÉS DANS LA LITTÉRATURE

La plupart des conflits d'usage recensés au Québec impliquent d'une façon ou d'une autre l'agriculture (voir notamment BAPE, 2000; BPR Groupe-conseil, 2003; Parent et Anctil, 2012 et Patoine et d'Auteuil-Potvin, 2013). Ces conflits se présentent dans la plupart des régions du Québec avec des portées et des causes qui varient. Le plus souvent, ces conflits concernent des aspects qualitatifs, et non quantitatifs.

Certains problèmes se présentent sur l'ensemble du Québec ou sont communs à des zones présentant des profils de production similaires. C'est notamment le cas de la concentration en pesticides de nombreux points d'eau d'importance qui dépasse les critères de qualité de l'eau pour les espèces aquatiques (perméthrine, deltaméthrine, imidaclopride, etc.)⁵³ Giroux (2014, 2015) soulève un conflit d'usage entre *Fructus* et *Abusus*. Giroux (2015) avance que la concentration des pesticides varie en fonction de la concentration des productions agricoles qui entoure le point d'eau. La pollution des cours d'eau par les pesticides agricoles constitue une importante source de conflits d'usages puisqu'elle détériore la qualité (et donc le potentiel d'utilisation) de l'eau (BPR Groupe-conseil, 2003). Des conflits d'usage liés à la présence de nitrates dans des puits d'alimentation en eau potable ont également été documentés (Giroux 2014, BPR 2003).

Des améliorations à la qualité de l'eau ont tout de même été identifiées depuis 1999 dans certaines rivières : diminution des concentrations en phosphore, en azote ammoniacal, en nitrates et en nitrites, en azote total et en matières en suspension (Patoine et d'Auteuil-Potvin, 2013). L'amélioration notée serait directement en lien avec l'adoption de programmes d'encouragement et de normes contraignantes pour l'agriculture, de même que l'assainissement urbain (Patoine et d'Auteuil-Potvin, 2013, Marc Simoneau, MELCC). Parmi les bonnes pratiques adoptées figurent la diminution de l'application d'engrais, l'introduction de phytase dans l'alimentation des monogastriques, une meilleure gestion des déjections animales (stockage, moment d'épandage, équipement, régie de fertilisation phosphatée [PAEF], etc.), un contrôle de l'accès aux cours d'eau par les animaux et des travaux de contrôle des eaux de ruissellement et de l'érosion (Patoine et d'Auteuil-Potvin, 2013; Denault et Bélanger Comeau, 2014).

Toutefois, les résultats de Denault et Bélanger Comeau (2014) montrent que ce sont toujours 80 % des bassins versants qui présentent des concentrations en phosphore qui dépassent fortement le critère

⁵³ À ces concentrations importantes s'ajoutent de nombreuses traces de pesticides de toutes sortes qui peuvent avoir des effets néfastes lorsqu'ils sont mis en interactions (Giroux, 2014).

de qualité pour la protection des cours d'eau contre l'eutrophisation (0,03 mg P/l) et 20 % des bassins versants dépassent le critère de protection de la vie aquatique des eaux de surface (2,9 mg N/l pour les nitrates) ou dépassent la concentration maximale acceptable définie pour l'eau potable (10 mg N/l pour les nitrites et les nitrates). Par ailleurs, depuis 1999, parmi les dix cours d'eau étudiés par Patoine et d'Auteuil-Potvin (2013), quatre ont vu leur turbidité augmenter.

BPR Groupe-conseil (2003), puis Parent et Anctil (2012) ont dressé une liste des conflits d'usage pour chaque région du Québec dans une perspective d'essor économique de l'agriculture et de changement climatique, respectivement. Les paragraphes suivants résument, pour chacune des régions à l'étude dans RADEAU 1, les conflits répertoriés dans la littérature. Comme mentionné à la section 2.4, un fichier en annexe 3 complète ce recensement des conflits, répertoriés notamment lors de groupes de discussion réalisés dans chacune des régions visées par l'étude.

ESTRIE (05)

L'Estrie est la région qui regroupe la plus grande concentration d'entreprises piscicoles (ainsi que les plus grosses entreprises). Les forts besoins en eau de ces entreprises auraient créé des conflits d'usage de l'eau avec les municipalités. Toutefois, le forage de nouveaux puits, un plus grand recours à des eaux de surface ainsi que, dans quelques cas, l'abandon de la production auraient permis de trouver des solutions (BPR Groupe-conseil, 2003; Parent et Anctil, 2012). Un autre problème d'accès à des quantités suffisantes d'eau toucherait l'abreuvement des bovins de boucherie en gestion au pâturage. Ces derniers dépendent souvent d'abreuvoirs⁵⁴ remplis à même de petits ruisseaux qui s'assèchent en période d'étiage (BPR Groupe-conseil, 2003). À ce propos, des problèmes d'approvisionnement en eau s'observent de plus en plus chez certaines fermes laitières dont la gestion des puits est plus difficile, ces derniers devant être de plus en plus profonds (voir l'annexe 3).

CHAUDIÈRE-APPALACHES (12)

Les habitants de Chaudière-Appalaches sont majoritairement dépendants de puits ou forages individuels. Quant aux réseaux municipaux, plusieurs auraient atteint leur capacité maximale (Parent et Anctil, 2012). Il existerait en conséquence des problèmes d'approvisionnement pour les habitants de plusieurs municipalités, dont L'Islet, Sainte-Claire, Saint-Anselme, Honfleur et Saint-Charles (BPR Groupe-conseil, 2003).

La forte présence de terrains de golf ainsi que la concentration élevée de production animale entraîneraient de nombreux problèmes de qualité de l'eau (Parent et Anctil, 2012). La pollution des eaux souterraines serait aussi un phénomène qui touche Saint-Martin, Sainte-Hélène, l'est de Beauceville et Saint-Bernard en raison d'une forte présence de fer et de manganèse, Saints-Anges, Scott et Sainte-Hénédiène en raison de la présence de soufre ou de la dureté de l'eau ainsi que Saint-Gervais-de-Bellechasse et Saint-Michel-de-Bellechasse qui ont des concentrations importantes de nitrates dans leur eau souterraine (BPR Groupe-conseil, 2003; Rousseau et coll., 2004).

⁵⁴ Rappelons que selon l'article 4 du deuxième alinéa du REA : « Sauf dans le cas de traverse à gué, il est interdit de donner accès aux animaux aux cours d'eau et aux plans d'eau ainsi qu'à leur bande riveraine. »

LANAUDIÈRE (14)

Dans Lanaudière, des problèmes de quantité adéquate d'eau pourraient survenir dans les prochaines années devant la forte croissance de la population de la couronne nord de Montréal (Parent et Anctil, 2012). Autrement, les problèmes de quantités suffisantes d'eau affectent ponctuellement certains producteurs agricoles qui irriguent à partir d'installation en fin de vie utile sur différents cours d'eau (ruisseau du Point du Jour, rivière Saint-Antoine, rivière Saint-Joseph, rivière Saint-Jean) ou qui possèdent des étangs de rétention d'eau aux capacités insuffisantes (BPR Groupe-conseil, 2003). Plus récemment, des enjeux ont été recensés dans la MRC de Lanoraie, reconnue pour la présence de tourbière, où la culture des pommes de terre nécessite de plus en plus d'irrigation. Il se dessine donc un enjeu pour l'approvisionnement en eau, comme rapporté à l'annexe 3.

Les conflits d'usage de l'eau dans Lanaudière sont davantage liés à la pollution des eaux souterraines et de surfaces causées par l'agriculture (BPR Groupe-conseil, 2003; Parent et Anctil, 2012). Par exemple, en raison de la qualité incertaine de l'eau de la rivière L'Assomption, il n'est plus recommandé de s'y baigner (Rousseau et coll., 2004). Des problèmes de qualité sont aussi présents dans les rivières Mascouche, La Chaloupe, Bayonne, du Chicot et Maskinongé (BPR Groupe-conseil, 2003).

MONTÉRÉGIE (16)

La Montérégie, en particulier l'ouest de la Montérégie (rivières Châteauguay et l'Acadie), est aux prises avec des enjeux d'accès à l'eau du mois de juin jusqu'à la fin du mois d'août (BPR Groupe-conseil, 2003). Ce manque d'eau représenterait un frein à la croissance de certaines productions, notamment celles nécessitant de forts besoins d'irrigation (BPR Groupe-conseil, 2003). En effet, les terres noires s'affaissent et s'épuisent (oxydation et décomposition des sols organiques) lorsque les eaux souterraines s'assèchent (BPR Groupe-conseil, 2003). À l'inverse, elles se trouvent inondées⁵⁵ à la fonte des neiges ou lors de précipitations intenses en raison des modifications passées aux paysages autour de la rivière l'Acadie et du ruisseau Norton (BPR Groupe-conseil, 2003).

Ces problèmes proviennent de la concurrence que doivent se livrer plusieurs industries dans l'usage de l'eau : agriculture, transformation agroalimentaire, municipalités, embouteillage (Parent et Anctil, 2012). Par exemple, à Franklin, lorsque différents promoteurs ont souhaité implanter une usine d'eau embouteillée, les analyses des besoins concurrents en eau souterraine ont fait ressortir que de nombreuses industries étaient dépendantes de cette source qui constituait l'habitat unique au Québec de la salamandre sombre des montagnes : agriculture diversifiée (pomiculture, acériculture, production laitière, centres équestres, maraîchers), sablières, carrières, activités récréotouristiques, transformation alimentaire, municipalité d'Ormstown (Dagenais, 2007).

Des problèmes de qualité de l'eau sont aussi fortement présents en Montérégie. Parent et Anctil (2012) notaient que les eaux de surface et les eaux souterraines y étaient fortement contaminées par les pesticides. Il y aurait aussi quelques problèmes ponctuels liés à des pathogènes, à de la salinité (La Présentation) (BPR Groupe-conseil, 2003) ou à la présence de métaux lourds tels que le plomb, le mercure et le cadmium dans la rivière Yamaska près de Bromont, de Cowansville, de Granby et de Saint-Hyacinthe (Organisme de bassin versant de la Yamaska [s.d.]). La rivière Yamaska, en particulier, ferait face à des enjeux majeurs de pollution (turbidité, pesticides, eutrophisation) en raison de la

⁵⁵ Les zones de sol organique sont inondées fréquemment, car elles sont situées dans des zones de faible altitude, à proximité de cours d'eau (anciens marais). C'est d'ailleurs les excès d'eau qui ont mené à leur formation.

surfertilisation, de l'importante érosion des sols, de la mauvaise utilisation des pesticides, de la pression urbaine et du débordement de stations d'épuration (Organisme de bassin versant de la Yamaska [s.d.]).

CENTRE-DU-QUÉBEC (17)

Au Centre-du-Québec, le principal cours d'eau qui vit des périodes de faible disponibilité de l'eau est la rivière Bécancour (BPR Groupe-conseil, 2003) où se situe 70 % de la production de canneberges du Québec (Poirier et coll., 2010). Toutefois, la majorité (90 % selon Painchaud, 2009 tiré de Julien Caron, 2009) des cannebergières fonctionnent en circuit fermé, c'est-à-dire qu'elles récupèrent leur eau de drainage plutôt que de la pomper au besoin (Marchand et Asselin, 2006). D'ailleurs, pour les nouvelles cannebergières ou lors de l'agrandissement des cannebergières existantes, l'installation d'un circuit fermé est obligatoire (Julien Caron, 2009). En conséquence, le prélèvement d'eau de la rivière Bécancour ne représente qu'une source d'appoint pour les cannebergières, ces prélèvements étant régis par des permis de captation (Poirier et coll., 2010). Finalement, les avis sont contradictoires quant aux répercussions des cannebergières sur les conflits d'usage de l'eau de la rivière Bécancour sur le plan quantitatif.

La présence des cannebergières se ferait aussi ressentir sur la qualité de l'eau. Marchand et Asselin (2006) ont montré que l'eau rejetée des cannebergières comportait de fortes concentrations de phosphore (généralement au-dessus des critères de protection de vie aquatique) et de diazinon (au-dessus des critères de protection de vie aquatique et parfois au-dessus des normes pour l'eau potable). L'eau rejetée par les cannebergières contiendrait aussi des quantités importantes de nitrates ou de nitrites, près des normes pour l'eau potable (Julien Caron, 2009). Toutefois, le recyclage de l'eau (circuit fermé) permet un certain contrôle⁵⁶.

À plus grande échelle, sur l'ensemble de la région, la contamination de l'eau serait importante concernant plusieurs indicateurs : phosphore, matières en suspension et eutrophisation. D'autres problèmes plus localisés seraient liés à la présence d'arsenic, de baryum, de fluor, de fer ou de manganèse (BPR Groupe-conseil, 2003). Les principales causes de la contamination des cours d'eau du Centre-du-Québec sont la pollution agricole et la centrale nucléaire (Parent et Anctil, 2012).

2.4 CONFLITS D'USAGE DE L'EAU DOCUMENTÉS SUR LE TERRAIN

Comme mentionné, un inventaire des conflits d'usages existants, latents ou passés, a également été réalisé pour les cinq régions à l'étude. Cet inventaire complète la littérature scientifique et grise (revue de presse) consultée, avec le dépouillement des plans directeurs de l'eau et des PACES des régions à

⁵⁶ Le système de circuit d'eau fermé consiste à aménager des bassins d'eau lors de l'aménagement de la cannebergière. Les bassins se remplissent d'eau suivant la pluie et la fonte des neiges. Ces accumulations d'eau sont conservées dans des réservoirs et utilisées pour l'irrigation des champs, et leurs inondations lors des récoltes ainsi que pour la glaciation. Après l'inondation des champs, les eaux sont redirigées vers les bassins pour la récupération et la conservation pour réutilisation future. Ce système fermé ne serait toutefois pas efficace à 100 % pour éviter les rejets de pesticides dans les cours d'eau. Même si l'eau est emmagasinée dans les bassins, des résidus de produits de synthèse peuvent être déversés dans la nature si les bassins sont inadéquatement vidés (Julien-Caron, 2009). De plus, l'accumulation des produits dans les bassins de stockage peut devenir problématique (Thomas, 2003).

l'étude, des décisions de la Commission de la protection du territoire agricole (CPTAQ)⁵⁷ relatives à des enjeux quantitatifs d'eau, de même que ceux identifiés par les acteurs de terrain lors des consultations réalisées auprès des acteurs régionaux au printemps 2017. Les résultats sont présentés en annexe 3. Un tableau présente de manière succincte, par région, les conflits recensés, les usages et usagers concernés, l'intensité et la maturité du conflit, et lorsque disponible, le moment où le conflit a émergé. Cet inventaire ne prétend pas être exhaustif, mais il compile les principaux conflits (en cours ou potentiels) dans les régions ciblées.

⁵⁷ La CPTAQ n'a pas le pouvoir de rendre des décisions en vertu de l'appropriation de la ressource eau par un autre usager qu'un agriculteur et n'a donc pas le pouvoir d'intervenir sur les conflits d'usage de l'eau. Son rôle se limite au maintien des superficies agricoles et de l'homogénéité du milieu.

3. PRÉLÈVEMENTS EN CLIMAT ACTUEL

Les chapitres suivants exposent en détail la démarche méthodologique utilisée pour quantifier les prélèvements d'eau actuels (les hypothèses concernant les prélèvements futurs seront présentées dans le prochain rapport) pour les différents usages (agricole, résidentiel et ICI) avec des données fiables et comparables à une échelle territoriale pertinente (régionale ou municipale). La démarche proposée permet de définir des profils régionaux comparables et pourra être mise à jour selon une approche définie. Il en découle un protocole harmonisé pour évaluer les prélèvements en eau. Ce protocole est basé sur l'utilisation de bases de données et de chartes (existantes ou générées) pour les cinq régions à l'étude de RADEAU 1.

La méthode retenue prévoit deux bilans :

- Les prélèvements d'eau de surface en période de pointe sont comparés à l'indicateur de disponibilité des eaux de surface en période d'étiage (le débit d'étiage $Q_{2,7}$ [estival et hivernal], soit la valeur minimum du débit moyen du cours d'eau sur une période de 7 jours, d'une récurrence de deux ans), à l'échelle des bassins versants.
- Les prélèvements d'eau souterraine sur une base annuelle sont comparés à la recharge annuelle de la nappe, à l'échelle des municipalités.

Le présent chapitre décrit la démarche suivie pour déterminer les prélèvements en climat actuel pour les secteurs agricole, résidentiel, industriel, de même que commercial et institutionnel. Le chapitre suivant (chapitre 4) traite des ressources en eau (traitement spatial des données de prélèvement) et le chapitre 5 présente le traitement des données spatiales pour la disponibilité en eau.

3.1 SECTEUR RÉSIDENTIEL

Les prélèvements en eau du secteur résidentiel ont été déterminés en combinant deux approches : un facteur de consommation moyenne (a) personnalisé à l'aide de données primaires disponibles (b) :

1. Facteur de consommation moyenne journalière multiplié par le nombre d'habitants de chaque municipalité.
2. Chiffres de la base de données (BD) sur l'usage de l'eau potable résultant de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable au Québec du Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT)⁵⁸.

MÉTHODE A

Cette méthode permet d'obtenir un calcul harmonisé pour toutes les municipalités de la zone à l'étude. Cependant, elle repose sur l'utilisation d'un facteur de consommation moyen qui ne permet pas d'effectuer des nuances selon les réalités régionales et locales.

Un certain nombre de traitements de données doit également être fait :

⁵⁸ Source : <https://www.mamot.gouv.qc.ca/grands-dossiers/strategie-quebecoise-deconomie-deau-potable/cartographie-et-rapports-annuels/>

- Distinguer le nombre de personnes connectées au réseau par rapport à celles qui ne le sont pas (hors réseau) et l'origine de l'eau (souterraine ou surface). Pour ce faire, le registre des Installations municipales de distribution d'eau potable du MELCC⁵⁹ offre des renseignements sur la source des prélèvements (lac, rivière, fleuve, eau souterraine) de la population reliée au réseau municipal. Cela permet la distinction entre prélèvements d'eau de surface ou d'eau souterraine. Le répertoire contient l'information sur les installations de distribution d'eau potable, le nombre de personnes desservies et le type d'approvisionnement de chaque installation par région administrative, par MRC et par municipalité.
- Pour les résidents non connectés, l'hypothèse retenue est qu'ils s'approvisionnent par puits privés, donc dans les eaux souterraines.
- Le traitement des données selon l'information du réseau permet de déterminer, pour chaque réseau municipal, la proportion d'eau prélevée dans les eaux souterraines, de surface, au fleuve ou ce qui est hors réseau. Ces coefficients sont repris dans les calculs des usages agricoles (section 3.2) et du segment « Commercial et Institutionnel – CI » (section 3.3).
- Un facteur de consommation, en fonction de la population, est ensuite appliqué. Les études des Programmes d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) utilisaient la valeur de 250 litres/personne/jour, qui correspondait à la valeur moyenne au Canada⁶⁰. Un nouveau facteur a été calculé pour la présente étude afin d'obtenir des données plus personnalisées (méthode b).

MÉTHODE B

Une estimation de la consommation journalière *par personne* pour le secteur résidentiel (l/pers/j) a été faite à partir des volumes calculés par les municipalités mesurant les volumes d'eau distribués dans les secteurs résidentiels à l'aide de compteurs d'eau, dont les renseignements sont présents dans la base de données du MAMOT sur l'usage de l'eau potable en 2015 au Québec. Nous obtenons une moyenne de 216 litres/personne/jour. Les 22 municipalités du Québec mesurant la consommation résidentielle ne représentent que 2 % de la population totale qui est desservie par le réseau (tableau 1.1), néanmoins elles sont de tailles variables (de quelques centaines à plus de 50 000 habitants), et réparties dans plusieurs régions administratives du Québec. Nous avons considéré que ce chiffre était plus approprié que la consommation moyenne du Canada, et semblait plus cohérent avec les renseignements recueillis à ce sujet lors de groupes de discussions au printemps 2017. Néanmoins, il convient de retenir que l'incertitude sur ce facteur de consommation demeure importante, étant donné le faible nombre de mesures réalisées au Québec.

⁵⁹ Source : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/potable/distribution/index.asp>

⁶⁰ Données tirées de l'Enquête sur les usines de traitement de l'eau potable, mise à jour annuellement. En 2016, la moyenne par habitant était de 235 litres/jour. La donnée de 250 litres/jour remonte à 2011.

Tableau 3.1
Nombre de municipalités avec ou sans compteurs d'eau
et représentativité selon la population desservie

Municipalités	N	Population desservie par les réseaux	
		N	%
Sans compteur d'eau	1 089	6 658 859	97,81 %
Avec compteur d'eau	22	149 132	2,19 %

Source : <https://www.mamot.gouv.qc.ca/grands-dossiers/strategie-quebecoise-deconomie-deau-potable/cartographie-et-rapports-annuels/>

Cette moyenne de la consommation résidentielle des municipalités avec un compteur d'eau a été obtenue en pondérant par la population desservie par les réseaux de distribution :

$$M_{avec} = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_{22})$$

où M_{avec} = Municipalité avec compteur d'eau

$$PopDesservie_{2015} = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_{22})$$

où $PopDesservie_{2015}$ = Population desservie par le réseau

$$\frac{\sum M_{avec} PopDesservie_{2015}}{\sum PopDesservie}$$

3.2 SECTEUR AGRICOLE

En ce qui concerne le secteur agricole, plusieurs types de prélèvements peuvent être identifiés en productions animales (abreuvement, nettoyage ou refroidissement des bâtiments, etc.) et en productions végétales (irrigation, en particulier).

Dans cette section, nous résumons l'acquisition de connaissances relatives à l'établissement de normes de consommations pour ces divers usages. Ces normes de consommations, parfois appelées chartes, sont définies par unités spécifiques :

- Pour l'irrigation : en unité de volume par hectare de culture et par an, ainsi que pour les périodes de pointes estivales et hivernales (pour les serres)
- Pour le lavage des légumes : en nombre de litres par kilogramme de légumes
- Pour les animaux : en unité de volume par an, que ce soit pour l'abreuvement, le lavage ou le refroidissement des bâtiments.

Ces normes sont ensuite utilisées pour comptabiliser les prélèvements à deux échelles territoriales; les municipalités des régions couvertes et les bassins versants. Les données sur les sites de production agricoles (productions végétales, animales et piscicoles) ont été fournies par le MAPAQ (données de la fiche FLORA). La méthode de calcul propre à chaque type de production est décrite dans les prochaines sections. Notons que la provenance de l'eau (surface par rapport à souterraine) utilisée en agriculture a été établie à partir des renseignements contenus dans les Plans d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) des entreprises agricoles.

L'annexe 4 recense de manière plus détaillée les références et données colligées pour établir les chartes de consommation pour une trentaine de produits maraîchers et fruitiers. De la même façon, l'annexe 5 présente les normes utilisées pour les différents types d'élevage.

3.2.1 ANALYSE DOCUMENTAIRE ET ETAT DE L'ART

Différentes études ont par le passé comptabilisé les prélèvements en eau par l'agriculture à l'échelle de différents territoires. Par exemple, des fédérations régionales de l'Union des producteurs agricoles (UPA) ont commandité, par l'entremise du Centre de Développement de l'Agriculture du Québec (CDAQ), des études réalisées par l'entreprise Technorem qui ont caractérisé les prélèvements en eau pour l'irrigation des cultures maraîchères et le lavage des légumes (voir, par exemple, Technorem [2008-a, 2008-b, 2008-c et 2008-d, 2009]). Ces études ont couvert les zones de productions maraîchères des Laurentides, de Lanaudière et de la Montérégie.

Des études ont également été réalisées à l'échelle de régions administratives dans le cadre des Programmes d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES). Elles ont été coordonnées par différentes équipes de chercheurs et d'universitaires de l'UQAM (Centre-du-Québec : Nicolet et Bécancour), de l'UQAT (Mauricie), de l'UQAR (Bas-Saint-Laurent), de l'Université Laval (Communauté métropolitaine de Québec et de l'Outaouais) et de l'INRS (Chaudière-Appalaches et Montérégie).

Ces études ont donc été réalisées par des équipes de chercheurs (dans le cas des PACES) ou d'ingénieurs (dans le cas des études de Technorem), souvent non spécialistes de l'agriculture, qui se sont associés avec des services de consultants pour estimer les besoins en eau des cultures. C'est particulièrement le cas des études de Technorem. Dans plusieurs autres études, ce sont les mêmes références qui ont été utilisées, soit des chartes de consommations attribuées au MAPAQ, sans qu'il soit possible pour autant d'en retracer l'origine exacte et d'identifier la méthode de production des chartes.

Ces chartes comportent de l'information sur les différentes catégories de prélèvements d'eau mentionnées dans la section ci-dessus.

En ce qui concerne les consommations d'eau pour l'irrigation des cultures, ces chartes comportent des renseignements qui sont, pour la plupart, valides pour la région dans laquelle ils ont été développés, et qui représentent les pratiques d'irrigation des années 2000, soit il y a déjà plus d'une décennie. Considérant l'évolution continue des pratiques d'irrigation, des superficies irriguées et des cultures irriguées, ainsi que le fait que le projet RADEAU couvre différentes régions agricoles du Québec qui ont des climats et des sols très différents, il nous est apparu nécessaire de vérifier ces chartes de

consommation en eau et de les décliner pour chaque région couverte par le projet RADEAU afin de prendre en compte les différences de climat entre chaque région.

En ce qui concerne les prélèvements en eau pour le secteur animal, les différentes études semblent toutes utiliser les mêmes valeurs, qui sont cohérentes avec les données publiées par le ministère de l'Agriculture de l'Ontario (OMAFRA⁶¹), dans les références du CRAAQ et dans les récentes études portant sur les changements climatiques⁶². Nous avons donc décidé d'utiliser les mêmes chartes que celles utilisées dans les PACES.

3.2.2 PRODUCTIONS VÉGÉTALES

ÉLÉMENT CLÉ DE CONSOMMATION : IRRIGATION

Pour les productions végétales, c'est la consommation d'eau associée à l'irrigation des cultures qui doit être calculée, incluant l'irrigation de protection contre le gel ou le refroidissement des couverts végétaux.

En ce qui concerne le nettoyage des légumes, nous avons utilisé la seule information qui était disponible à l'échelle de nos régions d'étude, soit la valeur moyenne de 3,6 litres par kilogramme de légumes lavés (carottes, radis, betteraves, navet, pommes de terre) (Brassard et coll., 2014).

Les prélèvements en eau pour les autres activités au champ, comme la pulvérisation des cultures, représentent des volumes très faibles (Technorem 2009). Ils n'ont pas été considérés dans notre étude.

Pour calculer les prélèvements totaux par municipalités et bassins versants, nous avons procédé de la façon suivante :

- Pour chaque entreprise agricole du Québec, nous disposons des coordonnées géographiques ainsi que des superficies totales cultivées par culture (données des Fiches FLORA du MAPAQ). Les superficies des cultures nécessitant de l'irrigation sont multipliées par les taux de prélèvement pour l'irrigation (m³/semaine/ha) et par les pourcentages de superficies généralement irriguées dans la région.
- Ces derniers renseignements ont été collectés et analysés sous la forme de nouvelles chartes de consommation. Afin d'obtenir les données les plus actualisées sur les pratiques d'irrigation, trois approches complémentaires ont été mises en œuvre :
 - Une revue de la littérature d'études scientifiques récentes ayant réalisé des mesures concernant les pratiques d'irrigation au Québec.
 - La consultation d'experts (voir liste en introduction du rapport) en irrigation, de conseillers de club agroenvironnementaux et du MAPAQ afin d'obtenir des renseignements détaillés sur l'irrigation dans chaque région, et pour des productions en particulier, de même que

⁶¹ <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/07-024.htm>

⁶² Edith Charbonneau, communication personnelle septembre 2017.

des contacts avec des producteurs afin d'obtenir des renseignements sur leurs pratiques d'irrigation.

- Les modèles STICS et Cropsyst ont été testés pour les cultures des pommes de terre, des laitues, des pois, des haricots, du maïs sucré et du maïs en grains. Les simulations avaient pour objectif de tester les modèles en climat actuel et de vérifier si les besoins en eau d'irrigation calculés par les modèles étaient cohérents avec les pratiques des producteurs. Les résultats de ces tests ont permis de confirmer la cohérence des besoins en eau simulés et des pratiques observées chez les producteurs pour les pommes de terre, la laitue, le pois et les haricots. La méthode poursuivie et les résultats obtenus sont détaillés dans l'annexe 6. Les modèles ont servi à simuler les répercussions des changements climatiques sur les besoins des cultures; les résultats de ce travail seront présentés dans un rapport ultérieur.

Notons que les trois approches ont servi à établir les prélèvements d'eau d'irrigation en climat actuel ainsi que le recours aux modèles STICS et Cropsyst permettant, par des simulations, de valider les modèles, qui seront ensuite utilisés pour le climat futur.

Pour chacune des cinq régions, les différentes personnes contactées ont permis de déterminer le pourcentage des superficies irriguées, et, dans certains cas, les nombres et les doses d'apport moyen.

- Pour déterminer la provenance des prélèvements (eau de surface ou eau souterraine), les renseignements recueillis par le MAPAQ dans le cadre des Plans d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) de 2013 à 2016 ont été utilisés. Par MRC et selon que l'entreprise soit avec ou sans élevage, nous avons déterminé la proportion de l'eau utilisée par type de source : aqueduc, eau souterraine ou eau de surface. Lorsqu'il est question d'aqueduc, les coefficients de l'analyse du résidentiel sont utilisés (section 3.1).

Comme l'objectif est de comparer les prélèvements de différentes ressources en eau disponibles et de différents seuils critiques de prélèvement (section 0), ceux-ci sont compilés de deux façons :

1. Prélèvements estivaux en eau de surface (m^3/sem) : consiste à compiler les prélèvements en période critique d'étiage (mois d'été).
2. Prélèvements en eau souterraine (m^3/an) : consiste à compiler les prélèvements totaux sur l'année, avec l'ajout des volumes pour la protection contre le gel des bleuets et des fraises d'été notamment.

3.2.3 PRODUCTION ANIMALE

ÉLÉMENT CLÉ DE CONSOMMATION : ABREUVEMENT DES ANIMAUX

La principale source de prélèvement d'eau est l'abreuvement. La brumisation à l'intérieur des bâtiments pour rafraîchir les animaux en période de chaleur importante, actuellement très rare, n'a pas été comptabilisée dans les bilans actuels. Dans une perspective de changements climatiques, cette

pratique pourrait toutefois se développer. Enfin, le nettoyage des bâtiments a été comptabilisé selon les valeurs de référence développées par Technorem (2008)⁶³.

Les données du MAPAQ permettent de connaître, pour chaque entreprise, le nombre et le type d'animaux. Le nombre de têtes pour chaque type d'élevage est multiplié par un facteur de consommation moyenne pour l'année ($m^3/tête/an$) documenté dans la littérature existante.

3.2.4 PRODUCTION PISCICOLE

La base de données utilisée (fournie par le MAPAQ) comprend le recensement des volumes d'eau prélevés, et leur origine, par les établissements piscicoles et les étangs de pêche des cinq régions à l'étude. Plusieurs années nous ont été fournies, mais l'analyse a été réalisée avec les données les plus récentes, soit celles de l'année 2015. Pour chaque entreprise enregistrée, une valeur de prélèvement maximum est rapportée en m^3/an lorsqu'il est question d'eau souterraine et en $m^3/semaine$ pour l'eau de surface. Les calculs s'effectuent selon une hypothèse d'approvisionnement en eau continu dans l'année.

3.3 SECTEURS INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL

Les ICI (industries, commerces et institutions) sont les derniers utilisateurs étudiés.

3.3.1 INDUSTRIEL

Les prélèvements en eau pour les utilisations industrielles ont été calculés à partir des données compilées par la déclaration de Gestion des Prélèvements d'eau (GPE) du MELCC. Rappelons que le Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau adopté en août 2009 vise à établir les exigences relatives au suivi et à la déclaration des quantités d'eau prélevées au Québec, afin de répondre en partie aux exigences de l'Entente sur les ressources en eaux durables des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent (voir la revue de la réglementation relative à la gestion de l'eau qui fait l'objet d'un volet du rapport d'étape RADEAU). Elle implique donc de la part des grands préleveurs (qui prélèvent plus de $75 m^3$ par jour) qu'ils déclarent leurs prélèvements.

La base de données regroupe les renseignements suivants :

- MRC, région, nom et code de municipalité
- Coordonnées de la longitude et la latitude
- Numéro et nom de l'intervenant
- Source de prélèvement (en surface ou souterrain)
- Code SCIAN
- Nombre de jours, de mois et volume dédié

⁶³ Technorem 2008, cartographie hydrogéologique approfondie dans la zone de production horticole de la MRC de Montcalm – Lanaudière, 311 p.

Un certain nombre de traitements de données sont nécessaires pour une utilisation judicieuse des données :

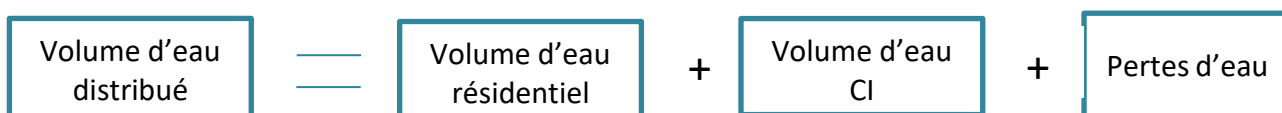
- Le premier traitement a consisté à écarter les entrées relatives aux entreprises agricoles (code SCIAN 11 – en très faible nombre dans les données du GPE) et aux municipalités (code SCIAN 22131) puisque la consommation d’eau de ces segments est calculée autrement.
- Un second traitement a visé à exclure les prélèvements faits au fleuve. Pour ce faire, la recherche d’une mention « *fleuve* » dans le champ « description du prélèvement déclaration » a été effectuée. Ensuite, une zone tampon de 5 km a été délimitée dans un système d’information géographique autour du fleuve. Les entreprises en faisant partie, qui prélèvent de l’eau de surface et qui ne sont pas à proximité d’un cours d’eau autre, sont exclues de la comptabilisation des prélèvements.
- Finalement, les prélèvements ont été distingués par type d’industrie.

3.3.2 COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL

Le GPE contient de l’information sur les prélèvements pour les grandes industries qui ont leurs propres infrastructures (puits, forages, stations de pompage). Par contre, toutes les plus petites industries, les commerces et les autres institutions, qui sont reliés aux réseaux municipaux d’adduction d’eau potable, ne sont pas comptabilisés dans le GPE. Par la suite, nous nommons ce segment CI (commercial et institutionnel), mais il représente en réalité une partie des industriels de petite dimension.

Nous avons estimé les prélèvements en eau des CI à partir de la base de données du MAMOT (voir section 3.1) :

- Le volume d’eau distribuée est disponible par municipalité. Il se sépare en différents usages :



- Comme décrit ci-haut, le volume d’eau distribué pour l’usage résidentiel a été estimé en multipliant la moyenne provinciale de la consommation résidentielle (L/pers/j), soit 216 litres/personne/jour, par la population desservie par les réseaux de chaque municipalité.
- Le volume d’eau distribué pour les CI est estimé en soustrayant du volume d’eau distribué total les pertes d’eau (estimées dans la base de données du MAMOT), et le volume pour l’usage résidentiel.



Le tableau suivant apporte des précisions sur les variables utilisées dans les calculs et sur certaines hypothèses réalisées :

Tableau 3.2

Explications des variables prises en compte dans le calcul des prélèvements d'eau pour les usages CI à partir de la base de données sur la consommation d'eau potable du MAMOT

Variables	Description	Remarques
Population desservie	Nombre de logements desservis et occupés de façon permanente x nombre de personnes par logement	Estimé par le MAMOT
Estimation des pertes d'eau (m ³)	Volume d'eau distribué x le % de pertes d'eau potentielles	Le % de perte est estimé par chaque municipalité
Volume d'eau distribué net des pertes d'eau (m ³)	Volume d'eau distribué moins estimation des pertes d'eau (m ³)	
Estimation consommation résidentielle (m ³) – selon une moyenne pondérée	Population desservie x consommation résidentielle (m ³ /pers/jour)	Consommation résidentielle = 78,95 m ³ /pers/an ou 216 L/pers/jour, calculée à partir de la consommation résidentielle des municipalités avec compteurs d'eau
Estimation consommation CI ajusté (L/pers/jour)	Si population totale > population desservie -> Estimation CI (L/pers/jour) = Estimation CI (m ³ x 1 000) / population totale / 365. Si population totale < population desservie -> Estimation CI (L/pers/jour) = Estimation CI (m ³ x 1 000) / population desservie / 365.	

4. TRAITEMENT SPATIAL DES DONNÉES DE PRÉLÈVEMENTS

4.1 PRÉLÈVEMENTS D'EAU DE SURFACE PAR BASSIN VERSANT

Une hypothèse de travail importante dans la sommation des prélèvements de l'eau de surface a été retenue: l'eau est consommée dans le bassin versant où elle est prélevée. Les transferts d'eau entre bassins versants ne sont pas considérés. Cette hypothèse s'est imposée, dans la mesure où il n'existe pas de base de données permettant de localiser systématiquement les prélèvements d'eau de surface. Dans certains cas où l'information était disponible, les prélèvements d'une municipalité donnée ont été attribués à la municipalité à l'origine (véritable) de l'approvisionnement. Ces relocalisations du prélèvement se sont alors traduites par des changements dans les bilans d'utilisation de l'eau de surface compilés à l'échelle des bassins versants.

4.1.1 RÉSIDENTIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL (CI)

Puisque les prélèvements des secteurs résidentiels et des CI sont évalués par municipalité et par la suite compilés à l'échelle spatiale du bassin versant, le calcul des prélèvements totaux a été réalisé au prorata de la surface des municipalités dans chaque bassin. Une répartition homogène de la population sur le territoire a alors été considérée, faute de données plus précises sur la répartition de la population.

4.1.2 AGRICOLE ET INDUSTRIEL

Pour chaque entreprise agricole, les superficies cultivées en différentes cultures ont été attribuées à un sous-bassin donné sur la base des données géolocalisées du MAPAQ (Fichiers FLORA). Une démarche semblable a été retenue pour les industries qui sont inscrites au registre géolocalisé des grands préleveurs. Le calcul des prélèvements totaux des secteurs agricoles et industriels a donc été réalisé suivant une approche d'intersection spatiale des centroïdes d'exploitations et du découpage des bassins versants.

4.2 PRÉLÈVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE PAR MUNICIPALITÉ

4.2.1 RÉSIDENTIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL (CI)

Les prélèvements d'eau souterraine sont calculés par municipalité pour les préleveurs des secteurs résidentiel, commercial et institutionnel. Une simple sommation de ces prélèvements est effectuée de façon à obtenir une valeur pour chaque municipalité de la zone à l'étude.

4.2.2 AGRICOLE ET INDUSTRIEL

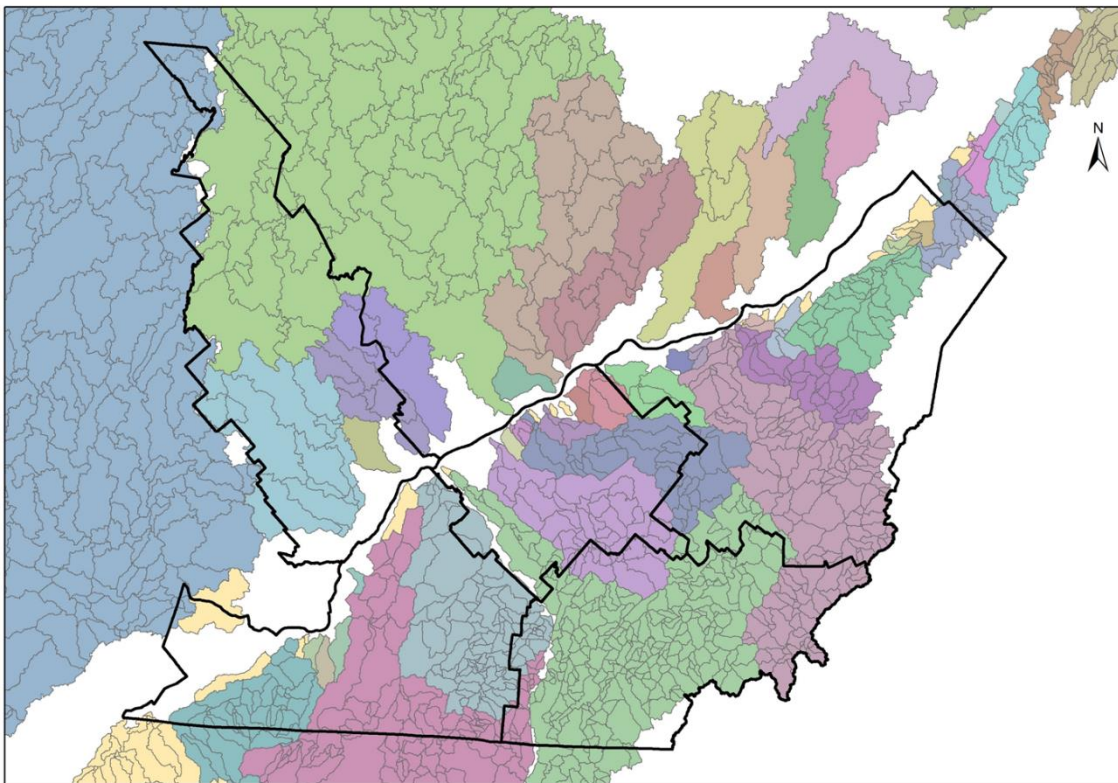
Comme pour l'eau de surface, le calcul des prélèvements totaux des secteurs agricoles et industriels (grands préleveurs) se fait par intersection spatiale afin de comptabiliser tous les points d'une même unité cartographique, étant ici la municipalité.

4.3 INTÉGRATION DES BASSINS VERSANTS

Les unités cartographiques de base sont les bassins versants de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2018.

Une première étape a consisté à les assembler dans une même couche géomatique. Ensuite, les attributs des tronçons de lit de cours d'eau ont été transférés dans les bassins (numéro, débits en étiage estival et hivernal). La Figure 4.1 présente la couverture des différents bassins versants fournis par la Direction de l'expertise hydrique (DEH) du MELCC.

Figure 4.1
Couverture des régions à l'étude avec les bassins versants de la DEH



Les bassins d'une même couleur sur la carte sont liés par un exutoire unique et les contours gris à l'intérieur ont été redécoupés en sous-bassins. Au total, pour la zone à l'étude, 1 048 bassins (et leurs valeurs de débit en étiage) ont été utilisés. En moyenne, les bassins ont une superficie d'environ 3 000 km².

La deuxième étape a consisté à supprimer les bassins dont le débit d'étiage n'a pas été modélisé. L'approche utilisée pour documenter ces zones non couvertes par l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2018 est détaillée dans le chapitre suivant.

5. TRAITEMENT SPATIAL DES DONNÉES CONCERNANT LA DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE HYDRIQUE EN CLIMAT ACTUEL ET FUTUR

La disponibilité de la ressource hydrique a été évaluée de façon distincte pour l'eau de surface et l'eau souterraine en suivant les indicateurs suivants :

- Le débit d'étiage estival (indicateur $Q_{2,7}$: débit minimum sur sept jours consécutifs du cours d'eau pour une période de récurrence de deux ans⁶⁴) a été retenu comme indicateur de disponibilité de l'eau de surface en période estivale ou hivernale.
- Pour l'eau souterraine, l'indicateur de disponibilité de l'eau souterraine est la recharge annuelle totale estimée de l'aquifère.

5.1 EAU DE SURFACE

Les indicateurs de débit d'étiage estival ($Q_{2,7}$) en climat actuel et futur sont tirés de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2018 (MELCC, 2018), ci-après nommé Atlas 2018. Des projections de débit d'étiage estival (Q_{7min2E}) et de débit d'étiage hivernal (Q_{7min2H}) ont été associées à chacune des coordonnées des exutoires des bassins versants délimités pour les besoins de l'étude. Seule la projection du débit d'étiage estival a été mise à profit dans l'estimation des indices de pression de l'utilisation des eaux de surface.

Trois problématiques de traitement spatial des données de l'Atlas sont survenues lors de l'indexation des débits d'étiage aux bassins versants délimités pour l'étude, comme décrits ci-dessous :

1. Couverture imparfaite aux frontières des bassins (zones manquantes)

Les bassins de l'Atlas 2018 sont produits par région hydrographique, impliquant un regroupement de bassins versants. La jonction entre ces régions hydrographiques n'est cependant pas hydrologiquement cohérente et se traduit ainsi par des superficies non couvertes. Aucune correction n'a été apportée à ce sujet dans le cadre du projet. La tâche appréhendée, de grande ampleur, dépassait le cadre du mandat de la présente étude.

2. Incohérence entre le découpage des bassins et l'hydrographie

Ce problème concerne principalement le bassin de la rivière l'Assomption. Les sous-bassins des secteurs problématiques de l'Atlas ont été redéfinis sur la base du modèle numérique d'élévation 1:20,000 du MELCC. Les débits d'étiage correspondants au nouveau découpage des sous-bassins ont été estimés suivant la démarche appliquée aux petits bassins versants non couverts par l'atlas et présentée ci-bas (5.1.2)

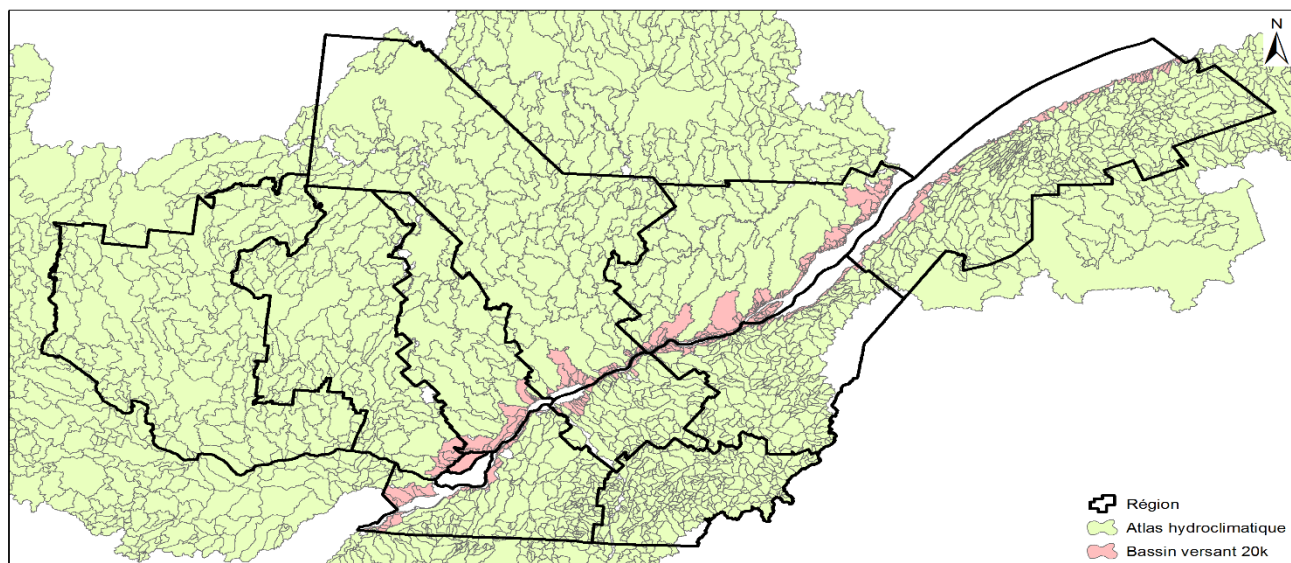
3. Erreurs résiduelles (petits bassins non couverts)

L'Atlas hydro-climatique 2018 ne couvre pas les petits bassins versants situés le long du fleuve. Ces bassins ont une superficie moyenne de 17,4 km², variant de 0,04 km² à 390 km². Il a été décidé d'utiliser

⁶⁴ Source : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/methode/>

les bassins délimités à l'échelle 1 :20,000 du MELCC pour combler les vides (voir Figure 5.1) et un nouveau débit en étiage a aussi été calculé suivant la méthode présentée ici-bas (section 5.1.2).

Figure 5.1
Bassins couverts par l'Atlas hydroclimatique 2018 et bassins documentés par l'IRDA.



5.1.1 CALCUL DES DÉBITS $Q_{2,7}$

Pour calculer les $Q_{2,7}$, en climat actuel et futur, des bassins non documentés par l'Atlas, une relation statistique entre la superficie du bassin versant et le débit d'étiage ($Q_{2,7}$) a été développée sur la base des données hydrométriques colligées par l'IRDA (1007-2017) et la DEH :

- Les suivis hydrologiques de l'IRDA (Tableau 5.1) en micro-bassins versants agricoles couvrent des superficies de 3 à 30 km². Ces données ont déjà été mises à profit dans diverses études, ciblées notamment sur l'analyse hydrologique des crues en vue d'établir des critères de conception d'ouvrages hydrauliques. Ces bassins ont tous profité d'un calage-hauteur-vitesse débit rigoureux, sur la base de mesures de débits colligées l'année durant, incluant une proportion élevée de mesures en étiage hivernal et estival. Une description des sites d'étude, des dispositifs et des protocoles de mesure est présentée dans les rapports scientifiques en ligne^{65,66}.
- Les données historiques de débits (Tableau 5.2) de la Direction de l'expertise hydrique (DEH) du MELCC incluent plusieurs bassins situés en zone agricole. Bien que la plupart des stations d'intérêt (superficie < 200 km²) soient aujourd'hui fermées, la durée du monitoring est adaptée aux besoins de la présente étude. Une durée minimale de cinq ans de mesure est retenue pour une estimation de $Q_{2,7}$.

⁶⁵ <https://www.irda.qc.ca/fr/publications/developpement-et-validation-de-methodes-de-prediction-du-ruissellement-et-des-debits-de-pointe-en-support-a-l-amenagement-hydro-agricole/>

⁶⁶ <https://www.irda.qc.ca/fr/publications/mise-a-jour-des-normes-et-procedures-de-conception-des-ouvrages-hydro-agricoles-dans-un-contexte-de-changements-climatiques/>

Tableau 5.1
Micro-bassins de référence de L'IRDA retenus dans les projections de Q_{2,7}

Région	Bassin	Station	Superficie (km ²)	Années
Estrie	Tomifobia	Brook	7,1	2009-2015
Estrie	Tomifobia	Cass	5,8	2009-2015
Montérégie	Baie Lavallière	3 ^e Petite-Rivière-Pot-au-beurre	19,5	2009-2014
Montérégie	Baie Lavallière	Petite rivière Bellevue	16,1	2009-2014
Montérégie	Au Brochet	Aux Castors	11,2	1997-2013
Mauricie	Champlain	Rivière Noire	8,2	2009-2015
Mauricie	Champlain	Rivière Brûlée	9,6	2009-2015
Montérégie	Au Brochet	Ewing	32,2	2001-2012
Chaudière-Appalaches	Fourchette	Amont	2,5	2001-2015
Chaudière-Appalaches	Fourchette	Aval	1,9	2001-2015
Montérégie	Au Brochet	Walbridge amont	6,3	2001-2006
Montérégie	Au Brochet	Walbridge aval	7,9	2001-2006

Tableau 5.2
Bassins retenus de la DEH/MELCC dans les projections de Q_{2,7}.

Région	N° de station	Station	Superficie (km ²)
Montérégie	030343	Yamaska Nord	31
Montérégie	030335	Yamaska Nord	59
Montérégie	023002	Boyer Sud	61
Montérégie	023432	Bras d'Henri	153
Montérégie	023004	Boyer	191
Lanaudière	052606	Mastigouche	205
Montérégie	030314	Yamaska Sud-Est	213
Centre-du-Québec	030262-91	Saint-Germain	263
Montérégie	030415	Des Hurons	316
Montérégie	030316	David	323
Centre-du-Québec	023701	Petite du Chêne	361
Montérégie	030421	L'Acadie	368
Montérégie	030420	Aux Brochets	396
Estrie	030215	Coaticook	526
Estrie	030101	Nicolet Sud-Ouest	550
Montérégie	030907	Des Anglais	611
Lanaudière	052233	De L'Achigan	642
Estrie	030234	Eaton	646
Chaudière-Appalaches	023422	Famine	696
Chaudière-Appalaches	023401	Beaurivage	707
Estrie	030282	Au Saumon	734
Chaudière-Appalaches	023106	Du Sud	821
Centre-du-Québec	024003	Bécancour	917
Estrie	023403	Chaudière	1136
Chaudière-Appalaches	023303	Etchemin	1150
Lanaudière	052212	Ouareau	1262
Lanaudière	052219	L'Assomption	1299
Lanaudière	050119	Matawin	1387
Montérégie	030304	Noire	1509
Centre-du-Québec	030103	Nicolet	1544
Centre-du-Québec	024014-07	Bécancour	2161
Montérégie	030905	Châteauguay	2503
Chaudière-Appalaches	023429	Chaudière	3076
Montérégie	030345-41-34	Yamaska	3366
Chaudière-Appalaches	023426	Chaudière	4105
Chaudière-Appalaches	023402	Chaudière	5822

Pour les bassins étudiés par l'IRDA, le $Q_{2,7}$ a été estimé sur la base du calcul du débit moyen sur sept jours consécutifs. Les valeurs minimums en saison hivernale (1^{er} janvier au 31 mai) et en saison estivale (1^{er} juin au 31 octobre) ont été retenues pour chaque année complète. Pour chaque débit minimum, la récurrence (1/fréquence de dépassement) a été calculée. Les régressions établies entre les débits d'étiage et les superficies des bassins respectifs sont illustrées aux Figure 5.2 et Figure 5.3.

Figure 5.2

Relation entre débit d'étiage estival et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km²

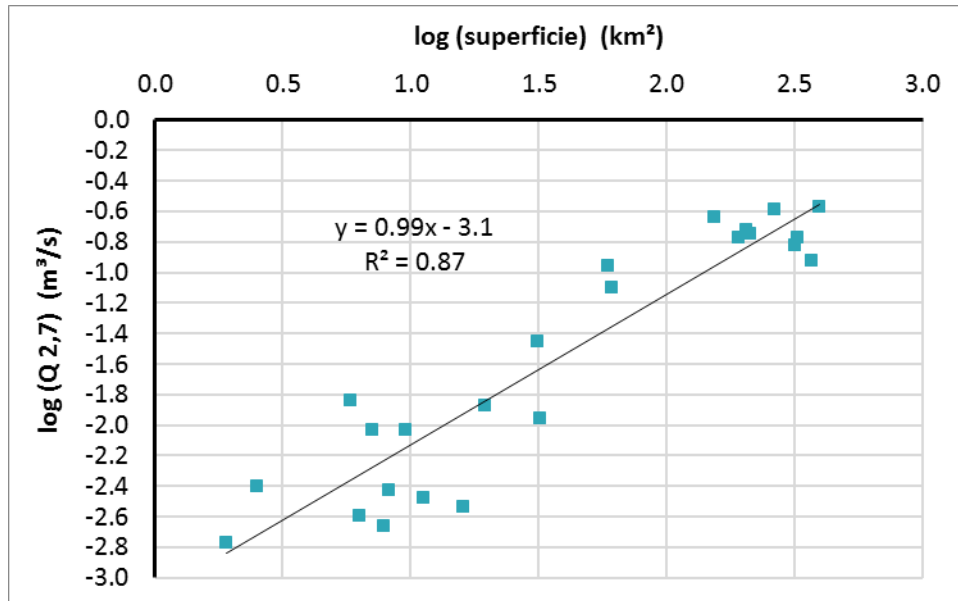
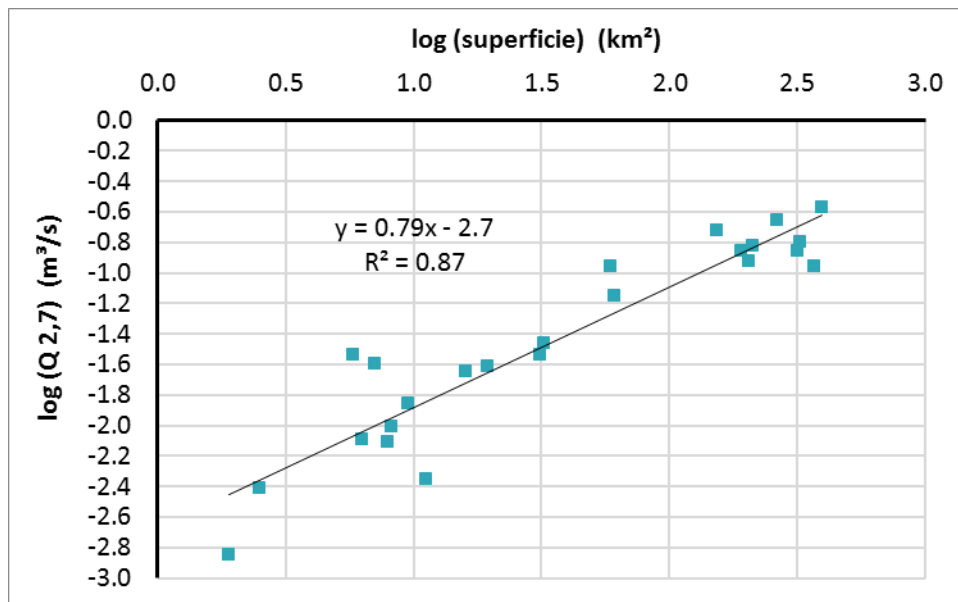


Figure 5.3

Relation entre débit d'étiage hivernal et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km²



Pour chaque bassin non documenté dans l'Atlas 2018, le débit d'étiage a été estimé en utilisant l'équation de la régression Débit :superficie déterminée pour les conditions estivales (Figure 5.2) et hivernales (Figure 5.3) (hiver) mettant en relation le débit et la superficie d'un bassin. La contribution d'autres variables, dont l'occupation du sol, la précipitation annuelle moyenne et la présence des milieux humides a été explorée dans l'explication des $Q_{2,7}$. Ces variables ne permettaient cependant pas d'améliorer de manière significative l'ajustement (R^2) du modèle de régression. La performance du modèle de régression utilisant la superficie comme seule variable explicative ($R^2=0.89$) a été jugée satisfaisant pour les fins de l'étude.

Les débits d'étiage en climat futur pour les bassins non documentés dans l'Atlas ont été projetés sur la base du produit du $Q_{2,7}$ estimés en climat actuel (suivant l'approche de régression utilisant la superficie en variable explicative) par un coefficient de changement du $Q_{2,7}$ en climat futur. Ce dernier a été estimé sur la base du ratio des $Q_{2,7}$ (Climat futur)/ $Q_{2,7}$ (Climat historique) des bassins versants documentés dans l'Atlas limitrophes au bassin à documenter.

5.1.2 COMPARAISON DES RESSOURCES ET DES PRÉLÈVEMENTS

La couverture complète de la zone d'étude en unités de bassins versants avec débits d'étiage documentés a permis de projeter l'intensité de la pression sur l'eau de surface selon le ratio suivant :

$$\frac{\sum \text{prélèvements d'eau de surface du bassin (résidentiel, agricole et ICI)}}{Q_{2,7} + \sum \text{prélèvements d'eau de surface du bassin (résidentiel, agricole et ICI)}}$$

Puisque les débits d'étiage sont dépendants des prélèvements effectués, les prélèvements ont été ajoutés au débit d'étiage dans le calcul des indices de pression.

Un seuil critique de 15 %, indicateur d'un possible conflit d'usage, a été retenu dans l'interprétation des indices de pression sur l'eau de surface. À ce titre, les valeurs retrouvées dans la littérature varient entre 10 et 20 % du débit d'étiage. Le Règlement sur les habitats fauniques du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs se réfère à un taux de 15 % du débit actuel (et non d'origine) lorsque des travaux sont faits dans des cours d'eau (voir le chapitre 1). C'est entre autres pour s'arrimer avec cette norme que le MELCC proposerait 15 % dans son Guide de conception des installations de production d'eau potable⁶⁷ en y intégrant la notion de seuil cumulatif par rapport au débit d'étiage⁶⁸.

5.1.3 PRÉSENTATION CARTOGRAPHIQUE

Les indices de pression sur l'eau de surface (ratio prélèvements : $Q_{2,7}$) ont été projetés sous un format cartographique. Afin d'assurer une représentation fiable de l'intensité des indices de pression projetés à l'échelle des bassins versants, des corrections ont été apportées quant à l'exclusion de certains bassins versants de l'analyse, de même que la correction de la localisation des sources d'eau de surface.

⁶⁷ <http://www.MELCC.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/documents/volume1.pdf>

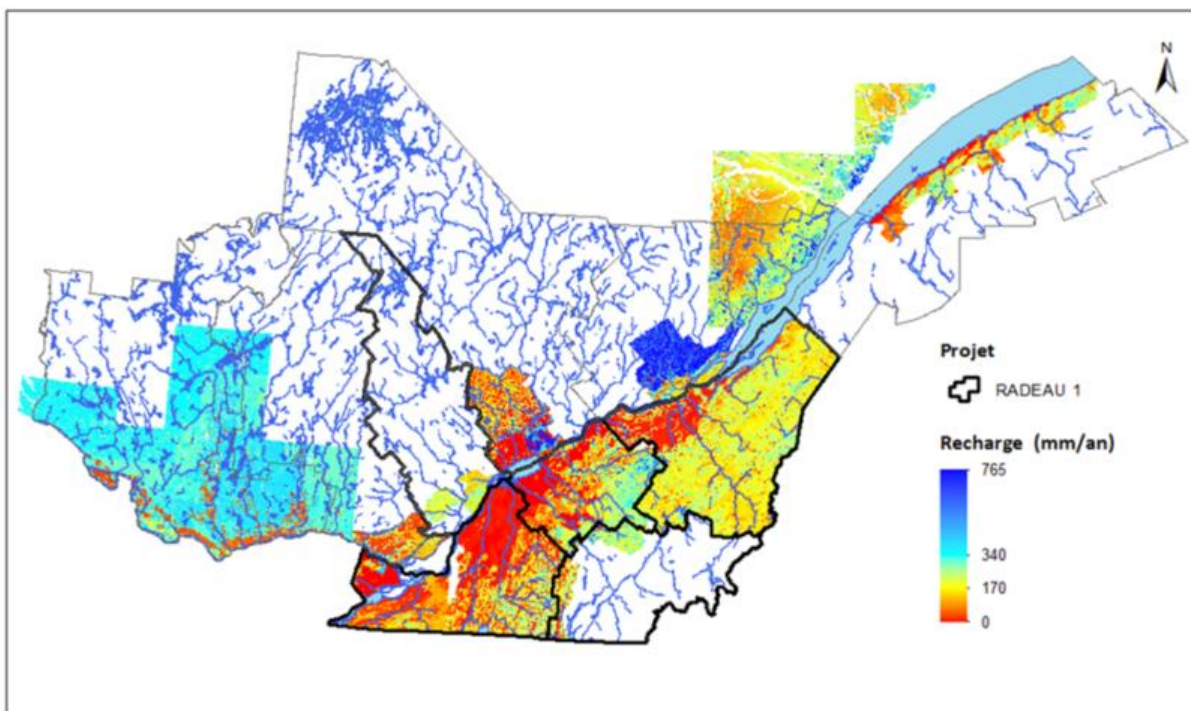
⁶⁸ Communication personnelle auprès de Judith Kirby, Direction de la gestion intégrée de l'eau, Direction générale des politiques de l'eau, MELCC, 13 février 2017.

En effet, quelques sources d'eau de surface pour certains bassins donnés ont été localisées dans un bassin versant voisin. Les corrections ont alors été apportées pour rediriger ceux-ci dans le bon bassin versant. Les prélèvements affectés concernent les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel pour certains bassins des bassins centraux de la Montérégie. Enfin, les prélèvements provenant du fleuve et des lacs ont été ignorés dans les calculs des indices de pression sur l'eau de surface.

5.2 EAU SOUTERRAINE

Les cartes de recharge de l'aquifère (mm/an) développées dans le cadre de différentes études serviront à comparer l'intensité des prélèvements de l'eau souterraine. Les études du Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (PACES) de Vaudreuil-Soulanges (Larocque et coll., 2015a), Nicolet-Bas-Saint-François (Larocque et coll., 2015b), Bécancour (Larocque et coll., 2013), Chaudière-Appalaches (Lefebvre et coll., 2015) et Montérégie Est (Carrier et coll., 2013), les études Technorem de la MRC de Joliette et d'Autray (TechnoRem, 2009) et celle de la MRC de Montcalm (TechnoRem, 2008) et l'étude de la Commission géologique du Canada avec l'Atlas de Châteauguay (Benoit et coll., 2006) ont permis de caractériser la ressource souterraine sur une bonne proportion de la zone à l'étude (Figure 5.4).

Figure 5.4
Recharge (mm/an) pour la zone à l'étude d'après la littérature



Les méthodes utilisées dans les différentes études, que ce soit du PACES ou les autres, sont variées :

- Au Centre-du-Québec et dans Vaudreuil-Soulanges, l'équipe de l'UQAM a utilisé le modèle HydroBilan, un modèle d'infiltration qui travaille avec une approche de bilans hydriques journaliers et spatialisés (mailles 500 m X 500 m). À partir des valeurs d'apports verticaux, le

modèle calcule le ruissellement, l'évapotranspiration et l'infiltration (recharge) selon les données géologiques et météorologiques sur 20 ans.

- Pour Lanaudière, les études des MRC de Joliette et d'Autray et de la MRC de Montcalm par Technorem ont préconisé une démarche par bilan hydrologique simple où $Recharge = Précipitation - Ruissellement - Évapotranspiration - Changement\ dans\ la\ réserve\ utile$.
- En Montérégie et en Chaudière-Appalaches, c'est le modèle HELP (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*) qui a été utilisé par l'équipe de l'INRS. Le logiciel HELP considère les données du climat, de la végétation, de l'occupation du territoire et les propriétés des sols, des dépôts et du roc, afin d'estimer les différents paramètres hydrologiques. Le calcul de la recharge se base sur l'équation $Recharge = Précipitation - Ruissellement - Évapotranspiration \pm Emmagasinement$

Tous les modèles utilisent donc le même genre de paramètres généraux de bilan hydrique, mais tendent à les évaluer différemment. Dans le cadre du projet, l'étude des eaux souterraines se faisant à l'échelle de la municipalité, la méthode retenue pour l'évaluation de cette recharge consiste à :

- Pour les municipalités couvertes à plus de 50 % de leur territoire par les études, calculer une valeur de recharge moyenne par municipalité;
- Pour les municipalités dont la superficie couverte est inférieure à 50 % (en Estrie et dans la portion nord de Lanaudière), utiliser la valeur minimale de recharge dans les municipalités en périphérie. Cette hypothèse se traduit par un portrait pessimiste de la situation pour ces municipalités où la recharge n'a pas été étudiée. Les valeurs finales pour toute la zone à l'étude sont présentées à la Figure 5.5.

Notons qu'en climat futur, la recharge des aquifères a été considérée identique à l'horizon 2050. Selon les connaissances actuelles, cette période de temps ne justifierait pas de faire l'hypothèse de changement significatif dans le niveau de recharge⁶⁹.

COMPARAISON DES RESSOURCES ET DES PRÉLÈVEMENTS

Les indices de pression sur l'eau souterraine ont été estimés à l'échelle de chacune des municipalités suivant le ratio suivant :

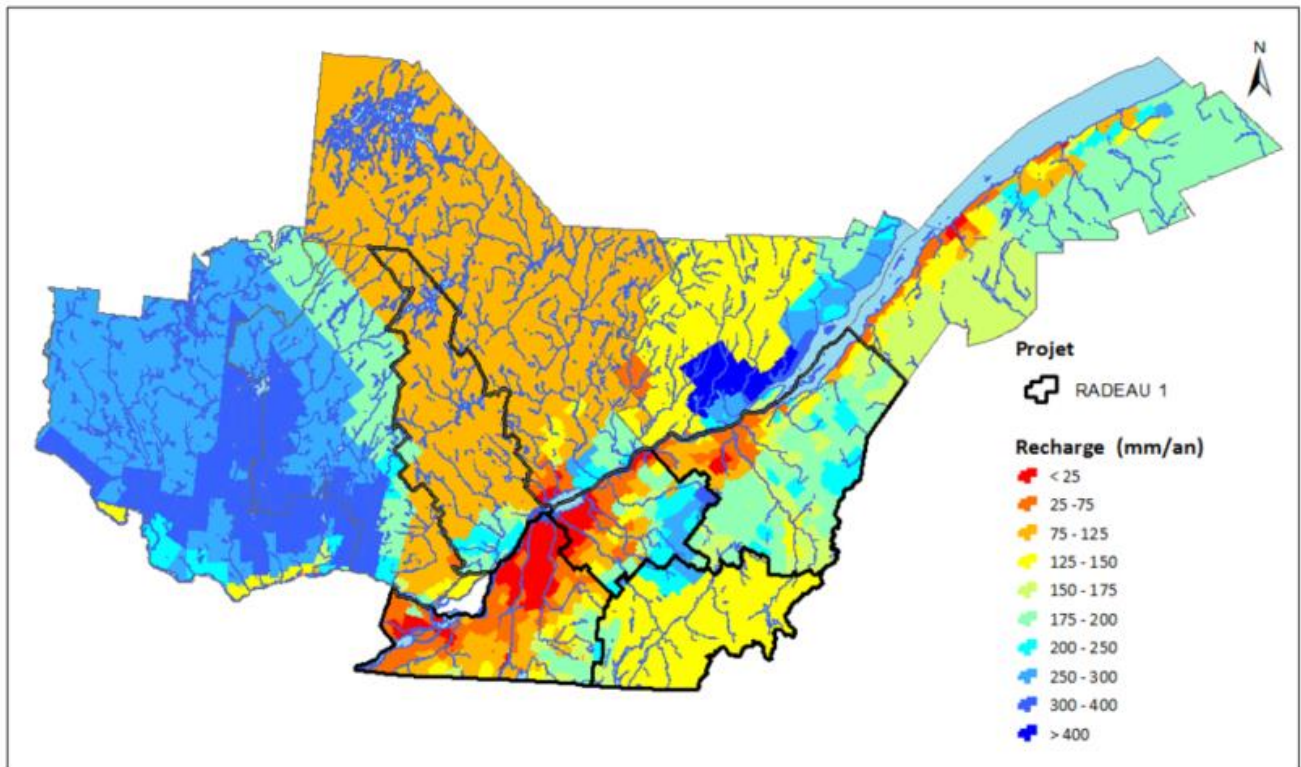
$$\frac{\sum \text{prélèvements d'eau souterraine de la municipalité (résidentiel, agricole et ICI)}}{Recharge}$$

L'estimation de la recharge est présumée comme indépendante du taux de prélèvement. En effet, les taux documentés de recharge sont plutôt déterminés par des facteurs liés au climat, la topographie, la géologie, la végétation et les propriétés physiques des sols. Le seuil critique de l'indice de pression sur l'eau souterraine (ratio prélèvements : recharge) a été établi à 20 %⁷⁰.

⁶⁹ Communication personnelle, René Lefebvre, professeur en hydrogéologie, Centre Eau Terre Environnement, INRS.

⁷⁰ René Lefebvre, INRS, communication personnelle.

Figure 5.5
Recharge (mm/an) moyenne estimée par municipalité pour les régions à l'étude.



6. PRÉLÈVEMENTS EN CLIMAT FUTUR

Ce chapitre expose en détail la méthodologie utilisée pour quantifier les prélèvements d'eau futurs pour les différents usages (agricole, résidentiel et ICI) dans les cinq régions à l'étude. S'arrimant à la méthode appliquée aux bilans en période actuelle, la démarche repose sur des évaluations distinctes des portraits de l'utilisation des eaux de surface et souterraines :

- Les prélèvements d'eau de surface en période de pointe sont comparés, à l'échelle de chacun des bassins versants, à la disponibilité des eaux de surface en période d'étiage. Cette comparaison repose sur l'indicateur de débit d'étiage $Q_{2,7}$, estival et hivernal), soit la valeur minimum du débit moyen du cours d'eau sur une période de 7 jours, d'une récurrence de deux ans.
- Les prélèvements d'eau souterraine sur une base annuelle sont comparés à la recharge annuelle de la nappe, à l'échelle des municipalités.

La projection des prélèvements en climat futur pour les secteurs résidentiel, industriel et agricole a été inspirée de différents scénarios d'évolution élaborés pour la présente étude.

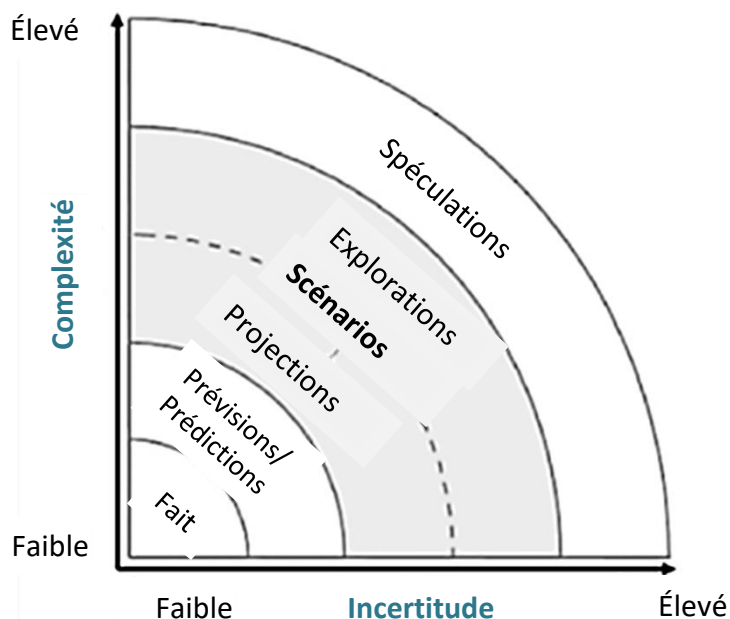
6.1 ÉLABORATION DES SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION

Les prochaines sections présentent l'approche retenue pour articuler en cinq scénarios les visions possibles du futur, reposant sur la scénarisation d'histoire et la sélection de scénarios climatiques.

6.1.1 SCÉNARIOS NARRATIFS

Il existe différentes approches pour appréhender la façon dont des activités ou des comportements d'acteurs pourraient évoluer dans le temps. Dans le cas de la présente étude, nous devons tenter d'évaluer la façon dont les prélèvements en eau pourraient évoluer à l'horizon 2050. L'approche par scénario est particulièrement adaptée dans un contexte de relative incertitude sur le futur et d'évolution complexe des activités (voir la Figure 6.1).

Figure 6.1
Approche par scénario pour faire l'ébauche de trajectoires futures



Source : tiré de Zurek and Henrichs

C'est pour cette raison que nous avons adopté l'approche par scénarios narratifs, qui nous apparaissait aussi la plus appropriée pour une démarche participative, comme celle de RADEAU. Cette approche consiste à littéralement raconter une histoire, c'est-à-dire à mettre en récit des futurs possibles, en assurant quatre critères pour chacune des « histoires ». Ainsi, les scénarios doivent :

- Respecter une logique interne
- Être plausibles
- Être originaux (en dehors des lieux communs)
- Être contrastés entre eux

Une telle approche peut conduire à la rédaction d'une multitude de scénarios, selon l'équipe de chercheurs et d'experts réunis pour bâtir les histoires. Dans le cas du projet RADEAU, l'équipe s'est réunie à deux reprises à cet effet. Il y a d'abord eu une rencontre pour identifier les facteurs de changement (internes et externes) qui peuvent affecter les besoins en eau, permettant de bonifier la première idée réalisée dans chacune des régions avec les acteurs locaux. Une deuxième rencontre a permis d'assembler ces différents facteurs et d'observer leur intensité pour concevoir cinq scénarios d'évolution, dont un scénario de *statu quo*.

- Les facteurs de changements identifiés sont notamment la réglementation (qui peut se traduire par des interdictions d'usage ou qui peut induire des changements de comportement, par exemple la taxation de l'eau), les développements industriels et agricoles ainsi que la croissance démographique.
- Pour l'élaboration des scénarios, nous avons retenu les deux facteurs les plus incertains et se traduisant par des répercussions sur les prélèvements, et nous avons choisi la direction vers

laquelle les autres facteurs allaient évoluer. Puis, nous avons déterminé les répercussions de ces évolutions sur les prélèvements. Le fil conducteur des changements représente les changements climatiques. Les scénarios climatiques d'Ouranos (voir la section 6.1.2) ont alors été combinés à nos scénarios narratifs.

CORRESPONDANCE ENTRE LES SCÉNARIOS NARRATIFS ET LES SCÉNARIOS CLIMATIQUES

Tableau 6.1
Correspondance entre les scénarios narratifs et les scénarios climatiques

Numéro	Scénario narratif	Scénario climatique (nom court)	Scénario climatique (nom complet Ouranos)
Scénario 1	Statu quo	-	Moyenne des 4 scénarios
Scénario 2	Chaleur et soif	MI58	GFDL-ESM2G_rcp85_r1i1p1
Scénario 3	Chaleur et interdits	GFG	MIROC5_rcp60_r1i1p1
Scénario 4	Tempéré et dense	MR3	MIROC5_rcp85_r1i1p1
Scénario 5	Tempéré et urbain	MI56	MRI-CGCM3_rcp85_r1i1p1

Les scénarios narratifs élaborés ont été présentés lors d'une rencontre avec le comité avisier afin d'être mis à l'épreuve. Notre choix, rappelons-le, consistait à ne pas proposer de scénarios extrêmes, mais à privilégier des évolutions plausibles. Les scénarios narratifs finaux sont disponibles en annexe 7. Les sections 6.2, 6.3, 6.4 et 6.5 décrivent plus en détail les hypothèses retenues pour les facteurs de changements pour les usages résidentiels, agricoles, industriels et récréotouristiques.

6.1.2 SCÉNARIOS CLIMATIQUES⁷¹

PRÉSENTATIONS DES SCÉNARIOS RETENUS

Cinq scénarios climatiques ont été retenus dans le cadre d'un processus de classification des scénarios présents dans les bases de données d'Ouranos, à partir de variables climatiques choisies comme indicateurs : la variation en matière de précipitations cumulées sur la période de juin à août, la moyenne de température moyenne d'avril à octobre, et enfin le nombre de jours avec des températures supérieures à 32 °C (Braun, 2017). Dans ce contexte, ces scénarios représentent 72 % de la variabilité, qui est simulée dans les scénarios climatiques de l'ensemble CMIP5⁷² utilisés par Ouranos. Chaque scénario a été obtenu pour une « station » par région, c'est-à-dire une ville où une station météorologique pour laquelle nous avons des données historiques complètes (ou presque) sur la période de référence (1981-2010).

Les cinq scénarios retenus sont présentés dans le Tableau 6.2.

⁷¹ Section écrite avec la collaboration de Guillaume Jégo et René Morissette d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada

⁷² <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html>

Tableau 6.2
Scénarios climatiques retenus pour la période de référence (1981-2010)
et les climats futurs (2041-2070)

Simulation référence (1981-2005 + 2006-2010)	Simulation future (2041-2070)
GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	GFDL-CM3_rcp45
GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	GFDL-ESM2G_rcp85
MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	MIROC5_rcp60
MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	MIROC5_rcp85
MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	MRI-CGCM3_rcp85

Remarque : les scénarios de référence sont composés de données considérées comme historique (1981 à 2005) et future (2006-2010) par Ouranos.

Dans les sections suivantes, nous décrivons brièvement ces scénarios sur la base de quelques indicateurs retenus, afin d'analyser la variabilité présente.

1. Évolution des températures

Pour décrire l'évolution des températures, nous avons d'abord analysé la température moyenne sur la période d'avril à octobre. Le Tableau 6.3 présente les valeurs absolues observées ainsi que les déviations par rapport à ces valeurs absolues, simulées dans le cadre des scénarios de référence et des scénarios de changement climatique (CC).

Tableau 6.3
Comparaison des températures moyennes observées d'avril à octobre pour la période 1981-2010, simulées sur la période 1981-2010 et simulées sur la période 2041-2070.

	Température moyenne (avril à octobre)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observée (en °C)	12	14	14	12	14
Différence entre simulée et observée (en °C) pour la période 1981-2010	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Différence entre les scénarios pour 2041-2070 et la période de référence simulée 1981-2010 (en °C)	GFDL-CM3_rcp45	4,1	3,7	4,4	3,7	3,8
	GFDL-ESM2G_rcp85	2,2	2,1	2,1	2,2	2,1
	MIROC5_rcp60	2,2	2,2	2,3	2,1	2,2
	MIROC5_rcp85	3,9	3,9	4,1	3,8	3,9
	MRI-CGCM3_rcp85	2,1	1,9	2,1	2,1	1,9
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en °C)		2,9	2,8	3,0	2,8	2,8

Tout d'abord, il est à noter que les scénarios de référence sont très proches des valeurs observées du fait du post-traitement qui a été réalisé, avec une différence au maximum de 0,1 °C (section du haut dans le tableau), que nous pouvons donc considérer comme négligeable.

En ce qui concerne les scénarios de changement climatique, l'augmentation moyenne simulée est de près de 3 °C sur la période d'avril à octobre pour 2041-2070, comparativement à 1981-2010, ce qui représente une hausse importante. Cette hausse est cependant variable en fonction des scénarios : le scénario le plus faible (MRI-CGCM3_rcp85) prévoit une hausse de 2 °C en moyenne alors que le scénario le plus fort (GFDL-CM3_rcp45) prévoit quant à lui une hausse de 4 °C en moyenne. Enfin, l'ensemble des scénarios est assez constant d'une station à l'autre en matière d'amplitude de changement; les principales différences observées se situent entre scénarios, et non entre stations.

Nous avons également analysé le nombre de jours par an qui présente une température maximale supérieure à 30 °C (Tableau 6.4).

Tableau 6.4

Comparaison du nombre annuel moyen de jours où la température maximale est supérieure à 30 °C dans les données météorologiques observées entre 1981-2010, simulées pour la même période et simulées pour la période future 2041-2070.

	Température maximale supérieure à 30 °C	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observée (nombre de jours) entre 1981 et 2010	6	12	9	5	11
Différence entre simulée et observée (nombre de jours) pour la période 1981-2010	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-1	-2	-2	-1	-1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	-1	-1	-2	-1	0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	-1	-1	-2	0	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	-1	-1	-2	0	-1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-1	-1	-2	0	0
Différence entre les simulations pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	36	42	45	33	43
	GFDL-ESM2G_rcp85	14	17	14	15	18
	MIROC5_rcp60	12	16	14	11	17
	MIROC5_rcp85	28	33	32	26	34
	MRI-CGCM3_rcp85	10	8	11	8	9
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (jours)		20	23	23	19	24

Dans le climat actuel, ce nombre de jours varie de 5 à 6 à Sherbrooke et Beauceville jusqu'à 11 à 12 à Saint-Hubert et à L'Assomption. En climat de référence, le nombre de jours simulé est très proche, légèrement inférieur en moyenne. Par contre, dans les cinq scénarios de changements climatiques pour 2041-2070, ce nombre de jours augmenterait très fortement, au minimum d'environ 10 jours (scénario MRI-CGCM3_rcp85- correspondant à un doublement du nombre de jours avec une température maximale supérieure à 30 °C) et pouvant aller jusqu'à environ 40 jours de plus (scénario GFDL-CM3_rcp45, multipliant par 5 le nombre de jours avec une température maximale supérieure à 30 °C). Cet indicateur semble donc très variable entre les scénarios et conforme aux différences de température moyenne simulées (Tableau 6.3). Les scénarios simulant les plus fortes hausses de

température sont aussi ceux pour lesquels il y aurait une plus forte augmentation du nombre de jours où la température maximale serait supérieure à 30 °C.

Par contre, cette évolution semble similaire pour les différentes régions, puisqu'en moyenne, il s'agirait d'une augmentation de 22 jours; Beauceville et Sherbrooke bénéficiant d'une hausse en dessous de la moyenne (20 et 19 jours de plus respectivement) quand les 3 autres stations subiraient une hausse autour de 23 à 24 jours par an.

En lien avec cette évolution des températures à la hausse, nous avons estimé la longueur de la saison de croissance (Tableau 6.5) sur la base des règles suivantes :

- Le début de la saison de croissance est déterminé selon une moyenne mobile calculée sur 5 jours de la température moyenne journalière, comme la 5^e journée d'une série de 10 jours consécutifs supérieurs à 5 °C.
- La fin de la saison, toujours selon une moyenne mobile calculée sur 5 jours de la température moyenne journalière, est déterminée à la 5^e journée consécutive où la température est inférieure à 5 °C, après le jour Julien 182 (soit après le 1^{er} juillet).

À partir de ces dates de début et de fin de saison, la longueur de la saison de croissance est estimée pour chaque année, et la moyenne est ainsi calculée. À noter que cette définition est légèrement différente de celle utilisée dans l'atlas agroclimatique du Québec, mais souvent utilisée pour définir des règles de décision en vue du semi-automatique des cultures dans les modèles de simulation des cultures.

Tableau 6.5

Comparaison de la durée moyenne de la saison de croissance observée pour la période 1981-2010, simulée pour cette même période et pour la période 2041-2070 (nombre de jours)

	Durée de la saison de croissance	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observée (nombre de jours moyen pour la période 1981-2010)	188	201	196	193	201
Différence entre simulée et observée (nombre de jours) pour la période 1981-2010	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-2	2	4	2	7
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	1	0	0	1	4
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0	0	2	-1	3
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0	0	2	-1	3
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-1	3	1	-2	4
Différence entre les simulations pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	31	28	22	27	27
	GFDL-ESM2G_rcp85	22	21	22	21	21
	MIROC5_rcp60	26	21	17	22	21
	MIROC5_rcp85	48	41	37	49	41
	MRI-CGCM3_rcp85	21	14	19	19	15
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (jours)		30	25	23	27	25

La différence entre la durée de la saison de croissance estimée sur la base des observations, et les simulations de référence, se situe pour les quatre scénarios de référence entre 1 et 3 jours en moyenne. En fonction des stations, il y a des différences parfois positives ou négatives. Nous pouvons retenir qu'au maximum, l'écart est de 7 jours pour la station Saint-Hubert dans le cas du scénario GFDL-CM3_historical, ce qui reste une valeur faible.

La différence entre les valeurs simulées dans les scénarios de CC pour 2041—2070 et les scénarios de référence respectifs est beaucoup plus importante et systématiquement positive, traduisant donc un net allongement de la saison de croissance. Les scénarios faibles quant à cette variable (GFDL-ESM2G_rcp85, MIROC5_rcp60 et MRI-CGCM3_rcp85) prévoient un allongement de la saison de croissance en moyenne d'une vingtaine de jours, alors que les deux scénarios les plus forts prévoient un allongement d'une trentaine (GFDL-CM3_rcp45) voire d'une quarantaine de jours (MIROC5_rcp85).

Le scénario GFDL-ESM2G_rcp85 est assez constant entre les stations en matière de différence de durée de saison de croissance (autour de 20 jours), alors que les autres modèles prédisent des différences plus importantes de durée de cycle entre les stations (par exemple, le scénario MIROC5_rcp85 prévoit un allongement de 48 jours de la saison de croissance pour Beauceville et de 37 jours pour Nicolet, soit 13 jours d'écart).

Par la suite, nous avons donc estimé certains indicateurs sur la base de la période définie annuellement comme étant la saison de croissance, ainsi que pour la période d'avril à octobre, ce qui s'avère souvent plus facile à comparer.

La conséquence de cette évolution des températures et de durée de cycle peut être analysée en matière d'évolution du nombre de degrés-jours (DJ) estimés pour la saison de croissance. Nous présentons dans le Tableau 6.6 ces évolutions calculées en utilisant une température de base de 10 °C.

Tableau 6.6

Comparaison du nombre de degrés-jours (DJ base 10 °C) calculé pour la saison de croissance sur la base des observations pour la période 1981-2010, et pour les simulations pour cette même période et pour la période future 2041-2070

	Degrés-jours (base 10 °C) sur la saison de croissance	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observés pour la période 1981-2010 (DJ)	866	1 131	1 073	868	1 167
Différence entre les observations et les simulations pour 1981-2010 (DJ)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	18	14	17	12	13
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	16	11	13	9	10
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	8	6	6	4	5
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	8	6	6	4	5
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	7	7	5	2	6
Différence entre les scénarios pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (DJ)	GFDL-CM3_rcp45	703	677	797	636	677
	GFDL-ESM2G_rcp85	334	352	347	342	359
	MIROC5_rcp60	307	350	353	308	357
	MIROC5_rcp85	600	665	692	603	682
	MRI-CGCM3_rcp85	308	299	341	317	305
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en DJ)		450	468	505	441	475

Les valeurs de degrés-jours en base 10 °C varient pour la situation actuelle, entre environ 860 et un peu plus de 1 100 DJ en fonction des stations. Les valeurs estimées pour les climats de référence sont très proches, puisque variant de quelques degrés-jours par rapport aux valeurs observées (0 à 2 % des valeurs observées). En ce qui concerne les scénarios pour la période 2041-2070, le nombre de degrés-jours estimés sur la saison de croissance (plus longue) est nettement supérieur : plus de 450 DJ en moyenne. Pour certaines stations (actuellement les plus chaudes : Saint-Hubert et Nicolet), cette

hausse serait autour de 500 DJ alors qu'elle atteindrait 450 DJ environ pour les stations les plus froides. Enfin, des variations importantes sont observées d'un scénario à l'autre, les scénarios les plus chauds amenant à des augmentations de près de 700 DJ alors que les scénarios inférieurs prévoient une augmentation de 350 DJ environ.

Si l'on compare ces mêmes indicateurs sur une période fixe, soit la période d'avril à octobre, les évolutions du nombre de degrés-jours sont très similaires (données non présentées ici).

En conclusion, concernant l'évolution des températures, elles seraient selon ces scénarios en hausse de près de 3 °C, entraînant une fréquence beaucoup plus importante de jours avec des températures extrêmes, un allongement de la saison de croissance et une hausse importante du nombre de degrés-jours potentiels (et des UTM). Si l'on réalise une analogie spatiale, dans le scénario prévoyant la hausse de température la plus faible, le climat de Beauceville deviendra plus chaud que le climat actuel de la Montérégie.

2. Évolution des précipitations

Nous avons analysé l'évolution des précipitations selon plusieurs indicateurs. Le premier est le cumul des précipitations, calculé sur une période fixe (d'avril à octobre) (Tableau 6.7) ainsi que sur la durée de la saison de croissance.

Tableau 6.7

Comparaison des cumuls de précipitations observés sur la période d'avril à octobre pour la période 1981-2010, et simulés pour la même période et 2041-2070 (en mm)

	Précipitations cumulées d'avril à octobre (mm)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observées	683	626	616	722	630
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (en mm)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-7	-8	0	-7	-6
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	-11	0	2	-6	1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	-18	1	-3	-8	4
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	-18	1	-3	-8	4
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-5	3	2	10	5
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)	GFDL-CM3_rcp45	27	49	31	56	45
	GFDL-ESM2G_rcp85	45	59	53	46	62
	MIROC5_rcp60	134	82	55	130	83
	MIROC5_rcp85	24	43	46	28	42
	MRI-CGCM3_rcp85	55	31	42	49	30
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)		56	53	45	61	53

Les précipitations sont assez variables d'une station à l'autre : il pleut en moyenne 722 mm à Sherbrooke et seulement 616 mm à Nicolet, soit près d'une centaine de mm d'écart. Les scénarios de

référence simulés sont assez proches des valeurs observées; l'écart maximum observé concerne le scénario MIROC5_historical à Beauceville où l'écart moyen est de -18 mm, ce qui représente néanmoins un écart de seulement 3 % par rapport aux précipitations observées. Les scénarios de CC prévoient quant à eux une augmentation moyenne d'environ 50 mm sur la période, variant de 45 à 60 mm suivant les stations, et surtout d'environ 35 mm à près de 130 mm en fonction des scénarios. À noter que l'évolution des précipitations est très variable pour le scénario MIROC5_rcp60 qui prévoit de très fortes augmentations pour Sherbrooke et Beauceville (environ 130 mm) et une augmentation beaucoup plus faible pour Nicolet (55 mm).

Si nous analysons ces évolutions des cumuls de précipitation sur la durée du cycle de croissance cette fois-ci, nous observons les mêmes tendances, mais les hausses de cumul pour la période 2041-2070 sont plus importantes du fait de l'allongement de la saison de croissance (Tableau 6.8).

Tableau 6.8
Comparaison des précipitations totales cumulées sur la saison de croissance observées entre 1981 et 2010, simulées pour la même période et pour la période 2041-2070

	Précipitations cumulées sur la saison de croissance (mm)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observées	621	600	577	668	595
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (en mm)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-13	7	21	9	29
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	-1	3	9	9	23
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	-11	0	7	-3	20
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	-11	0	7	-3	20
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-9	3	9	5	18
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)	GFDL-CM3_rcp45	127	158	89	146	152
	GFDL-ESM2G_rcp85	86	127	110	85	123
	MIROC5_rcp60	207	150	94	190	146
	MIROC5_rcp85	176	189	156	191	185
	MRI-CGCM3_rcp85	119	79	92	111	79
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)		143	140	107	143	136

Un autre effet attendu en matière de répercussions des changements climatiques concerne la fréquence et l'intensité d'événements pluvieux extrêmes. Pour analyser l'occurrence de ce type de phénomène, nous avons donc analysé le nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20 mm (Tableau 6.9) et à 30 mm (Tableau 6.10).

Tableau 6.9

Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20 mm sur la période d'avril à octobre dans le climat observé de 1981 à 2010, avec les simulations pour cette même période et pour la période future (2041-2070)

	Nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20 mm	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observé	7,8	7,5	7,0	8,8	7,6
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (nombre de jours)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0,9	0,1	0,2	-0,3	0,5
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0,1	0,4	-0,1	0,0	0,6
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0,1	0,3	0,6	0,6	0,3
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0,1	0,3	0,6	0,6	0,3
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	0,2	0,0	0,0	-0,1	0,4
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	-0,7	1,0	-0,2	0,0	0,1
	GFDL-ESM2G_rcp85	1,1	1,0	1,2	1,0	1,3
	MIROC5_rcp60	3,0	1,8	0,9	2,3	2,5
	MIROC5_rcp85	0,9	1,4	0,8	0,8	1,4
	MRI-CGCM3_rcp85	1,4	1,5	0,9	1,6	1,0

Tableau 6.10

Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 30 mm pour la période d'avril à octobre dans le climat observé de 1981 à 2010, avec les simulations pour cette même période et pour la période future (2041-2070).

	Nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 30 mm	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observé	2,8	3,1	2,3	3,5	3,2
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (nombre de jours)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0,1	-0,4	0,0	-0,1	0,1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0,4	0,1	0,4	0,1	0,2
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0,2	0,4	0,1	0,1	0,2
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	0,4	0,0	0,2	0,2	0,1
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	0,6	0,5	0,3	0,1	0,4
	GFDL-ESM2G_rcp85	0,6	1,0	0,8	0,2	0,9
	MIROC5_rcp60	2,2	0,9	1,0	1,8	1,1
	MIROC5_rcp85	1,0	0,8	1,3	0,5	1,4
	MRI-CGCM3_rcp85	1,0	1,0	0,7	0,9	0,9

Tout d'abord, il convient de noter que dans les deux cas, les scénarios de référence simulés sont plutôt proches de ceux observés en climat historique, qui présentent respectivement en moyenne entre 7 et

9 épisodes de pluie de plus de 20 mm, et autour de 3 épisodes de plus de 30 mm. En ce qui concerne les scénarios de changements climatiques, ils présentent en effet une légère augmentation des événements pluvieux extrêmes en moyenne (environ 1 événement de plus de 20 mm et 1 de plus de 30 mm en plus sur la période d'avril à octobre). Cette légère augmentation semble presque homogène entre les stations, par contre les scénarios climatiques diffèrent sur cette variable : le scénario GFDL-CM3_rcp45 ne prévoit pas d'augmentation des événements pluvieux importants, alors que le scénario MIROC5_rcp60 prévoit quant à lui une augmentation de plus de 2 épisodes de plus de 20 mm.

Enfin, toujours en lien avec les précipitations, nous nous sommes intéressés aux périodes sans précipitations. Nous avons analysé, d'une part, si les épisodes d'au minimum 5 jours consécutifs avec précipitations < 1 mm seraient plus fréquents ou non (tableau 6.10). D'autre part, nous avons regardé s'ils seraient plus longs ou non (tableau 6.11).

Tableau 6.11

Comparaison du nombre d'épisodes d'au moins 5 jours sans précipitations durant la saison de croissance pour le climat observé entre 1881 et 2010, avec le nombre d'épisodes simulés pour les scénarios de référence pour la même période et avec les scénarios futurs (période 2041-2070).

	Nombre d'épisodes de 5 jours minimum sans précipitations	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observé	7,5	9,5	9,1	8,7	10,4
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (nombre d'épisodes)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0,1	-0,1	0,0	-0,8	-0,3
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0,6	0,0	0,2	-0,6	-0,3
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	1,1	1,1	1,1	-0,3	0,2
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	1,1	1,1	1,1	-0,3	0,2
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	1,1	0,5	0,7	-0,7	0,2
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre d'épisodes)	GFDL-CM3_rcp45	1,4	1,2	1,0	0,6	1,0
	GFDL-ESM2G_rcp85	1,9	1,4	1,7	1,7	1,2
	MIROC5_rcp60	1,0	0,8	0,8	0,7	1,0
	MIROC5_rcp85	3,1	1,8	2,6	2,6	2,1
	MRI-CGCM3_rcp85	0,5	1,1	0,7	1,1	0,9

Tableau 6.12

Comparaison de la durée moyenne des épisodes d'au moins 5 jours sans précipitations durant la saison de croissance dans le climat observé (1981-2010) avec les climats de références pour la même période et avec les scénarios futurs (2041-2070)

	Durée moyenne des épisodes de 5 jours minimum sans précipitations (jours)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observée	12,8	12,7	12,2	11,7	13,6
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (nombre d'épisodes)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-1,8	-0,9	-0,2	-1,7	-1,4
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	-1,7	0,6	0,8	-0,3	0,3
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	-0,4	2,0	2,2	1,1	1,8
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	-0,4	2,0	2,2	1,1	1,8
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-1,5	-0,2	-0,3	-0,5	-0,9
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre d'épisodes)	GFDL-CM3_rcp45	0,1	0,7	0,1	1,4	0,4
	GFDL-ESM2G_rcp85	1,1	-0,4	0,0	0,5	-0,5
	MIROC5_rcp60	-0,5	-1,2	-1,9	-1,6	-2,3
	MIROC5_rcp85	0,8	-1,0	0,0	0,7	-1,2
	MRI-CGCM3_rcp85	0,7	0,6	1,4	0,1	0,7

L'analyse des données observées montre qu'il y a actuellement en moyenne entre 7 et 10 épisodes de 5 jours minimum sans précipitations sur la durée du cycle de croissance, et que ces épisodes durent en moyenne environ 12 jours. Les scénarios de référence simulés (1981-2010) sont assez proches des scénarios observés pour les différentes stations. En ce qui a trait aux scénarios futurs (2041-2070), ils ne sont que peu différents en matière de nombre d'épisodes sans précipitations (1 épisode de plus sur la saison de croissance, qui rappelons le, sera plus longue), et la durée de ces épisodes ne semble pas changer significativement.

3. Évolution du vent

Du fait de l'usage de la formule de Penman-Monteith pour l'estimation de l'évapotranspiration de référence dans le modèle STICS, nous avons donc besoin de variables plus rarement simulées, comme le vent.

Nous avons analysé, principalement à des fins de vérification, l'évolution du vent moyen simulé (en m/s, Tableau 6.13). Les scénarios de référence pour la période 1981-2010 sont très proches des valeurs moyennes observées pour la même période, et dans l'ensemble, les scénarios climatiques ne semblent

pas non plus se démarquer en matière de vent. Néanmoins, le scénario MRI-CGCM3_rcp85 semble présenter deux anomalies aux stations de Saint-Hubert et de L'Assomption. Il conviendra de vérifier l'incidence de ces anomalies, notamment en matière d'estimation de l'évapotranspiration.

Tableau 6.13

Comparaison du vent moyen dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées dans les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les climats futurs (2041-2070).

	Vent moyen (m/s)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observé	8	11	12	10	15
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (m/s)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (m/s)	GFDL-CM3_rcp45	0,2	-1,2	0,6	-0,7	-1,2
	GFDL-ESM2G_rcp85	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6
	MIROC5_rcp60	0,1	-0,1	0,3	0,0	-0,1
	MIROC5_rcp85	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4
	MRI-CGCM3_rcp85	-0,1	10,8	0,3	0,7	10,8

4. Évolution de la radiation solaire

Une seconde variable plus rarement disponible que nous avons souhaité obtenir pour les scénarios climatiques est la radiation solaire. Le Tableau 6.14 présente son évolution dans les scénarios de changements climatiques, sur une base annuelle. Les évolutions sur la période d'avril à octobre sont similaires à celles observées sur l'année.

Les scénarios de référence sont très proches des valeurs moyennes observées, et dans l'ensemble, les scénarios climatiques ne semblent pas non plus se démarquer en matière de radiation solaire. En effet, nous remarquons une très légère augmentation de celle-ci de l'ordre de 3 % en moyenne. Néanmoins, nous ne considérons pas cette hausse comme significative compte tenu de l'incertitude des modèles climatiques.

Tableau 6.14

Comparaison de la radiation solaire dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées de la radiation pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changement climatique (2041-2070).

	Radiation solaire (MJ/m ²)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint- Hubert
	Observée	3 454	3 832	3 731	3 508	3 771
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (en MJ/m ²)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	2	1	-1	12	2
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	2	-18	-8	12	2
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	16	14	15	20	15
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	16	14	15	20	15
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	13	10	11	20	11
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041- 2070 (en MJ/m ²)	GFDL-CM3_rcp45	134	178	140	152	178
	GFDL-ESM2G_rcp85	45	8	8	45	7
	MIROC5_rcp60	86	109	85	90	110
	MIROC5_rcp85	255	228	198	244	229
	MRI-CGCM3_rcp85	68	161	101	120	162

5. Évolution de l'humidité relative

Une troisième variable plus rarement disponible que nous avons souhaité obtenir pour les scénarios climatiques est l'humidité relative (HR). Le Tableau 6.15 présente son évolution dans les scénarios de changements climatiques, sur une base annuelle.

Les scénarios de référence sont très proches des valeurs moyennes observées, et, dans l'ensemble, les scénarios climatiques ne semblent pas non plus se démarquer en matière d'humidité relative, sauf le scénario GFDL-CM3_rcp45 qui semble simuler une très légère augmentation de l'HR. Là encore, nous pouvons remettre en question le niveau de significativité de cette hausse étant donné l'incertitude des modèles climatiques.

Tableau 6.15

Comparaison des valeurs moyennes annuelles de l'humidité relative en % dans le climat observé pour la période 1981-2010 avec les valeurs simulées pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changement climatique (2041-2070).

	Humidité relative moyenne (%)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observée	76	73	75	74	72
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (en %)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	1	1	1	1	1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	0	0	0	0	0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	0	0	0	0	0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	0	0	0	0	0
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	0	0	0	0	0
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (en %)	GFDL-CM3_rcp45	3	3	2	4	3
	GFDL-ESM2G_rcp85	0	1	1	0	1
	MIROC5_rcp60	-1	0	-1	0	0
	MIROC5_rcp85	-2	-1	-2	-1	-1
	MRI-CGCM3_rcp85	1	1	1	0	1

6. Évolution de l'évapotranspiration

À partir de l'ensemble des variables précédentes, nous avons estimé l'évapotranspiration potentielle (ETP) à partir de la méthode de la FAO Penman-Monteith⁷³. Le Tableau 6.16 présente son évolution dans les scénarios de changements climatiques, pour la période d'avril à octobre.

Tableau 6.16

Comparaison des valeurs moyennes annuelles de l'ETP en mm dans le climat observé pour la période 1981-2010 (méthode de Penman-Monteith) avec l'ETP simulée pour les scénarios de référence pour la même période et avec les valeurs simulées pour les scénarios de changements climatiques (2041-2070).

	ETP (mm)	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
	Observé	850	1008	951	875	1004
Différence entre les observations et les simulations pour la période 1981-2010 (en mm)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	-11	-29	-26	-18	-22
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	-8	-32	-24	-16	-21
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	8	-11	-7	0	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	8	-11	-7	0	-1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	-2	-22	-18	-9	-13
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)	GFDL-CM3_rcp45	141	141	178	126	143
	GFDL-ESM2G_rcp85	74	67	65	77	72
	MIROC5_rcp60	78	92	100	78	97
	MIROC5_rcp85	170	179	190	168	189
	MRI-CGCM3_rcp85	55	42	68	70	46

Les estimations pour le climat observé semblent d'une manière générale plus élevées (de l'ordre de 30 %) que celles réalisées par le modèle STICS avec la méthode de Penman. Néanmoins, les écarts entre les stations semblent cohérents avec les simulations de STICS.

Les scénarios de référence sont très proches des valeurs moyennes observées, avec des écarts de 1 à 2 % au maximum (-1 % en moyenne).

Les scénarios climatiques donnent tous lieu à une augmentation significative de l'ETP : 111 mm en moyenne, représentant une hausse moyenne de 12 %. Tous les scénarios ne se comportent pas de la même façon : le scénario GFDL-CM3_rcp45 et le scénario MIROC5_rcp85 entraînent une hausse de l'ETP de l'ordre de 15 à 20 %, alors que les 3 autres scénarios simulent une hausse davantage de l'ordre de 5 à 10 %. Ces hausses sont relativement constantes d'une station à l'autre, peut-être légèrement plus élevées pour la station Nicolet par rapport aux autres stations.

⁷³ Voir : [http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#fao penman monteith equation](http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e06.htm#fao%20penman%20monteith%20equation)

7. Constats globaux

L'analyse des différentes variables montre que les 5 scénarios climatiques fournis par Ouranos sont contrastés et entraînent :

- Une hausse des températures moyennes et de l'occurrence de température très chaude (canicule), ce qui peut potentiellement amener à l'allongement de la saison de croissance et à un potentiel de degrés-jours plus importants. Les scénarios GFDL-CM3_rcp45 et MIROC5_rcp85 se distinguent par une hausse plus importante que les 3 autres.
- Une légère hausse des précipitations, à l'échelle annuelle, et qui semble plus importante sur la période hivernale. À noter que les deux scénarios qui présentent les plus fortes hausses de température (GFDL-CM3_rcp45 et MIROC5_rcp85) se distinguent par une faible hausse des précipitations. La fréquence des événements extrêmes semble augmenter seulement faiblement dans les 5 scénarios analysés, et les épisodes sans précipitations ne semblent pas plus fréquents.
- Le vent, l'humidité relative et la radiation solaire ne présentent que de très faibles évolutions dans les 5 scénarios.
- Finalement, l'évapotranspiration potentielle semble augmenter assez nettement, en particulier pour les scénarios présentant de fortes hausses de température, qui sont aussi ceux qui ont une faible augmentation des précipitations. Dans ces deux cas au moins, nous pouvons donc nous attendre à avoir un déficit hydrique pendant la période estivale plus important qu'actuellement.

6.2 SECTEUR RÉSIDENTIEL

Comme présenté dans la section 3.1 sur le bilan en climat actuel, nous obtenons une moyenne de 216 litres/personne/jour comme prélèvement actuel. Nous avons utilisé cette donnée de consommation moyenne pour faire varier le climat futur. Pour les cinq scénarios narratifs, nous avons fait varier des hypothèses de croissance démographique (faible, moyenne, élevée) et de densification, en les combinant à différents comportements de consommation.

6.2.1 HYPOTHÈSES POUR ESTIMER L'ÉVOLUTION DES BESOINS EN EAU

Dans le cadre du projet RADEAU, nous avons effectué des hypothèses afin d'évaluer à quoi pourraient ressembler les prélèvements résidentiels futurs. Les variables que nous avons fait varier sont les suivantes :

- La croissance démographique
- L'adoption de comportement de consommation

CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE

L'élément majeur qui influence la consommation d'eau à l'échelle résidentielle est la croissance démographique. Le simple fait de multiplier par davantage d'habitants une consommation moyenne entraîne une pression importante sur la ressource. Les projections démographiques de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) ont été utilisées à cette fin. Ces projections sont disponibles pour chacune

des régions du Québec jusqu'en 2036 et proposent 3 scénarios de croissance (faible, modérée, forte). Nous avons prolongé ces projections jusqu'en 2050.

Par ailleurs, des hypothèses de densification ou de dévitalisation ont été effectuées, lorsqu'elles étaient pertinentes, pour chacune des régions. Ces hypothèses ont été coconstruites avec les acteurs locaux lors des rencontres régionales.

Tableau 6.17
Hypothèse d'évolution de la population selon les scénarios, par région

	Population actuelle	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Scénario ISQ		Moyen	Fort	Faible	Fort	Faible
Montérégie	1 535 141	+21 %	+38 %	+6 %	+38 %	+6 %
Estrie	328 130	+11 %	+26 %	-2 %	+26 %	-2 %
Chaudière-Appalaches	424 734	+5 %	+16 %	-5 %	+16 %	-5 %
Lanaudière	500 999	+31 %	+46 %	+16 %	+46 %	+16 %
Centre-du-Québec	242 767	+10 %	+22 %	-0,3 %	+22 %	-0,3 %

Source : ISQ Perspectives démographiques du Québec et de ses régions 2011-2061, et calculs AGÉCO.

COMPORTEMENT DE CONSOMMATION

En nous basant sur la littérature disponible et sur des renseignements empiriques (québécois ou européens), nous avons également fait fluctuer la consommation moyenne par habitant, en nous basant sur une utilisation typique de l'eau dans une résidence (utilisation extérieure, toilette, lavage, bain et douche, alimentation; voir le Tableau 6.18). En effet, nous avons documenté que le recours à des équipements moins consommateur d'eau (toilette, laveuse) se traduit par des baisses plus ou moins significatives selon les modèles d'équipements et leur efficacité. Par ailleurs, des initiatives ou des réglementations gouvernementales peuvent influencer les comportements de consommation. Par exemple, le déploiement de campagnes de sensibilisation jumelées à l'installation de compteurs d'eau, ou de manière plus dissuasive, la tarification de l'eau, peuvent entraîner des réductions de la consommation, récurrentes ou ponctuelles. Ultiment, certains usages peuvent être interdits, pensons par exemple à l'arrosage des pelouses ou encore le remplissage des piscines.

Tableau 6.18
Répartition de la consommation d'eau résidentielle

Résidentielle Type d'utilisation	Proportion de la consommation totale
Utilisations extérieures (arrosage, piscines, etc.)	30 %
Toilette (18 à 28 litres sont libérés chaque chasse d'eau)	30 %
Lavage (vêtements et vaisselle)	20 %
Bains et douches	9 %
Alimentation	1 %
Total	100 %

Source : Tirée de Financement de l'eau, Document d'orientation,
 Ville de Montréal, 19 novembre 2003.

- Selon certaines études et observations empiriques, il semble que la simple installation de compteurs d'eau n'a pas d'incidence significative sur le volume de consommation dans les résidences. La consommation d'eau dans les résidences est structurelle, et c'est plutôt par la réglementation et la sensibilisation qu'il y aurait des répercussions sur la consommation d'eau (INRS 2002, Environnement Canada, 2011)⁷⁴.
- En effet, la consommation résidentielle est largement structurelle, c'est-à-dire qu'elle n'est pas d'abord liée au comportement de l'utilisateur, mais plutôt liée aux types d'équipements en place (réservoirs de toilette, laveuses à linge, lave-vaisselle, etc.) et du nombre d'utilisateurs.
- Pour l'utilisation extérieure, la consommation varie en fonction de la présence ou non de piscine et de la grandeur du terrain, et donc des superficies à arroser en période estivale.
- La mise en place d'équipements résidentiels plus performants sur le plan de l'utilisation de l'eau permettrait à elle seule d'économiser environ 25 % de la consommation actuelle dans les résidences⁷⁵.
 - Par exemple, les toilettes de 6 litres permettraient de réduire la consommation de 44 à 74 litres d'eau par jour par personne.
 - La mutualisation de laveuses à chargement frontal permettrait une réduction de 66 % de la consommation d'eau, soit de 15 à 23 litres par jour par personne.
- Sensibilisation⁷⁶ :
 - Inciter la population à fermer le robinet lors du brossage de dents ou du rasage permettrait d'économiser jusqu'à 20 litres d'eau par jour par personne.

⁷⁴ Rapport 2011 sur la tarification municipale de l'eau : statistiques de 2009, Environnement Canada

⁷⁵ Hydro-Québec, Produits économiseurs d'eau et d'énergie (<http://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/eau-chaude/economiseurs-eau-energie.html>)

⁷⁶ <https://www.mamrot.gouv.qc.ca/grands-dossiers/strategie-quebecoise-deconomie-deau-potable/a-propos-de-la-strategie/>

- L'installation de pommeaux de douche à débit réduit permettrait des économies supplémentaires de 65 litres par jour par personne.
- La seule incitation à diminuer le temps de la douche permettrait d'économiser 20 litres pour chaque minute de moins.
- À elles seules, la sensibilisation des citoyens et la réglementation de l'arrosage extérieur permettraient d'économiser 10 % de la consommation actuelle liée à l'utilisation extérieure, aux bains et aux douches, soit de 11 à 17 litres d'eau par jour par personne.

Finalement, nous avons fait l'hypothèse qu'en combinant l'ensemble des mesures de réduction possible, la consommation résidentielle moyenne pourrait diminuer jusqu'à 30 % (scénario 2). Ces hypothèses sont identiques, peu importe la région à l'étude (voir le Tableau 6.19).

Tableau 6.19
Hypothèse de variation de la consommation d'eau par habitant, par scénario

Scénario	Changement associé dans la consommation	Consommation moyenne (L/pers/J)
Scénario 1 (statu quo)	Aucun changement	216
Scénario 2	↘30 % Facturation de l'eau + changements d'équipement (partiel)	151
Scénario 3	↘15 % Optimisation de certains équipements	184
Scénario 4	↘21 % Compteur d'eau + optimisation de certains équipements	171
Scénario 5	↘32 % Campagne sensibilisation + changements d'équipement (complet)	147

Source : calculs AGÉCO

6.2.2 RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES BESOINS EN EAU DU SECTEUR RÉSIDENTIEL

Selon les experts d'Ouranos consultés, il y a peu, voire pas de répercussions concernant les changements climatiques par rapport aux besoins en eau des usagers résidentiels. Certaines études montrent une légère hausse de la consommation liée à l'usage des piscines par exemple, mais elle n'est pas significative. C'est davantage en matière de climatisation, et donc en énergie, que les changements s'observent. L'enjeu des changements climatiques s'observe donc essentiellement du côté de l'eau disponible, les changements climatiques pouvant venir exacerber la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable⁷⁷. Par ailleurs, les changements climatiques apportent certainement une pression supplémentaire sur les infrastructures linéaires liées à l'approvisionnement en eau potable, dont l'état de vétusté est bien documenté⁷⁸.

6.3 SECTEUR AGRICOLE

Les besoins en eau pour l'agriculture vont évoluer dans le futur du fait des changements simultanés de multiples variables. Dans le cadre des scénarios d'évolution des prélèvements d'eau élaborés pour le projet RADEAU (voir la section 6.1), nous avons développé des hypothèses d'évolution quant à certaines aux variables suivantes :

- Les superficies en cultures qui nécessitent de l'irrigation
- La part de ces superficies qui seraient effectivement irriguées
- La hausse éventuelle des besoins en eau de chaque culture, touchant la régie de l'irrigation

⁷⁷ Voir notamment l'étude d'OURANOS réalisée pour la Communauté métropolitaine de Québec : Rondeau-Genesse et coll. Évolution du risque d'approvisionnement en eau potable sur le territoire de la communauté métropolitaine de Québec, 2017

⁷⁸ CERIU (2018) : <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/rapport-2018-du-portrait-infrastructures-eau-municipalites-du-quebec-piemq>

- Le nombre d’animaux à abreuver
- Les répercussions du CC sur les besoins en eau des animaux
- La nécessité de refroidir les étables et les autres bâtiments d’élevage, puisque certains systèmes peuvent nécessiter de l’eau

Dans les sections ci-dessous, nous détaillons le raisonnement suivi ainsi que les hypothèses réalisées pour projeter les besoins en eau pour l’agriculture dans les régions étudiées pour nos cinq scénarios de 2050.

6.3.1 ÉVOLUTION DES SUPERFICIES CULTIVÉES ET IRRIGUÉES

Les paragraphes suivants décrivent les hypothèses retenues pour statuer sur les hausses de superficies cultivées de différentes productions végétales, de même que la part irriguée. Pour l’ensemble des productions, nous nous sommes basées sur des tendances historiques, de même que sur des dynamiques actuelles de marché pouvant infléchir une certaine croissance ou décroissance. Ces dynamiques de marché ont été alimentées par la littérature consultée, par des entrevues auprès de conseillers et intervenants, et, finalement, elles ont été corroborées ou corrigées lors des rencontres régionales tenues avec les acteurs locaux.

1. Évolution des superficies cultivées

Les superficies actuellement cultivées ont été estimées à partir des données de 2016, issues des fiches d’enregistrement des exploitations agricoles obtenues auprès du MAPAQ. Le Tableau 6.20 présente les superficies des cultures potentiellement irriguées, estimées à partir des données extraites de ces fiches.

Tableau 6.20
Détail des superficies cultivées (ha) par région, 2016

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Autres cultures serre	1,19	1,95	4	3,8	11,36
Concombres serre	0,49	0,26	0,32	0,58	6,07
Autres fleurs coupées serre	0,25	0,33	0	0	0,03
Fleurs annuelles serre	4,32	5,23	4,05	5,8	21,84
Laitues serre	6	0,8	0,15	0,04	0,27
Plants légumes caissettes serre	0,64	0,85	0,41	0,99	11,04
Plantes vertes serre	0,01	0,01	0	0,02	1,26
Plantes vivaces serre	0,14	0,54	1,18	1,87	8,69
Potées fleuries serre	1,23	1,33	0,36	0,47	7,02
Roses coupées serre	0,5	0	0	0	0
Tomates serre	4,17	3,77	3,92	2,75	3,24
Bleuets corymbes ou géants	60,58	118,92	41,54	48,09	171,02
Canneberges	3867,5	104,97	0	313,7	9,2
Fraises d’automne	5,29	49,7	1,44	15,39	13,52
Fraises convention./haute densité	110,59	248,48	76,47	150,14	355,4

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Framboises conventionnelles	25,77	83,26	30,13	34,71	116,26
Framboises automne	2,68	10,89	0,99	7,54	11,39
Melons et cantaloups	1,27	0,59	1,19	4,5	98,93
Pommiers nains	23,95	25,86	22,65	2,02	1192,4
Pommiers semi-nains	113,14	79,91	34,85	2,64	1576,7
Asperges	20,76	13,96	4,35	127,03	43,78
Betteraves potagères	1,13	53,28	17,08	375,31	211,96
Brocolis	1,76	7,25	1,38	214,79	743,73
Choux	4,63	7,32	6,01	833,07	553,18
Choux-fleurs	1,95	6,06	0,45	114,82	226,79
Citrouilles, courges et courgettes	27,04	57,39	29	306,02	676,21
Concombres marché frais	6,12	6,06	4	29,95	209,93
Échalotes françaises	0,18	1,7	0,74	10,78	65,56
Épinards	0,49	1,94	0,58	0,43	248,68
Fines herbes	12,8	8,65	1,36	3,46	166,35
Oignons secs	1,42	5,83	2,7	198,3	1783
Oignons verts	2,48	5,57	0,22	55,77	313,72
Oignons	0,81	0,11	0,02	0	49,99
Poivrons	1,26	2,84	1,5	1,64	262,37
Pommes de terre marché frais	670,01	212,98	16,13	2 494,8	2073,7
Pommes de terre semence	0	0,1	1,54	106,43	1,82
Pommes de terre croustilles	219,73	136,53	0	1 404,3	51,08
Pommes de terre prépelage	530,43	140,88	2	566,02	140,7
Radis	0,89	1,44	1,94	15,92	327,14
Tomates marché frais	12,58	12,35	2,58	6,07	324,64
Haricots	281,75	0,15	0	734,54	2 559,6
Carottes	6,43	75,09	10,09	1 153,8	1 950,1
Maïs sucré	293,07	115,38	60,02	718,36	6 403,4
Laitues	17,13	6,71	5,49	20,69	2 674,8
Pois	1 006,1	0,11	0	45,04	4 738,1
Gazon	200,03	112,8	233,36	1 313,7	1 356,9
Arbres feuillus conteneur	12,87	3,07	0,84	7,89	24,38
Arbustes conteneur	14,29	4,99	1,21	33,45	68,86
Autres horticultures conteneur	3,93	27,81	0,45	0,93	4,47
Conifères conteneur	28,33	25,87	11,87	19,82	37,41
Plantes vivaces/rosiers en conteneurs	7,74	0,87	0,17	9,92	31,22

Source : Fiches d'enregistrement du MAPAQ, 2016

CULTURE EN SERRE

Nous avons analysé l'évolution des superficies des serres sur la base des données de Statistique Canada disponibles⁷⁹. En ce qui concerne les cultures légumières sous serre (tomates, concombres, laitues), nous observons sur les 10 dernières années une augmentation de 10 % de la superficie totale de serre. En ce qui concerne les cultures ornementales, et les plants à destination des jardiniers, les plantes en pots et les fleurs coupées, il s'agirait d'une tendance à la baisse de l'ordre de 11 % des superficies. Néanmoins, cette tendance baissière pourrait changer à court terme compte tenu de la croissance du marché de l'horticulture ornementale à des fins environnementales (toits verts, verdissement des lieux publics) et notamment de la part des municipalités⁸⁰. Ce nouveau créneau pourrait minimalement stabiliser le secteur et freiner sa décroissance.

Nous avons également réalisé des hypothèses d'évolution des superficies pour chacun de nos scénarios. Pour ce qui est des concombres, des tomates, des laitues et des plants de légumes, nous faisons l'hypothèse d'une hausse de la production dans tous nos scénarios. Étant donné les faibles superficies que cela représente actuellement, nous avons considéré des hausses importantes d'ici 2050 (voir le Tableau 6.21). À titre d'exemple, à lui seul, le projet des serres Toundra totalisera 35 ha (4 phases de 8,5 ha). Bien qu'une seule phase soit en activité à l'heure actuelle, à terme, cela représentera pour ce seul projet une hausse de 300 % des superficies de production de concombres. En ce qui concerne les plantes en pots, les vivaces, les potées fleuries, etc., nous avons considéré qu'il n'y aurait presque pas d'évolution; la tendance de consommation *par personne* étant à la baisse, elle serait compensée par l'augmentation de la population et par la demande croissante des municipalités, sauf dans le cas du scénario 5.

Tableau 6.21
Tendance passée et hypothèses d'évolution des légumes de serre,
la hausse étant exprimée en % d'évolution des superficies cultivées

	Tendance passée	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Tomates, concombres, laitues, plants légumes caissettes, autres cultures	+10 % (2007- 2016)	+30 %	+100 %	+75 %	+200 %	+100 %
Plantes vertes, plantes vivaces, potées fleuries, fleurs annuelles, roses coupées, autres fleurs coupées	-11 % (2007-2016)	0	0	0	0	25 %

⁷⁹ Tableau 001-0047, Statistique Canada, consulté en décembre 2017

⁸⁰ Étude visant le développement économique des secteurs québécois de la production et des services en horticulture ornementale par le truchement des municipalités, février 2012, MARCON pour la Table filière de l'horticulture ornementale.

FRUITS ET PETITS FRUITS⁸¹

En ce qui concerne les fruits et légumes, étant donné le faible nombre de catégories et les dynamiques spécifiques à chacune, nous avons réalisé des hypothèses d'évolution par espèce (voir le Tableau 6.22).

Bleuets de corymbes

La tendance sur les dix dernières années est très légèrement à la baisse au Québec (-3 %). Les hypothèses d'évolution que nous avons formulées considèrent des hausses des superficies, de 50 % au maximum à l'horizon 2050, du fait de la présence de nouvelles variétés. Cette hypothèse d'évolution modérée est également soutenue par un environnement d'affaires de plus en plus difficile pour les producteurs du Québec, avec une croissance forte de la concurrence au Chili et dans d'autres provinces canadiennes notamment. Cette compétition crée une pression importante sur les prix et la capacité concurrentielle du Québec. Aussi, à moins de gains d'efficacité majeurs dans la filière ou encore de développement de production à valeur ajoutée, nous faisons l'hypothèse que la croissance de la production de masse demeurera modeste.

Canneberges

Les superficies cultivées en canneberges se sont développées de manière très importante dans les 8 dernières années (+46 %). Selon des acteurs majeurs de cette industrie au Québec, les superficies pourraient doubler d'ici 2050. Le dynamisme chez les transformateurs qui diversifient les produits de canneberges et la demande croissante pour les canneberges biologiques soutiennent cette hypothèse. De plus, les producteurs ont majoritairement ajusté leur régie de production pour répondre aux exigences en matière de gestion et d'accès à une ressource en eau pour cette culture.

Fraises conventionnelles et à haute densité

Deux types de fraises sont regroupés dans cette catégorie : les fraises en rang natté et les fraises d'été cultivées sous plastique. Ces deux systèmes sont très différents. Si le premier est majoritaire, il est aussi en perte de vitesse au Québec, ce qui explique la diminution globale des superficies cultivées en fraises observée dans les statistiques. Néanmoins, la tendance est au remplacement des fraises en rang natté par des fraises en haute densité. Aussi, nous avons fait l'hypothèse que globalement les superficies de ces deux systèmes confondus auraient tendance d'ici 2050 soit à stagner (scénario 3), soit à très légèrement augmenter (scénarios 2, 3 et 5), les fraises d'été étant alors principalement produites en système haute densité (ce qui se traduit par des systèmes d'irrigation et une régie différente).

Fraises d'automne

Nous n'avons pas pu obtenir de chiffres précis concernant les évolutions de superficie des fraises d'automne, celles-ci étant regroupées avec les fraises d'été dans les statistiques. Néanmoins, ces dernières années, la tendance était à l'augmentation des superficies des fraises d'automne, et cette tendance pourrait se poursuivre à l'avenir. Cependant, les fraises d'automne ne tolèrent pas les trop grandes chaleurs et pourraient donc être amenées à se décaler vers le Nord et l'Est de la province. Nous avons donc réalisé des projections assez conservatrices concernant le développement de cette culture, bien que la demande en fraises soit projetée en croissance.

Framboise conventionnelle et framboise d'automne

⁸¹ L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section provient du tableau 001-0009, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

Les framboises conventionnelles et d'automne ne sont pas distinguées dans les statistiques. Cependant, les framboises cultivées au Québec sont en majorité des framboises conventionnelles, et les superficies cultivées sont en déclin depuis quelques années en raison de la difficulté de la réussite de cette culture. La tendance est donc à la diminution des superficies cultivées en plein champ et à l'installation de systèmes en pot et sous abris. Même s'il y a une diminution effective des superficies pour ce fruit, nos quatre scénarios envisagent tous une augmentation de la production de fruits et légumes. Nous avons néanmoins réalisé des hypothèses modestes de maintien ou de faibles augmentations des superficies d'ici 2050.

Melons et cantaloups

La production de melons et cantaloups a augmenté au cours des dernières années, de manière importante en réponse à une augmentation de la demande des consommateurs. Nous avons donc réalisé des hypothèses plutôt ambitieuses de développement de cette culture.

Pommiers nains et semi-nains

Les superficies totales en pommiers ont diminué de 21 % depuis 2002. Derrière cette diminution des superficies cultivées se cache une mutation des vergers, passant de plantation de pommiers dits « standards » (pommiers à grand déploiement) à des vergers de pommiers nains et semi-nains (se différenciant par des densités de plantation plus faibles pour le dernier, mais des arbres légèrement plus grands), qui sont parfois irrigués alors que les pommiers standards ne l'étaient pas. Selon la Monographie de l'industrie de la pomme au Québec (MAPAQ, 2015), « De 2004 à 2010, les superficies occupées par des pommiers nains ont été les seules à connaître une augmentation (+8,2 %), alors que celles plantées en pommiers semi-nains ont diminué de 7,6 % et celles comportant des pommiers standards, de 32,8 %. En 2010, 26 % des superficies totales étaient plantées en pommiers nains (contre 20 % en 2004), 45 % en pommiers semi-nains (contre 43 % en 2004) et 29 % en pommiers standards (contre 37 % en 2004). Il n'a pas été possible de comparer les données de 2010 et les données antérieures avec les données récentes en raison de méthodes de collecte qui diffèrent.

Tableau 6.22

Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées en fruits et petits-fruits

	Tendance passée	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Bleuets de corymbe	-3 % (2007-2016)	+15 %	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Canneberges	+46 % (2009-2016)	+50 %	+100 %	+50 %	+75 %	+100 %
Fraises conventionnelles et à haute densité	-13 % (2002-2017)	-30 %	+10 %	0	+5 %	+5 %
Fraises d'automne	ND	+5 %	+20 %	0	+10 %	+10 %
Framboises convention. et d'automne	-41 % (2002-2016)	-25 %	+25 %	0 %	+5 %	+5 %
Melons et cantaloups	31 % (2002-2016)	+15 %	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Pommiers nains	+8 % (2004-2010)	+30 %	+75 %	+25 %	+50 %	+50 %
Pommiers semi-nains	-8 % (2004-2010)	0 %	+30 %	+10 %	+20 %	+20 %

ND : non disponible

Il semblerait que les tendances futures soient donc à la hausse pour les pommiers nains, et à la baisse pour les pommiers semi-nains. Si les pommiers standards continuent de diminuer, cela impliquerait que la majorité des pommiers seraient de format nains en 2050. L'augmentation potentielle de la demande pourrait justifier une stabilisation, voire une augmentation des superficies plantées en pommiers. Nous avons donc réalisé des hypothèses d'augmentation importante des superficies plantées en pommiers nains, et plus réduites pour les pommiers semi-nains.

GAZON ET HORTICULTURE ORNEMENTALE⁸²

Gazon

La superficie cultivée en gazon a diminué de 15 % au cours des 10 dernières années. En ce qui concerne l'évolution future des superficies cultivées, l'augmentation de la population et l'accroissement des superficies urbanisées pourraient maintenir la demande en gazon. Nous avons donc réalisé des hypothèses de faible augmentation des superficies basées sur l'accroissement de la population. Nous avons néanmoins opté pour une faible hausse compte tenu des tendances d'aménagement vert qui substituent de plus en plus le gazon au bénéfice d'autres végétaux. Certaines villes vont même encourager et faire la promotion d'options de remplacement à la pelouse auprès de leur population⁸³.

Plantes vivaces, arbres et arbustes, conifères et feuillus en conteneurs

La production en pépinière au Québec est caractérisée par une diminution des volumes de production (-33 % de plantes en pot) et des superficies (-25 %). Cependant, les productions en conteneurs (qui sont celles qui requièrent le plus d'eau pour l'irrigation) ont eu tendance à se développer dans les 10 dernières années (+9 %). Nous avons donc réalisé des hypothèses d'évolution des superficies de plantes en conteneurs sur la base de l'évolution récente et de la croissance de la population pour chacun de nos scénarios, comme présentés dans le Tableau 6.23. De plus, comme mentionnée, la demande croissante des municipalités qui sont plus actives en verdissement des espaces publics contribue à dynamiser le secteur.

Tableau 6.23
Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées
en gazon et horticulture ornementale

	Tendance passée	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Gazon	-15 % (2007-2016)	0	+25 %	+25 %	+10 %	+10 %
Plantes en conteneurs	+9 % (2009-2016)	+30 %	+50 %	+25 %	+30 %	+75 %

⁸² L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section provient des tableau 001-0060, tableau 001-0049 et tableau 001-0056, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

⁸³ C'est le cas par exemple de la ville de Belœil, qui a même développé un guide à cet effet : https://beloeil.ca/wp-content/uploads/Guide-gazon2012_V5.pdf

LÉGUMES DE PLEIN CHAMP⁸⁴

La superficie cultivée en légume de plein champ a diminué de 7 % entre 1996 et 2016. Cependant, cette baisse généralisée des superficies cultivées cache des disparités importantes entre les productions. Nous détaillons donc les renseignements que nous avons pu recueillir pour chacun des légumes de plein champ dans les paragraphes ci-dessous, et nous résumons les hypothèses que nous avons formulées dans le Tableau 6.24 pour chacun des scénarios. Rappelons que le scénario 2 prévoit une forte croissance démographique.

L'augmentation de la population et la tendance des consommateurs à privilégier davantage de fruits et légumes dans leur alimentation entraîneront une hausse de la demande, et probablement une hausse de la superficie cultivée en fruits et légumes. À noter que la valeur croissante des terres agricoles est un facteur qui motive également les producteurs à cultiver davantage de fruits et légumes dont la valeur ajoutée est supérieure à celle des céréales, permettant ainsi de mieux rentabiliser l'actif. Nous avons donc réalisé des hypothèses d'évolution des superficies, principalement basées sur l'augmentation de la demande, et qui dépendent donc des évolutions démographiques considérées dans chaque scénario.

Nous avons distingué les productions selon trois types d'évolutions (voir le Tableau 6.24) :

- en croissance pour les cultures qui ont connu une augmentation importante au cours des 15 dernières années;
- stable pour celles qui ont connu des évolutions modérées de superficie et dont la tendance actuelle semble être similaire;
- en décroissance pour celles qui ont connu une diminution importante des superficies au cours des 15 dernières années, et dont la tendance à la diminution semble se prolonger.

Tableau 6.24

Hypothèses d'évolution des superficies pour les cultures classées par type de tendance

Type de tendance	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Croissance	0	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Stable	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Décroissance	0	0	-15 %	-5 %	-5 %

Dans les paragraphes suivants, nous détaillons par culture les hypothèses réalisées. Les hypothèses sont identiques pour les cinq régions à l'étude.

Asperges

La superficie cultivée en asperges a augmenté ces dernières années, et la hausse semble se poursuivre. Nous avons donc utilisé les hypothèses de croissance pour cette culture.

⁸⁴ L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section provient du tableau 004-0003, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

Betteraves, choux-fleurs, choux, courges et courgettes

La production de choux serait en croissance, notamment les choux d'origine asiatique⁸⁵. Les choux-fleurs seraient également en croissance. En ce qui concerne les courges et les courgettes, ce sont ces dernières qui seraient en croissance, et qui sont irriguées. Nous avons donc utilisé les hypothèses de croissance pour ces cultures.

Brocolis

Cette culture a subi un léger déclin dans les dernières années, mais la production semble se stabiliser. Nous avons donc utilisé les hypothèses de stabilité des superficies.

Concombres pour le marché frais

Ce secteur est en décroissance puisque la production se fait dorénavant de manière croissante sous serre. Nous avons donc utilisé les hypothèses de décroissance.

Échalotes françaises

En l'absence d'information spécifique à cette culture, nous avons utilisé l'hypothèse de stabilité des superficies pour cette culture.

Fines herbes

Le secteur des fines herbes est un segment de marché qui est en croissance, et nous avons donc utilisé l'hypothèse de croissance des superficies pour ce secteur.

Oignons secs, oignons verts et oignons

Les oignons verts ont connu une baisse des superficies au cours des dernières années, alors que les autres types d'oignons ont légèrement progressé. Dans les trois cas, nous avons tablé sur une stabilité des superficies cultivées.

Poivrons

La superficie a diminué au cours de la période 2002-2016, cependant, la baisse semble s'estomper ces dernières années. Nous avons donc considéré les superficies stables dans le futur.

Radis

La superficie a peu évolué, nous l'avons donc considérée comme stable dans le futur.

Tomates pour le marché frais

Les superficies cultivées en tomates au champ ont beaucoup diminué, là aussi notamment au profit de l'approvisionnement en serre. Nous avons considéré que cette tendance allait se poursuivre.

Carottes

La superficie a diminué au cours de la période 2002-2016, cependant, la baisse semble s'estomper. Nous avons donc considéré les superficies stables dans le futur.

⁸⁵ https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/96662?utm_source=petits_fruits2018-01-12&utm_medium=courriel&utm_campaign=ABO

Haricots

Les superficies ont beaucoup diminué au cours de la période 2002-2016, cependant, depuis quelques années, nous assistons à une augmentation des superficies, en particulier à destination des légumes de transformation. Nous avons donc considéré une hypothèse de hausse des superficies.

Laitues

La production de laitues a connu une hausse importante (+47 %) au cours de la période 2002-2016. Cependant, la majorité des superficies cultivées en laitues sont en terres noires en Montérégie, et la réserve de terres de ce type est quasiment inexistante. Le potentiel de développement de la culture de laitue est donc en terre minérale, et est plus limité que la hausse déjà réalisée. Nous avons donc retenu l'hypothèse de croissance modeste des superficies pour cette culture.

Maïs sucré et pois

Les cultures du maïs sucré et des pois ont connu une baisse au cours de la période 2002-2016. Cependant, nous avons retenu l'hypothèse de croissance pour ces cultures en raison de marchés en développement, principalement dans la transformation, notamment en agriculture biologique⁸⁶.

Pommes de terre

Les superficies cultivées en pommes de terre ont légèrement diminué entre 2002-2016 sous l'effet conjugué de la stagnation de la demande et de la hausse des rendements. Pour le futur, nous avons fait l'hypothèse de superficies stables, la hausse de la population compensant la baisse de consommation par habitant observée depuis quelques années.

⁸⁶ Mentionnons à titre indicatif les annonces publiques faites depuis 2015 par Bonduelle concernant ses intentions de développement de la filière biologique au Québec, en particulier dans le pois, le maïs et les haricots.

Tableau 6.25
Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées
en légumes de plein champ.

Cultures irriguées	Tendance passée	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Asperges	44 % (2002-2016)	0	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Betteraves	48 % (2002-2016)	0	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Brocolis	-5 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Choux	-8 % (2002-2016)	0	+50 %	+255	+35 %	+35 %
Choux-fleurs	18 % (2002-2016)	0	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Courges et courgettes	20 % (2002-2016)	0	+50 %	+25 %	+35 %	+35 %
Concombres marché frais	-47 % (2004-2010)	0	0	-15 %	-5 %	-5 %
Échalotes françaises	ND	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Fines herbes	-11 % (2002-2016)	0	+50 %	+255	+35 %	+35 %
Oignons secs	7 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Oignons verts	-18 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Poivrons	-16 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Radis	1 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Tomates marché frais	-30 % (2002-2016)	0	-15 %	0	-5 %	-5 %
Carottes	-18 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Haricots	-27 % (2002-2016)	0	+25 %	+10 %	+15 %	+15 %
Laitues	47 % (2002-2016)	0	+25 %	+10 %	+15 %	+15 %
Maïs sucré	-23 % (2002-2016)	0	+25 %	+10 %	+15 %	+15 %
Oignons	7 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Pois	-8 % (2002-2016)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %
Pommes de terre	-14 % (2002-2017)	0	+10 %	0	+5 %	+5 %

2. Projection des pourcentages de superficies irriguées

Du fait des changements climatiques, le déficit hydrique estival, tel qu'il est analysé à la section 6.1.2, devrait augmenter, entraînant une hausse des besoins en eau des cultures. Dans certains cas, cela devrait se traduire par une augmentation des besoins en eau d'irrigation. De plus, dans une majorité de régions du Québec, les producteurs investissent actuellement dans des équipements d'irrigation afin de sécuriser la production et de garantir un revenu. L'été 2018, particulièrement sec dans plusieurs régions, renforce ce phénomène.

Dans l'objectif de développer des scénarios, nous devons formuler des hypothèses sur le développement de l'irrigation. En effet, pour une culture donnée, toutes les superficies cultivées ne sont pas nécessairement irriguées, et il existe de très fortes différences entre les régions. Par exemple, les pommes de terre ne sont pas irriguées pour la grande majorité de la Montérégie, alors qu'elles le sont quasiment systématiquement dans Lanaudière. À l'inverse, certains légumes sont irrigués en Montérégie alors qu'ils ne le sont que très rarement dans Lanaudière (voir l'annexe 4 – Charte de consommation). Pour réaliser ces hypothèses de développement des superficies, nous avons distingué les scénarios climatiques selon leurs incidences sur le déficit hydrique estival.

Dans les scénarios 2 et 4, qui correspondent aux scénarios climatiques MI58 et MR3 (voir la section 6.1), le déficit hydrique serait nettement plus élevé qu'actuellement. Dans le cas de ces deux scénarios, nous avons donc considéré des augmentations des superficies irriguées (traduites en pourcentage de superficies irriguées de chaque culture; voir le Tableau 6.26). Ces hypothèses ont été réalisées sur la base des renseignements obtenus auprès de différents conseillers avec lesquels nous avons communiqué pour l'établissement des valeurs de référence, et d'une rencontre de travail avec plusieurs conseillers du MAPAQ et d'un chercheur de l'IRDA spécialisés en irrigation.

Dans les scénarios 3 et 5 (GFG et MI56) (voir la section 6.1), le déficit hydrique simulé étant stable, nous ne considérons pas d'augmentation des pourcentages de superficies irriguées. Dans le scénario 1 de statu quo, nous avons considéré une stabilité des pourcentages de superficies irriguées.

Tableau 6.26
Pourcentage des superficies cultivées irriguées pour les scénarios 2 et 4

% des superficies irriguées	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Autres cultures serre	100 % ²	100 %	100 %	100 %	100 %
Concombres serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Autres fleurs coupées serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Fleurs annuelles serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Laitues serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Plants légumes caissettes serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Plantes vertes serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Plantes vivaces serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Potées fleuries serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Roses coupées serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

% des superficies irriguées	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Tomates serre	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Bleuets corymbes/géants	100 % (90 %) ¹	50 % (25 %) ¹	50 % (75 %) ¹	100 %	100 % (90 %) ¹
Canneberges	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Fraises d'automne	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Fraises conventionnelles et haute densité	40 % (20 %) ¹	75 % (55 %) ¹	60 % (30 %) ¹	100 %	100 %
Framboises conventionnelles	25 % (0) ¹	50 % (25 %) ¹	20 % (10 %) ¹	100 %	100 %
Framboises automne	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Melons et cantaloups	0	0	0	0	75 % (50 %) ¹
Pommiers nains	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Pommiers semi-nains	40 % (20 %) ¹	40 % (20 %) ¹	40 % (20 %) ¹	0	40 % (20 %)
Asperges	100 %	0	0	100 % (85 %) ¹	100 %
Betteraves potagères	0	0	0	100 % (50 %) ¹	100 % (50 %) ¹
Brocolis	0	0	0	100 % (50 %) ¹	100 % (50 %) ¹
Choux	0	0	0	100 % (50 %) ¹	100 % (50 %) ¹
Choux-fleurs	0	0	0	100 % (50 %)	100 % (50 %)
Citrouilles, courges et courgettes	0	0	0	100 %	50 % (30 %)
Concombres marché frais	0	0	0	100 %	100 % (70 %)
Échalotes françaises	0	0	0	100 % (50 %)	100 % (50 %)
Épinards	0	0	0	0	100 % (50 %)
Fines herbes	0	0	0	0	100 % (50 %)
Oignons secs	0	0	0	0	0
Oignons verts	0	0	0	100 % (98 %)	100 % (50 %)
Oignons	0	0	0	0	75 % (50 %)
Poivrons	0	0	0	0	100 %
Pommes de terre marché frais	50 % (25 %)	50 % (25 %)	0	100 % (75 %)	0
Pommes de terre semence	50 % (25 %)	50 % (25 %)	0	100 % (75 %)	0
Pommes de terre croustilles	50 % (25 %)	50 % (25 %)	0	100 % (75 %)	0
Pommes de terre prépelage	50 % (25 %)	50 % (25 %)	0	100 % (75 %)	0
Radis	0	0	0	60 % (30 %)	60 % (30 %)
Tomates marché frais	0	0	0	0	100 %

% des superficies irriguées	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Haricots	0	0	0	50 % (14 %)	60 % (30 %)
Carottes	0	0	0	30 % (15 %)	25 % (5 %)
Maïs sucré	10 % (5 %)	0	0	50 % (15 %)	25 % (3 %)
Laitues	100 %	0	0	100 %	100 %
Pois	0	0	0	0	25 % (1 %)
Gazon	0	0	0	20 % (10 %)	0
Arbres feuillus en conteneurs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Arbustes en conteneurs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Autres horticultures en conteneurs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Conifères en conteneurs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Plantes vivaces et rosiers en conteneurs	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

¹Les chiffres entre parenthèses indiquent le % actuel des superficies irriguées.

²Les chiffres sans parenthèses indiquent que le % des superficies irriguées demeure identique à la proportion actuelle.

3. Répercussions des changements climatiques sur les besoins en eau pour les cultures

Le troisième facteur que nous avons considéré pour évaluer les besoins en eau futurs pour l'irrigation des cultures est l'incidence des changements climatiques sur l'évapotranspiration des cultures.

DÉFICIT HYDRIQUE ESTIVAL

Climat actuel

Le Tableau 6.27 présente les précipitations moyennes observées durant les mois de juin à août dans les stations météorologiques d'Environnement Canada pour la période 1980-2010. La seconde ligne de ce tableau présente l'évapotranspiration potentielle telle que simulée par le modèle STICS⁸⁷ (présenté dans l'annexe 6) pour la même période. En soustrayant l'évapotranspiration potentielle aux précipitations, nous calculons le déficit hydrique estival potentiel.

La région présentant le déficit hydrique estival potentiel le plus important est celle de la Montérégie, avec un déficit moyen de 114 mm estimé pour Saint-Hubert (Station de l'aéroport). À l'inverse, en Chaudière-Appalaches (Beauceville) et en Estrie (Sherbrooke), les précipitations estivales excèdent l'évapotranspiration potentielle. Lanaudière et le Centre-du-Québec sont deux régions, après la Montérégie, où il existe déjà un déficit hydrique important.

Ces estimations sont cohérentes avec les pratiques d'irrigation observées dans chacune de ces régions. En effet, la Montérégie et Lanaudière sont celles où les systèmes d'irrigation sont les plus présents. Il y a peu de cultures irriguées en Chaudière-Appalaches et en Estrie.

Tableau 6.27
Estimation du déficit hydrique estival en climat actuel pour une station météorologique d'Environnement Canada pour chaque région couverte par le projet.

(mm)	L'Assomption	Beauceville	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
Précipitations de juin à août (ENV. CAN.) (Po)	274	335	279	365	286
ETP STICS juin à août (ES)	373	303	355	318	401
Moyenne de P – ETP	-99	32	-76	47	-114

⁸⁷ Brisson, N., Launay, M., Mary, B., Beaudoin, N., 2008. Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model. Éditions QUAE, Versailles, France.

Climat futur

Pour estimer l'évolution des deux paramètres considérés pour estimer le déficit hydrique, soit les précipitations et l'évapotranspiration, nous avons utilisé les scénarios climatiques fournis par Ouranos (voir la section 6.1.2).

Pour estimer les précipitations et l'évapotranspiration futures, nous avons réalisé une comparaison entre les valeurs de ces paramètres estimés dans chaque scénario climatique pour la période de référence (1981-2010) et pour la période future (2041-2070). Pour chaque scénario, cela nous a permis de calculer un pourcentage d'évolution du paramètre entre les deux périodes, pourcentage que nous avons par la suite appliqué à la valeur moyenne observée à la station d'Environnement Canada. Le Tableau 6.28 présente l'évolution simulée des précipitations pour les cinq scénarios pour les cinq régions.

Le volume de précipitation estivale (juin à août) pourrait évoluer dans différentes directions, selon les scénarios. Ceci montre qu'il existe une incertitude importante dans les simulations climatiques quant à cette variable. En effet, les scénarios GFG et MI58 simulent une légère baisse des précipitations, de l'ordre de quelques pourcents, pour les cinq stations météorologiques. Le scénario MR3 simule quant à lui une hausse des précipitations estivales de l'ordre de 10 % pour toutes les stations, alors que le scénario MI56 prévoit une hausse de l'ordre de 15 % des précipitations sur cette même période, sauf pour la station de Nicolet.

Tableau 6.28
Évolution simulée des précipitations sur la période de juin à août¹

Variation des précipitations estivales entre 1981-2010 et 2041-2070	L'Assomption	Beauceville	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert	Moyenne
GFG (%)	-3	-1	-4	-2	-3	-3
MI56 (%)	17	20	1	19	17	15
MI58 (%)	-2	-2	-8	-5	-3	-4
MR3 (%)	7	11	6	9	6	8
GFG (mm)	-9	-5	-11	-6	-9	
MI56 (mm)	+46	+65	+3	+69	+49	
MI58 (mm)	-6	-7	-23	-17	-10	
MR3 (mm)	+18	+37	+17	+32	+16	

¹Calculs réalisés à partir des données fournies par Ouranos, 2017.

Les quatre premières lignes (exprimées en %) comparent les scénarios climatiques de référence pour la période 1981-2010 et pour la période 2041-2070. Les quatre lignes exprimées en mm sont les estimations des variations calculées pour la période 2041-2070 sur la base des observations en appliquant le % de changement des quatre premières lignes.

Le Tableau 6.29 présente les évolutions simulées de l'ETP avec le modèle STICS sur la période de juin à août pour les cinq stations météorologiques et pour les quatre scénarios retenus. Au contraire des précipitations, tous les scénarios simulent une évolution de l'ETP dans la même direction : à la hausse. Les scénarios MR3 et MI58 simulent une hausse moyenne de 7 et 8 % respectivement, alors que le scénario GFG simule une hausse de 11 % de l'ETP et de 15 % pour MI58. Ces scénarios se traduiraient

donc par une hausse de l'ETP variant d'une vingtaine à plus d'une cinquantaine de mm sur la période estivale.

Tableau 6.29
Évolution simulée de l'ETP sur la période de juin à août¹

Variation de L'ETP estival entre 1981-2010 et 2041-2070	L'Assomption	Beauceville	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert	Moyenne
GFG (%)	9	12	9	13	9	11
MI56 (%)	7	8	9	8	7	8
MI58 (%)	14	17	16	15	15	15
MR3 (%)	4	7	9	8	5	7
GFG (mm)	+34	+38	+33	+40	+37	
MI56 (mm)	+27	+25	+33	+24	+30	
MI58 (mm)	+52	+50	+56	+49	+58	
MR3 (mm)	+17	+22	+31	+26	+21	

¹Calculs réalisés à partir des données fournies par Ouranos, 2017.

Les quatre premières lignes (exprimées en %) comparent les scénarios climatiques de référence pour la période 1981-2010 et pour la période 2041-2070, les quatre lignes exprimées en mm sont les estimations des variations calculées pour la période 2041-2070 en comparaison avec la période de référence sur la base des observations en appliquant le % de changement des quatre premières lignes.

Le Tableau 6.30 présente l'évolution du déficit hydrique estival (juin à août) simulé pour la période 2041-2070 et comparé à la période de référence (1981-2010).

Tableau 6.30
Évolution simulée du déficit hydrique (P-ETP) sur la période de juin à août (2041-2070¹)

		L'Assomption	Beauceville	Nicolet	Sherbrooke	Saint-Hubert
Variation de P-ETP entre 1981-2010 et 2041-2070 (mm)	GFG	-43	-42	-44	-46	-46
	MI56	19	41	-29	45	19
	MI58	-58	-57	-78	-66	-68
	MR3	2	14	-14	6	-5
P-ETP simulé pour la période 1981-2010 (mm)		-99	32	-76	47	-114
P-ETP estival simulé pour 2041-2070 (en mm)	GFG	-142	-10	-120	1	-160
	MI56	-80	73	-105	92	-95
	MI58	-157	-25	-154	-19	-182
	MR3	-97	46	-90	53	-119

¹Calculs réalisés à partir des données fournies par Ouranos, 2017.

Les quatre premières lignes présentent la variation en mm du P-ETP pour 2041-2070 en comparaison avec la valeur de référence simulée, pour chaque scénario climatique. Les quatre dernières présentent la valeur de P-ETP simulée pour la période 2041-2070 (en mm).

Les scénarios GFG et MI58, par la conjugaison de la réduction des précipitations et de la hausse de l'évapotranspiration, entraînent l'évolution la plus importante du déficit hydrique, en hausse d'environ 45 mm pour GFG et entre 57 et 78 mm pour MI58. Les deux autres scénarios ont des tendances moins

claires, MI56 entraînant un déficit hydrique estival plus faible pour toutes les stations sauf Nicolet, et MR3 un déficit plus faible, sauf pour Nicolet et Saint-Hubert. À noter que dans le cas de MI56, pour Sherbrooke et Beauceville, il n'y aurait pas de situation de déficit hydrique, les précipitations dépassant nettement l'évapotranspiration. À l'inverse, dans le cas des scénarios GFG et MI58, le déficit hydrique atteindrait des valeurs très élevées à Saint-Hubert, Nicolet et L'Assomption, proches ou supérieures à 150 mm sur la période estivale. Un tel déficit aurait probablement des conséquences importantes sur la croissance des cultures non irriguées.

4. Simulation des besoins en eau des cultures

Nous avons réalisé des simulations des besoins en eau des pommes de terre, des laitues, du maïs, des pois et des haricots à l'aide des modèles de culture STICS et Cropsyst. Les détails concernant la réalisation de ces simulations en climat actuel sont présentés dans l'annexe 6.

SIMULATIONS POUR LES POMMES DE TERRE AVEC STICS

Pour réaliser les simulations en climat futur, nous avons substitué le climat actuel aux scénarios climatiques, pour la période de référence 1981-2010, et pour la période future 2041-2070. Comme l'analyse de la section précédente l'a montré, le climat futur se distinguera du climat actuel, notamment en matière de déficit hydrique, mais aussi en matière de longueur de saison de croissance. Celle-ci devrait en effet démarrer plus tôt et terminer plus tard (voir la section 6.1.2 qui présente l'analyse des scénarios climatiques d'Ouranos).

Du fait de ce climat différent, il est très probable que les pratiques agricoles évoluent. Dans les études⁸⁸ en modélisation, deux principales stratégies d'adaptation sont souvent considérées : le décalage de la date des semis, pour s'adapter au climat futur, et le changement de variétés.

Dans le cas des pommes de terre, nous avons réalisé les hypothèses suivantes :

- Variété : nous avons utilisé la même variété (Russet Burbank) calibrée par Morissette et coll., 2016 pour les conditions du Québec. Il semble en effet, après consultation de quelques experts, qu'il n'existe pas, ailleurs dans le monde, de variétés à cycles beaucoup plus longs que celles cultivées actuellement au Québec.
- Date des semis : nous avons avancé la date des semis en fonction de l'allongement de la saison de croissance, estimée dans la section 6.1.2. Par exemple, pour le scénario GFG à Beauceville, la date a été avancée de 11 jours, pour des semis en climat futur, soit le 5 mai à la place du 16 mai en climat historique et de référence (Tableau 6.31).

⁸⁸ Voir, par exemple : Bregaglio, S., Hossard, L., Cappelli, G., Resmond, R., Bocchi, S., Barbier, J.M, Ruget, F., Delmotte, S. Identifying trends and associated uncertainties in potential rice production under climate change in Mediterranean areas. *Agricultural and Forest Meteorology* 237, 219-232.

Tableau 6.31
Dates des semis utilisées pour les simulations avec le climat historique,
les climats de référence et le climat futur, jours Julien

	Scénario climatique	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Saint-Hubert
Date des semis en climat historique et de référence 1981-2010	OBS	136	130	132	130
Date des semis pour les climats futurs	GFG	125	121	123	119
	MI56	120	117	123	117
	MI58	108	109	113	108
	MR3	130	124	125	123

Le Tableau 6.32 résume les résultats obtenus en matière d'évolution des besoins en eau pour l'irrigation des pommes de terre. Les résultats varient beaucoup d'une station à l'autre, et d'un scénario à l'autre.

Pour Beauceville (Chaudière-Appalaches) où les pommes de terre sont peu irriguées, les scénarios GFG et MI58 entraîneraient des besoins en eau plus importants de 41 et 66 mm respectivement, en comparaison avec le volume actuel simulé à 104 mm. Les deux autres scénarios entraînent des hausses plus modérées des besoins en eau d'irrigation, de 13 mm (MI56) et 22 mm (MR3).

Pour la station de L'Assomption (Lanaudière), les besoins en eau simulés dans le climat historique sont plus élevés qu'à Beauceville, à 174 mm par an en moyenne. La variation simulée entre le climat de référence et le climat futur est importante pour les scénarios MI58 et MR3, puisque la hausse par rapport au climat historique simulé atteindrait 51 mm et 38 mm respectivement. Les deux autres scénarios entraîneraient des hausses beaucoup plus modestes des besoins en eau d'irrigation, de quelques pourcents seulement.

Pour la station de Nicolet (Centre-Du-Québec), les besoins en eau simulés en climat historique sont de 146 mm. Pour les quatre scénarios climatiques, les simulations montrent une hausse des besoins en eau d'irrigation, allant de 14 % (MR3) à 44 % (MI58)

Enfin, pour la station de Saint-Hubert (Montérégie), les besoins en eau simulés sont de 142 mm, bien que les pommes de terre ne soient actuellement pas irriguées la plupart du temps. Les quatre scénarios donneraient lieu, comme dans le cas du Centre-du-Québec, à une hausse des besoins en eau, variant de 18 % pour le scénario GFG jusqu'à 44 % (pour le scénario MR3).

Pour les pommes de terre, les besoins en eau seraient donc quasiment systématiquement en hausse dans les quatre régions pour lesquelles des simulations ont été réalisées. Les pommes de terre étant souvent cultivées sur des sols légers, les besoins en eau sont importants, et l'absence d'irrigation pourrait sérieusement compromettre l'atteinte de rendements satisfaisants. Finalement, il est à noter que les rendements simulés en climat futur seraient en hausse en comparaison avec les rendements simulés pour la période historique, conformément aux projections établies par Morissette et coll. (2016)⁸⁹.

⁸⁹ Morissette, R., G. Jégo, G. Bélanger, A. N. Cambouris, J. Nyiraneza, and B. J. Zebarth. 2016. Simulating Potato Growth and Nitrogen Uptake in Eastern Canada with the STICS Model. *Agron. J.* 108:1853-1868. doi:10.2134/agronj2016.02.0112

Tableau 6.32
Estimation des besoins en eau futurs pour les pommes de terre à partir des résultats
des simulations réalisées avec le modèle STICS.

Volume d'irrigation	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Saint-Hubert
Simulation en climat historique (mm)	104	174	146	142
GFG - référence (mm)	103	196	153	158
GFG - 2050 (mm)	144	203	183	187
Delta GFG (%)	40	3	20	18
Projeté GFG (mm)	145	180	175	168
Volume supplémentaire GFG (mm)	41	6	29	26
MI56 - référence (mm)	102	187	156	153
MI56 - 2050 (mm)	115	201	186	184
Delta MI56 (%)	13	7	19	20
Projeté MI56 (mm)	117	187	174	171
Volume supplémentaire MI56 (mm)	13	13	28	29
MI58 - référence (mm)	102	187	156	153
MI58 - 2050 (mm)	167	242	224	221
Delta MI58 (%)	63	29	44	44
Projeté MI58 (mm)	169	225	209	204
Volume supplémentaire MI58 (mm)	66	51	64	62
MR3 - référence (mm)	103	189	167	159
MR3 - 2050 (mm)	125	230	189	202
Delta MR3 (%)	21	22	14	27
Projeté MR3 (mm)	126	213	166	181
Volume supplémentaire MR3 (mm)	22	38	20	39

SIMULATIONS POUR LE MAÏS AVEC STICS

Le maïs est une culture, qui dans la majorité des cas, n'est pas irriguée au Québec. Cependant, elle l'est dans d'autres régions, aux États-Unis et en Europe notamment. Du fait de la hausse de l'évapotranspiration, nous nous sommes posé la question de l'intérêt que pourrait représenter l'irrigation du maïs en climat futur.

Le modèle STICS, développé et utilisé par Agriculture et Agroalimentaire Canada, a fait l'objet de travaux de paramétrisation et calibrations spécifiques pour la culture du maïs⁹⁰. Nous avons donc utilisé ce modèle pour estimer les besoins en eau du maïs en climat actuel et en climat futur.

Pour chacune des cinq régions à l'étude, nous avons croisé les données spatialisées des superficies en culture assurées (FADQ) pour l'année 2015 avec la base de données des séries de sol de l'IRDA, pour définir les principaux types de sol cultivés en maïs (voir l'annexe 6). Une régie moyenne a été définie en matière de travaux du sol, et les dates des semis moyennes ont été définies sur la base de l'analyse des scénarios climatiques, comme pour les pommes de terre (Tableau 6.32). Les mêmes dates des semis ont donc été utilisées. Pour la période historique, le climat des années 1995 à 2015 a été obtenu et utilisé pour les simulations.

Pour réaliser les simulations en climat futur, nous avons substitué le climat actuel par les scénarios climatiques, pour la période de référence 1981-2010, et pour la période future 2041-2070. Nous avons également, comme pour le cas des pommes de terre, simulé deux stratégies d'adaptation : le décalage de la date des semis et le changement de variétés.

Dans le cas du maïs, nous avons réalisé les hypothèses suivantes :

- Variété : en fonction de la période (historique ou future), nous avons choisi l'une des trois variétés calibrées et validées dans STICS, définies en fonction de la demande en UTM. Nous avons distingué les cinq régions à l'étude en deux zones d'UTM : pour la Montérégie, Lanaudière et le Centre-du-Québec. Nous avons utilisé des variétés demandant en climat historique entre 2500 et 3000 UTM et pour le climat futur, une variété de 3000 UTM, alors que pour l'Estrie et Chaudière-Appalaches, nous avons utilisé une variété de 2200 et 2500 UTM pour la période historique et 2500 et 3000 pour la période future.
- Date des semis : nous avons avancé la date des semis en fonction de l'allongement de la saison de croissance, estimé dans la section 6.2.1. Par exemple, pour le scénario GFG à Beauceville, la date a été avancée de 11 jours, pour des semis en climat futur, soit le 5 mai à la place du 16 mai en climat historique et de référence.

⁹⁰ Jégo, G., Pattey, E., Bourgeois, G., Tremblay, N., Drury, C.F., 2011. Evaluation of the STICS crop growth model with maize cultivar parameters calibrated for Eastern Canada. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 557-570.

Tableau 6.33
Besoins en UTM des variétés utilisées pour les simulations en climat historique et futur pour les cinq stations.

Variété (besoin en matière d'UTM)	Scénarios de référence et historique (1981-2010)	Scénario futur (2041-2070)
Saint-Hubert, Nicolet et L'Assomption	2500-3000	3000
Sherbrooke et Beauceville	2200-2500	2500-3000

Tableau 6.34
Dates des semis utilisées (jours Julien) pour les simulations avec le climat historique, les climats de référence et les climats futurs.

	Scénario	Beauceville	L'Assomption	Nicolet	Saint-Hubert	Sherbrooke
Date des semis en climat historique et de référence 1981-2010	OBS	136	130	132	130	134
Date des semis pour les climats futurs	GFG	125	121	123	119	125
	MI56	120	117	123	117	122
	MI58	108	109	113	108	108
	MR3	130	124	125	123	130

Le Tableau 6.35 donne un aperçu des résultats obtenus en moyenne pour chaque station (tout type de sol confondu), avec et sans irrigation, pour les climats historiques, de référence et futurs. Plusieurs constats peuvent être établis sur la base de ces simulations :

- Premièrement, les rendements sont exprimés ici à 0 % d'humidité, alors que dans les données de référence de la FADQ, les valeurs sont exprimées à 15 % d'humidité.
- Les rendements simulés pour le climat historique semblent cohérents avec les ordres de grandeur des rendements observés par la FADQ⁹¹. En effet, nous retrouvons bien un gradient entre les régions : Montérégie > Lanaudière > Centre-du-Québec > Estrie > Chaudière-Appalaches.
- Les rendements simulés pour la période de référence sont inférieurs à ceux simulés avec les données observées. Puisque le climat a évolué sur cette période, il est normal que les données de 1995-2015 conduisent à des rendements plus élevés que les simulations pour 1981-2010.
- Les rendements moyens simulés avec irrigation sont supérieurs à ceux simulés sans irrigation, l'écart de rendement se situant en climat de référence et en climat historique autour de 0,5 t/ha pour l'Estrie et Chaudière-Appalaches, et entre 1 et 1,5 t/ha pour la Montérégie, Lanaudière et le Centre-du-Québec.

⁹¹ <https://www.fadq.qc.ca/statistiques/assurance-recolte/rendements-de-reference/>

Tableau 6.35

Rendement en grain à 0 % d'humidité simulé pour le climat observé (1995-2015), pour la période de référence avec les scénarios climatiques (1981-2010) et pour la période future avec les scénarios climatiques (2041-2070)

	Irrigation	Rendement simulé pour les observations (1995-2015) (t/ha)	Rendement simulé pour la période de référence 1981-2010 (t/ha)				Rendement moyen simulé pour 2041-2070 (t/ha)			
		OBS	GFG	MI56	MI58	MR3	GFG	MI56	MI58	MR3
Sherbrooke	Avec	5,6	4,8	4,6	4,6	4,5	8,5	8,1	9,4	8,3
Sherbrooke	Sans	5,3	4,3	4,3	4,3	4,2	8,4	7,9	9,3	8,1
Nicolet	Avec	7,4	5,7	6,9	6,9	6,9	10,8	10,8	11,1	11,3
Nicolet	Sans	6,0	4,8	5,3	5,3	5,3	9,6	8,9	8,9	10,0
Beauceville	Avec	5,0	4,5	4,5	4,5	4,7	8,4	8,1	9,2	8,3
Beauceville	Sans	4,4	7,8	4,0	4,0	4,2	7,8	7,6	8,5	8,0
Saint-Hubert	Avec	7,8	7,1	7,1	7,2	7,1	10,4	10,8	10,6	10,8
Saint-Hubert	Sans	6,7	5,3	5,4	5,4	5,6	9,4	9,5	9,2	9,5
L'Assomption	Avec	7,9	6,8	7,1	7,1	7,3	10,8	11,0	10,9	11,1
L'Assomption	Sans	6,0	4,7	4,6	4,6	4,9	8,4	8,6	8,4	8,4

Tableau 6.36

Besoin en eau d'irrigation simulé par STICS pour le climat observé (1995-2015), pour la période de référence avec les scénarios climatiques (1981-2010) et pour la période future avec les scénarios climatiques (2041-2070)

Scénarios	Volume d'irrigation simulé pour la période 1995-2015 (mm)	Volume d'irrigation simulé pour la période de référence 1981-2010 (mm)				Volume d'irrigation simulé pour 2041-2070 (mm)			
	OBS	GFG	MI56	MI58	MR3	GFG	MI56	MI58	MR3
Sherbrooke	17	17	17	17	16	17	18	18	18
Nicolet	65	27	57	57	60	55	67	86	54
Beauceville	37	35	35	35	33	36	29	44	31
Saint-Hubert	64	63	67	69	67	57	56	76	56
L'Assomption	91	92	98	98	96	86	95	109	86

- Les rendements simulés en climat futur, sans irrigation, sont nettement en hausse, pour toutes les régions, en comparaison aux rendements simulés pour les climats de référence et le climat observé. Cette hausse peut être attribuée à la hausse des températures qui sera très favorable au maïs. Le gain de rendement serait variable entre les régions, mais presque systématiquement supérieur à 50 % en comparaison au rendement simulé en climat de référence. Les résultats de simulation sont cohérents avec plusieurs travaux de recherche menés en Amérique du Nord sur les répercussions des changements climatiques sur les rendements du maïs⁹².
- En climat futur, des apports d'irrigation permettraient d'augmenter les rendements. Cependant, le niveau de hausse serait très différent d'une région à l'autre, en fonction du déficit hydrique estival attendu et de la capacité de rétention en eau des sols. En Estrie, les apports d'irrigation n'auraient quasiment aucun effet, et les besoins seraient très faibles (voir le Tableau 6.36). En Chaudière-Appalaches, les besoins se situeraient entre 30 mm et 45 mm en moyenne (en fonction des scénarios climatiques) et ces apports permettraient d'augmenter les rendements d'environ 0,5 t/ha par rapport aux rendements obtenus sans irrigation. En Montérégie, des apports compris entre 55 mm et 75 mm par saison permettraient d'augmenter les rendements de 1 à 1,4 t/ha environ. Au Centre-Du-Québec, pour des apports similaires ou très légèrement supérieurs, les rendements augmenteraient de 1,3 à 2,2 t/ha. C'est finalement dans Lanaudière que l'irrigation aurait une incidence plus importante, puisqu'elle permettrait, pour des apports d'eau compris entre 85 mm et 110 mm, d'augmenter les rendements de 2,3 à 2,6 t/ha. La nature des sols, plus légère dans cette région, pourrait expliquer cette différence de valeur ajoutée de l'irrigation.

À la lumière de ces résultats, nous avons décidé de ne pas retenir l'irrigation du maïs à grande échelle dans nos scénarios d'évolution des besoins en eau. En effet, pour la plupart des régions, le gain de rendement lié à l'irrigation semble marginal. De plus, le coût de l'équipement d'irrigation, les contraintes réglementaires et le coût de fonctionnement d'un système d'irrigation sont tels que la valeur ajoutée à la production par l'irrigation (la hausse de rendement attendue moins les charges supplémentaires de fertilisation probables) ne couvrirait probablement pas l'investissement et les dépenses reliés à cette irrigation.

SIMULATIONS POUR LES LAITUES

Les laitues sont principalement cultivées au Québec en terre noire en Montérégie, où des superficies importantes y sont cultivées. Nous avons tenté d'utiliser un modèle de culture de laitue développé dans STICS pour estimer les répercussions des scénarios climatiques pour la culture des laitues. L'annexe 6 présente l'origine de ce modèle et le détail des simulations réalisées en climat actuel.

Pour réaliser les simulations en climat futur, nous avons substitué le climat actuel aux scénarios climatiques (période de référence 1981-2010 et période future 2041-2070). Nous n'avons pas testé de stratégie d'adaptation, faute d'information disponible sur les variétés et les possibles dates des

⁹² Voir notamment :

- Bootsma, A., Gameda, S. and McKenney, D. W. 2005. Potential impacts of climate change on corn, soybeans and barley yields in Atlantic Canada. *Can. J. Plant Sci.* 85: 345–357.
- Qian, B., De Jong, R., Gameda, S., Huffman, T., Neilsen, D., Desjardins, R., Wang, H. and McConkey, B. 2013. Impact of climate change scenarios on Canadian agroclimatic indices. *Can. J. Soil Sci.* 93: 243_259
- Smith et coll., 2013, Assessing the effects of climate change on crop production and GHG emissions in Canada. *Agr., Ecos. Env.* 179, p. 139-150.

semis futurs. Néanmoins, nous avons réalisé les simulations pour chaque année en climat actuel et futur, pour six dates de semis différentes, variant du 1^{er} mai au 15 juillet.

Les simulations avec le climat historique conduisaient à des besoins en eau de 63 mm par culture. Les besoins en eau simulés pour les climats de référence sont légèrement supérieurs, à 73 mm. En climat futur, les besoins en eau pour l'irrigation des laitues seraient en hausse pour tous les scénarios, sauf le scénario MI56 pour lequel les besoins resteraient stables. Pour les autres scénarios, la hausse des besoins en eau par cycle cultural varierait de 13 à 29 %, comme présentée dans le Tableau 6.37.

Tableau 6.37
Estimation des besoins en eau future pour les laitues en terre noire en Montérégie à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle STICS.

Simulation en climat historique	63 mm			
Scénarios	GFG	MI56	MI58	MR3
Référence (mm)	73	73	73	73
2050 (mm)	82	74	89	93
Delta (%)	13	1	22	29
Projeté (mm)	71	64	77	81
Volume supplémentaire (mm)	8	1	14	17

SIMULATIONS POUR LES POIS ET LES HARICOTS

Les pois et les haricots sont principalement cultivés pour la conserverie dans Lanaudière, au Centre-du-Québec et en Montérégie, où des superficies importantes y sont cultivées. Pour estimer les répercussions des scénarios climatiques sur les besoins en eau de ces cultures, nous avons aussi eu recours au modèle de culture Cropsyst avec des paramètres adaptés à chacune (voir l'annexe 6).

Pour réaliser les simulations en climat futur, nous avons substitué le climat actuel aux scénarios climatiques (période de référence 1981-2010 et période future 2041-2070). Tout comme pour les laitues, nous n'avons pas testé de stratégie d'adaptation, faute d'information disponible sur les variétés et les possibles dates des semis futurs. Néanmoins, nous avons réalisé les simulations pour cinq dates de semis différentes, variant du 15 avril au 15 juin (pois) et du 20 mai au 15 juillet (haricots).

Pour les pois, les simulations avec le climat historique, pour les différentes dates de semis, conduisaient à des besoins en eau variant de 37 mm à 44 mm en fonction des régions. Les besoins en eau simulés pour les climats de référence sont similaires, entre 42 mm et 48 mm en fonction des stations et des scénarios. En climat futur, les besoins en eau pour l'irrigation des pois seraient stables ou en très légère baisse pour tous les scénarios (voir le Tableau 6.38).

Pour les haricots, les besoins en eau simulés pour les climats de référence sont légèrement supérieurs, compris entre 68 mm et 86 mm en fonction des stations et des scénarios. En climat futur, les besoins en eau simulés pour l'irrigation des haricots sont en légère baisse pour tous les scénarios (voir le Tableau 6.39).

Tant pour les pois que pour les haricots, la stabilité ou la légère baisse des besoins en eau sont liées au raccourcissement de la durée de la culture, en raison des températures plus élevées : la durée entre les semis pour la récolte étant plus courte, le déficit hydrique cumulé sur la période de croissance de la culture serait donc similaire. Du fait de ce constat, nous n'avons pas fait évoluer en climat futur les besoins en eau des haricots dans nos scénarios.

Tableau 6.38
Estimation des besoins en eau future pour les pois à partir des résultats
des simulations réalisées avec le modèle CROPSYST.

	L'Assomption	Nicolet	Saint-Hubert
Simulation en climat historique	44	37	39
GFG – référence (mm)	49	45	44
GFG –2050 (mm)	46	44	43
Delta GFG (%)	-6	-3	-4
Projeté GFG (mm)	41	36	38
Volume supplémentaire GFG (mm)	-3	-1	-2
MI56 – référence (mm)	48	44	43
MI56 –2050 (mm)	46	44	42
Delta MI56 (%)	-5	-2	-3
Projeté MI56 (mm)	42	36	38
Volume supplémentaire MI56 (mm)	-2	-1	-1
MI58 – référence (mm)	48	44	43
MI58 –2050 (mm)	47	43	43
Delta MI58 (%)	-3	-3	0
Projeté MI58 (mm)	43	36	39
Volume supplémentaire MI58 (mm)	-1	-1	0
MR3 – référence (mm)	48	45	42
MR3 – 2050 (mm)	48	43	44
Delta MR3 (%)	1	-5	5
Projeté MR3 (mm)	44	35	41
Volume supplémentaire MR3 (mm)	0	-2	2

Tableau 6.39
Estimation des besoins en eau future pour les haricots verts à partir des résultats
des simulations réalisées avec le modèle Cropsyst.

	L'Assomption	Nicolet	Saint-Hubert
Simulation en climat historique	76	67	65
GFG – référence (mm)	86	81	75
GFG –2050 (mm)	75	70	66
Delta GFG (%)	-12	-13	-13
Projeté GFG (mm)	67	58	57
Volume supplémentaire GFG (mm)	-9	-9	-9
MI56 – référence (mm)	82	75	68
MI56 – 2050 (mm)	74	69	63
Delta MI56 (%)	-9	-7	-7
Projeté MI56 (mm)	69	62	60
Volume supplémentaire MI56 (mm)	-7	-5	-5
MI58 – référence (mm)	82	75	68
MI58 – 2050 (mm)	73	70	63
Delta MI58 (%)	-10	-7	-8
Projeté MI58 (mm)	68	62	60
Volume supplémentaire MI58 (mm)	-8	-5	-5
MR3 – référence (mm)	84	77	72
MR3 – 2050 (mm)	79	70	67
Delta MR3 (%)	-6	-8	-7
Projeté MR3 (mm)	71	61	61
Volume supplémentaire MR3 (mm)	-5	-6	-5

5. Évolution du volume d'eau consommé pour l'irrigation

Comme présenté dans les paragraphes précédents, pour certaines cultures irriguées, nous avons pu estimer le volume supplémentaire d'eau d'irrigation nécessaire en raison des changements climatiques. Cependant, pour les autres cultures, nous ne disposons pas de modèle permettant une simulation précise des besoins en eau. Pour pouvoir procéder à une évaluation de l'évolution des besoins en eau, nous avons réalisé un bilan hydrique sommaire, basé sur l'usage des volumes d'ETP estimés à la section 3.2, et sur l'évolution attendue des précipitations durant la période estivale.

Pour chaque culture, nous avons donc identifié une valeur de coefficient cultural (Tableau 6.40) et nous avons défini des hypothèses pour l'estimation de l'évolution du volume d'eau nécessaire :

- Pour les cultures de plein champ sans couverture plastique, nous avons considéré que les précipitations avaient une efficacité de 80 % :

$$\Delta \text{Besoin en eau} = \Delta \text{ETP} - \Delta P * 0.8,$$

où le Δ représente la variation calculée entre la valeur de la variable pour le climat actuel et pour le climat futur.

- Pour les cultures de plein champ avec couverture du sol par un plastique, nous avons considéré que les précipitations avaient une efficacité moyenne de 25 % :

$$\Delta \text{Besoin en eau} = \Delta \text{ETP} - \Delta P * 0.25$$

où le Δ représente la variation calculée entre la valeur de la variable pour le climat actuel et futur.

Une efficacité de 25 % peut sembler pessimiste au regard des connaissances existantes (voir par exemple Bergeron et coll., 2017⁹³, qui caractérise l'efficacité pour trois épisodes entre 22 et 51 %), mais étant donné l'évolution du régime de précipitations attendues (plus d'événements de précipitations intenses, d'une intensité plus élevée⁹⁴, sur des sols secs⁹⁵), cette valeur nous a semblé réaliste.

Tableau 6.40
Coefficient cultural maximal pour chaque culture et hypothèse pour l'estimation de l'évolution du volume d'eau d'irrigation.

Culture	Valeur maximale du coefficient cultural Kc	Base pour l'hypothèse d'évolution des besoins
Serre	S.O.	Pas d'évolution, car l'évapotranspiration est déterminée par le rayonnement
Bleuets	1 (Source : MAFF ⁹⁶)	Base ETP-0.8*P
Fraises conventionnelles	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Fraises à haute densité et fraises d'automne	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison du couvert plastique
Framboises	1,2 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Framboises d'automne	1,2 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Canneberges	0,9 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Pommiers	1 (Source : CIRAME Agrométéo ⁹⁷)	Base ETP-0.8*P
Melons et cantaloups	1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison du couvert plastique
Gazon	1	Base ETP-0.8*P
Plantes en conteneurs	1 (hypothèse)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison de la faible réserve en eau du contenant
Asperges	0.95 (Source : MAFF)	Pas d'évolution, car la pratique actuelle de l'irrigation a lieu au printemps pour la qualité, et non en cas de stress hydrique
Betteraves	1,05 (Source : FAO ⁹⁸)	Base ETP-0.8*P
Brocolis	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Choux	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Choux-fleurs	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Citrouilles, courges et courgettes	0,95-1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Concombres marché frais	1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison du couvert plastique

⁹³ https://culturinnoov.qc.ca/sites/culturinnoov.qc.ca/files/conference_irrigation_camerise_granby_27_avril_2017_final.27_avril.pdf

⁹⁴ Mailhot, A., Beaugard, I., Talbot, G., Caya, D. et Biner, S. (2012). Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1151–1163. doi:10.1002/joc.2343

⁹⁵ Voir <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie1.pdf>

⁹⁶ <ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ad/EMS/Anita/MSCreports/msc/cropcoeff.pdf>

⁹⁷ <http://www.agrometeo.fr/Irrigation.asp>

⁹⁸ <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0b.htm#tabulated%20kc%20values>

Culture	Valeur maximale du coefficient cultural Kc	Base pour l'hypothèse d'évolution des besoins
Échalotes françaises	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Épinards	1 (Source : FAO)	Base modèle laitues
Fines herbes	1,05 (Source : Agrilife extension)	Base laitues
Navets et rutabagas	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Oignons secs	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Oignons verts	1 (Source : FAO)	Base ETP-0.8*P
Poivrons	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison du couvert plastique
Pommes de terre	1,15 (Source : MAFF)	Modèle Pommes de Terre
Radis	0,9 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Tomates marché frais	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Carottes	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Haricots	1,05 (Source : MAFF)	Modèle haricots
Laitues	1 (Source : MAFF)	Modèle laitues
Maïs sucré	1,15 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P, car les précipitations profitent peu à la culture en raison du couvert plastique
Pois	1,15 (Source : MAFF)	Modèle pois

PROTECTION CONTRE LE GEL

Nous n'avons pas simulé d'évolution de la protection contre le gel. En effet, l'écart entre la date de début de saison de croissance et la date du dernier gel devrait être plus proche qu'actuellement en climat futur, réduisant le risque de gel printanier. Rochette et coll. (2004)⁹⁹ concluait qu'en climat futur, les risques de gel devraient rester semblables pour le sud du Québec, et être moindres pour les régions plus au Nord.

6.3.2 ÉVOLUTION DES BESOINS EN EAU POUR LES ACTIVITÉS D'ÉLEVAGE

Pour estimer les évolutions des besoins en eau pour les activités d'élevage, nous avons considéré deux facteurs : l'évolution du nombre d'animaux et l'évolution des besoins en eau pour l'abreuvement et le refroidissement des animaux.

1. Évolution du nombre d'animaux au Québec

Dans un premier temps, nous avons analysé les tendances récentes¹⁰⁰. La première colonne du Tableau 6.41 présente les tendances d'évolution du cheptel calculé pour la période 1996-2016.

La plupart des cheptels de bovins, qu'ils soient laitiers ou de boucherie sont en diminution notables, sauf les veaux qui sont presque stables. Les cheptels de porc et de moutons sont en forte augmentation, tout comme les chèvres, les poules et les poulets. Les autres types de volailles sont en diminution. Pour nos cinq scénarios, nous avons réalisé des hypothèses d'évolution cohérentes avec les narratifs présentés dans la section 6.1.1. Ces hypothèses sont communes à toutes les régions.

⁹⁹ Rochette, P., Bélanger, G., Castonguay, Y., Bootsma, A. and Mongrain, D. 2004. Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada. Can. J. Plant Sci. 84 : 1113–1125.

¹⁰⁰ Les statistiques suivantes ont été consultées : tableau 004-0004 de Statistique Canada (Recensement de l'agriculture, certaines données sur le bétail et la volaille, Canada et provinces aux 5 ans, consulté en janvier 2018).

Tableau 6.41
Évolution récente et hypothèses d'évolution pour les cinq scénarios du nombre d'animaux.

ANIMAUX	Tendance passée	Scénario 1 (statu quo)	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Vaches laitières	-26 % (1996-2016)	-25 %	0	-40 %	-25 %	-10 %
Vaches de boucherie	-37 % (1996-2016)	-30 %	-20 %	-40 %	-30 %	-20 %
Génisses et taures	-21 % (1996-2016)	-25 %	0	-40 %	-25 %	-10 %
Taureaux d'un an et plus	-60 % (1996-2016)	-30 %	0	-30 %	-30 %	-30 %
Bouvillons d'un an et plus	-16 % (1996-2016)	-20 %	-20 %	-30 %	-20 %	-10 %
Veaux de moins d'un an	-5 % (1996-2016)	-10 %	-5 %	-50 %	-10 %	-5 %
Porc	+31 % (1996-2016)	+30 %	+20 %	+30 %	+20 %	+40 %
Moutons et agneaux	+57 % (1996-2016)	+50 %	+50 %	0	+50 %	+50 %
Chevaux et poneys	-22 % (1996-2016)	-25 %	-25 %	0	-25 %	-25 %
Chèvres	130 % (1996-2016)	+100 %	+100 %	0	+100 %	+100 %
Poules et poulets	41 % (1996-2016)	+40 %	+40 %	0	+40 %	+50 %
Dindons et volailles	-8 % (1996-2016)	-10 %	-10 %	0	-10 %	+10 %
Lapins	-14 % (2011-2016)	-15 %	-15 %	0	-15 %	0
Autres animaux	ND	0	0	0	0	0

Pour ce qui est des bovins laitiers, nous avons considéré une tendance à la poursuite de la réduction des effectifs, notamment en raison du gain d'efficacité des animaux, mais aussi des avancées toujours croissantes en matière de libéralisation des marchés. Le scénario 2 est le seul scénario où le nombre d'animaux resterait stable.

Pour ce qui est des bovins de boucherie, nous avons considéré une poursuite de la diminution du nombre d'animaux, plus ou moins importante en fonction des scénarios. Avec l'hypothèse d'une chaîne de valeur bien articulée du côté de la filière bœuf, nous avons considéré un ralentissement de la diminution d'ici à 2050 (20 % des effectifs); dans les autres scénarios, elle pourrait atteindre jusqu'à 40 % des effectifs.

Du côté de l'élevage porcin, la majorité des scénarios considère une hausse des effectifs. Dans les scénarios les plus optimistes, cette hausse atteindrait 40 % de cheptel en plus, si une nouvelle acceptabilité sociale était acquise (scénario 5), dans les autres cas, elle se limiterait à 20 %.

Enfin, pour ce qui est de l'élevage de volaille, nous avons poursuivi dans la majorité des scénarios les tendances importantes à la hausse, en raison de la demande toujours croissante des consommateurs pour ce type de protéine, sauf dans le cas du scénario 3, où nous avons considéré le cheptel stable

2. Évolution des besoins en eau pour l'abreuvement et le refroidissement des animaux

La hausse de température liée aux changements climatiques pourrait avoir deux conséquences sur les besoins en eau des entreprises d'élevage :

- Les besoins pour l'abreuvement des animaux pourraient augmenter du fait de la hausse de la température.
- De l'eau pourrait être utilisée pour le refroidissement des bâtiments, soit en raison des systèmes de brumisation, des écrans humides ou des systèmes d'aspersion.

Dans les sections suivantes, nous détaillons les hypothèses réalisées pour les différentes productions.

PRODUCTION DE VOLAILLE

Pour les volailles, la consommation augmente en fonction de la température. Selon Denery et coll. (2012)¹⁰¹, la consommation des animaux augmenterait de l'ordre de 6 à 7 % de plus pour chaque degré Celsius de plus au-dessus de 21 °C. Nous avons donc considéré une hausse de 20 % des besoins en eau pour l'abreuvement des volailles, correspondant à une hausse des températures d'environ 3 °C, comme attendue avec les changements climatiques.

Pour le refroidissement des bâtiments, il existe des systèmes de refroidissement de l'air extérieur peu consommateur d'eau (panneau réfrigérant) et des systèmes de brumisations à plus ou moins haute pression, qui ont donc une consommation d'eau plus ou moins grande (plus de consommation pour les systèmes de basse pression). Cependant, nous n'avons pu identifier de références suffisamment précises concernant les volumes consommés par ces systèmes dans les entreprises avicoles, et n'avons donc pas réalisé d'hypothèses de consommation d'eau pour le refroidissement des bâtiments pour les volailles.

PRODUCTION PORCINE

La consommation d'eau pour l'abreuvement des porcs augmente avec la température. Schiavon et Emmans (2000)¹⁰² ont défini l'équation suivante pour estimer les besoins en eau des porcs :

$$\text{Besoin en eau en L/jour} = 0,2 \times T \text{ (en } ^\circ\text{C)} + 2,59$$

Avec cette équation, une augmentation de 3 °C équivaut à une hausse de 0,6 L par jour par animal. Nous avons considéré que cette augmentation serait notable dans les bâtiments pendant les mois chauds, soit de mai à septembre, ce qui représenterait 150 jours par an. Avec ce calcul, la hausse représenterait donc 0,09 m³ par an par animal.

¹⁰¹ Denery, G. et coll., 2012. L'eau en élevage avicole : une consommation maîtrisée. ITAVI, France 34 p.

¹⁰² Schiavon, Stefano & Emmans, Gerry. (2001). A model to predict water intake of a pig growing in a known environment on a known diet. The British journal of nutrition. 84. 873-83. 10.1017/S000711450000249X.

En ce qui concerne les besoins en eau pour le refroidissement des bâtiments, ils semblent être très faibles (Pouliot et coll. 2013¹⁰³) : ils varieraient de 0,13 à 0,5 L par jour par porc, en fonction du type de système d'élevage (gestation ou engraissement) et du type de système de refroidissement (goutte à goutte, brumisation, aspersion) : au maximum, cela représenterait 3 % de la consommation journalière pour l'abreuvement d'une truie en gestation (17 L par jour), 7 % de la consommation journalière pour l'abreuvement d'un porcelet à l'engraissement (7 L par jour).

Nous avons réalisé l'hypothèse qu'en climat futur, 50 % des bâtiments seraient équipés et que les systèmes seraient utilisés en moyenne 60 jours par an. Avec ces hypothèses, et en utilisant la valeur haute de 0,5 L/jour/animal, cela représenterait en moyenne 15 L par an par animal. Nous avons cependant considéré ces volumes pour le refroidissement seulement en Montérégie, dans Lanaudière et au Centre-du-Québec, en considérant qu'il était peu probable que les conditions de températures futures (à l'horizon 2050) nécessitent l'usage de ces systèmes en Estrie et en Chaudière-Appalaches.

PRODUCTION BOVINE

Selon la professeur E. Charbonneau (Université Laval, communication personnelle), la consommation d'eau d'une vache laitière augmente de 1,2 L/jour par degrés Celsius de plus, pour les vaches laitières en lactation. Nous avons appliqué cette augmentation à tous les types de bovins, car la même augmentation semble à prévoir pour les bovins qui ne sont pas en lactation¹⁰⁴. Nous avons considéré que cette hausse de température se ferait ressentir surtout sur les mois chauds : de mai à septembre, soit 5 mois (150 jours). Cela représenterait donc une consommation de 0,5 m³ en plus par animal et par an (3,6 L x 150 jours).

Pour ce qui est du refroidissement des bâtiments, selon le professeur S. Fournier (Université Laval, communication personnelle), plusieurs techniques existent en Amérique du Nord (voir le Tableau 6.42). Celle qui semble la plus prometteuse, et qui est testée dans plusieurs étables au Québec, est la brumisation. Nous avons estimé que dans les conditions québécoises, la consommation représenterait en moyenne 20 L/jour/vache. Si ce système est utilisé 60 jours par an, dans 50 % des entreprises laitières uniquement, cela représenterait une consommation additionnelle de 0,6 m³ par vache laitière par an. Comme pour les élevages porcins, nous avons cependant considéré ces volumes pour le refroidissement seulement en Montérégie, dans Lanaudière et au Centre-du-Québec, en considérant qu'il était peu probable que les conditions de températures futures (à l'horizon 2050) nécessitent l'usage de ces systèmes en Estrie et en Chaudière-Appalaches.

¹⁰³ Francis POULIOT, Valérie DUFOUR, Sébastien TURCOTTE, Michel MORIN, Patrick MASSABIE, Julie MÉNARD, Guy MAYNARD. 2013. Évaluation de différentes méthodes de refroidissement pendant la saison chaude pour les truies gestantes et les porcs charcutiers. Journées Recherche Porcine, 45, p. 51-56.

¹⁰⁴ Dany Cinq-Mars, 2001. L'eau. 12p. <https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/Documents/Eau1.pdf>

Tableau 6.42
Valeur de référence de consommation d'eau de différents systèmes de refroidissement des
bâtiments d'élevage laitier, issus de différentes études¹

Référence	Région	Brumisation		Aspersion	
		Valeurs originales	Valeurs converties (L/j/vache)	Valeurs originales	Valeurs converties (L/j/vache)
Lin et coll. (1998) ¹⁰⁵	Alabama	200-530 L/j/12 vaches	17-44	2053-5348 L/j/12 vaches	171-448
Shearer et coll. (1999) ¹⁰⁶ + Jones et Stallings (1999) ¹⁰⁷	Floride et Virginie	3-5 gal/j/vache	11-19	50-100 gal/j/vache	189-378
Holmes et coll. (2013) ¹⁰⁸	Iowa			0,35 gal/cycle/vache	127
House (2016) ¹⁰⁹	Ontario			0,2- 0,5 gal/min/vache	72-181

¹Tableau fourni par Stéphane Fournier, communication personnelle.

6.3.3 PISCICULTURE

La réglementation entourant le secteur piscicole s'est resserrée au fil des années au Québec. En réponse à ces contraintes réglementaires, les pisciculteurs ont élaboré en 2003 une Stratégie de développement durable de l'aquaculture en eau douce au Québec (STRADDAQ)¹¹⁰. La croissance du secteur demeure toujours sous contrainte. En effet, à la suite des démarches de la STRADDAQ, une grille d'analyse environnementale pour les piscicultures a été implantée en 2014 par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) balisant les autorisations de projets de piscicultures en milieu terrestre, dont les effluents sont rejetés dans différents milieux aquatiques d'eau douce.

L'un des éléments limitant les développements du milieu est la quantité de phosphore qui est rejetée. Que ce soit pour l'augmentation de production ou l'implantation de nouvelles entreprises, les autorisations sont accordées selon la sensibilité et la capacité du milieu récepteur à recevoir une charge de phosphore supplémentaire. La majorité des entreprises membres de la STRADDAQ respecte la norme fixée par la stratégie face aux rejets de phosphore (4,2 kg de phosphore par tonne de production). Cependant, dans la plupart des cas, l'augmentation de la production peut se faire à la seule condition que le tonnage supplémentaire ne génère pas plus de rejets afin de pouvoir

¹⁰⁵ Lin, J.C.; Moss, B.R.; Koon, J.L.; Flood, C.A.; Smith, R.C., III; Cummins, K.A.; Coleman, D.A. Comparison of various fan, sprinkler, and mister systems in reducing heat stress in dairy cows. *Appl. Eng. Agric.* 1998, 14, p. 177-182.

¹⁰⁶ Shearer, J.K.; Bray, R.A.; Bucklin, R.A. The Management of Heat Stress in Dairy Cattle: What We Have Learned in Florida. In *Proc. Feed and Nutritional Management Cow College*; Virginia Tech: Manassas, VA, USA, 1999.

¹⁰⁷ Jones, G.M.; Stallings, C.C. *Reducing Heat Stress for Dairy Cattle*; Virginia Cooperative Extension: Blacksburg, VA, USA, 1999; p. 1-6.

¹⁰⁸ Holmes, B.; Cook, N.B.; Funk, T.; Graves, R.; Kammel, D.W.; Reinemann, D.J.; Zulovich, J.M. *Dairy Freestall Housing and Equipment*, 8th ed.; MidWest Plan Service: Ames, IA, USA, 2013.

¹⁰⁹ House, H.K. Dairy Housing – Ventilation Options for Free Stall Barns. Available online: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/15-017.htm> (accessed on 6 May 2016).

¹¹⁰ La stratégie peut être consultée en suivant ce lien : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/straddaq_table_filiere.pdf

respecter cette norme. Cela signifie que les innovations technologiques doivent être favorisées. Cette norme limite aussi l'accès à des bassins versants qui sont connus pour être en surplus de phosphore, soit la vaste majorité des bassins versants en milieu agricole. À cette norme vient aussi s'ajouter la nécessité d'acquiescer un permis de prélèvement d'eau pour les préleveurs utilisant plus de 75 m³/j comme indiqué par la *Loi sur la qualité de l'environnement* (art. 31.75, voir la section 1.2).

Pour pallier ces contraintes réglementaires et permettre l'augmentation de la production piscicole, des usines à circuit fermé pourraient faire leur apparition au Québec. Ainsi, le développement d'entreprises piscicoles en circuit fermé a été introduit dans l'un des scénarios futurs de la présente étude : dans le scénario 3, la consommation d'autres sources de protéines que les viandes rouges et blanches s'est développée, augmentant ainsi la consommation de poisson. Pour répondre à cette demande, des systèmes à circuits fermés se sont implantés, augmentant le prélèvement relié à la pisciculture de 30 %.

Les autres scénarios misent davantage sur le développement d'autres sphères du secteur agricole, sans changement au niveau des prélèvements pour la pisciculture.

6.4 SECTEURS INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL

Dans le cadre du projet RADEAU, nous avons effectué des hypothèses afin d'évaluer à quoi pourraient ressembler les prélèvements industriels futurs. Les variables que nous avons fait varier sont :

- les volumes d'eau prélevés actuellement;
- les projections économiques à long terme, basées notamment sur les tendances de croissance économique historiques;
- le niveau de réduction de la consommation d'eau, lié à l'effort de réduction, et l'intégration de procédés industriels plus efficaces.

Nous avons fait varier ces hypothèses et nous les avons combinées de différentes façons en cohérence avec chacun des cinq scénarios narratifs. Le détail de l'approche méthodologique est présenté dans les prochains paragraphes.

6.4.1 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE

La production industrielle pour les secteurs d'activités manufacturiers est calculée sur la base des ventes des produits fabriqués, à l'exception du secteur des pâtes et papiers, pour lequel la production industrielle est représentée par le volume de produit compte tenu de la disponibilité des données.

VOLUME DE LA PRODUCTION

Le secteur de fabrication des pâtes et papiers est la seule industrie pour laquelle les données sur les quantités produites sont disponibles¹¹¹. Le volume de production pour ce secteur équivaut à la quantité (en tonnes métriques) des pâtes, des papiers et des cartons produits au Québec. Nous avons

¹¹¹ Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) publie annuellement le portrait statistique de l'industrie forestière qui présente les principales statistiques de l'industrie des pâtes et papiers (capacité de production, volume de production, valeur des livraisons, emplois, nombre d'usines, etc.)

utilisé cette donnée comme base de référence, que nous avons régionalisée à partir des données sur la capacité de production publiée par le Conseil de l'industrie forestière du Québec pour chacune des régions¹¹².

ESTIMATION DU VOLUME DE PRODUCTION RÉGIONALE

$$Part\ régionale\ (\%) = \frac{Capacité_prod\ i_{2014}}{Capacité_prod\ QC_{2014}}$$

$$Volume_prod_{i_{2015}} = Part\ régionale \times Volume_prod_{iQC_{2015}}$$

où *i* correspond à la région.

VALEUR DE LA PRODUCTION

La valeur de la production équivaut au revenu obtenu par la vente des produits fabriqués (quantité x prix = revenu). Nous avons utilisé pour les fins de l'exercice le revenu des biens fabriqués¹¹³. Cette donnée provient de l'Enquête annuelle sur les industries manufacturières et de l'exploitation forestière¹¹⁴ (EAMEF) de Statistiques Canada. Disponible par secteur de fabrication suivant le système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), cette référence nous permet ainsi d'avoir une valeur de production pour chaque secteur d'activité concerné dans l'étude.

ESTIMATION DE LA VALEUR DE PRODUCTION PAR RÉGION ET EN DOLLARS CONSTANTS

Les dernières données disponibles sur la valeur de production à l'échelle régionale datent de 2012¹¹⁵ et les données de Statistiques Canada¹¹⁶ sur la valeur de production sur l'ensemble du Québec remontent quant à elle à 2015. Afin d'harmoniser les années de référence, nous avons extrapolé la part de la production régionale de 2012 sur la production totale de 2015. Cet ajustement nous permet d'obtenir une estimation de la valeur de production pour chacune des régions et selon le secteur d'activité.

¹¹² Conseil de l'industrie forestière du Québec. Portraits forestiers régionaux, consulté le 5 juin 2018 : <http://www.cifq.com/fr/industrie/portraits-forestiers-regionaux>

¹¹³ Cette donnée exclut les autres types de revenus pouvant être générés par l'entreprise, comme les revenus provenant de biens achetés pour la revente et les revenus de location, d'exploitation et de placements, Institut de la Statistique du Québec. Définitions, consulté le 7 juin 2018 : <http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/secteur-manufacturier/cdmi.html>

¹¹⁴ Cette enquête recueille les principales statistiques industrielles, notamment les revenus (total et des biens fabriqués), les salaires et les traitements; les coûts d'opération incluent l'énergie, les matières premières et les fournitures utilisées et les stocks d'ouverture et de fermeture).

¹¹⁵ Institut de la Statistique du Québec. Statistiques principales du secteur de la fabrication, pour l'activité totale, par région administrative et sous-secteur du SCIAN, Québec, 2012.

¹¹⁶ Statistique Canada. Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le SCIAN, tableau 16-10-0117-01 (CANSIM 301-0008)

EXTRAPOLATION DE LA VALEUR DE PRODUCTION RÉGIONALE

$$Part\ régionale\ (\%)_{i2012} = \frac{Valeur_prod_{ij2012}}{Valeur_prod_{iQC2012}}$$

$$Valeur_prod_{ij2015} = Part\ régionale\ (\%)_{i2012} * Valeur_prod_{iQC2015}$$

où i correspond au secteur d'activité et j à la région

Nous avons ensuite procédé à l'ajustement de la valeur de la production en donnée réelle (en dollars constants) pour éliminer toute variation due à l'inflation ou à la déflation. Le revenu des biens fabriqués est reporté en dollars courants, c'est-à-dire, exprimé selon la valeur (« pouvoir d'achat ») de l'année en cours. Comme nous cherchons à évaluer la consommation d'eau par dollars, il est essentiel de se baser sur la valeur réelle de la production, excluant des facteurs économiques affectant le prix (inflation, taux de change, etc.). Nous convertissons donc les dollars courants en dollars constants au moyen de l'indice de fluctuations des prix des produits industriels¹¹⁷. Cet indice fait état de la fluctuation des prix des biens produits au Canada. Il fournit donc une mesure du rendement économique pour chaque secteur d'activité industriel¹¹⁸. La valeur de production est convertie en dollars constants de 2010. Nous utilisons cette donnée pour le calcul du ratio de la consommation et dans nos hypothèses de projections économiques.

DÉFLATION DE LA VALEUR DE PRODUCTION RÉGIONALE

$$Valeur_prod_{\$2010ij} = Valeur_prod_{ij2012} * IPPI_{i2015}$$

où i correspond au secteur d'activité et j à la région

RATIO DE CONSOMMATION D'EAU

Comme pour le bilan actuel (voir la section 3.1), nous avons utilisé un ratio de consommation d'eau.

6.4.2 PROJECTION ÉCONOMIQUE (2015-2050)

L'évolution économique d'un pays, d'une province ou d'une région dépend d'une série d'indicateurs dont le PIB, le taux d'intérêt, le marché du travail et la productivité pour n'en nommer que quelques-uns. Le ministère des Finances du Canada réalise chaque année des mises à jour sur les projections économiques et budgétaires à long terme du pays. La dernière mise à jour disponible réalisée en 2017 lors de la modélisation de nos scénarios prévoit une augmentation annuelle moyenne de 1,8 % pour

¹¹⁷ Statistique Canada. Indice des prix des produits industriels, par industrie, mensuel. Tableau 18-10-0032-01 (CANSIM 329-0077).

¹¹⁸ Les données utilisées pour le calcul de l'indice des prix des produits industriels proviennent d'établissements de fabrication qui résident et produisent au Canada.

les périodes 2017-2022 et 2023-2055. Nous avons utilisé cette projection nationale comme base de référence pour nos hypothèses¹¹⁹.

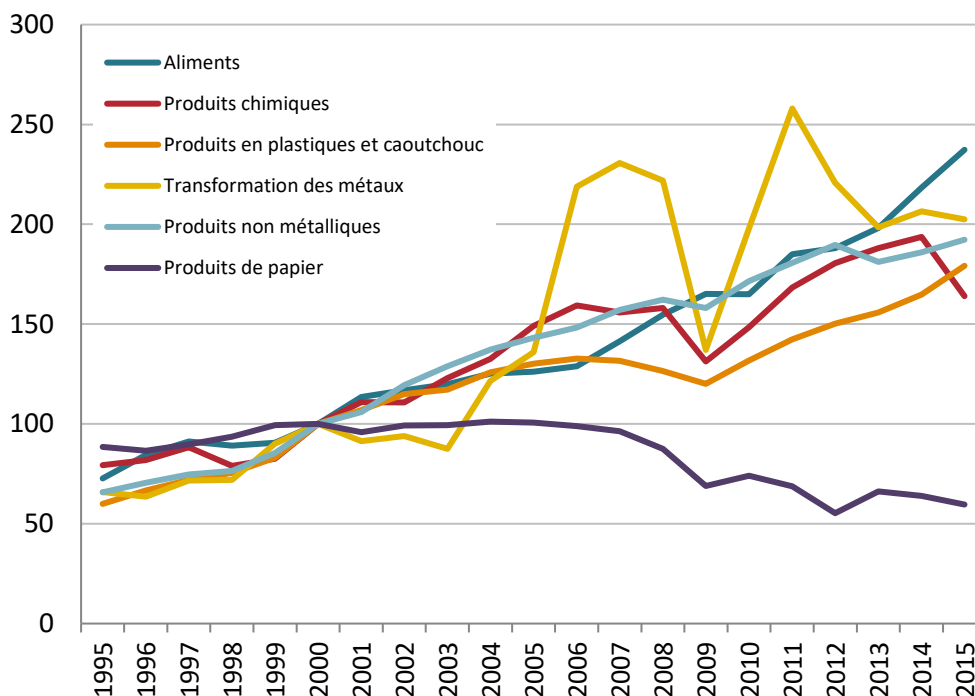
Sur la base de cette donnée, nous avons réalisé des hypothèses de croissance économique pour chacun des secteurs d'activité. L'évaluation de la croissance des différents secteurs d'activité s'est appuyée sur des projections économiques reflétant à la fois des données historiques et tenant compte de l'environnement d'affaires projeté. Ainsi, il semblerait difficile de faire l'hypothèse d'un secteur des pâtes et papiers florissant en 2050, compte tenu de la morosité connue récemment dans cette industrie et des tendances défavorables à ce secteur, du moins dans ses types de production actuelle. Au contraire, le secteur agroalimentaire a montré une croissance soutenue ces dernières années et une stabilité dans le temps, qui permettent de supposer une croissance similaire, voire supérieure, dans les années à venir. Au-delà des données statistiques historiques, nous avons consulté différents experts et acteurs liés à chacun des principaux secteurs d'activité afin d'obtenir leur vision quant à l'évolution possible de leur secteur d'activité.

Finalement, un scénario de croissance modéré et élevé a été développé pour l'ensemble des secteurs et un scénario de croissance faible a été spécifiquement développé pour le secteur des pâtes et papiers en raison de sa tendance baissière des années passées et de son contexte économique actuel (Figure 6.2). D'après les recherches réalisées et les discussions avec certains experts de l'industrie, le secteur des pâtes et papier au Québec est en pleine transformation. La demande pour le papier journal et le papier d'impression est en baisse depuis des décennies (depuis 2000), et il est prévu qu'elle sera modeste sur le marché des États-Unis, principal client en Amérique du Nord¹²⁰. Il existe tout de même des avenues intéressantes au-delà de la production de papier journal, dont la production de cartons, de papiers tissus et de pâtes qui mènent vers d'autres applications (notamment les tissus) sans compter les possibilités qu'offrent les nouvelles technologies¹²⁰. Il est donc possible de penser que le secteur pourrait se renouveler avec des produits de valeur ajoutée et ainsi modifier son portefeuille de produits traditionnels. Ces occasions viendront avec des investissements dans les usines, des efforts pour la commercialisation, et par la recherche et le développement. Toutes ces avenues portent à croire que la gestion de la consommation d'eau sera plus efficace (modernisation d'équipements) et que l'industrie sera de plus en plus diversifiée, une diversification moins intensive en utilisation d'eau. Les scénarios modéré et élevé ont permis de simuler cette potentielle croissance.

¹¹⁹ Ministère des Finances du Canada. Mise à jour des projections économiques et budgétaires à long terme. 2017

¹²⁰ Desjardins. Études économiques. Perspective. Volume 25, Oct-Nov 2015.

Figure 6.2
Évolution historique de la production industrielle¹ de certains secteurs d'activité
(base 100=2000), 1995-2015



Remarque : La production industrielle réfère à la valeur de production pour l'ensemble des secteurs et au volume de production pour le secteur des pâtes et papiers. Le graphique présente l'évolution des revenus de biens fabriqués en dollars enchaînés de 2010 et l'évolution des quantités de pâtes et papiers produites.

Source : Statistique Canada et calcul réalisé par Groupe AGÉCO.

HYPOTHÈSE DE CROISSANCE ÉCONOMIQUE

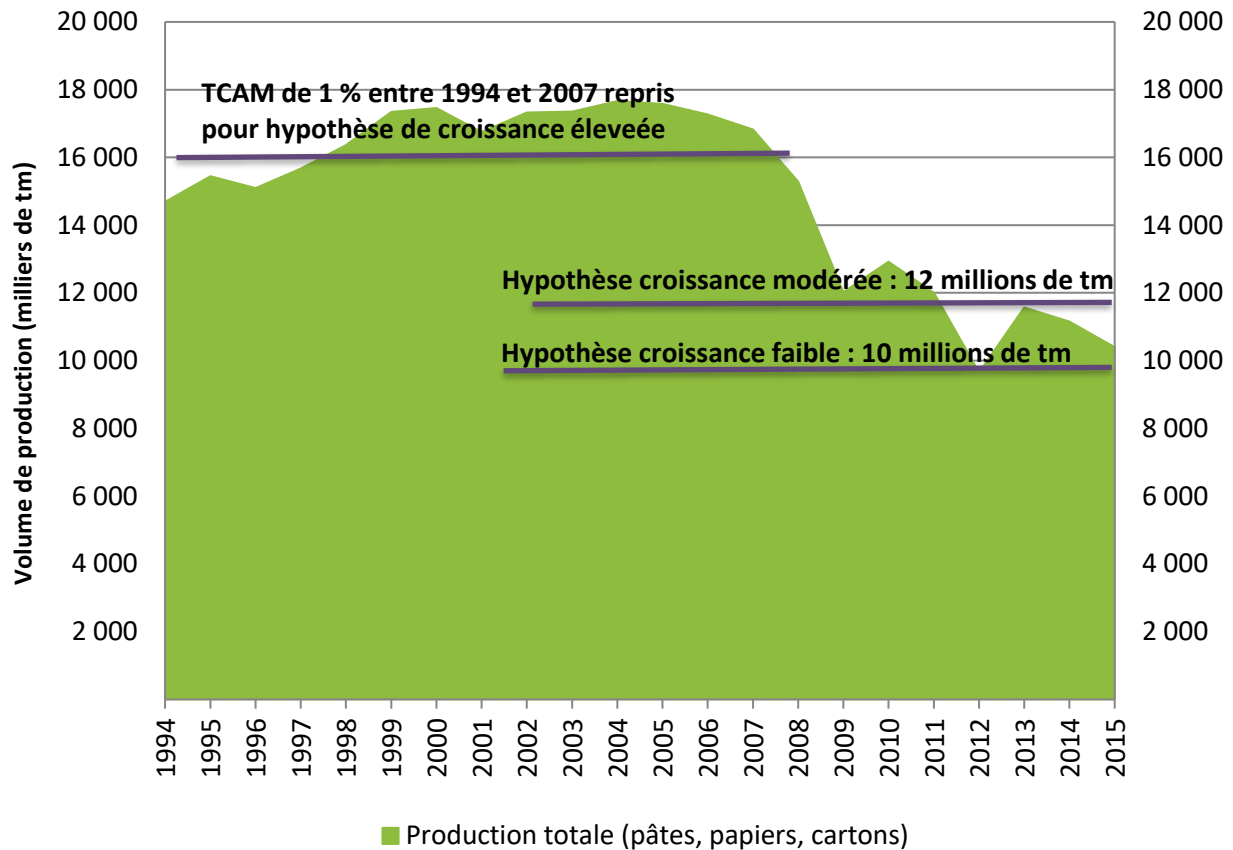
Le scénario modéré est une projection d'une croissance annuelle de 1,8 % de la valeur ajoutée pour toute la période à l'étude, soit 2020-2050. Pour le scénario élevé, nous supposons qu'une accélération de la croissance économique est plausible au courant de la période de 30 ans. Ainsi, nous appliquons une projection annuelle de 1,8 % de la valeur ajoutée de 2020 à 2040 et de 3 % de 2041 à 2050, qui se traduit par une croissance annuelle moyenne de 2,1 % sur l'ensemble de la période.

Pour le secteur des pâtes et papiers, les hypothèses de croissance économique reposent sur les volumes de production réalisés au cours des dernières années. Le secteur a connu ses meilleures années entre 1999 et 2007, atteignant des sommets historiques de 18 millions de tonnes et une croissance annuelle moyenne de 1 %. Après 2007, les volumes de production oscillent entre 10 et 12 millions de tonnes. Considérant le contexte économique actuel (diminution de la demande) et la situation précaire des usines québécoises (usines désuètes, besoin important d'investir dans la modernisation d'équipements), nous statuons trois cibles de production distinctes pour nos trois scénarios :

- Faible : volumes de production stabilisés à 10 M de tonnes.
- Modéré : volumes de production stabilisés à 12 M de tonnes.

- Fort : volume de production autour de 17 M de tonnes, avec une croissance annuelle moyenne de 1 %, soit celle observée dans les années de forte croissance du secteur.

Figure 6.3
Production de pâtes, papiers et cartons au Québec ('000 tm), 1994-2015



Ainsi, à partir de ces hypothèses, nous avons projeté l'évolution économique à chacun des secteurs d'activité, selon les scénarios de croissance retenus (voir le Tableau 6.43).

Tableau 6.43
Taux de croissance économique selon le secteur d'activité et le scénario

Produits fabriqués	Scénario		
	Faible	Modéré	Élevé
Fabrication d'aliments [311]	-	1,8 %	2,1 %
Fabrication de pâtes et papiers [322]	-0,1 %	0,4 %	1,0 %
Fabrication de produits chimiques [325]	-	1,8 %	2,1 %
Fabrication de produits plastique/caoutchouc [326]	-	1,8 %	2,1 %
Fabrication de produits minéraux non métalliques [327]	-	1,8 %	2,1 %
Première transformation des métaux [331]	-	1,8 %	2,1 %

Enfin, nous projetons la valeur ajoutée manufacturière au Québec en 2050 en multipliant par le taux de croissance établi pour nos différents scénarios (faible, modéré et élevé).

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Valeur de la} \\ \text{production QC} \\ \text{2015} \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{c} \text{Taux de} \\ \text{croissance QC} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Valeur de la} \\ \text{production QC} \\ \text{2050} \end{array}}$$

Cette projection est ensuite convertie à l'échelle régionale. Nous multiplions alors la valeur ajoutée du Québec en 2050 par la part régionale pour les principaux préleveurs manufacturiers.

Tableau 6.44
Part de la valeur ajoutée manufacturière sectorielle par région

Secteur d'activité [SCIAN]	Montérégie	Centre-du-Québec	Lanaudière	Chaudière-Appalaches	Estrie
Fabrication d'aliments [311]	31 %	7 %	4 %	15 %	2 %
Fabrication de pâtes et papiers [322]	1 %	2 %	1,2 %	0,5 %	11 %
Fabrication de produits chimiques [325]	28 %	6 %	1 %	11 %	4 %
Fabrication de produits plastique/caoutchouc [326]	30 %	2 %	16 %	10 %	8 %
Fabrication de produits minéraux non métalliques [327]	24 %	ND	8 %	ND	6 %
Première transformation des métaux [331]	20 %	5 %	ND	ND	ND

Source : Statistique Canada, *Enquête annuelle sur les manufactures et l'exploitation forestière*, 2011, adapté par l'Institut de la statistique du Québec (Direction des statistiques sectorielles et du développement durable) et avec les données du CIFQ.

Ainsi, la valeur ajoutée manufacturière de la région est calculée de la façon suivante :

$$\boxed{\begin{array}{c} \text{Valeur de la} \\ \text{production} \\ \text{QC 2050} \end{array}} \times \boxed{\begin{array}{c} \text{Part réalisée en} \\ \text{région (\%)} \end{array}} = \boxed{\begin{array}{c} \text{Production} \\ \text{régionale 2050} \end{array}}$$

À partir de ces données, nous estimons la quantité d'eau qui sera nécessaire pour la production des biens en 2050, et ce, pour chaque secteur. Nous utilisons le ratio de consommation calculé en bilan actuel (voir la section 3.3) et l'appliquons à la valeur ajoutée manufacturière 2050 de la région :

$$\boxed{\text{Production régionale 2050}} \times \boxed{\text{Ratio de consommation (m}^3\text{/}\$)\text{/secteur}} = \boxed{\text{Volume d'eau (m}^3\text{) requis en 2050}}$$

6.4.3 EFFORTS DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU

Outre l'évolution de la production comme telle, la façon de produire peut avoir une incidence directe sur la consommation d'eau. Une recherche sur les mesures d'amélioration d'utilisation d'eau auprès des différents secteurs d'activité des grands préleveurs a été réalisée. Un recensement des rapports de développement durable des grands préleveurs d'eau a permis de repérer les initiatives et les cibles, actuellement mises en place, pour une meilleure gestion de l'eau. Nombreuses de ces initiatives ont donné lieu à une amélioration de rendement permettant aux entreprises de réduire leur prélèvement d'eau d'un certain nombre de points de pourcentage. C'est sur la base de ces données empiriques que nous avons élaboré une grille de référence pour chaque secteur d'activité en déterminant 3 niveaux d'intensité dans l'effort de réduction de la consommation d'eau. Ces ratios sont ensuite appliqués au ratio de consommation de référence permettant ainsi de faire varier les volumes d'eau par scénario (voir le Tableau 6.45).

Tableau 6.45
Effort de réduction de la consommation d'eau selon l'industrie (code SCIAN)

Principaux secteurs industriels	Effort de réduction (%)		
	Faible	Modéré	Élevé
Fabrication d'aliments [311]	-10	-30	-60
Fabrication de pâtes et papiers [322]	-10	-20	-30
Fabrication de produits chimiques [325]	-6	-10	-50
Fabrication de produits plastique/caoutchouc [326]	-3	-8	-15
Fabrication de produits minéraux non métalliques [327]	-2	-5	-8
Première transformation des métaux [331]	-4	-16	-32

6.4.4 RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES BESOINS EN EAU DU SECTEUR INDUSTRIEL

Selon les experts d'Ouranos consultés, il y a peu, voire pas de répercussions des changements climatiques sur les besoins en eau des usagers industriels. Comme pour le secteur résidentiel, l'enjeu des changements climatiques s'observe donc essentiellement du côté de l'eau disponible, les changements climatiques pouvant venir exacerber la vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable. Par ailleurs, les changements climatiques apportent certainement une pression

supplémentaire sur les infrastructures linéaires liées à l’approvisionnement en eau et à la gestion des eaux usées, dont l’état de vétusté est bien documenté¹²¹.

6.5 SECTEUR RÉCRÉOTOURISTIQUE

Une démarche proposée pour le secteur récréotouristique a été réalisée, les besoins en eau de ce secteur ne pouvant s’évaluer avec la même base que les autres secteurs d’activité. Les grands préleveurs d’eau du secteur récréotouristique sont les centres de ski ainsi que les terrains de golf et les centres de villégiature. Les projections en besoin d’eau du secteur récréotouristique se sont faites sur la base de ces deux types d’activité, selon la région. Le tableau ci-dessous présente, pour les secteurs du ski et du golf, la répartition des volumes d’eau prélevés par région.

Tableau 6.46
Part du volume d’eau prélevé pour le secteur récréotouristique (SCIEN 713) selon l’activité

Régions	Ski	Golf
Centre-du-Québec	8 %	92 %
Montérégie	47 %	53 %
Lanaudière	21 %	79 %
Estrie	66 %	34 %
Chaudière-Appalaches	21 %	79 %

Source : Base de données des grands préleveurs d’eau, 2015

L’achalandage des centres de ski est en baisse depuis les dernières années (2009-2010), et ce, dans toutes les régions¹²². Les plus fortes baisses s’observent pour les régions du Centre-du-Québec, de Lanaudière et des Chaudière-Appalaches¹²³. La part de marché est principalement dans les Laurentides, suivi des Cantons-de-l’Est et de Québec/Charlevoix. Malgré le déclin du nombre de skieurs, certains centres de ski peuvent rentabiliser leurs activités en adaptant la gestion des opérations ou en diversifiant leur offre. Aussi, il faut souligner que peu importe l’achalandage, il y a la nécessité de recourir à de la neige artificielle en cas de couvert neigeux insuffisant. La logique est la même pour les clubs de golf : même en situation de baisse de popularité, l’entretien des terrains doit se maintenir. Ainsi, les hypothèses développées dans le cadre de cette étude sont uniquement basées sur l’effet des changements climatiques sur l’industrie puisque même en situation de basse d’achalandage, l’opération de fabrication de neige ou d’irrigation des terrains de golf doit être réalisée. Néanmoins, selon les scénarios narratifs, des hypothèses ont été effectuées quant à la fermeture possible de certains centres de ski. L’actualité de la dernière décennie démontre déjà que des centres peinent à demeurer ouverts¹²⁴. Le Tableau 6.47 montre les hypothèses retenues, basées sur des entrevues d’experts, ainsi que nos décisions.

¹²¹ CERIU (2018) ; <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/rapport-2018-du-portrait-infrastructures-eau-municipalites-du-quebec-piemq>

¹²² Archambault, M. Étude économique et financière des stations de ski du Québec. 2015-2016 et Conseil canadien du ski, Fait et statistiques. Industrie du ski et du surf des neiges 2014-2015.

¹²³ Archambault, M. Étude économique et financière des stations de ski du Québec. 2015-2016 (p. 15)

¹²⁴ Citons par exemple la fermeture de petits centres comme celui de Mont-Carmel en Mauricie, et ceux de St-Pacôme et Val-Neigette dans le Bas-Saint-Laurent. Des centres plus importants, comme le Massif du Sud, ont aussi des difficultés financières.

Tableau 6.47
Hypothèse de consolidation de l'industrie récréotouristique, par région et par scénario

	Scénario 2	Scénarios 1, 3 et 4	Scénario 5
Montérégie	-	Aucun changement dans le nombre	Les centres de villégiature augmentent en région en matière de taille et de nombres, et non en matière de demande
Estrie	-		
Chaudière-Appalaches	Les centres de ski de petite/moyenne taille ont fermé leur porte		
Lanaudière			
Centre-du-Québec			

Source : calculs AGÉCO

6.5.1 RÉPERCUSSIONS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES BESOINS EN EAU DU RÉCRÉOTOURISME

CENTRES DE SKI

Pour les centres de ski, c'est le besoin de fabriquer de la neige qui dicte les quantités d'eau prélevées. Cette demande varie selon le climat et selon les pratiques des gestionnaires des stations. Une fenêtre de temps froid d'au minimum -9 degrés Celsius est nécessaire pour fabriquer de la neige de façon efficace et rentable. Pour cette raison, la majorité des centres de ski fabriquent leur neige en décembre et en janvier. Plusieurs facteurs influencent la quantité d'eau utilisée pour fabriquer de la neige : la température, la densité, la texture, la rapidité à laquelle la neige atteint le sol, le type de pente et les types d'équipements utilisés. Bien que les canons fixes soient plus efficaces que les canons mobiles, la majorité des stations de ski au Québec possèdent la version mobile. De plus, la majorité de ces canons seraient désuets¹²⁵.

Selon les études réalisées, les changements climatiques auront vraisemblablement des répercussions sur l'industrie du ski¹²⁶. Des conditions douces et pluvieuses raccourciraient la saison de ski dans les régions du sud du Québec (Montréal, Estrie)¹²⁷. Les périodes les plus rentables, soit Noël, Pâques et la semaine de relâche scolaire, pourraient aussi être touchées. Selon les décisions d'affaires des gestionnaires de centres de ski, l'acquisition de nouveaux équipements ou l'amélioration des canons à neige existants se traduira par un volume d'eau supplémentaire. À titre d'exemple, les auteurs Scott et McBoyle cités dans Desjarlais C. et Blondlot A. (2010), anticipent, dans un scénario pessimiste, une augmentation de la fabrication de neige de 8 % à 24 % à Québec et de 25 % à 59 % à Sherbrooke dès 2020, et plus du double en 2050 pour Québec, Sherbrooke et les Laurentides¹²⁸.

¹²⁵ OURANOS. Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec, rapport final publié en janvier 2019 (<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>).

¹²⁶ Ibid. et Singh et al (2006) et Scott et coll. (2007)

¹²⁷ Desjarlais C. et Blondlot, A., *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. 2010.

¹²⁸ Ibid.

TERRAINS DE GOLF

Pour le golf, 75 % de la fréquentation des terrains de golf s'effectue de juillet à septembre¹²⁹. Dans un contexte de changement climatique, la saison pourrait être prolongée de deux à trois semaines, essentiellement au début de la saison¹³⁰. Sur la base que la saison de golf pourrait commencer de deux à trois semaines plus tôt, nous ajoutons le volume d'eau moyen prélevé en début de saison (soit au mois d'avril ou de mai) par les clubs de golf, dans chacune des régions. Pour le Centre-du-Québec et Lanaudière, nous appliquons la moyenne du mois d'avril. Pour la Montérégie, l'Estrie et les Chaudière-Appalaches, nous appliquons la moyenne du mois de mai.

6.5.2 EFFORTS DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU

Pour chacun des scénarios, nous avons également appliqué des hypothèses d'effort de réduction de consommation d'eau, par le recours à de bonnes pratiques favorisant une gestion plus durable de l'eau. Par exemple, l'acquisition de canons à neige plus efficaces. Ces ratios sont ensuite appliqués au ratio de consommation de référence permettant ainsi de faire varier les volumes d'eau par scénario (voir le Tableau 6.48).

Tableau 6.48
Hypothèse de variation de la consommation d'eau par les centres de ski, par scénario

Scénarios	Changements associés dans la consommation
Scénario 1 (statu quo)	Aucun changement
Scénario 2	↘15 % Adoption de bonnes pratiques
Scénario 3	↘30 % Facturation de l'eau plus forte et adoption de bonnes pratiques
Scénario 4	↘15 % Adoption de bonnes pratiques
Scénario 5	Aucun changement

Source : calculs AGÉCO

Finalement, en combinant les hypothèses d'effort de réduction de consommation d'eau, d'évolution économique (fermeture, consolidation, croissance) des activités récréotouristiques et en incluant la hausse de la consommation liée aux changements climatiques, nous obtenons une évolution globale des besoins en eau, par région et par scénario. Le Tableau 6.49 rapporte cette évolution en %.

¹²⁹Desjarlais C. et Blondot, A., *Savoir s'adapter aux changements climatiques*. 2010.

¹³⁰ Singh, B., C. Bryant, P. André et J.-P. Thouez. *Impact et adaptation aux changements climatiques pour les activités de ski et de golf et l'industrie touristique : le cas du Québec, rapport final, projet Ouranos, 2006, <http://www.ouranos.ca/fr/publications/resultats.php?q=singh&t=> [consultation : 1^{er} mai 2009].*

Tableau 6.49
Évolution des besoins en eau pour le secteur récréotouristique selon la région (en %)

Régions	Scénario 1 Statu quo	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
Centre-du-Québec	0,1	-8	3	6	22
Chaudière-Appalaches	0,2	-8	3	6	22
Estrie	0	9	5	9	26
Lanaudière	0,2	-21	9	15	33
Montérégie	0,1	35	20	35	58

Source : Groupe AGEKO selon les hypothèses présentées ci-dessus.

7. PISTES D'ADAPTATION TECHNOLOGIQUE ET APPROCHES INNOVANTES¹³¹

Ce chapitre présente des pistes d'adaptation technologique et des approches innovantes, existantes et potentielles, en matière de gestion de l'eau en agriculture. Une meilleure gestion de l'eau se traduit en agriculture par l'amélioration de la productivité de l'eau qui signifie, sommairement, une augmentation des rendements des cultures sans une augmentation du prélèvement d'eau (Mateo & L. Araus, 2016). La recension des solutions menant à une meilleure gestion de l'eau s'est effectuée par une revue de littérature exhaustive à l'échelle nord-américaine et internationale, lorsque cela était pertinent.

Les sections suivantes décrivent les critères retenus pour qualifier et décrire les technologies recensées. Les résultats sont ensuite succinctement résumés. Un fichier Excel présentant l'inventaire avec ces différents critères est disponible en complément du présent rapport.

7.1 GRILLE D'ANALYSE

Pour rapporter les résultats de manière synthétique et éclairante, une grille d'analyse a été développée afin de catégoriser par grande famille le type d'innovation recensé. Parmi ces critères de classification, la grille d'analyse intègre également de l'information sur le comportement des usagers et sur les interactions nécessaires entre les acteurs (p. ex : producteur, conseiller, équipementier) pour l'implantation ou la diffusion d'une technologie. À cet effet, l'environnement organisationnel entourant une technologie/approche peut considérablement influencer son taux d'adoption et le succès dans l'usage qui en sera fait (utilisation adéquate et optimale). À ce titre, l'agriculture est un domaine multidisciplinaire qui interpelle différents professionnels et qui peut toucher aux trois paliers de gouvernement (municipal, provincial, fédéral). Ainsi, l'amélioration de la gestion de l'eau doit se faire sous différentes voies de changements simultanément pour avoir des résultats optimaux (Mateo & L. Araus, 2016) (Nazari et coll., 2018) (Iglesias & Garrote, 2015) : agronomiques, hydrologiques, socio-économiques, physiologiques et d'ingénierie. Ainsi, l'adoption d'une technologie doit être accompagnée, par exemple, de conseils avisés pour que l'utilisateur final, le producteur agricole, sache en faire un usage adéquat (p. ex : irrigation) et accepte parfois même de changer une façon de faire établie et transmise de génération en génération. L'adoption d'une technologie nécessite parfois d'être encouragée par un incitatif économique pour compenser les investissements ou les coûts récurrents engendrés par son acquisition. Un changement réglementaire peut même parfois être requis pour permettre l'implantation d'un nouveau mode de gestion ou de technologie. C'est la raison pour laquelle la grille d'analyse montre, pour chaque technologie, cet environnement organisationnel composé de différents acteurs.

Par ailleurs, la grille qualifie les technologies à 5 niveaux : elle est d'abord décrite (soit ses usages et usagers), puis sont présentés son approche/voie de changement, son implantation/mise en application, sa portée temporelle et son potentiel économique. Les critères d'évaluation utilisés pour chaque sphère ont été sélectionnés pour offrir une caractérisation complète de chacune des technologies/approches tout en ajoutant l'aspect quantitatif à celui qualitatif. Les critères d'évaluation sont détaillés dans les paragraphes suivants.

¹³¹ Section rédigée en collaboration avec Antoine Beauchemin, Université Laval.

7.1.1 USAGES ET USAGERS CIBLÉS

Cette portion de la grille permet de comprendre à qui s'adresse la technologie. Elle établit l'**échelle** à laquelle s'applique la zone d'influence de la technologie : les végétaux, la ferme, la région et la province (Iglesias & Garrote, 2015). Par exemple, des capteurs d'humidité ont une zone d'influence à l'échelle des végétaux; la régie d'irrigation a de l'influence à l'échelle d'une ferme; la récupération d'eau de pluie dans une grande ville pourrait avoir de l'influence sur la région; et une modification des politiques d'irrigation est à l'échelle de la province.

Le critère suivant représente les **acteurs concernés** par la technologie, soit parce qu'ils en sont les usagers ou parce qu'ils sont nécessaires pour accompagner son implantation : les producteurs agricoles eux-mêmes, les services-conseils et le gouvernement. Les services-conseils comprennent les divers professionnels, les clubs-conseils et les experts (agronomes, ingénieurs, hydrologues, etc.) qui doivent fournir et recevoir de la formation sur la gestion de l'eau. Le gouvernement comprend les trois paliers gouvernementaux : le municipal, le provincial et le fédéral.

Étroitement lié, le **gestionnaire** dirige la technologie du point de vue opérationnel. Le gestionnaire représente l'individu ou l'organisation qui est responsable en majorité du bon fonctionnement de la technologie. Le gestionnaire est souvent le producteur agricole, mais selon le type de technologie ou d'approche, il peut s'agir d'une municipalité, d'un regroupement de producteurs ou d'un professionnel à qui est confiée en impartition la gestion de la technologie (p. ex : l'entretien d'un milieu humide) ou encore d'un ministère responsable de l'exécution de l'approche.

Finalement, l'**utilisation actuelle** et le **potentiel d'utilisation futur** sont deux autres critères qui classifient la situation actuelle et future de la technologie ou de l'approche.

7.1.2 APPROCHE ET VOIE DE CHANGEMENT

Ces critères permettent de bien cerner la technologie de manière sommaire. Il y a d'abord le **secteur d'activité** de la technologie qui représente la voie de changement principal :

- Agronomique : comprend les technologies qui touchent la composition du sol, le rendement, l'évapotranspiration et la compréhension du continuum sol-plante-air.
- Hydrologique : concerne les technologies qui touchent l'approvisionnement en eau à l'extérieur de la ferme et sur celle-ci, la réutilisation de l'eau ainsi que les mesures d'adaptation reliées à la qualité de l'eau.
- Ingénierie : représente les technologies qui touchent les procédés de traitement des eaux, le processus de dimensionnement, les nouvelles technologies d'irrigation et l'entreposage de l'eau.
- Physiologique : représente les améliorations possibles grâce à la sélection des génotypes désirés des cultivars par les généticiens (Chaerle & al., 2005), la compréhension du fonctionnement des organes végétaux et leur contrôle ou leur amélioration.
- Socio-économique : regroupe les approches technologiques qui ont une influence sur la réglementation actuelle et future, l'éducation, la formation ainsi que sur l'économie du secteur agricole.

Enfin, le **type d'approche** est un critère utilisé pour définir l'objectif ultime de la technologie par rapport à l'eau : la conservation, l'optimisation et la récupération en représentant quelques exemples.

7.1.3 IMPLANTATION ET MISE EN APPLICATION

Dans cette catégorie, le lecteur pourra comprendre la manière dont la technologie sera mise en œuvre, la façon dont elle aura de l'influence sur son environnement et la façon dont elle en sera influencée.

Le critère de la **difficulté technique** se divise en trois gradations : faible, modérée et élevée (Iglesias & Garrote, 2015) :

- Faible : technologie déjà disponible qui ne nécessite pas de formation spéciale pour son utilisation.
- Modérée : technologie déjà disponible qui nécessite des efforts considérables pour qu'elle soit mise en œuvre.
- Élevée : technologie qui n'existe pas encore sur le marché et qui nécessite davantage de recherches ou technologie nécessitant des aptitudes de gestion et de contrôle très développées pour sa réussite.

Par ailleurs, le critère du **type d'influence** est réparti en trois catégories : direct, indirecte et non mesurable :

- Une influence directe permet de voir l'influence de la technologie sur la gestion de l'eau et sur sa zone d'influence.
- À l'inverse, une technologie avec une influence indirecte n'a pas des conséquences prédéfinies, son rayon d'influence peut être très étendu, et elle peut avoir de l'influence à plusieurs niveaux. À titre illustratif, l'utilisation d'outils technologiques d'agriculture de précision permet de limiter les passages aux champs, de limiter l'excès de nutriment et a aussi comme influence secondaire l'amélioration de la productivité de l'eau (Burdette Barker & al., 2018).
- Une influence non mesurable se caractérise par des technologies dont le succès peut être influencé par des agents extérieurs dont les conséquences ne sont pas quantifiables, par exemple, les effets des pratiques de gestions bénéfiques demeurent encore relativement peu connus sur l'environnement et encore complexes à mesurer vu leur interaction (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2010).

Le dernier critère d'analyse de l'aspect technique est le **degré d'adaptabilité** de la technologie qui peut être faible, modéré et élevé :

- Un degré d'adaptabilité faible représente les infrastructures et les investissements effectués pour une utilisation très spécifique et difficilement transposable entre lieux géographiques ou entre entreprises.
- Un degré d'adaptabilité modéré représente les infrastructures ou les investissements effectués qui peuvent être transposés entre lieux géographiques ou entre entreprises.

- Finalement, un degré d’adaptabilité élevé représente les technologies développées dans un but précis, mais qui pourront continuer d’évoluer dans le temps, et qui sont transposables entre lieux géographiques ou entre entreprises (p. ex : logiciel de simulation, système de gestion ou politique de réglementation).

7.1.4 ASPECT TEMPOREL

Le critère de la **durée d’implantation** représente la période de temps entre la sélection d’une technologie et son entrée en fonction. Ce critère est composé de trois catégories; court-terme (moins de 5 ans), moyen-terme (5 à 10 ans) et long-terme (plus de 10 ans) :

- Certaines mesures peuvent être effectuées rapidement sans nécessiter de changements majeurs et seront considérées à court terme.
- La catégorie moyen-terme regroupe le plus souvent des innovations associées à des constructions ou encore la mise en place de systèmes de gestion qui nécessitent un suivi à la suite de leur implantation pour assurer leur bon fonctionnement.
- Les investissements majeurs à l’échelle régionale ou les changements de politiques peuvent prendre plus de 10 ans et sont considérés dans la catégorie long-terme (Iglesias & Garrote, 2015).

Le critère d’analyse de la **durée d’action** se décline aussi en court, moyen et long terme. Il réfère à la période de temps nécessaire suivant l’entrée en fonction d’une technologie pour voir apparaître les répercussions de celle-ci sur la gestion de l’eau, la plante et son environnement.

7.1.5 ASPECT ÉCONOMIQUE

Il a été difficile de trouver des données quantifiables sur les coûts et les bénéfices engendrés par l’implantation de nouvelles technologies. De ce fait, l’appréciation de l’aspect économique est davantage d’ordre qualitatif. Pour l’ensemble des critères d’analyse de l’aspect économique, trois niveaux de classement sont utilisés : faible, modéré et élevé¹³². Pour l’ordre de grandeur faible-modéré-élevé, une note allant de 0 à 1,5 est associée à chaque niveau de classement (0,5 = faible; 1,0 = modéré; 1,5 = élevé).

Le premier critère d’analyse est le **bénéfice potentiel**. Un bénéfice potentiel peut représenter des économies générées par l’utilisation de la technologie ou des revenus supplémentaires :

- Un bénéfice potentiel faible représente une technologie qui se traduit par une faible modification du portrait financier avec une variation inférieure à 10 % des coûts ou des revenus.
- Le bénéfice potentiel élevé entraîne des économies significatives marquées par une variation supérieure à 25 % dans le portrait financier de son utilisateur.

¹³² Dans certains cas, il n’a pas été possible de se prononcer puisque l’information disponible n’était pas suffisante pour poser un jugement fiable. La mention sans objet (S.O.) est alors utilisée.

- Le bénéfice potentiel modéré se retrouve à être la médiane (variation comprise entre 10 % et 25 %) (Hines & al., 2011).

Le deuxième critère d'analyse de l'aspect économique est le **coût d'acquisition** :

- Un coût d'acquisition faible représente un investissement ou une dépense qui peut être déboursée par l'utilisateur sans financement nécessaire.
- Un coût d'acquisition modéré nécessite un financement régulier avec des termes de remboursement inférieurs à dix ans.
- Un coût d'acquisition élevé correspond à un investissement majeur avec des termes de remboursement supérieurs à dix ans pour son utilisateur (Iglesias & Garrote, 2015).

Le troisième critère d'analyse est la **réurrence des coûts**. Celui-ci permet de comparer en cours d'utilisation les économies ou les frais récurrents entraînés par la technologie :

- Pour un coût récurrent faible se retrouvent les technologies avec des frais d'utilisation inférieurs ou égaux aux frais qui seraient normalement engendrés par une même étape de production ou comparables à celle-ci, par exemple l'achat de semence ou de paillis de plastique.
- Un coût récurrent modéré dépasse légèrement les dépenses courantes d'une entreprise (moins du double des coûts normaux).
- Pour finir, les dépenses supplémentaires récurrentes qui multiplient par deux les frais d'opérations courantes classifient une technologie avec un coût récurrent élevé.

Le quatrième et dernier critère d'analyse est le ratio avantages/coûts largement utilisé dans l'analyse bénéfices/coûts pour aider à la prise de décisions pour différents projets. Un ratio avantages/coûts supérieur à 1 représente un projet viable économiquement (Chan, 2009). Le calcul de ce ratio dans le contexte du présent rapport est effectué avec la pondération du bénéfice potentiel divisé par la pondération moyenne attribuée aux coûts récurrents et d'acquisition. Un résultat nul représente le niveau de classement S.O.

- Un résultat inférieur à 1 représente le niveau faible.
- Un résultat égal à 1 représente le niveau modéré.
- Un résultat supérieur à 1 représente le niveau élevé de classement et par le fait même une technologie viable sur le plan économique.

7.2 RÉSULTATS

À la suite des recherches effectuées à partir de la littérature scientifique au Québec, aux États-Unis et à l'international, 31 technologies et approches innovantes pour améliorer la gestion de l'eau ont été retenues dans l'analyse. Cet inventaire technologique se divise en 4 secteurs distincts selon le champ d'application ou d'intervention : les technologies d'irrigation, les sources d'approvisionnements, les pratiques agronomiques ainsi que les approches politiques ou institutionnelles. C'est le domaine agronomique qui présente le plus grand nombre de pistes d'adaptation, suivi de près par les technologies d'irrigation et les actions sur les sources d'approvisionnement (voir le Tableau 7.1). Nous

verrons toutefois qu'au-delà du nombre, des pistes de solution peuvent avoir une incidence cruciale; c'est le cas en ce qui concerne les approches institutionnelles.

Notons que les technologies trop embryonnaires ou pour lesquelles trop peu d'information probante était disponible sont présentées séparément, puisque l'analyse était limitée par rapport aux autres. Seules deux technologies sont ainsi recensées. De la même façon, quelques technologies/approches recensées sont encore peu utilisées ou peu applicables à la situation actuelle québécoise. Elles sont néanmoins répertoriées, sans présenter des renseignements approfondis pour chacune d'elle, compte tenu de la difficulté d'évaluer leur potentiel au Québec.

Tableau 7.1
Répartition des technologies par type de champ d'application ou d'intervention

Type de champ d'application ou d'intervention	Pourcentages
Agronomique	32 %
Technologies d'irrigation	29 %
Sources d'approvisionnement	29 %
Approches politiques/institutionnelles	10 %

7.2.1 PRATIQUES AGRONOMIQUES

Le Tableau 7.2 présente les technologies/approches agronomiques d'intérêt identifiées. Dans ce champ d'intervention, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau peut être abordée sous différents angles. Par exemple, la formulation d'amendements spécialisés, la création de nouveaux cultivars et l'utilisation de techniques culturales optimisées sont aujourd'hui disponibles pour mieux comprendre et maîtriser la croissance des plantes.

Selon notre évaluation, l'environnement organisationnel, c'est-à-dire la présence de services-conseils, de réglementations incitatives ou de soutien financier, peut influencer l'adoption réussie d'environ 60 % des innovations de type agronomique recensées. Les technologies du secteur agronomique visent l'amélioration des systèmes culturaux, ainsi la compréhension et le contrôle accru de ces technologies est de mise pour favoriser leur succès. Les technologies et techniques culturales durables existent, mais devraient être davantage soutenues dans leur adoption. Une certaine forme d'incitatif financier permettrait de favoriser des changements d'habitudes au sein des agriculteurs et d'augmenter l'utilisation actuelle. Ainsi, 50 % des technologies composant le secteur agronomique semblent avoir un fort potentiel d'utilisation futur étant donné qu'elles sont peu utilisées actuellement et qu'elles pourraient être facilement intégrées sur les systèmes culturaux en place sur les fermes au Québec sans modifications majeures.

Ainsi, selon notre analyse, environ la moitié des technologies agronomiques visent l'amélioration du système existant dans leur type d'approche. Nous évaluons toutefois qu'environ 30 % des technologies nécessitent des recherches et des approfondissements avant leur application, étant donné qu'elles ne sont pas encore disponibles sur le marché. La totalité de ces technologies possède un degré d'adaptabilité élevé, signifiant qu'elles semblent pouvoir s'adapter aux futures conditions climatiques et continuer d'être améliorées. En ce qui a trait aux aspects économiques, il semble que 50 % des technologies du secteur agronomique n'augmenteraient pas, et pourraient même diminuer les coûts récurrents des utilisateurs. Selon notre évaluation sommaire, la moitié de ces technologies afficheraient un ratio avantages/bénéfices justifiant la mise en œuvre de l'innovation. Ce ratio pourrait être influencé par l'implication du gouvernement dans ce secteur au niveau des incitatifs financiers.

Tableau 7.2
Technologies/bonnes pratiques de type agronomique

Technologie/ bonnes pratiques	Courte description
Biotechnologies	Utilisation de la biotechnologie pour créer des cultivars plus résilients en utilisant des marqueurs génomiques et des techniques à la fine pointe de la technologie, p. ex. : semences génétiquement améliorées.
Cultivars résilients	Développement de cultivars plus résistants aux conditions climatiques par le croisement de certaines variétés de cultivar avec un génotype qui apporte des caractéristiques intéressantes pour la production de biomasse sous transpiration réduite, par exemple. Aucune modification volontaire du patrimoine génétique de l'espèce. Développement variétal à long terme. Résistance au gel. Résistance aux hautes températures. Tolérance au stress hydrique.
Technologies en appui à l'agriculture de précision	Étroitement reliées à l'optimisation de la régie d'irrigation. Utilisation des données recueillies sans contact (drones, GPS, satellites, capteurs spécialisés). Consolidation des données de fertigation, texture du sol, rendement, densité, température foliaire, etc. Mesure de la variabilité spatiale des paramètres des champs/cultures, détection des mauvaises herbes et des maladies.
Nanotechnologies	Engrais/nanopesticides à libération contrôlée échelonnée dans le temps ou liée à un déclencheur. Systèmes de libération « intelligents ». Utilisation d'agents surfactants dans les herbicides. Utilisation de nanomatériaux pour la formulation d'engrais/herbicides/pesticides. Utilisation dans la dégradation des contaminants organiques et le traitement de l'eau. Utilisées conjointement avec l'agriculture de précision.
Régulateurs de croissance des plantes et osmolytes	Contrôle de l'ouverture des stomates pour limiter la transpiration. Utilisation de phytohormone. Utilisation de nanoparticule pour stimuler certains enzymes lors de la germination pour augmenter la formation de biomasse. Utilisation d'osmoprotecteurs pour limiter le stress hydrique selon les conditions climatiques ou contre un taux de salinité élevé d'un sol. Prend comme base technologique la nanotechnologie, mais est appliqué à des processus physiologiques de la plante.
Polymères superabsorbants	Polyacrylamides, Hydrogel, « Super Absorbant Polymer SAP ». Aujourd'hui disponible sous forme biodégradable, ce superabsorbant permet de retenir une grande quantité d'eau. Technologie non présente au Québec pour le moment, utilisée en zone aride en champs ou peut être utile en production en serre.
Pratiques culturales bénéfiques	Pratiques (travail minimal du sol, gestion des bandes riveraines, remédiation des milieux humides, culture sous couvert végétal permanent, culture sur billon, haie brise-vent, etc.) qui permettent de réduire les répercussions environnementales de l'agriculture dans son milieu, d'améliorer la capacité de rétention d'eau des sols et de réduire les besoins d'irrigation.
Paillis biodégradables	Paillis biodégradables et compostables à base d'amidon; bioplastique. Peuvent être installés avec les mêmes équipements qu'un paillis de plastique standard. Augmente la productivité de l'eau dans les cultures.
Paillage pulvérisable biodégradable	Application d'un paillis pulvérisable biodégradable à la surface du sol. Produit abordable et compétitif par rapport aux paillis de plastique biodégradables.
Bonnes pratiques d'élevage	Limiter le gaspillage d'eau pour les opérations liées à l'élevage (p. ex. : abreuvement des animaux par l'utilisation de bols économiseurs d'eau.)

7.2.2 TECHNOLOGIES D'IRRIGATION

Plusieurs travaux et études ont été réalisés sur le thème de l'irrigation au Québec, en particulier par l'équipe de Boivin (Boivin & al., 2016) à l'IRDA. Nous avons retenu neuf innovations ou bonnes pratiques sous ce thème des technologies d'irrigation (voir le Tableau 7.3).

Comme pour les pratiques agronomiques, la collaboration des producteurs avec leurs conseillers apparaît essentielle pour assurer la diffusion réussie de ces technologies et leur usage optimal. De manière générale, l'ensemble des technologies d'irrigation recensées semble actuellement faiblement utilisé, alors que certaines auraient un fort potentiel d'utilisation à coût relativement faible. Optimiser la gestion des systèmes d'irrigation en place, l'entretien des systèmes et une meilleure compréhension du taux d'application réel pourrait nettement améliorer la gestion de l'eau sur les fermes. En ce sens, environ la moitié des technologies/bonnes pratiques ont un degré d'adaptabilité élevé selon la littérature et les experts consultés. Du côté économique, nous évaluons que la moitié des technologies d'irrigation possède un ratio avantages/coûts supérieur à 1 selon notre évaluation sommaire, et celles-ci affichent un coût récurrent modéré.

Tableau 7.3
Technologies/bonnes pratiques liées à l'irrigation

Technologie/ bonnes pratiques	Courte description
Irrigation par déficit régulé	Vise à optimiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau par différentes gestions de l'irrigation, telles que le séchage partiel des racines et l'irrigation goutte-à-goutte souterraine partielle alternée. L'objectif est d'augmenter le ratio photosynthèse sur transpiration pour diminuer la transpiration sans changer le statut hydrique de la plante.
Goutte-à-goutte	Enfoui ou non, le système distribue l'eau du système par des émetteurs. Les pertes par évaporation sont limitées et les risques de maladies aussi puisque l'eau est appliquée directement dans la zone racinaire.
Système d'irrigation enfoui	Le réseau de conduites est construit avec des tuyaux de métal et enterré pour obtenir un réseau de distribution permanent et durable. Les composantes du système d'irrigation peuvent donc emprunter le chemin le plus direct sous la terre et permettre un approvisionnement en eau dans des terrains irréguliers. Ce type de système s'applique surtout dans les cultures pérennes et la pomiculture.
Drainage contrôlé/irrigation souterraine	Système de drainage souterrain avec l'addition de structures de contrôle du niveau d'eau à la sortie des drains. Le système peut être utilisé en mode de drainage contrôlé (garder le plus d'eau possible en maintenant la nappe la plus élevée possible) ou en mode irrigation en ajustant l'eau au niveau de la structure. Le principe est de maintenir la nappe suffisamment élevée pour permettre l'alimentation des racines par remontée capillaire.
Traitement des eaux de drainage souterrain	Zones humides artificielles, barrières perméables et filtrantes, systèmes de dénitrification in situ, systèmes de bioremédiation des pesticides sur la ferme et filtration lente sur sable (FLS) sont des technologies qui peuvent être utilisées pour traiter les eaux de drainage en milieu agricole. Si l'effluent le permet, il pourra être réutilisé dans le système d'irrigation et (ou) recharger les étangs d'irrigation et (ou) servir pour l'irrigation souterraine. Nécessite une reformulation ou une flexibilité au niveau des normes de qualité de l'eau d'arrosage pour la réutilisation (voir Bassin de décantation, réutilisation des eaux usées).
Optimisation du système d'irrigation (bon équipement et bonnes mesures)	Avoir une connaissance de son système d'irrigation et de son fonctionnement est le premier point de départ vers l'amélioration et l'optimisation de la régie d'irrigation. Des équipements en adéquation avec les besoins, et la mise en place d'instruments de mesure (tensiomètre, débitmètres et manomètres) sur le réseau de canalisation d'irrigation sont utilisés pour permettre un meilleur suivi des quantités d'eau d'irrigation selon le temps de chargement du système et la durée réelle d'utilisation de celui-ci.
Optimisation de la régie d'irrigation	Une fois l'équipement optimisé, la régie du système doit également l'être. Permet de consolider plusieurs renseignements (les besoins de la plante, l'évapotranspiration, les conditions climatiques, le statut hydrique du sol, les prévisions météorologiques et le type de système d'irrigation en place) au même endroit pour tendre vers l'optimisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.
Sonde et capteurs sans fil	Implantation d'un réseau de capteurs sans fil à l'échelle d'un champ ou d'une ferme pour suivre l'évolution du statut hydrique du sol en temps réel. Étape de plus vers l'optimisation de la régie d'irrigation. Des technologies différentes peuvent être utilisées, comme la télédétection (TDR) (teneur en eau volumique) et la conductivité électrique.

7.2.3 SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

Différentes technologies existent pour permettre un approvisionnement en eau d'irrigation en quantité et en qualité pour les agriculteurs. Des approches axées sur la récupération, la recherche de nouvelles sources d'approvisionnements ou encore l'optimisation et la conservation d'une source d'approvisionnement actuelle se retrouvent dans cette catégorie (voir le Tableau 7.4). La technologie utilisée va dépendre entre autres de l'emplacement géographique et du type de culture irriguée. Ainsi, six des neuf technologies/innovations recensées sont à l'échelle régionale et les autres à l'échelle de la ferme. Un certain nombre requiert une adaptation réglementaire éventuelle, souvent parce qu'elles sont liées aux milieux humides, ce qui implique le recyclage d'eau grise ou la mise en place de prise d'eau.

La majorité de ces technologies possèdent un faible degré d'adaptabilité puisqu'elles nécessitent la mise en place d'infrastructures fixes. Selon l'ampleur de l'infrastructure ou la nature de la technologie, les délais de construction ou les délais d'approbation réglementaire pourraient retarder la mise en œuvre de la technologie. Dans le même sens, selon notre évaluation, trois des neuf technologies ont un coût d'acquisition élevé. Par contre, une fois l'infrastructure mise en place, les coûts récurrents seraient faibles pour environ les 2/3 des technologies et pourraient avoir des effets positifs sur le portrait financier de l'utilisateur.

Tableau 7.4
Technologies/bonnes pratiques liées aux sources d’approvisionnement

Technologie/ bonnes pratiques	Courte description
Bassin d’irrigation	Utilisation d’un étang d’irrigation naturel ou artificiel comme source d’approvisionnement en eau continue. Le bassin d’irrigation peut être individuel ou collectif. La recharge doit être effectuée au moment opportun.
Aération des étangs d’irrigation	Utilisation d’un système d’aération dans l’étang d’irrigation pour diminuer la charge bactérienne. L’injection de fines bulles d’airs à partir du fond de l’étang par un diffuseur d’air vient créer une circulation de l’eau à l’intérieur de l’étang pour permettre une exposition des pathogènes aux rayons ultra-violets du soleil. Permet de gérer la qualité de l’eau d’irrigation directement dans son lieu d’entreposage.
Bassin de décantation, réutilisation des eaux usées	Permet d’utiliser les eaux grises pour certaines cultures ou certains usages. La Californie et la Floride utilisent cette technologie actuellement. La gestion de l’eau de lavage des légumes est un exemple d’eaux usées qui pourraient être valorisées (épandage au sol, réutilisation dans le procédé de lavage, rejet sur place et traitement dans le centre de traitement des eaux le plus proche).
Prélèvements collectifs d’eau	Prise d’eau collective par le biais de regroupement de producteurs pour la construction d’un aqueduc qui permettrait d’aller chercher de l’eau pour assurer le remplissage d’un étang d’irrigation commun. Par exemple, la création de nouveaux points d’approvisionnement d’eau dans le fleuve. Serait très coûteux à faire de façon privée. Sujet à approbation réglementaire (L.R.Q., c.Q -2)
Retenue d’eau de surface en milieux humides	Dans une approche collective du territoire, faire la reconnexion des cours d’eau et des milieux humides pour qu’en période de crue soit détournée l’eau de cours d’eau vers un milieu humide afin de créer des réservoirs utiles en période de sécheresse. Valorisation des milieux humides
Retenue d’eau de surface par barrage	Retenue d’eau de surface par barrage : aussi à échelle collective. Formation de réservoirs à même le cours d’eau pour collecter/maintenir un certain volume d’eau; l’eau pourra être décantée et être utilisée dans les systèmes d’irrigation lors des périodes plus sèches. Comprend aussi le captage des eaux de crue de surface (écrêtage de débit de cours d’eau).
Outil collectif de gestion de l’eau	Suivi des débits d’étiage (USHER) : système qui permet de contrôler le prélèvement de l’eau dans un contexte de sécheresse. Détermine des horaires de prélèvement spécifiques selon différents scénarios de débits d’étiage. L’utilisation de logiciels de simulation de modèle de culture ainsi que l’acquisition de données pour alimenter des simulations permettront de plus en plus la calibration de modèles de culture selon différentes prévisions.
Récupération des eaux pluviales	Le dimensionnement du réservoir se fait en fonction de la demande et des précipitations reçues dans la région. Cette technologie est actuellement utilisée en milieu urbain pour l’utilisation de l’eau non potable. Technologie plus applicable dans des régions avec des problèmes de sécheresse.
Puits d’injection	Envisageable dans le cas d’une nappe phréatique très basse. Injection d’eau directement dans la nappe phréatique durant des périodes propices à la recharge. Technologie applicable dans un contexte urbain, et peut être applicable dans un contexte agricole pour recharger la nappe phréatique et augmenter l’approvisionnement en eau à partir de celle-ci. Technologie qui dépend entre autres du contexte géologique et géographique.

7.2.4 APPROCHES POLITIQUES ET INSTITUTIONNELLES

Les approches politiques et institutionnelles regroupent les politiques de gestion de l'eau, la formation et les modèles d'analyses. Ces interventions, généralement menées à l'échelle provinciale et par l'appareil gouvernemental, contribuent à fournir une structure réglementaire et éducative autour de la gestion de l'eau. Le palier municipal n'est pas à négliger puisqu'il doit souvent mettre en œuvre les règlements (voir la section 1 sur l'encadrement réglementaire).

Le Tableau 7.5 présente les technologies/approches recensées dans cette catégorie. Certains systèmes d'analyses informatiques peuvent être utilisés pour prédire l'incidence de la mise en place de nouvelles politiques sur les acteurs concernés, et ainsi orienter la prise de décision en amont. Ainsi, ces systèmes informatiques proposent différentes méthodes de simulation qui peuvent être utilisées à plus grande échelle pour simuler des répercussions de différents systèmes d'allocation et la gestion de l'eau sur une multitude de facteurs (Winter, Young, Mehta, & al., 2017). Ce genre de systèmes informatiques peut intégrer les variables économiques, agronomiques et sociales dans le même modèle (Huffaker, 2017). Cela permet de mieux orienter la mise en place de nouvelles politiques de l'eau par les gestionnaires. Cela est intéressant, puisqu'à l'échelle régionale, sans nécessairement investir dans des infrastructures dispendieuses, les données qui en sont extraites peuvent servir à plusieurs usagers à la fois. Cela confère aux outils informatiques un degré d'adaptabilité élevé puisqu'ils sont flexibles dans le temps et peuvent être réajustés facilement.

Au plan de la formation et du transfert de connaissance, une plateforme paragouvernementale de coordination de la recherche et du transfert des connaissances est une des approches recensées. C'est le cas avec la « *Cooperative State Research, Education, and Extension Service (CSREES)* » aux États-Unis (Jacobs-Young, Mirando, & Palmisano, 2007). Des parallèles pourraient être faits avec le Québec sur des structures comme celle du CRAAQ, dédiée à la diffusion et au transfert des connaissances, ou encore du côté des services-conseils avec le réseau Agri-Conseil. Toutefois, ces véhicules actuels ne proposent peu, voire aucune expertise spécialisée dans la gestion de l'eau. Selon la littérature et les experts consultés au Québec, si les agriculteurs étaient mieux encadrés pour diriger et contrôler leur calendrier d'irrigation par exemple, la situation actuelle serait probablement très différente (Boivin & al., 2016).

Enfin, il ne fait aucun doute que des interventions économiques, qui soutiennent financièrement l'acquisition de connaissances ou d'équipements par exemple, peuvent être favorables à un changement de comportement chez les producteurs agricoles. La situation inverse, comme une politique de tarification de l'eau, peut aussi induire des changements, mais dans une approche plus dissuasive que constructive.

Tableau 7.5
Technologies/bonnes pratiques liées au contexte institutionnel

Technologie/ bonnes pratiques	Courte description
Formation de conseillers techniques	Comme pour toute autre pratique agricole, la littérature montre qu'il faut transmettre aux producteurs agricoles plus d'information sur des techniques et pratiques de gestion de l'eau afin d'en favoriser un meilleur taux d'adoption, avant même d'investir dans de nouvelles technologies plus coûteuses. Pour cela, il faut un solide système de service-conseil de première ligne (destiné aux producteurs), qui est lui-même soutenu par un service-conseil de deuxième ligne (destiné aux conseillers). La formation initiale des établissements d'enseignement doit, en amont, former des professionnels expérimentés en la matière.
Outils de gestion collective des besoins	Outils informatiques (p. ex. : « APEX et EPIC Simulator », « WEAP-DSSAT » ou « SWAP-RTS » [Statewide Agricultural Production Model]) qui permettent de voir les répercussions qu'auraient à court ou à long terme certaines décisions législatives liées à la gestion de l'eau en agriculture. Permettent de faire différents scénarios et de sélectionner par itération l'encadrement optimal. L'analyse multisectorielle des variables et de leurs interrelations permet de mieux organiser les interventions futures dans la gestion de l'eau. Dans le même sens, Crop kite représente une méthode d'aide à l'évaluation régionale des besoins en eau futurs. Cette méthode permet d'évaluer le potentiel de rendement des cultures en fonction de temps, de la région et des besoins en eau des cultures selon leur développement physiologique. Une bonne connaissance des bilans hydriques peut contribuer à orienter les politiques d'allocation de l'eau vers une utilisation plus efficace.
Subventions et politiques de tarification de l'eau	La littérature consultée montre que des systèmes de simulation de la gestion de l'eau peuvent aussi être couplés à des interventions réglementaires, qui passent par exemple par la tarification de l'eau. Certains chercheurs jugent en effet qu'un marché de l'eau force l'amélioration de son usage. À titre d'exemple, le prix de l'eau pourrait évoluer en cours de saison selon la rareté. Certains systèmes d'allocation de l'eau reposent sur les droits acquis et l'ancienneté des producteurs. Bien que ces approches réglementaires ne fassent pas l'unanimité, il convient de les nommer. Par ailleurs, des subventions en capital pour de nouvelles technologies d'irrigation/nouveaux outils de gestion d'irrigation intégrés avec des politiques de rationnement favorisent la productivité des cultures.

7.3 CONSTATS

- Bien que cet inventaire ait conduit à repérer des solutions de hautes technologies (p. ex. : nanotechnologie) ou reposant sur des systèmes relativement complexes (p. ex. : retenu d'eau de surface en milieux humides), ce sont les solutions simples ainsi que les bonnes pratiques qui se démarquent. En effet, les possibilités d'amélioration de l'efficacité dans l'utilisation de l'eau en agriculture ressortent de cet inventaire technologique. Une optimisation des équipements et de la régie d'irrigation permettrait avec un même volume d'eau disponible une utilisation plus efficace de l'eau (produire plus avec moins). Il en va de même pour les bonnes pratiques culturales. Par ailleurs, la combinaison de technologies et de bonnes pratiques est souvent nécessaire pour un effet optimal. Une approche intégrée doit donc être adoptée; des capteurs sans fil et de la télédétection sophistiquée sont pratiquement inutiles si la base, soit les bons outils et une bonne régie d'irrigation, est absente.
- En ce sens, connaître et maîtriser les différents systèmes d'irrigation et leurs équipements de mesure semblent être un bon point de départ. L'implantation et le suivi de ces outils technologiques par des services-conseils auprès des agriculteurs apparaissent toutefois nécessaires pour en assurer un déploiement efficace. L'écosystème agricole québécois s'est engagé dans cette voie : il faut souligner depuis 2016 l'élaboration d'outils de gestion de l'irrigation et la tenue d'activité de sensibilisation (« Caravane de l'irrigation » par l'IRDA) auprès des producteurs agricoles.
- Nous constatons aussi une évolution récente des programmes de soutien à l'adoption de pratiques agroenvironnementales pour mieux inclure des mesures liées à la gestion de l'eau. Ainsi, pour la période 2018-2023, le programme Prime-Vert du MAPAQ propose une nouvelle mesure de soutien dédiée à la gestion optimale de l'eau et de l'irrigation (mesure 4304 du programme Prime-Vert au Volet 1)¹³³ (MAPAQ, 2018). Le programme vise à mieux outiller les producteurs agricoles dans la mesure des quantités d'eau utilisées pour l'irrigation afin d'en favoriser un usage optimal. Les projets admissibles doivent inclure le recours à des conseils techniques.
- Or, le manque de professionnels et de conseillers formés dans la gestion de l'eau au Québec est constaté. Les lacunes s'observent dès la formation initiale, que ce soit dans les programmes techniques ou dans les programmes universitaires. Sans diplômés formés, il est difficile de venir soutenir un réseau de service-conseil avisé en matière de gestion de l'eau. En attendant que s'ajuste la formation initiale, ceci soulève le besoin d'offrir un soutien de deuxième ligne pour assurer la formation de conseillers techniques sur le terrain.
- Aussi, pour faire progresser le milieu agricole dans sa gestion de l'eau, il semble nécessaire pour les acteurs gouvernementaux de déployer une stratégie qui misera sur la montée en compétence des conseillers actuellement sur le terrain et la formation initiale adéquate des futurs professionnels. Ces intervenants pourront alors agir comme catalyseur, contribuant à rehausser les pratiques culturales et d'irrigation et à intégrer de manière pertinente les solutions technologiques.

¹³³ https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Formulaires/V1_M4304_Gestion-eau-irrigation.pdf

8. RÉSULTATS SOMMAIRES DES BILANS HYDRIQUES ACTUELS ET FUTURS

Le présent chapitre décrit, de façon succincte les portraits régionaux de consommation d'eau en climat actuel et futur de l'ensemble des régions à l'étude. L'information détaillée par région est disponible par ailleurs sous d'autres formats, complémentaires au présent rapport, et décrits dans la section (8.3).

8.1 PORTRAIT GLOBAL ACTUEL

Le Tableau 8.1 présente la consommation totale d'eau estimée selon la méthodologie décrite aux chapitres 3 à 5.

Tableau 8.1
Quantité totale d'eau consommée par année selon la région et le type de source d'eau

Régions	Total consommation (Mm ³ /an)	Population régionale (habitants)	% eau de surface	% eau souterraine
Montérégie	198,8 (207,2) ¹	1 535 141	50	50
Estrie	74,3 (143,5)	328 130	50	50
Chaudière-Appalaches	62,3 (76,5)	424 734	40	60
Lanaudière	77,2 (97,7)	500 999	58	42
Centre-du-Québec	66,2 (81,5)	242 767	61	39

¹ Les chiffres entre parenthèses indiquent les prélèvements.
Source pour populations régionales : ISQ profils régionaux 2018.

La Montérégie est la région à l'étude qui consomme de loin la plus grande quantité d'eau par année, soit près de 200 M m³ d'eau (Tableau 8.1). Ceci s'explique en partie par son poids démographique (1,5 M habitants), mais pas seulement. En effet, lorsque réparti selon le type d'usage, le secteur résidentiel y représente 35 % de l'eau totale consommée, moins que Lanaudière (Tableau 8.2). Ce sont les usagers ICI qui dominent en Montérégie parmi les usagers, avec plus de la moitié de la consommation (54%). Enfin, l'eau consommée pour des fins agricoles occupe la plus petite part de la consommation totale, soit 11%. La région s'alimente à part égale entre eau de surface et souterraine (Tableau 8.1). En revanche, le secteur agricole a largement recours à l'eau souterraine pour combler ses besoins (Tableau 8.3).

La quantité d'eau consommée dans la région de l'Estrie totalise près de 75 M m³ annuellement pour une population de 328 000 habitants. Tout comme pour la Montérégie, les usagers ICI de l'Estrie représentent les plus grands consommateurs d'eau. Ensemble, ils totalisent 45 % de l'eau totale consommée. Des cinq régions à l'étude, le secteur agricole de l'Estrie a la part relative la plus faible dans la consommation régionale (7 %). Cependant, en incluant la pisciculture, les besoins en eau montent à 14 % pour ce type d'activité seulement. La région s'approvisionne autant en eau de surface que souterraine. Cependant, la quasi-totalité des usagers agricoles comble leurs besoins avec les eaux

souterraines, alors que la situation est complètement inversée pour les ICI hors réseau, qui s'alimentent à 97 % en eau de surface.

Tableau 8.2
Répartition (%) de l'eau consommée selon le type d'utilisateur

Régions	Résidentiel	ICI liés au réseau	ICI hors réseau	Agricole			
				Total	Végétal	Animal	Piscicole
Montérégie	35	39	15	11	5	6	< 1
Estrie	34	29	16	21	1	6	14
Chaudière-Appalaches	44	27	3	26	5	18	3
Lanaudière	49	29	5	17	14	3	< 1
Centre-du-Québec	28	27	11	34	24	10	< 1

Tableau 8.3
Répartition des consommations selon le type d'usage et la région, % surface/souterraine

Régions	Résidentiel	ICI liés au réseau	ICI hors réseau	Agricole			
				Total	Végétal	Animal	Piscicole
Montérégie	54/46	60/40	36/64	25/75	34/66	17/83	0/100
Estrie	50/50	54/46	97/3	8/92	25/75	12/88	5/95
Chaudière-Appalaches	42/58	57/43	65/35	17/83	37/63	9/91	31/69
Lanaudière	57/43	63/37	50/50	53/47	59/41	11/89	100/0
Centre-du-Québec	55/45	59/41	73/27	62/38	83/17	13/87	21/79

Chaudière-Appalaches est la région avec la consommation totale d'eau la plus basse, avec 62 M m³ par année. Pourtant, son poids démographique est supérieur à l'Estrie et au Centre-du-Québec. Les usagers résidentiels de Chaudière-Appalaches sont les premiers utilisateurs (44 % de l'eau consommée). Les usagers agricoles et ICI liés au réseau arrivent seconds presque à parts égales (26 % et 27 %). Dans la région, la part de l'eau provenant des eaux de surface est légèrement plus importante (60 %) que celle de type souterraine (40 %). Toutefois, le secteur agricole s'approvisionne largement (83 %) dans les eaux souterraines.

Avec une population totalisant près d'un demi-million d'habitants, Lanaudière arrive en deuxième place pour la quantité d'eau consommée annuellement (77 M m³). Parmi les cinq régions et en part relative, le secteur résidentiel de Lanaudière est celui consommant le plus d'eau, avec 49 % des prélèvements totaux. Les besoins agricoles comptent pour 17 %. Malgré l'important bassin maraîcher qui se situe dans Lanaudière, nous constatons donc que la part relative de la consommation agricole est loin derrière celle des usages résidentiels compte tenu de l'importance de la population. La région s'approvisionne légèrement plus en eau de surface (58 %) que souterraine (42 %). Les prélèvements par secteur sont généralement bien répartis entre les deux types de source.

Le poids démographique de la région du Centre-du-Québec est le plus bas, avec un peu moins de 250 000 habitants. La région occupe l'avant-dernière place pour la quantité d'eau totale consommée annuellement avec 66 M m³. La majorité des prélèvements viennent des usagers ICI (39 %), suivis de très près par les usagers agricoles (34 %). La région du Centre-du-Québec est celle qui comble le plus ses besoins par de l'eau de surface (61 %). Le secteur des ICI hors réseau et agricole ont majoritairement recours à l'eau de surface pour répondre à leurs besoins.

Finalement, le tableau suivant présente l'information sous une forme globale, en mettant davantage en perspective la part des prélèvements agricoles par rapport aux prélèvements totaux de chacune des régions, par type de production. Les données ici sont également exprimées en termes de prélèvement, et non de consommation¹³⁴. On constate donc par ces données qu'au Centre-du-Québec, les prélèvements liés aux petits fruits représentent 80 % des prélèvements végétaux de la région, et que globalement les prélèvements végétaux comptent pour 21 % des prélèvements totaux régionaux. Pour les activités piscicoles, les prélèvements des régions de Chaudières-Appalaches, l'Estrie et Lanaudière se situent entre 12,5% et près de 17% des prélèvements régionaux. Il s'agit d'un exemple où la distinction avec les volumes réellement consommés, et les prélèvements, est importante. Avec un coefficient de consommation de 0,05 en production piscicole, cela signifie que 95 % de l'eau prélevé retourne au cours d'eau.

¹³⁴ Rappelons que ce qui est prélevé n'est pas toujours consommé. Des coefficients de consommation ont été déterminés afin de rendre compte de la portion des prélèvements effectués dans les eaux de surface qui retourne au cours d'eau. Pour les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel, les volumes prélevés ont été directement estimés sur la base de la consommation. Pour les élevages et les productions végétales sous irrigation du secteur agricole, de même que pour les piscicultures et l'industrie, des coefficients de consommation spécifiques ont été appliqués aux volumes prélevés.

Tableau 8.4
Répartition des prélèvements en eau par secteur de production agricole et par région, et part relative par rapport aux autres usagers

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
VÉGÉTAL					
Grandes cultures					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an) ¹	0	0	0	0	0
Part relative (%) ²	0	0	0	0	0
Nombre d'entreprises ³	2834	5063	2290	1271	5763
Production serricole					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	134	87	93	101	410
Part relative (%)	0,8	3,0	14,0	1,0	3,9
Nombre d'entreprises	53	66	49	54	224
Petits fruits					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	13699	558	63	1229	1097
Part relative (%)	80,3	19,2	9,5	11,7	10,3
Nombre d'entreprises	184	193	123	96	734
Maraîcher					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	877	74	0	6611	3312
Part relative (%)	5,1	2,5	0	63,0	31,1
Nombre d'entreprises	127	118	108	251	899
Horticulture					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	2351	2191	509	2560	5822
Part relative (%)	13,8	75,3	76,5	24,4	54,7
Nombre d'entreprises	64	94	153	56	148
TOTAL					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	17061	2911	665	10501	10642
Part régionale (%) ⁴	20,9	3,8	0,5	10,8	5,1
Nombre d'entreprises	2981	5191	2418	1404	6385
ANIMAL					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	6667	11828	4272	2346	12179
Part régionale (%)	8,2	15,5	3,0	2,4	5,9
Nombre d'entreprises	2298	3576	1641	959	3920
PISCICOLE					
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	1350	12662	20319	12153	158
Part régionale (%)	1,7	16,6	14,2	12,5	< 0.1
Nombre d'entreprises	< 5	12	20	< 5	< 5
RÉSIDENTIEL					
Part régionale (%)	22,6	35,6	17,9	38,9	34,0
ICI RÉSEAU ET HORS RÉSEAU					
Part régionale (%)	46,7	28,5	64,5	35,4	54,9

Notes :

- 1 Les volumes nécessaires à la protection contre le gel et au lavage des légumes ont été omis dans la présentation de ces résultats.
- 2 Part relative au total des prélèvements des productions végétales.
- 3 Nombres d'entreprises : tel que défini dans les fiches d'enregistrement du MAPAQ.
- 4 Part relative au total des prélèvements dans la région (résidentiel + ICI réseau + ICI hors réseau + agricole).

8.2 PORTRAIT GLOBAL FUTUR

La section suivante présente la consommation totale d'eau estimée selon les différents scénarios du futur (voir le chapitre 6).

Tableau 8.5
Évolution de la consommation totale d'eau selon les différents scénarios

Régions	Actuel	Scénario 1 Statu quo	Scénario 2 Chaleur et soif	Scénario 3 Chaleur et interdits	Scénario 4 Tempéré et dense	Scénario 5 Tempéré et urbain
Montérégie	198,8 (207,2) ¹	235,2 (245,6)	218,0 (230,3)	209,4 (218,1)	221,2 (232,9)	187,5 (199,6)
Estrie	74,3 (143,5)	85,5 (175,1)	72,8 (145,0)	73,8 (137,6)	79,4 (166,6)	69,0 (155,1)
Chaudière-Appalaches	62,3 (76,5)	66,5 (80,9)	58,2 (73,4)	59,5 (76,0)	61,2 (76,5)	53,5 (69,1)
Lanaudière	77,2 (97,7)	100,1 (122,4)	91,6 (112,5)	90,6 (113,8)	91,9 (114,8)	77,6 (99,5)
Centre-du-Québec	66,2 (81,5)	82,1 (107,8)	85,7 (102,6)	75,8 (90,0)	80,7 (96,6)	79,4 (95,9)

¹ Les chiffres entre parenthèses indiquent les prélèvements.

Ces résultats permettent de constater que pour un même scénario, les effets sont contrastés selon les régions.

- Par exemple, pour le scénario de statu quo, la Montérégie et Lanaudière verraient leurs besoins en eau augmenter considérablement comparativement aux trois autres régions, avec des hausses respectives de 37 et 33 M m³ par année. Pour presque toutes les régions, ce scénario de statu quo est celui qui se traduit par la hausse la plus importante de la consommation. Autrement dit, si les tendances actuelles se poursuivent, il y aurait inexorablement des besoins en eau croissants.
- Au scénario 2, les besoins en eau des régions de l'Estrie et de Chaudière-Appalaches diminueraient légèrement, alors que la Montérégie et le Centre-du-Québec enregistreraient les plus fortes hausses, de l'ordre de 20 M m³. Rappelons que le scénario 2 faisait l'hypothèse d'une forte augmentation démographique et d'une hausse importante des besoins pour l'irrigation. Comme ces deux usagers représentent des parts relatives dominantes en Montérégie et au Centre-du-Québec, ceci contribue à la hausse des besoins en eau.
- Au scénario 3, seule Chaudière-Appalaches serait témoin d'une diminution de sa consommation d'eau par rapport à la situation actuelle. De son côté, l'Estrie maintiendra sensiblement le même niveau de consommation qu'actuellement, alors que la Montérégie et le Centre-du-Québec seraient marqués par une augmentation de leurs besoins en eau, mais moindres que dans le scénario précédent. Pour rappel, le scénario 3 regroupait le plus de facteurs favorables à une baisse de la consommation (faible croissance de la population, croissance économique modérée, etc.)
- Au scénario 4, les besoins en eau augmenteraient pour toutes les régions, à l'exception de Chaudière-Appalaches. Le scénario 4 combinait une forte hausse démographique à une forte croissance industrielle et une hausse des besoins pour l'irrigation.

- Enfin, dans le dernier scénario, la Montérégie, l'Estrie et Chaudière-Appalaches utiliseraient moins d'eau. La consommation de Lanaudière resterait la même. Seul le Centre-du-Québec serait marqué par une hausse de sa consommation d'eau (+13 M m³), notamment en lien avec les besoins croissants pour l'irrigation : la part relative des besoins agricoles passerait de 34 à 50 % de la consommation totale régionale.

Globalement, les scénarios futurs proposés ont permis de constater que c'est d'abord le taux de croissance de la population, et son comportement de consommation, qui auront une incidence importante sur les prélèvements en eau. En effet, dans les régions de la Montérégie et de Lanaudière, la hausse attendue de la population est tellement importante qu'elle va avoir des conséquences largement supérieures aux évolutions (aussi majeures soient-elles) des secteurs agricoles et industriels. En Estrie, au Centre-du-Québec et en Chaudière-Appalaches, les perspectives d'évolution de la population sont moins importantes, et la pression sur la ressource conséquemment moindre, bien qu'encore une fois plus importante que les évolutions des secteurs industriels et agricoles. Dans le secteur résidentiel, il est avéré que des efforts de réduction de la consommation d'eau peuvent être obtenus par divers incitatifs, allant de la sensibilisation jusqu'à une tarification dissuasive. Néanmoins, pour les municipalités responsables de la gestion des réseaux d'adduction d'eau potable, ces différentes mesures n'ont pas toute la même popularité auprès des résidents.

8.3 BILANS RÉGIONAUX D'UTILISATION DES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINE

Dans la perspective de favoriser une utilisation conviviale, les bilans régionaux d'utilisation des eaux de surface et souterraine ont été produits suivants différents formats :

- L'Atlas électronique des bilans régionaux de la consommation et de la disponibilité des eaux de surface et souterraine en climat actuel et futur a été produit sous la forme d'un système d'information géographique (SIG). En format GDB, le SIG à accès libre comprend toutes les données de disponibilité et de prélèvement/consommation d'eau de surface et souterraine en climat actuel et futur rapportés aux polygones de municipalité ou de bassins versants. La description des champs des tables d'attributs du SIG est également disponible en format de chiffrier *EXCEL* et présentée en annexe au rapport (Annexe 10).
- Les présentations visuelles des bilans régionaux, en format Power-point avec annotations, décrivent en détails la méthodologie, les résultats (incluant les cartes) et leur analyse en climat historique et futur pour chaque région à l'étude, soit les bilans de la Montérégie, Lanaudière, Estrie, Centre-du-Québec et Chaudières-Appalaches.
- Les 19 cartes thématiques produites pour chacun des bilans régionaux sont également disponibles en format PDF. Les thèmes suivants sont présentés :
 - 1 Utilisation de l'eau souterraine par rapport à la recharge
 - 2 Utilisation de l'eau de surface par rapport au débit d'étiage hivernal
 - 3 Utilisation de l'eau de surface par rapport au débit d'étiage estival
 - 4 Consommations d'eau de surface du secteur résidentiel
 - 5 Consommations d'eau de surface des secteurs ICI réseau
 - 6 Consommations d'eau de surface des secteurs ICI hors réseau en période estivale
 - 7 Consommations d'eau de surface des secteurs ICI (réseau et hors réseau)
 - 8 Consommations d'eau de surface par la production animale

- 9** Consommations d'eau de surface par la production végétale en période estivale
 - 10** Consommations d'eau de surface du secteur agricole
 - 11** Consommations d'eau souterraine du secteur résidentiel
 - 12** Consommations d'eau souterraine des secteurs ICI réseau
 - 13** Consommations d'eau souterraine des secteurs ICI hors réseau en période estivale
 - 14** Consommations d'eau souterraine des secteurs ICI (réseau et hors réseau)
 - 15** Consommations d'eau souterraine par la production animale
 - 16** Consommations d'eau souterraine par la production végétale
 - 17** Consommations d'eau souterraine du secteur agricole
 - 18** Consommations totales d'eau de surface
 - 19** Consommations totales d'eau souterraine
- Aux 19 cartes thématiques s'ajoutent, pour chaque scénario de climat futur de chacune des régions, les cartes de variation du débit d'étiage estival et hivernal. Une carte du débit d'étiage estival en climat actuel et une autre de la recharge moyenne pondérée sont aussi disponibles pour chaque région à l'étude.

9. ÉTUDES DE CAS

Pour approfondir l'analyse effectuée à l'échelle régionale, deux études de cas ont été réalisées à l'échelle d'un plus petit territoire. Menées en étroite collaboration avec les intervenants locaux, les études de cas visaient à :

- Générer des connaissances plus fines sur des conflits potentiels ou avérés liés à la gestion de l'eau.
- Tester des pistes de solution potentielles, individuelles ou collectives.
- Permettre d'aller encore plus loin dans l'interaction avec les acteurs locaux.

Le repérage des études de cas s'est d'abord basé sur des suggestions des participants lors des rencontres régionales. De cette liste, un tri préliminaire a été effectué en appliquant des critères de sélection définis en cohérence avec les objectifs du projet :

- Problématiques contrastées au point de vue des enjeux de gestion de l'eau
- Zones d'études localisées dans des régions distinctes
- Disponibilité de données complémentaires aux bilans régionaux sur les sources et les prélèvements en eaux
- Présence et intensité du conflit actuel d'usage de l'eau
- Volonté des acteurs d'intervenir sur la problématique et de collaborer avec l'équipe de projet
- Présence de caractéristiques particulières qui limitent ou affectent l'usage de l'eau (p. ex. : salinité de l'eau souterraine)
- Études de cas qui interpellent les enjeux liés à l'eau de surface et l'eau souterraine

La présélection des quatre zones d'étude a fait l'objet de discussions au sein du comité aviseur multipartite du projet (MAPAQ, UPA, MELCC, ROBVO, Ouranos et RQES). Deux cas ont finalement été retenus, soit la municipalité de Saint-Rémi en Montérégie et le complexe tourbeux de Lanoraie, dans la région de Lanaudière. Les régions d'étude se distinguent nettement au point de vue de leurs problématiques respectives d'approvisionnement en eau. Alors que les producteurs maraîchers de Saint-Rémi s'approvisionnent essentiellement en eau souterraine, ceux de Lanoraie utilisent l'eau de surface, compte tenu de la salinité élevée de l'aquifère au roc.

9.1 SAINT-RÉMI

9.1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La municipalité de Saint-Rémi compte un important bassin de producteurs maraîchers en terre minérale et en terre noire. Les variétés de légumes cultivés nécessitent un grand volume d'eau durant la saison de croissance. La majorité des cultures sont irriguées par des systèmes d'aspersion ou de goutte-à-goutte. En plus des activités agricoles, plusieurs industries grandes consommatrices d'eau sont présentes sur le territoire (p. ex. : bétonnière, transformation alimentaire, biomédicale).

Pour tous les usagers, l'eau provient en grande majorité des eaux souterraines. Or, depuis quelques années, la municipalité fait face à une problématique d'assèchement de ses puits résidentiels. Cela s'est fait sentir de manière sévère en 2017. Cette situation particulière a soulevé des inquiétudes liées à la capacité des puits municipaux de combler adéquatement les besoins de l'ensemble des usagers sur le territoire. D'autant plus qu'avec les changements climatiques, les besoins en eau pour l'irrigation des cultures horticoles devraient augmenter. En parallèle, la croissance démographique et le développement d'activités économiques consommatrices d'eau annoncent aussi un usage croissant de la ressource.

Consciente que ces difficultés d'approvisionnement risquent de devenir plus fréquentes dans le futur et d'occasionner un frein au développement économique, la municipalité a entamé, depuis quelques années, des activités de forage afin de trouver de nouvelles sources d'eau. Les résultats infructueux des travaux réalisés jusqu'à ce jour ont amené les instances municipales à explorer d'autres solutions pour assurer leur approvisionnement en eau. En effet, la Ville de Saint-Rémi a entamé, depuis près d'un an, des démarches pour mettre en place un système de recyclage de ses eaux usées. Pour le moment, ces types de systèmes ne sont pas autorisés au Québec, mais la municipalité travaille de concert avec le ministère de l'Environnement pour faire avancer le dossier. Si le projet se concrétise, la municipalité serait la toute première au Québec à inaugurer une telle installation. En parallèle, de nombreuses activités et outils de sensibilisation sont déployés pour conscientiser les citoyens à mieux gérer l'eau (p. ex. : escouade anti-gaspillage).

L'étude de cas poursuivait les objectifs suivants :

1. Documenter de façon détaillée la situation actuelle des prélèvements en eau effectués dans la municipalité et estimer les ressources en eau.
2. Réaliser une analyse des répercussions des changements climatiques et des évolutions des différents secteurs réalisant des prélèvements d'eau dans le territoire.
3. Qualifier les changements possibles qui influenceront l'utilisation et les besoins en eau pour les secteurs agricole, industriel et résidentiel
4. Identifier des pistes de solution pour atténuer l'intensité de ces conflits.

9.1.2 APPROCHE ET DÉMARCHE DE TRAVAIL

Une approche participative a été privilégiée pour mener à bien l'étude de cas à Saint-Rémi¹³⁵. Avec l'étroite collaboration de représentants de la direction régionale du MAPAQ, un groupe de travail multipartite a été formé : professionnels de la municipalité et de la MRC, conseillers agricoles du

¹³⁵ L'étude de cas s'est déroulée sur deux rencontres, soit le 19 décembre 2018 et le 14 mars 2019. L'organisation de ces deux journées s'est faite en étroite collaboration avec le MAPAQ de la direction régionale de la Montérégie. L'animation des deux ateliers a été assurée par l'équipe RADEAU appuyée par les conseillers du MAPAQ.

MAPAQ et de clubs-conseils, producteurs agricoles et représentants associatifs ainsi qu'intervenants du secteur industriel (tableau 9.1).

Tableau 9.1
Composition du groupe de travail intersectoriel de Saint-Rémi

Organisations	Rencontre 1 (n ^{bre} pers.)	Rencontre 2 (n ^{bre} pers.)	Représentants
Secteur résidentiel			
Ville de Saint-Rémi	4	3	Directeur de la planification du territoire, directrice générale, mairesse et responsable des travaux publics
MRC Jardins de Napierville	1		Coordonnateur en gestion des cours d'eau
Secteur industriel¹			
4 entreprises du secteur des matériaux/construction et de la transformation alimentaire	2	2	Postes de directeur général ou en lien avec l'environnement/qualité/sécurité
	2	1	
	1	-	
	2	2	
Secteur agricole			
Producteurs maraîchers	10	8	Légumes de terre minérale et de terre noire
Association des producteurs maraîchers du Québec	-	1	Directeur général
Pleine-terre	1		Agronome
Prisme		1	Agronome
MAPAQ régional	2	2	Conseillers
MAPAQ Québec	1		Direction des pratiques agroenvironnementales
Autre			
Organisme de bassin versant (SCABRIC)	2	2	Directeur et chargé de projet
Total	28	22	

Les noms des entreprises sont tenus confidentiels compte tenu des renseignements relatifs à leur volume d'eau transmis dans le cadre de l'étude de cas.

Le premier atelier de travail a mobilisé un total de 28 personnes. Le principal objectif de cette rencontre était de donner aux participants une occasion d'échanger avec d'autres usagers du territoire sur leur réalité et sur leurs craintes respectives devant les problématiques d'approvisionnement en eau. Une première réflexion collective s'est entamée autour des pistes de solutions envisageables pour préserver cette ressource. La première rencontre aura permis la co-construction de trois scénarios d'évolution des besoins et usages de l'eau à Saint-Rémi en 2050 (figure 9.1).

À la suite de cette rencontre, l'équipe RADEAU a travaillé à quantifier les besoins en eau pour les trois scénarios proposés et à analyser les différentes pistes de solutions ébauchées. Les résultats ont été présentés lors d'un deuxième atelier.

Figure 9.1
Séance de plénière avec le groupe de travail de Saint-Rémi, 19 décembre 2018



9.1.3 PRÉSENTATION DU TERRITOIRE, RESSOURCES EN EAU, ACTIVITÉS ET PRÉLÈVEMENTS

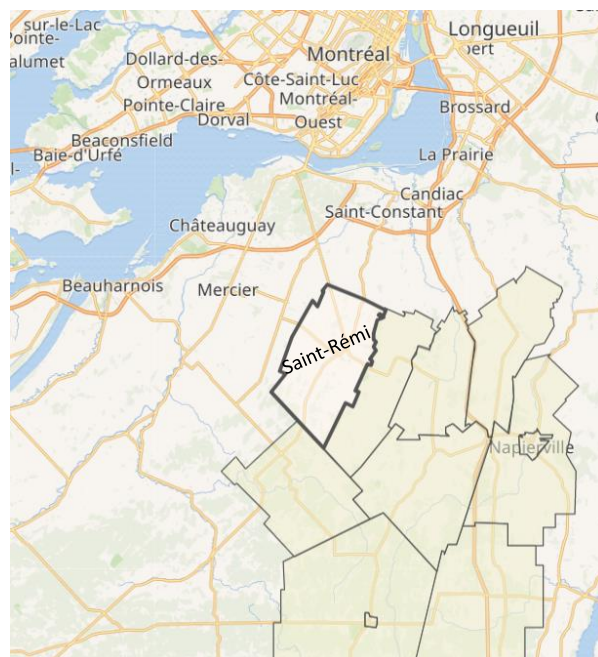
La section suivante présente de manière succincte le territoire et ses ressources en eau.

LOCALISATION

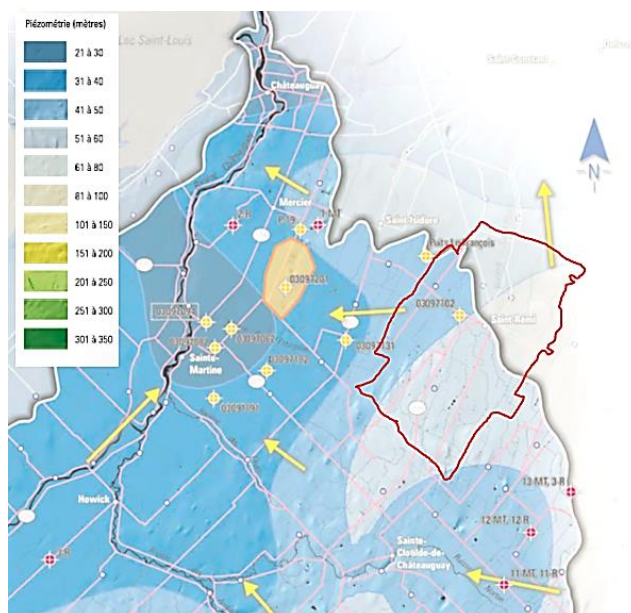
La municipalité de Saint-Rémi est située à 32 km au sud de Montréal à l'extrême nord-ouest de la MRC des Jardins-de-Napierville dans la région administrative de la Montérégie. Sa population est en croissance depuis 2011, atteignant 8 530 habitants en 2018. La superficie du territoire est de 78,8 km², dont seulement 0,2 km² en plans d'eau.

RESSOURCES EN EAU

Saint-Rémi ne compte aucun cours d'eau majeur sur son territoire, mais chevauche plutôt plusieurs petits bassins versants. Son positionnement en tête de bassin réduit considérablement le débit de l'eau de surface en été. Outre la recharge des étangs par les précipitations de pluie et de neige, il n'y a pas ou très peu de possibilités de prélever dans les eaux de surface.



Piézométrie de Saint-Rémi



L'eau souterraine est la principale source d'eau à Saint-Rémi. L'eau de l'aquifère (au roc) est prélevée à environ 60 mètres de profondeur. Basée sur l'atlas de la rivière Châteauguay¹³⁶ (image ci-contre), la recharge est estimée à 100 mm/an en moyenne, soit 10 % du volume de précipitations annuelles (1 016 mm à Saint-Hubert). Cependant, la nappe phréatique étant située sur un niveau élevé du roc, l'eau souterraine tend à s'écouler hors des limites de la municipalité, diminuant le volume disponible.

ACTIVITÉS ET DISTRIBUTION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU

À Saint-Rémi, c'est le secteur des ICI (réseau et hors réseau) qui prélève la plus grande quantité d'eau souterraine de la municipalité, soit 38 % des besoins totaux en eau. Les secteurs résidentiel et agricole (irrigation et abreuvement des animaux) le suivent de près, respectivement avec 29 % et 33 % des prélèvements totaux.

Sur 1,9 M de m³/an d'eau souterraine.....



Le secteur agricole représente un total de 86 producteurs en production végétale, pour une superficie potentiellement irriguée d'environ 1 875 ha. Le Tableau 9.2 présente les prélèvements d'eau estimés pour les productions végétales représentant la majorité des prélèvements d'eau pour l'irrigation des cultures à Saint-Rémi. Globalement, le prélèvement global annuel avoisine 560 000 mètres cubes par an pour les besoins en irrigation dont la forte majorité (87 %) concerne l'irrigation des laitues, des choux, des tomates, des brocolis, des poivrons, des plantes en conteneurs et des fleurs en serre¹³⁷. Les autres cultures représentent de faibles volumes.

¹³⁶ CÔTÉ, M.-J., LACHANCE, Y. LAMONTAGNE, C., NASTEV, M., PLAMONDON, R., ROY, N., 2006. Atlas du bassin versant de la rivière Châteauguay. Collaboration étroite avec la Commission géologique du Canada et l'Institut national de la recherche scientifique – Eau, Terre et Environnement. Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 64 p.

¹³⁷ En se référant à la base de données FLORA du MAPAQ la plus récente, 650 ha sont identifiés comme « autres légumes ». Avec cette description, il est impossible de déterminer le volume dédié à l'irrigation de ces terres. Il est donc probable que nos calculs sous-estiment les réels besoins en eau pour l'irrigation à Saint-Rémi.

Tableau 9.2
Superficie cultivée et volume d'eau prélevé selon nos estimations pour les cultures représentant les plus grands volumes d'eau d'irrigation.

Culture	Superficie cultivée (ha)	Prélèvements actuels en eaux souterraines (m ³ / an)	Proportion des prélèvements d'eau d'irrigation des principales cultures irriguées (%)
Laitues (terres noires)	344	206 316	37 %
Tomates marché frais	71	84 936	15 %
Choux	194	48 415	9 %
Brocolis	132	33 000	6 %
Poivrons	27	32 196	6 %
Plantes vivaces/rosiers en conteneurs	0,9	30 450	5 %
Potées fleuries serre	5	29 663	5 %
Fleurs annuelles serre	7	20 576	4 %
TOTAL	781	485 552	87 % des volumes d'irrigation totaux

Source : base de données FLORA du MAPAQ et nos calculs

Le tableau suivant montre de manière plus détaillée, par type de production, le nombre d'entreprises et les volumes d'eau associés en prélèvement, de même que la part relative représentée par les prélèvements au sein de la catégorie et par rapport aux autres usages. Par exemple, les cultures maraîchères au sein des productions végétales comptent pour 80% des prélèvements, et les prélèvements des productions végétales représentent à elles-seules 28% des prélèvements de Saint-Rémi.

Tableau 9.3

Répartition des prélèvements par type de productions agricoles et part relative (%) par rapport au total des prélèvements de la catégorie et des autres usagers de St-Rémi

VÉGÉTAL	
Grandes cultures	
Prélèvements (10^3 m ³ /an) ¹	0
Part relative (%) ²	0
Nombre d'entreprises ³	59
Production serricole	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	75,0
Part relative (%)	3,4
Nombre d'entreprises	21
Fraise	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	4,8
Part relative (%)	0,2
Nombre d'entreprises	< 5
Petits fruits autre	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	6,8
Part relative (%)	1,1
Nombre d'entreprises	11
Pomme de terre	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	0,0
Part relative (%)	0
Nombre d'entreprises	8
Maraîcher autre	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	501,9
Part relative (%)	81,1
Nombre d'entreprises	41
Plantes en conteneur	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	30,5
Part relative (%)	4,9
Nombre d'entreprises	< 5
Horticulture autre	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	0,0
Part relative (%)	0
Nombre d'entreprises	< 5
TOTAL VÉGÉTAL	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	618,9
Part municipale (%) ⁴	28,0
Nombre d'entreprises	90
ANIMAL	
Prélèvements (10^3 m ³ /an)	26,1
Part municipale (%)	1,2
Nombre d'entreprises	17
PISCICOLE	
Part municipale (%)	0
RÉSIDENTIEL	
Part municipale (%)	29,0
ICI RÉSEAU ET HORS RÉSEAU	
Part municipale (%)	41,9

Notes :

1 Les volumes nécessaires à la protection contre le gel et au lavage des légumes ont été omis dans la présentation de ces résultats.

2 Part relative au total des prélèvements des productions végétales.

3 Tel que défini dans les fiches d'enregistrement du MAPAQ.

4 Part relative au total des prélèvements dans la municipalité (résidentiel + ICI réseau + ICI hors réseau + agricole).

COMPARAISON DES PRÉLÈVEMENTS ET DE LA RECHARGE ANNUELLE

Les prélèvements actuels dans les eaux souterraines de Saint-Rémi s'élèvent à 1,96 M m³ par an. La recharge annuelle de la nappe, elle, est estimée à 7,9 M m³ par an. Dans la situation actuelle, le ratio de prélèvement sur la recharge est donc de 25 %. Or, les hydrogéologues considèrent qu'un usage durable des eaux souterraines ne devrait pas dépasser 20 % de la recharge annuelle¹³⁸. Cette valeur illustre la situation précaire de Saint-Rémi.

LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS

Saint-Rémi prélève de l'eau depuis quatre puits situés sur le territoire urbain. Malgré la mise à niveau récente de l'un de ces puits, la situation demeure tendue compte tenu de la faible productivité des puits et de la mauvaise qualité de l'eau (présence de bactéries). L'équilibre est donc fragile. En ce sens, des forages ont été effectués en 2018 pour tenter de trouver une source supplémentaire, mais sans succès. La localisation de ces essais a aussi été révélée par la municipalité (Figure 9.2).

9.1.4 BILAN HYDRIQUE ACTUEL

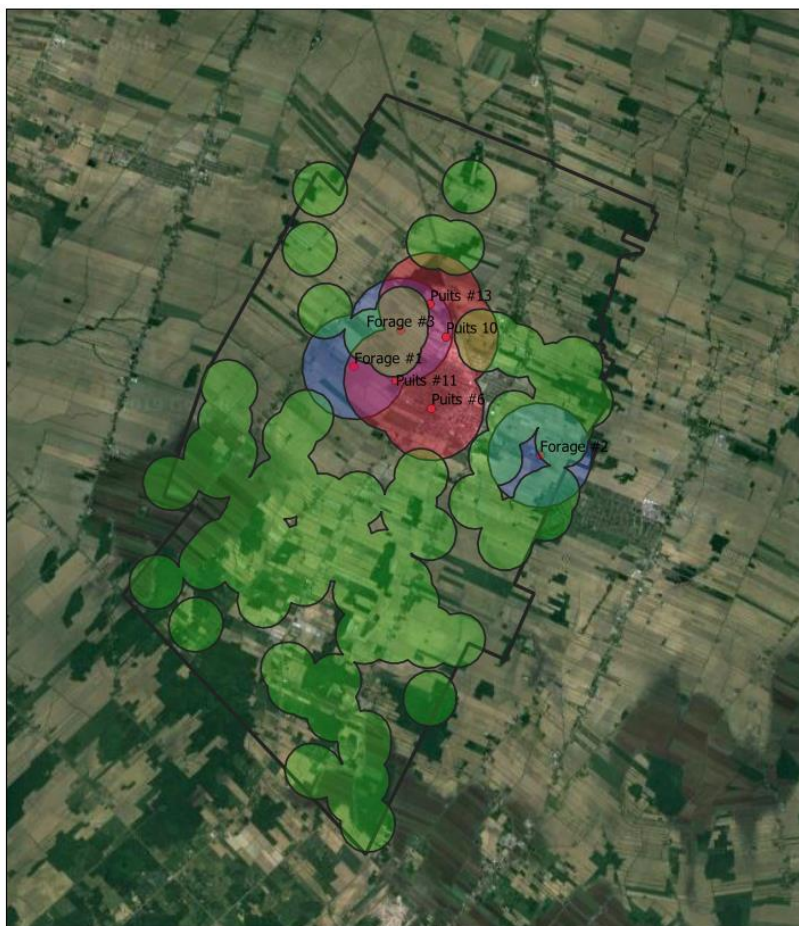
INFLUENCE DES PRÉLÈVEMENTS

Dans le but de documenter les raisons expliquant la pénurie d'eau sur le territoire et de valider les témoignages répertoriés, une zone d'influence potentielle des prélèvements urbain et agricole a été estimée (Figure 9.2). Cette zone d'influence évalue la portée du pompage. L'hypothèse de rayon de 1 km a été retenue pour le réseau municipal, incluant les récentes tentatives de forage, compte tenu de leur faible productivité. Pour les puits municipaux, nous constatons que comme ils se situent sur un territoire limité, le pompage de chacun amplifie le rabattement local, diminuant le niveau de la nappe dans ce secteur.

Du côté agricole, nous avons considéré que les étangs d'irrigation sont rechargés par des puits. Un travail de géolocalisation a été effectué pour localiser les étangs. Les puits des producteurs sont souvent situés à des distances importantes les uns des autres, ce qui favorise une faible compétition entre les prélèvements. Ceci pourrait expliquer le fait que les producteurs agricoles aient été relativement épargnés par le manque d'eau jusqu'ici.

¹³⁸ René Lefebvre, INRS-ÉTÉ, communication personnelle

Figure 9.2
Localisation et zone d’influence potentielle des puits municipaux (puits – rouge),
des essais de pompage de 2018 (forage – violet) et des étangs (vert)
potentiellement utilisés pour l’irrigation.



NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE

Le MELCC dispose d’un réseau de puits qui permet d’effectuer un suivi de l’eau souterraine du Québec. L’un de ces puits se situe sur le territoire urbain de Saint-Rémi, dans la zone d’influence des puits municipaux. La localisation du puits par rapport à ceux de la municipalité est présentée à la Figure 9.3. Sa localisation et le suivi piézométrique du puits permettent ainsi d’évaluer l’influence du pompage municipal sur la nappe sur une base historique (Figure 9.4). À partir de cette information, nous avons observé une tendance à la baisse de la ressource disponible. En effet, depuis 1980, le niveau d’eau a baissé de près de 10 m. Les données révèlent aussi que la recharge annuelle, bien qu’importante durant quelques années, n’est pas suffisante pour compenser les prélèvements. Cette situation confirme la présence d’une problématique à long terme quant à l’approvisionnement en eau de Saint-Rémi. Les activités résidentielles et ICI sont concernées au premier plan. La section suivante mentionne d’ailleurs des interventions envisagées pour atténuer la problématique.

Figure 9.3

Localisation du puits du MELCC (n° 03097102) par rapport aux puits de la municipalité

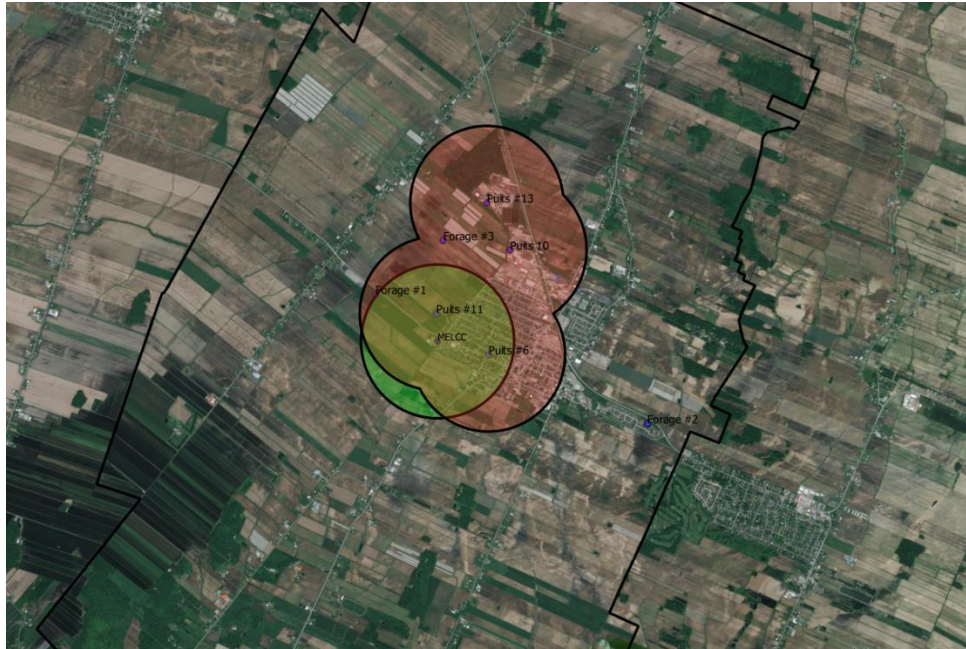
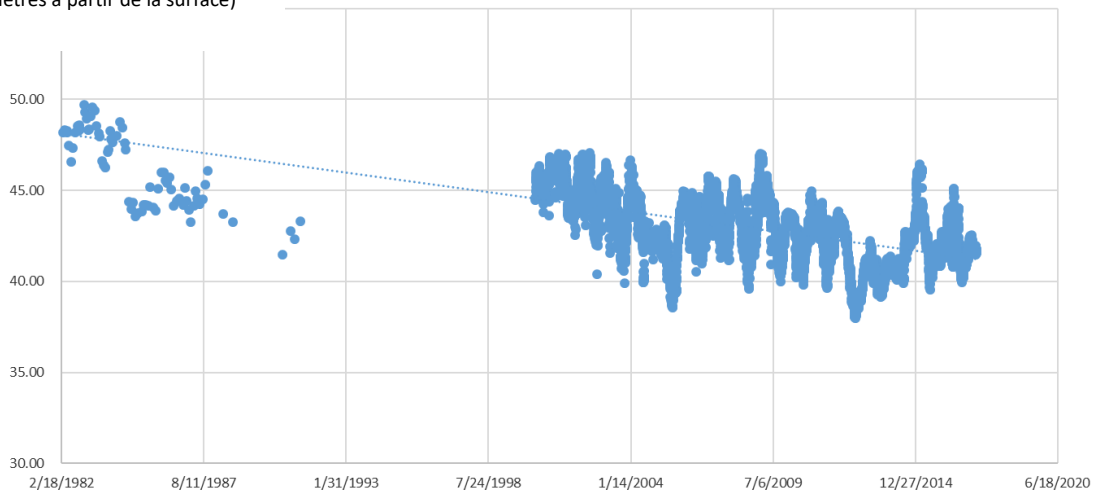


Figure 9.4

Piézométrie du puits de suivi des eaux souterraines du MELCC territoire de Saint-Rémi¹³⁹ – puits n° 03097102

Niveau de la nappe
(mètres à partir de la surface)



9.1.5 PISTES DE SOLUTIONS ENVISAGÉES AVEC LE GROUPE DE TRAVAIL INTERSECTORIEL DE SAINT-RÉMI

La section qui suit présente plus en détail l’analyse des différentes pistes de solution proposées par le groupe de travail intersectoriel pour chacun de secteurs (résidentiel, industriel et agricole).

¹³⁹ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/piezo/index.htm>

SECTEUR RÉSIDENTIEL

Pour le secteur résidentiel, deux types de solution ont été suggérés, soit l'utilisation d'équipements économiseurs d'eau et la récupération de l'eau de pluie.

Équipements économiseurs d'eau

La première solution proposée pour réduire la consommation d'eau du secteur résidentiel visait à sensibiliser et à encourager les citoyens à se doter d'équipements économiseurs d'eau à la maison. Pour mener à bien son analyse, l'équipe RADEAU a ciblé plus précisément trois types d'équipements reconnus dans la littérature, soit les laveuses frontales, les toilettes et les pommes de douche.

Le Tableau 9.4 indique les économies d'eau réalisables par l'usage d'équipements présentant des consommations plus faibles. Les volumes d'eau présentés sont issus de la littérature.

Tableau 9.4
Proportion d'économie fournie par les équipements économiseurs d'eau

Équipements économiseurs d'eau	Volume par utilisation	Pourcentage d'économie (%)
Laveuses (L)		
Laveuse traditionnelle	150	45
Laveuses frontales homologuées <i>Energy Star</i> ¹⁴⁰	80	
Toilettes (L)		
Chasse d'eau traditionnelle	9	53
Chasses d'eau double (3 à 6 L) ¹⁴¹	3 à 6	
Pommes de douche (L/min)		
Pomme de douche traditionnelle	9,6	55
Pomme de douche économe ¹⁴²	6,6	

Les laveuses frontales coûtent entre 600 \$ et 1 799 \$, soit environ 200 \$ de plus que les laveuses à chargement par le haut. Elles permettent, en moyenne, une économie de 70 litres d'eau par brassée et elles sont 50 % moins énergivores que les laveuses conventionnelles. Cependant, leur durée de vie serait plus courte que les autres modèles à chargement par le haut¹⁴³.

Les toilettes avec chasse d'eau double coûtent sensiblement le même prix que les toilettes classiques. Elles consomment de 3 à 6 litres d'eau comparativement à 9 litres pour la toilette conventionnelle, ce qui représente 53 % de réduction.

Le dernier type d'équipement économiseur d'eau considéré est la pomme de douche à débit réduit (7,5 L/min) qui, pour un prix comparable à une pomme de douche conventionnelle (17 L/min), permet une économie de 55 % d'eau.

¹⁴⁰ <http://www.transitionenergetique.gouv.qc.ca/mon-habitation/conseils-pratiques/eau-chaude/#.XDjJ31xKhPY>

¹⁴¹ <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr>

¹⁴² <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr>

¹⁴³ <http://www.transitionenergetique.gouv.qc.ca/mon-habitation/conseils-pratiques/eau-chaude/#.XDjJ31xKhPY>

Récupération de l'eau de pluie

La deuxième piste de solution retenue pour le secteur résidentiel est un système de récupération de l'eau de pluie. Ce type de système nécessite des investissements variant entre 5 000 \$ et 10 000 \$. La majorité des dépenses sont reliées à l'achat d'équipements (réservoir, pompe, filtre, etc.) et aux travaux d'excavation nécessaires pour leur installation. Dans la mesure du possible, il est préférable de prévoir l'installation du système avant la construction de la maison ou lors de travaux de rénovation. Tout dépendant de la grosseur du réservoir, qui varie entre 1 200 et 9 000 L, un

système de récupération de l'eau de pluie peut réduire la consommation d'eau potable de 30 à 80 % par foyer. L'eau récupérée peut être utilisée pour les usages extérieurs, les toilettes et la laveuse.

Système de récupération de l'eau de pluie – secteur résidentiel



Source : Econau <http://econeau.com/>

SECTEUR INDUSTRIEL

Pour le secteur industriel, trois pistes de solutions potentielles ont été suggérées : réutiliser l'eau de pluie, optimiser les procédés ainsi que récupérer les rejets des industries.

Réutilisation de l'eau de pluie

La réutilisation de l'eau de pluie est la solution identifiée par le plus grand nombre d'intervenants pour le secteur industriel. Tout comme pour le secteur résidentiel, l'installation de systèmes permettant de récupérer l'eau de pluie nécessite des investissements importants pour enfouir les réservoirs et créer le réseau de conduite permettant d'utiliser cette réserve. La quantité d'eau pouvant être récupérée varie selon les dimensions des toits des bâtiments, ce qui, ultimement, a une incidence sur l'économie en eau potentielle.

Optimisation des procédés

La deuxième solution proposée vise à optimiser les procédés de production ou les équipements industriels dans le but de diminuer la consommation d'eau. Comme les scénarios d'optimisation changent d'une industrie à l'autre, il est difficile d'évaluer leurs impacts sur les besoins en eau.

Récupérer des rejets des industries

La troisième solution met de l'avant un système de récupération de l'eau rejetée par une industrie pour l'utiliser comme intrant dans une autre. Cependant, les standards de qualité et de quantité d'eau auxquels doivent répondre les industriels peuvent rapidement devenir limitants. En effet, un volume d'eau insuffisant rendrait inutilisable ce genre de système, et une mauvaise qualité d'eau impliquerait des coûts de traitement importants posant un frein majeur à l'adoption. Une évaluation plus en profondeur de ce type de système apparaît nécessaire pour mieux évaluer l'intégration de cette pratique dans le procédé de production.

SECTEUR AGRICOLE

Pour le secteur agricole, les études réalisées jusqu'ici au Québec tendent à montrer qu'il n'existe pas de pistes de solution pour réduire de manière significative les besoins en eau¹⁴⁴. En effet, si plusieurs pistes d'amélioration ont été identifiées dans les différentes études réalisées par l'IRDA¹⁴⁵, la majorité de celles-ci vise à mieux positionner les irrigations pour qu'elles correspondent aux besoins des plantes et à la capacité du sol à retenir l'eau, de manière à limiter les pertes. Cependant, les observations montrent que les volumes actuellement appliqués par les producteurs sont souvent sous-optimaux par rapport aux besoins des cultures. Ainsi, une meilleure régie de l'irrigation conduit souvent à une augmentation de la productivité du champ, et non à une réduction du besoin total en eau par unité de surface (voir le chapitre 7). À noter que l'IRDA travaille actuellement à développer de nouvelles régies des cultures pour augmenter l'efficacité de l'eau de pluie, ce qui pourrait, à moyen terme, permettre de réduire les besoins en eau d'irrigation¹⁴⁶. Cependant, ces systèmes nécessitent de profondes modifications des méthodes de culture, ce qui complexifie leur mise en œuvre pratique (notamment en matière de machinerie). Davantage de recherches doivent donc être menées pour identifier des pistes crédibles pour réduire les besoins en eau. Compte tenu de ce contexte, nous n'avons donc pas réalisé d'hypothèses concernant d'éventuelles économies d'eau.

9.1.6 ÉVOLUTION DES BESOINS FUTURS EN EAU SELON TROIS SCÉNARIOS

L'évolution des besoins en eau de Saint-Rémi à l'horizon de 2050 a été quantifiée en tenant compte des trois scénarios développés par les participants lors du premier atelier de travail. Le portrait global de ces scénarios est présenté au Tableau 9.5.

¹⁴⁴ Boivin, C., J. Vallée, P. Deschênes, M. Guillou, D. Bergeron. 2016. « Caractérisation de l'usage de l'eau en irrigation ». IRDA. 38 p.

¹⁴⁵ C. Boivin, communication personnelle.

¹⁴⁶ Vallée, J., C. Boivin, D. Bergeron, A. Lamontagne. 2019. « Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau de pluie et d'irrigation par la culture : intervenir dans le système cultural de la pomme de terre ». IRDA. 40 p.

Vallée, J., C. Boivin, D. Bergeron, A. Lamontagne. 2019. « Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau de pluie et d'irrigation par la culture : intervenir dans le système cultural de la fraise ». IRDA. 40 p.

Tableau 9.5

Variation des besoins en eau attendue par secteur, selon les trois scénarios de Saint-Rémi en 2050

	SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2	SCÉNARIO 3
POPULATION	12 000	10 000	15 000
RÉSIDENTIELLE	Baisse de la consommation d'eau par habitant, car sensibilisation et subventions pour l'économiseur d'eau et les systèmes de récupération d'eau de pluie.	Légère baisse de la consommation par habitant, car il y a une sensibilisation modérée.	Légère diminution des besoins en eau par habitant, car sensibilisation modérée.
INDUSTRIELLE	Légère hausse des besoins, car développement économique limité.	Forte hausse des besoins, car développement économique important.	Hausse importante des besoins, car développement important des activités économiques.
AGRICOLE	Superficies cultivées stables, mais hausse des besoins par unité de surface.	Besoin à la hausse, car augmentation importante des superficies cultivées et des changements climatiques.	Augmentation des besoins, car hausse modérée des superficies irriguées.

MÉTHODOLOGIE

Secteur résidentiel

Rappelons que pour le secteur résidentiel, deux solutions ont été retenues pour diminuer la consommation d'eau par les citoyens. La première propose de remplacer les équipements traditionnels par des équipements économiseurs d'eau. La deuxième solution met de l'avant l'utilisation de système de récupération de l'eau de pluie.

En fonction des renseignements qualitatifs contenus dans les scénarios, nous avons été en mesure d'estimer une proportion de la population qui utilisera ces équipements en 2050 (Tableau 9.6). Afin d'obtenir l'évaluation la plus réaliste possible, nous avons aussi considéré dans nos calculs qu'une certaine proportion de la population utilisait déjà des équipements économiseurs d'eau à la maison.

Tableau 9.6
Proportion de la population utilisatrice d'équipements économes en 2050

Équipements économiseurs d'eau	% d'utilisateurs par scénario		
	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Laveuses frontales homologuées <i>Energy Star</i>	50	20	20
Chasses d'eau double (3 à 6 L)	80	20	20
Pomme de douche économe	50	20	20

Les données utilisées pour effectuer les calculs sont 1) la consommation d'eau moyenne au Québec (216 L/pers/j) (voir la section 3.1) et 2) le pourcentage et le volume d'eau utilisés par les équipements traditionnels et économes.

À ces équipements, nous avons ajouté des réductions d'eau provenant de l'installation de système de récupération de l'eau de pluie résidentielle. Les systèmes de récupération de l'eau de pluie permettraient de réduire la consommation d'eau potable de 30 à 80 % dans les foyers¹⁴⁷. Pour calculer les réductions possibles de prélèvements d'eau potable pour chaque scénario, nous avons fait l'hypothèse que l'utilisation de l'eau de pluie pourrait remplacer en totalité l'eau qui alimente les toilettes et les usages extérieurs (piscine, pelouse, voiture, etc.). Nos calculs sont basés sur une période de 7 mois par année, soit d'avril à octobre. Les mois d'hiver sont exclus, car cela nécessiterait des systèmes plus performants et plus dispendieux qui incluent le chauffage du réservoir d'eau. Nous avons posé l'hypothèse que c'est entre 10 et 20 % de la population qui investira dans ce type d'installation en 2050.

Secteur industriel

L'évaluation des prélèvements industriels pour les trois scénarios s'est basée sur les renseignements fournis par les trois plus grands préleveurs d'eau de la municipalité. Pour des raisons de confidentialité, l'anonymat a été conservé. Le Tableau 9.7 présente les renseignements agrégés.

Tableau 9.7
Sommaire des réponses des industries

Volume entrant actuel (m ³ /an)	Volume sortant actuel (m ³ /an)	Augmentation des besoins en eau futurs (%)
247 546	218 628	160

Le questionnaire abordait la qualité et le volume d'eau requis pour opérer, la qualité et le volume de l'eau rejeté, le lieu de rejet, la vision du développement de l'entreprise d'ici 2050 concernant les augmentations des volumes d'eau nécessaires et les économies possibles en raison des nouveaux procédés ou technologies. Les réponses ont permis de procéder à une évaluation plus précise des prélèvements au niveau municipal et d'analyser des options d'économie d'eau (améliorations

¹⁴⁷ <http://econeau.com/solution-durable>

techniques ou technologiques, utilisation de l'eau de pluie et recyclage de l'eau provenant d'un autre secteur [résidentiel ou d'une autre industrie]).

Les trois scénarios

Les calculs sont basés sur la variation de l'évolution des besoins en eau des industries et en considérant ou non certaines solutions d'économie d'eau. Le scénario 1 est un cas où les besoins se stabilisent en raison d'une limitation importante de la ressource en eau. Les industries réussissent à atteindre une augmentation de leur production de 10 % de celle maximale prévue. Le scénario 2 est un cas où il n'y a aucune limitation liée à la ressource et qu'aucun effort n'est fait pour diminuer la consommation en eau. L'absence de limites leur permet ainsi d'atteindre leurs objectifs de production (de doubler à tripler la production selon leurs réponses). Finalement, pour le scénario 3, seulement la moitié de l'augmentation de la production est atteinte, et il y a un investissement important de leur part pour optimiser leurs procédés et intégrer un système de récupération d'eau de pluie.

Économies d'eau par améliorations technologiques

Les améliorations possibles sont propres à chacune des industries selon leur milieu d'activité et la situation qui leur est propre. Il semble qu'il soit possible d'économiser des volumes de l'ordre de 76 000 m³/an, soit 19 % des besoins actuels totaux.

Utilisation de l'eau de pluie

L'utilisation de l'eau de pluie est quant à elle évaluée en se basant sur des systèmes de récupération de l'eau utilisés aussi dans le secteur résidentiel¹⁴⁸. Le volume d'eau de pluie associée à chaque industrie est calculé par un prorata avec la superficie de toit moyen. Le volume ainsi obtenu est de 8 600 m³/an, soit 3 % des besoins actuels totaux.

Recyclage de l'eau

La possibilité de recycler l'eau a été évaluée d'abord au plan qualitatif, c'est-à-dire en déterminant si la qualité de l'eau nécessaire pour les opérations de l'un des 3 joueurs industriels pouvait être satisfaite par les rejets d'une autre. Ce n'était le cas pour aucun des joueurs; un traitement minimal de l'eau devant être réalisé. Par contre, l'eau issue du système de traitement des eaux usées de la ville pourrait avoir une qualité adéquate et permettrait de fournir un certain volume d'eau, moyennant un traitement additionnel à celui qui est réalisé actuellement. Basé sur les rejets du système d'épuration moyen donné par la ville, le volume annuel correspondrait à 1 745 000 m³. Ce volume surpasserait d'environ 275 000 m³/an les besoins pour le réseau municipal. L'idée de créer un système fermé sans aucun apport en eau externe demeure toutefois peu probable et nécessite plus d'analyses pour en déterminer la viabilité. De plus, comme la qualité de l'eau est l'enjeu principal, il en découlerait des coûts importants à l'établissement pour l'installation d'un système de traitement pouvant fournir une qualité adéquate. Pour ces deux raisons, le recyclage de l'eau par cette méthode n'a pas été intégré dans les scénarios.

Secteur commercial et institutionnel (CI)

Les volumes quotidiens correspondants aux consommations par habitant dans le secteur des CI sont évalués en divisant le volume distribué par le réseau d'aqueduc duquel a été soustrait le volume destiné

¹⁴⁸ <http://econeau.com/>

à l'usage résidentiel par la population municipale (voir la section 3.3.2). Le coefficient de consommation pour les CI atteint ainsi 177 L/pers/j.

Nous posons l'hypothèse que la consommation par habitant dans le secteur des CI suit, dans les différents scénarios, les tendances de ceux du secteur résidentiel.

Secteur agricole

Actuellement, les besoins en eau pour les activités agricoles représentent environ 560 000 m³ par an. Voici les principales cultures irriguées à Saint-Rémi (en matière de volume, et selon nos estimations) : les laitues, les tomates destinées au marché frais, les choux, les brocolis, les poivrons, les plantes vivaces en conteneurs et les cultures de serres. Ces cultures représenteraient 89 % des prélèvements d'eau pour l'irrigation sur le territoire de Saint-Rémi (voir le Tableau 9.8).

Plusieurs facteurs d'évolutions influençant les besoins en eau ont été considérés :

- Le premier facteur considéré représente les superficies cultivées dans les différentes productions, qui évolueront dans le futur. Pour réaliser des hypothèses sur ces évolutions de superficies, nous nous sommes basées sur les tendances passées, décrites dans le chapitre 6 de ce rapport. Pour le scénario 1, nous avons considéré que les superficies cultivées en légumes nécessitant de l'irrigation resteraient stables. Dans le scénario 2, nous avons fait l'hypothèse de fortes augmentations des superficies en légumes qui potentiellement nécessiteraient de l'irrigation, au détriment des grandes cultures. Enfin, dans le scénario 3, nous avons fait des hypothèses de croissance moyenne des superficies (voir le Tableau 9.8).
- Le second facteur considéré représente les changements climatiques, qui ont deux incidences : d'une part, l'augmentation des besoins en eau d'irrigation par unité de surface, du fait principalement de la hausse de l'évapotranspiration, et d'autre part la hausse des superficies irriguées. Cette dernière témoigne du fait qu'un nombre croissant de producteurs s'équipe de système d'irrigation avec la nécessité d'irriguer davantage des cultures par champ. Ces deux facteurs conjugués amènent à une augmentation de la consommation unitaire (en m³/ha/an) pour chaque culture, présentée dans le Tableau 9.8.

Tableau 9.8
Sommaire des prélèvements en eau actuel pour l'irrigation des cultures

Cultures	Superficie actuelle (ha)	Consommation actuelle (m ³ /ha/an)	Volume total annuel (m ³)	% du volume	Superficie scénario 2 (ha)	Superficie scénario 3 (ha)	Consommation future (m ³ /ha/an)	Vol. total scénario 1 (m ³ /an)	Vol. total scénario 2 (m ³ /an)	Vol. total scénario 3 (m ³ /an)
Laitues	344	600	206 316	37	430	378	701	241 046	301 307	265 150
Tomates marché frais	71	1200	84 936	15	88	78	1490	105 462	131 828	116 008
Choux	194	250	48 415	9	290	242	395	76 496	114 744	95 620
Brocolis	132	250	33 000	6	198	165	395	52 140	78 210	65 175
Poivrons	27	1200	32 196	6	30	28	1554	41 694	45 863	43 779
Plantes vivaces et rosiers conteneur	1	35 000	30 450	5	2	1	35 336	30 742	53 799	38 428
Potées fleuries serre	5	6311	29 663	5	6	5	6311	29 663	37 079	32 629
Fleurs annuelles serre	7	2927	20 576	4	9	8	2927	20 576	25 720	22 634
Plants légumes caissettes serre	2	5105	11 281	2	4	3	5105	11 281	19 742	14 102
Oignons secs	83	125	10 354	2	91	87	270	22 364	24 601	23 482
Concombres marché frais	52	140	7280	1	65	57	375	19 500	24 375	21 450
Autres cultures serre	1	9419	6311	1	1	1	9419	6311	7888	6942
Tomates serre	1	9419	6216	1	1	1	9419	6216	12 433	10 879
Betteraves potagères	45	125	5593	1	67	56	270	12 080	18 120	15 100
Melons et cantaloups	34	150	5121	1	51	43	318	10 857	16 285	13 571
Plantes vivaces serre	1	4438	4704	1	1	1	4438	4704	5880	5175
Citrouilles, courges et courgettes	78	60	4703	1	118	98	142	11 131	16 697	13 914
Concombres serre	0	9419	3297	1	1	1	9419	3297	6593	5769
Choux-fleurs	8	250	1950	0	12	10	395	3081	4622	3851
Pommiers nains	3	540	1620	0	5	4	812	2436	4263	3045
Maïs sucré	93	12	1119	0	140	117	22	2051	3076	2563
Fraises convention. et haute densité	2	430	860	0	2	2	697	1394	1533	1464
Fraises automne	0	1400	560	0	0	0	1754	702	772	737
Pommiers semi-nains	6	66	427	0	8	7	1210	7829	10 177	8612
Plantes vertes serre	0	7601	304	0	0	0	7601	304	380	334
Carottes	15	13	190	0	17	16	27	410	451	431
Laitues serre	0	8786	176	0	0	0	8786	176	351	307
Framboises conventionnelles	1	300	150	0	1	1	646	323	404	339
Oignons verts	2	75	113	0	2	2	157	236	259	247
Pois	18	5	91	0	20	19	5	91	100	96
TOTAUX	1225	70 616	557 971	100%	1660	1429	75 060	724 592	967 552	831 832

RÉSULTATS

Scénario 1

Pour le secteur résidentiel, la moitié des résidents utilisent des laveuses frontales. De plus, en vertu des exigences du chapitre de la plomberie du code de construction du Québec¹⁴⁹, la mesure 2.6.1.6 *Dispositif de chasse* limite quant à elle la consommation d'eau des chasses de toilettes à 6 litres par chasse. Nous pouvons donc nous attendre à ce qu'en 2050 la grande majorité des foyers (80 %) ait des toilettes à chasse double (3 à 6 L). Aussi, nous posons l'hypothèse que la moitié de la population utilisera des pommeaux de douche économes. L'augmentation de l'utilisation de tels équipements amènera ainsi à une réduction de la consommation en eau par jour par personne. La consommation passerait de 216 à 169 L/pers/j. Avec cette diminution de la consommation individuelle et l'augmentation de la population passant de 8 500 à 12 000 habitants, la consommation d'eau passerait de 670 599 à 739 908 m³/an, soit une augmentation de 10 %.

Pour le secteur industriel, les besoins seraient stabilisés. Les développements industriels seraient limités par l'apport en eau et il n'y aurait qu'une augmentation limitée de la production. Cette augmentation représenterait une augmentation des prélèvements de 1 %, soit un volume de 287 230 m³/an au lieu de 247 546 m³/an.

La consommation dans le secteur des CI augmenterait, malgré le fait que le coefficient de consommation diminuerait (138 L/pers/j par rapport à 177 L/pers/j). Cette augmentation s'explique par l'augmentation de la population de 141 %, soit de 4 500 habitants. Le prélèvement passe ainsi de 548 203 à 605 276 m³/an, soit une augmentation de la consommation de 10 %.

Finalement, pour le secteur agricole, en raison de l'augmentation des superficies et des volumes nécessaires pour l'irrigation, les volumes passent de 557 971 à 724 592 m³/an, soit une augmentation de 30 %.

L'évolution projetée pour ce scénario représente une augmentation des prélèvements de 16 % par rapport aux prélèvements actuels (Tableau 9.9). Par rapport à la recharge, ces prélèvements représentent une utilisation de 30 % de la ressource (par rapport à 26 % pour les prélèvements actuels). Le Tableau 9.10 présente l'augmentation des prélèvements selon les secteurs ainsi que la proportion des prélèvements qu'ils représentent.

Tableau 9.9
Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé

	2019	2050	Δ par rapport à actuel
Prélèvement TOTAL (m ³ /an)	2 024 319	2 357 006	+16 %
Recharge	7 905 068 m ³ /an		
% de la recharge utilisée	26	30	+4 %

¹⁴⁹ <https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/modifications-du-quebec-au-code-national-plomberie-2010.pdf>

Tableau 9.10
Changement dans la répartition entre les usagers

	Évolution du volume (m ³)	Actuel	Scénario 1
Résidentiel	+69 309	33 %	31 %
CI	+57 073	27 %	26 %
Industriel	+39 684	12 %	12 %
Agricole	+166 621	28 %	31 %

Scénario 2

Pour le scénario 2, peu d'efforts et de mesures de la part de la municipalité sont mis en place pour encourager l'installation d'équipements économiseurs ou recycleurs d'eau. Il en tient au bon vouloir de la population de changer leur comportement vis-à-vis la gestion de cette ressource. Nous avons considéré que les différents équipements économiseurs d'eau ne sont utilisés que par 20 % des résidents. La consommation passe ainsi de 216 à 196 L/pers/j. De leur côté, les systèmes de récupération de l'eau n'ont pas gagné en popularité, et seulement 20 % de la population (9 % des foyers) les ont adoptés. Cet ajout permet de réduire encore un peu la consommation à 191 L/pers/j. Avec cette diminution de la consommation individuelle et l'augmentation de la population passant de 8 500 à 10 000 habitants, la consommation d'eau passe de 670 599 à 696 904 m³/an, soit une augmentation de 4 %.

Le deuxième scénario représente un fort développement dans le milieu industriel. Leurs objectifs de croissance sont atteints et il n'y a aucune limite face à la disponibilité de l'eau. Cependant, les améliorations potentielles pour économiser l'eau ne sont pas implantées. Cette croissance industrielle représente une augmentation du prélèvement de 160 %, soit un volume prélevé passant de 247 546 à 644 387 m³/an.

Le CI, avec une consommation correspondant à 88 % des prélèvements actuels pour une population de 10 000 habitants représente un volume annuel de 570 097 m³/an.

Finalement, pour le secteur agricole, l'augmentation des superficies et des volumes nécessaires pour l'irrigation fait passer les volumes de 557 971 à 967 552 m³/an, soit une augmentation de 73 %.

L'évolution projetée pour ce scénario représente une augmentation des prélèvements de 42 % par rapport aux prélèvements actuels (Tableau 9.11). Par rapport à la recharge, ces prélèvements représentent une utilisation de 36 % de la ressource par rapport à 26 % pour les prélèvements actuels. Le Tableau 9.12 présente l'augmentation des prélèvements selon les secteurs ainsi que la proportion des prélèvements qu'ils représentent.

Tableau 9.11
Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé

	2019	2050	Δ par rapport à actuel
Prélèvement TOTAL (m ³ /an)	2 024 319	2 878 941	+42 %
Recharge	7 905 068 m ³ /an		
% de la recharge utilisée	26	36	+10 %

Tableau 9.12
Changement dans la répartition entre les usagers

	Évolution du volume (m ³)	Actuel	Scénario 2
Résidentiel	+26 305	33 %	24 %
CI	+21 894	27 %	20 %
Industriel	+396 841	12 %	22 %
Agricole	+409 582	28 %	34 %

Scénario 3

Le dernier scénario présente la plus grande augmentation de la population, mais, pour le résidentiel, il y a encore une fois très peu de mesures et d'incitatifs mis en place pour réduire la consommation d'eau. À l'image du scénario 2, nous avons pris en compte qu'un minimum de 20 % de la population aura tout de même mis en place des bonnes pratiques de gestion de l'eau en installant des équipements économiseurs d'eau. La consommation passe ainsi de 216 à 196 L/pers/j. De leur côté, les systèmes de récupération de l'eau n'ont pas gagné en popularité et seulement 20 % (9 % des foyers) de la population les ont adoptés. Cet ajout permet de réduire encore un peu la consommation à 191 L/pers/j. Avec cette diminution de la consommation individuelle et l'augmentation de la population passant de 8 500 à 15 000 habitants, la consommation d'eau passe de 670 599 à 1 045 356 m³/an, soit une augmentation de 56 %.

Pour le secteur industriel, le troisième scénario représente une situation où le secteur industriel fait des efforts importants pour réduire sa consommation en eau pour des raisons de limitation des ressources disponibles. Ces efforts se caractérisent par un investissement important dans les améliorations techniques et technologiques et l'utilisation de l'eau de pluie. Avec ces initiatives, les industries réussissent à atteindre la moitié de leurs objectifs d'augmentation de la production. L'optimisation représente une économie totale d'eau d'environ 76 064 m³/an et la récupération de l'eau de pluie permet de procéder à une économie totale d'environ 8 639 m³/an. Ces changements représentent une augmentation du prélèvement de 46 %, soit un volume de 361 264 m³/an.

Le CI, avec une consommation correspondant à 88 % des prélèvements actuels pour une population de 15 000 habitants représente un volume annuel de 855 146 m³/an.

Finalement, pour le secteur agricole, l'augmentation des superficies et des volumes nécessaires pour l'irrigation fait passer les volumes de 557 971 à 831 832 m³/an, soit une augmentation de 49 %.

L'évolution projetée pour ce scénario représente une augmentation des prélèvements de 53 % par rapport aux prélèvements actuels (tableau 9.12). Ces prélèvements représentent une utilisation de 39 % de la recharge par rapport à 26 % pour les prélèvements actuels. Le Tableau 9.14 présente l'augmentation des prélèvements selon les secteurs ainsi que la proportion des prélèvements qu'ils représentent.

Tableau 9.13
Prélèvement total actuel et futur et pourcentage de la recharge utilisé

	2019	2050	Δ par rapport à actuel
Prélèvement TOTAL (m ³ /an)	2 024 319	3 093 598	+53 %
Recharge	7 905 068 m ³ /an		
% de la recharge utilisée	26	39	+13 %

Tableau 9.14
Changement dans la répartition entre les usagers

	Évolution du volume (m ³)	Actuel	Scénario 3
Résidentiel	374 757	33 %	34 %
CI	306 943	27 %	28 %
Industriel	113 718	12 %	12 %
Agricole	273 861	28 %	27 %

9.1.7 RETOMBÉES DE L'ÉTUDE DE CAS

La démarche d'animation du milieu dans le cadre du projet RADEAU dans la municipalité de Saint-Rémi a contribué à la sensibilisation des intervenants des différents secteurs d'activité sur les enjeux actuels et futurs de la disponibilité à long terme de l'eau souterraine. Les ateliers ont permis une lecture commune de la problématique de la part des différents usagers de l'eau et favorisé la convergence et la concertation dans la recherche de solutions. Les données générées dans le cadre de l'étude de cas fournissent notamment un premier état des lieux détaillé sur l'utilisation respective de l'eau de chaque

secteur d'activité. Il est clairement établi que les trois principaux groupes (résidentiel, ICI et agricole) contribuent tous à une part significative de l'utilisation de l'eau souterraine. Ce constat est mobilisateur et favorable à la concertation des actions, car les actions d'un secteur auront nécessairement des répercussions sur les autres.

Avec les changements climatiques et la croissance de la population, les problématiques d'approvisionnements en eau dans la municipalité de Saint-Rémi risquent de s'amplifier. Le manque d'eau touchera principalement les secteurs résidentiel et industriel. La projection des scénarios de prélèvements en climat futur met en relief la pertinence d'agir dès maintenant pour trouver des solutions, afin d'assurer la disponibilité de l'eau souterraine à long terme dans la municipalité. Des scénarios de prélèvement qui approche les 50 % du taux de recharge de l'aquifère doivent être considérés par les acteurs locaux comme un retentissant signal d'alarme. Le travail d'identification de scénarios de gestion dans le cadre de l'étude, et les projections de leurs effets dans le futur, fournit toutefois des indications bien concrètes de la faisabilité de contenir la problématique. En marge des interventions pour les secteurs résidentiel et agricole, le recyclage des eaux usées dans le réseau d'aqueduc municipal demeure un scénario porteur à long terme, compte tenu des volumes en jeu, bien que cette mesure est complexe à réaliser. La réalisation de l'étude de cas aura contribué à fournir quelques balises en route vers un premier chantier du recyclage des eaux usées à des fins industrielles et résidentielles au Québec.

9.2 LANORAIE

Dans la région de Lanaudière, le bilan régional d'utilisation de l'eau suggérait que plusieurs territoires semblaient à risque de conflit. Néanmoins, l'un d'eux présentait une situation particulièrement vulnérable, soit le territoire agricole situé autour du complexe tourbeux de Lanoraie.

9.2.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

En 2018 et 2019, deux rencontres ont eu lieu avec un groupe d'acteurs régionaux multipartites¹⁵⁰. Une réflexion a été menée avec ce groupe sur les bilans hydriques régionaux (prélèvements et ressources en eau disponibles) et les risques de conflits d'usage de l'eau actuels et pressentis. Compte tenu des évolutions attendues dans l'utilisation de l'eau dans le futur et de la salinité élevée de l'aquifère au roc, qui le rend impropre à l'utilisation, les enjeux de gestion de l'eau concernent essentiellement l'eau de surface et l'aquifère de surface. Plus précisément, les objectifs de l'étude du cas du complexe tourbeux de Lanoraie étaient les suivants :

- Documenter de façon détaillée et précise la situation actuelle des prélèvements en eau effectués dans le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie, et estimer les ressources en eau.
- Réaliser une analyse des répercussions des changements climatiques et des évolutions des différents secteurs de production réalisant des prélèvements d'eau dans le territoire.
- Qualifier ce que représenteraient les évolutions potentielles des risques de conflit d'usage de l'eau dans ce territoire.
- Identifier des pistes de solution pour atténuer l'occurrence et l'intensité de ces conflits, le cas échéant.

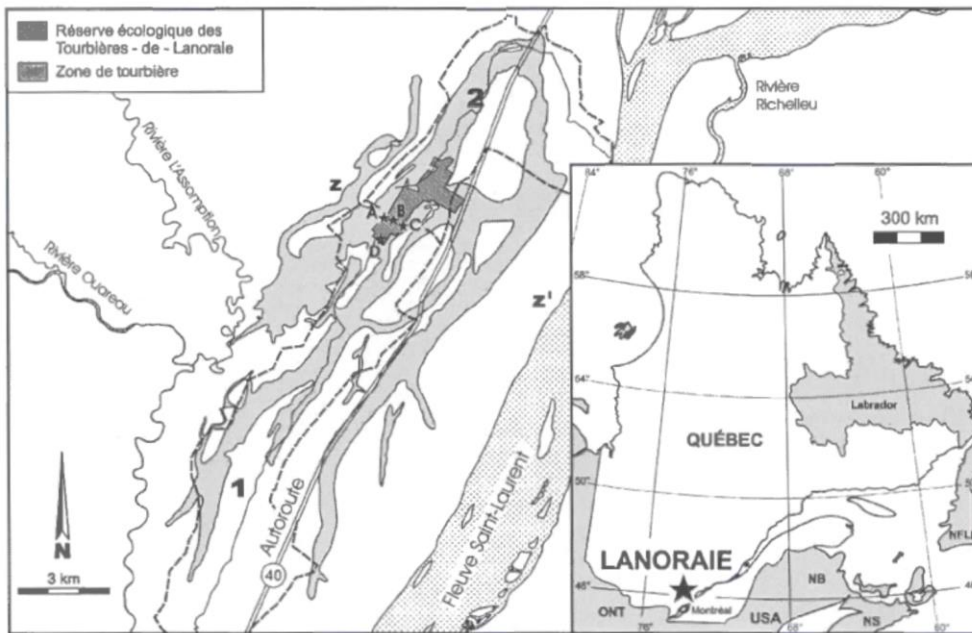
Dans les sections suivantes, nous présentons les résultats de ces analyses ainsi que des échanges qui ont été réalisés avec les acteurs régionaux.

LOCALISATION

Le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie est situé au sud-est de la région de Lanaudière. Le territoire est bordé au sud par le fleuve, et le bassin versant du complexe tourbeux est délimité au nord par la rivière L'Assomption et la rivière Chaloupe (Figure 9.5). Le complexe tourbeux s'étend sur 7 municipalités : Saint-Paul, Saint-Thomas, Lanoraie et Lavaltrie couvrent la majorité de la tourbière alors que celle-ci s'étend légèrement à l'est sur le territoire de Sainte-Geneviève de Berthier et à l'ouest sur le territoire de L'Assomption et de Saint-Sulpice (Figure 9.6). Le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie est estimé à 76 km², alors que la superficie totale du bassin versant est estimée à 364 km².

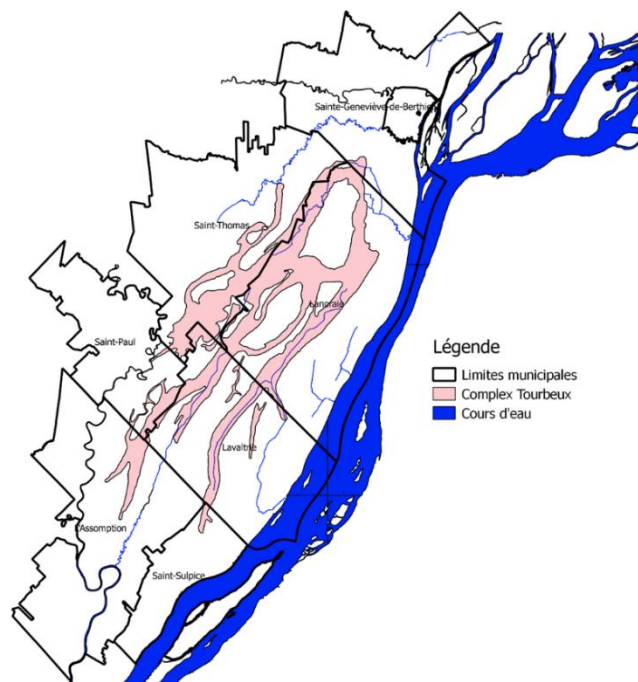
¹⁵⁰ Représentants de la fédération régionale de l'UPA, de la direction régionale du MAPAQ, du club conseil Agriexpert, du Syndicat des producteurs de pommes de terre, de certaines MRC de Lanaudière, d'un OBV et du carrefour industriel et expérimental de Lanaudière.

Figure 9.5
Localisation du complexe tourbeux de Lanoraie



Source : Adapté de Rosa, 2007¹⁵¹

Figure 9.6
Localisation du complexe tourbeux en fonction des territoires municipaux.

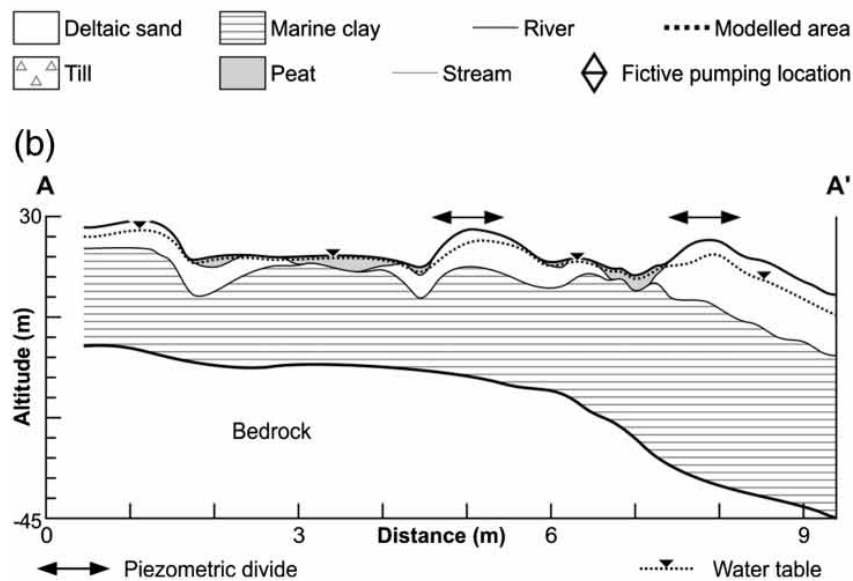


¹⁵¹ Rosa, E. 2007. Caractérisation hydrogéologique du complexe tourbeux de Lanoraie, Québec, Canada. Mémoire de maîtrise en Sciences de la Terre, Université du Québec à Montréal, 105 p.

HYDROGÉOLOGIE

Le complexe tourbeux de Lanoraie présente une situation particulière, héritée des anciens méandres du fleuve Saint-Laurent (Rosa, 2007). Après le retrait de la mer de Champlain, des dépôts de sables se sont accumulés au-dessus d'une épaisse couche d'argile, elle-même au-dessus du roc. Ces dépôts de sables ont été comblés par de la végétation au cours du retrait progressif de l'eau, conduisant à la mise en place du complexe tourbeux. Les coupes transversales présentées dans Bourgault et coll. (2014)¹⁵² représentent cette structure hydrogéologique particulière.

Figure 9.7
Coupe transversale réalisée dans le complexe tourbeux



Source : Bourgault et coll., 2014

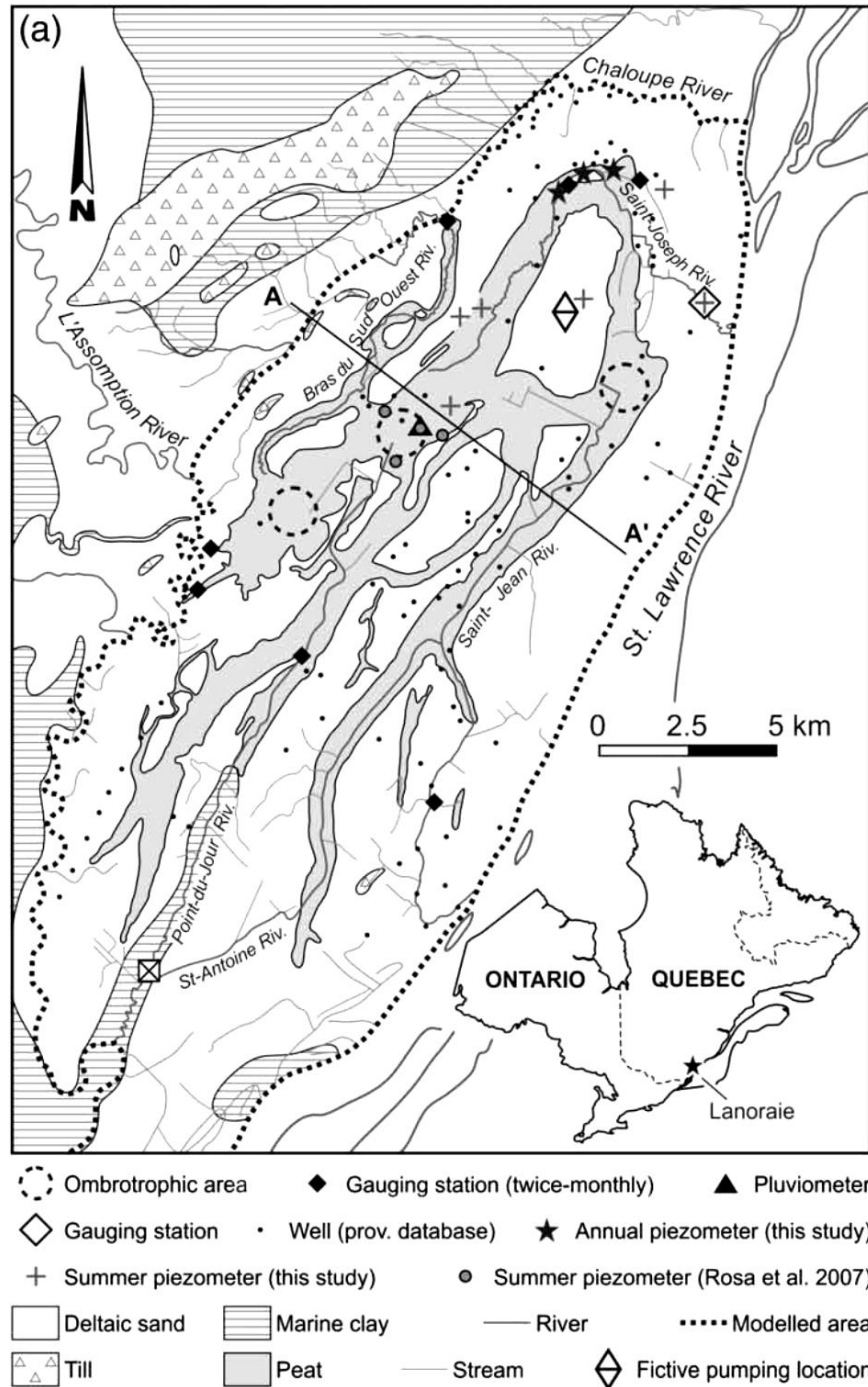
Ce territoire a donc la particularité d'être situé au-dessus d'une couche d'argile étanche. Les sables étant très poreux, ils favorisent un écoulement rapide de l'eau. À l'inverse, la tourbe agit comme une « éponge » et retient beaucoup d'eau. Le territoire est donc relativement isolé d'un point de vue hydrique : l'eau qui se trouve dans la nappe phréatique de surface (aquifère granulaire) provient exclusivement des précipitations, puisque le territoire est positionné en tête de bassin versant. Les cours d'eau qui s'écoulent au travers de ce territoire prennent en effet leur source dans le complexe tourbeux : c'est le cas du ruisseau Bras-du-Sud-Ouest, du ruisseau Saint-Joseph, du ruisseau du Point du Jour, de la rivière Saint-Antoine et de la rivière Saint-Jean, qui sont les exutoires du complexe tourbeux (Figure 9.7).

L'eau des précipitations s'écoule ainsi latéralement pour rejoindre le complexe tourbeux, qui emmagasine une partie de cette eau. En période intense de recharge, la nappe resurgit ponctuellement

¹⁵² Bourgault, M.A., Larocque, M., Roy, M., 2014. Simulation of aquifer-peatland-river interactions under climate change. *Hydrology Research*. 45-3, p. 425-440.

vers les cours d'eau à différents endroits du complexe tourbeux. Enfin, la nappe superficielle poursuit naturellement son cours vers le fleuve (Figure 9.8).

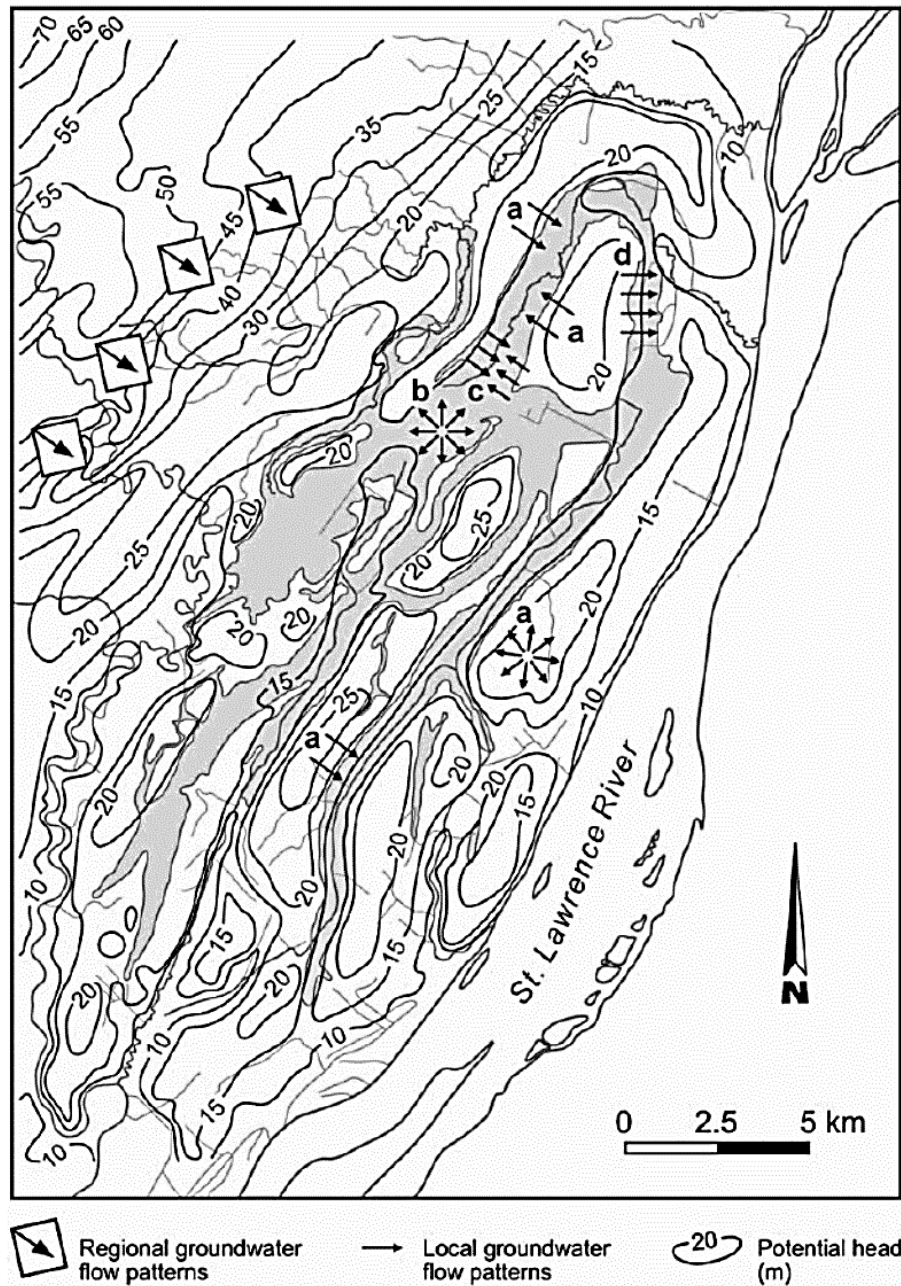
Figure 9.8
Cartographie des exutoires du complexe tourbeux



Source : Bourgault et coll., 2014¹⁵³

¹⁵³ Bourgault, M.A., Larocque, M., Roy, M., 2014. Simulation of aquifer-peatland-river interconnections under climate change. Hydrology Research. 45-3, p. 425-440.

Figure 9.9
Principaux flux d'eau souterraine dans le territoire de la tourbière.



Remarque : Les flèches indiquent le sens d'écoulement. Plusieurs flèches partant d'un même point, sous forme concentrique, indiquent un lieu de résurgence des eaux souterraines.
Source : Bourgault et coll., 2014¹⁵⁴

¹⁵⁴ Bourgault, M.A., Larocque, M., Roy, M., 2014. Simulation of aquifer-peatland-river interconnections under climate change. Hydrology Research. 45-3, p. 425-440.

Différents travaux de drainage souterrain et de surface, d'aménagement (routes, chemin de fer), de déforestation et autres ont entraîné de profondes modifications du régime hydrique du complexe tourbeux (Figure 9.10). Environ 28 % du territoire de ce complexe est jugé perturbé d'un point de vue hydrologique¹⁵⁵. Ces modifications ont pour conséquence d'assécher progressivement le complexe tourbeux, comme en témoignent les changements de végétation observés depuis plus d'une trentaine d'années¹⁵⁶. Ces changements appréhendés pourraient avoir des conséquences importantes, à la fois pour ce milieu riche de biodiversité, mais également pour les activités agricoles qui sont réalisées autour de ce complexe tourbeux, et qui en dépendent notamment pour l'irrigation des cultures.

ACTIVITÉS ET PRÉLÈVEMENTS D'EAU

Deux secteurs d'activité sont responsables des principaux prélèvements dans le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie, soit le secteur agricole et les secteurs résidentiels, industriels, des commerces et des institutions de la municipalité de Lanoraie. En effet, les autres municipalités prélèvent leur eau dans la rivière L'Assomption (cas de Saint Paul et Saint-Thomas) ou dans le fleuve (cas de Lavaltrie). La municipalité de Lanoraie prélève de l'eau par l'intermédiaire des pointes filtrantes situées dans l'aquifère granulaire, en aval du complexe tourbeux. Ce prélèvement représente environ 0,4 million de mètres cubes (M m³) par an.

Autour du complexe tourbeux de Lanoraie, nous avons estimé les superficies irriguées à environ 3 600 ha, représentant des prélèvements annuels de l'ordre de 7,8 M m³ (Tableau 9.15) (pour la méthodologie, voir la section 3.2). Parmi les principales cultures irriguées en matière de superficie, nous retrouvons les pommes de terre, les canneberges et les fraises. Les pommes de terre et les cultures horticoles en conteneurs prélèvent les volumes les plus importants. L'eau prélevée par les producteurs agricoles pour irriguer leurs champs provient en grande partie du complexe tourbeux. La plupart des étangs sont situés à proximité ou dans le complexe tourbeux; ceux-ci se rechargent directement par la nappe phréatique superficielle, dont le niveau est proche de la surface dans le complexe tourbeux. Certains producteurs prélèvent de l'eau directement dans les rivières Saint-Jean et Saint-Antoine ainsi que dans le ruisseau du Point du Jour, par l'intermédiaire des aménagements réalisés dans les années 70 et 80 (barrages, retenues d'eau, etc.)¹⁵⁷. Encore une fois, ces cours d'eau prennent leur source dans le complexe tourbeux.

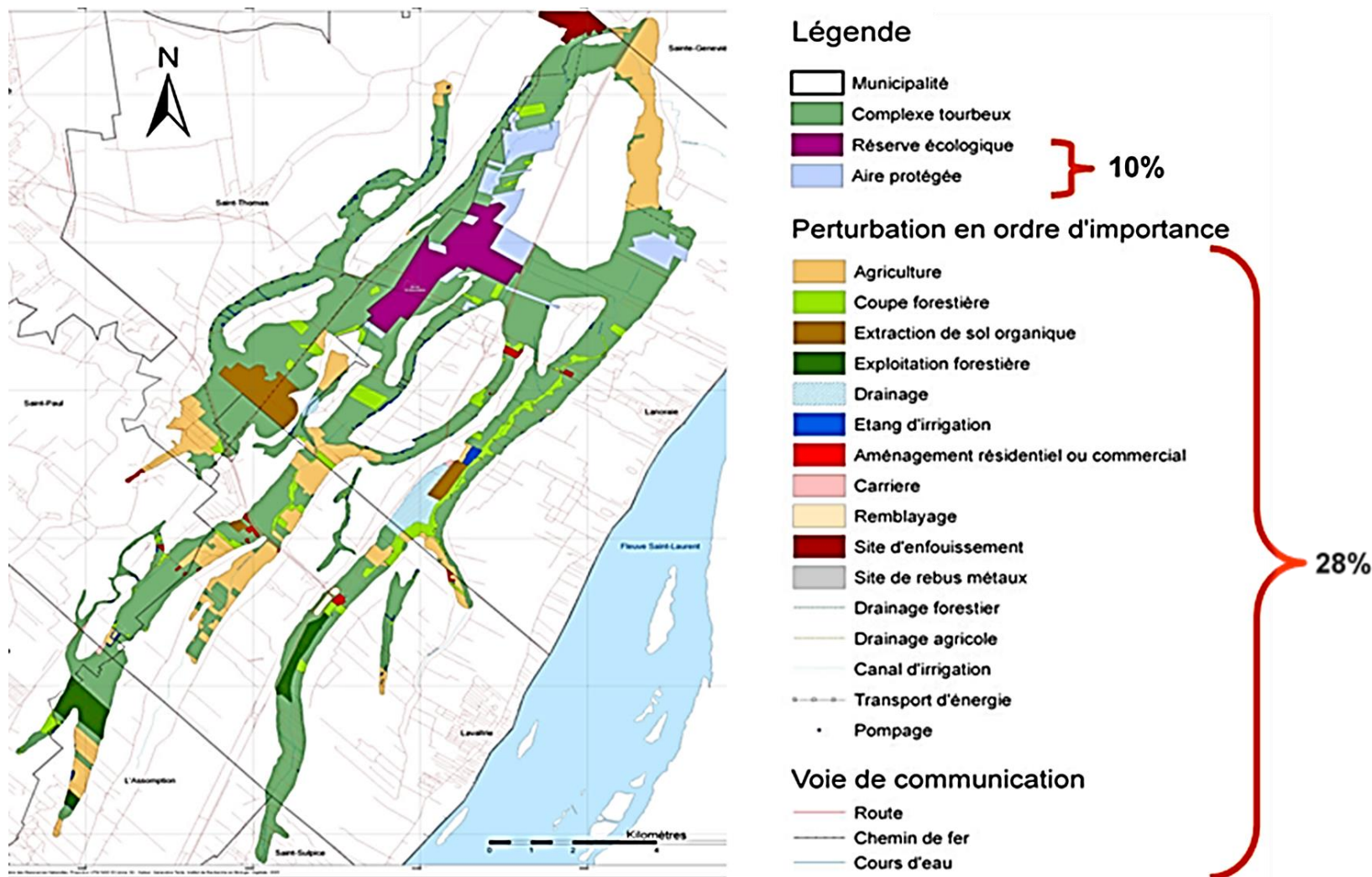
Le Tableau 9.16 rapport de manière plus détaillée, pour chacune des municipalités touchées, l'information sur les volumes d'eau prélevés par type de culture, de même que la part relative au sein de la catégorie et par rapport aux autres usagers municipaux. Par exemple, à St-Thomas, la pomme de terre représente 88 % des prélèvements totaux des végétaux, et ces derniers comptent pour 85 % des prélèvements totaux de la localité. Tableau 9.3

¹⁵⁵ Source : Professeur Marie Larocque, communication personnelle.

¹⁵⁶ Pellerin S., et coll. 2015. Recent vegetation dynamics and hydrological changes in bogs located in an Agricultural Landscape. Wetlands, DOI 10.1007/s13157-015-0726-3.

¹⁵⁷ Technorem, 2008. Acquisition de connaissances sur l'hydrologie, l'approvisionnement en eau et les écosystèmes de la rivière Saint-Jean – Lanaudière. Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, Projet CDAQ #5219.

Figure 9.10
Cartographie des perturbations du complexe tourbeux de Lanoraie



Source : tiré de Tardy et Pellerin, 2006

Tableau 9.15
Superficies cultivées et volumes d'eau prélevés estimés pour la zone d'étude.

Culture	Superficies cultivées (ha)	Prélèvements actuels (m ³ par an)	Proportion des prélèvements
Pommes de terre	3 067	3 680 796	47 %
Plantes en conteneurs	89	3 129 000	40 %
Canneberges	185	648 824	8 %
Fraises	146	195 769	3 %
Autres	140	192 853	2 %
TOTAL	3 627	7 847 242	98 %

Tableau 9.16
Répartition des prélèvements par type de productions agricoles et part relative (%)
par rapport au total des prélèvements de la catégorie et des autres usagers municipaux

	Lanoraie	Lavaltrie	Saint-Paul	Saint-Thomas
VÉGÉTAL				
Grandes cultures				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an) ¹	0	0	0	0
Part relative (%) ²	0	0	0	0
Nombre d'entreprises ³	34	20	27	42
Production serricole				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	13,7	1,1	0,0	0,0
Part relative (%)	0,5	< 0.1	0	0
Nombre d'entreprises	6	< 5	0	0
Fraise				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	5,4	27,6	6,5	4,5
Part relative (%)	0,2	1,0	0,2	0,2
Nombre d'entreprises	< 5	5	< 5	< 5
Petits fruits autre				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	103,4	162,4	125,6	124,3
Part relative (%)	4,4	14,6	11,6	5,7
Nombre d'entreprises	9	6	< 5	6
Pomme de terre				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	747,1	841,4	272,2	1901,0
Part relative (%)	32,0	75,7	25,2	87,8
Nombre d'entreprises	10	7	< 5	10
Maraîcher autre				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	79,6	49,7	1,9	115,5
Part relative (%)	3,4	4,5	0,2	5,3
Nombre d'entreprises	9	5	< 5	13
Plantes en conteneur				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	1382,9	20,0	672,7	17,5
Part relative (%)	59,3	1,8	62,3	0,8
Nombre d'entreprises	< 5	< 5	< 5	< 5
Horticulture autre				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	0,0	9,0	0,0	3,5
Part relative (%)	0	0,8	0	0,2
Nombre d'entreprises	5	< 5	< 5	< 5
TOTAL VÉGÉTAL				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	2332,1	1111,3	1078,9	2166,3
Part municipale (%) ⁴	83,0	39,7	26,1	85,2
Nombre d'entreprises	47	28	28	50
ANIMAL				
Prélèvements (10 ³ m ³ /an)	18,2	8,5	88,3	63,5
Part municipale (%)	0,6	0,3	2,1	2,5
Nombre d'entreprises	10	4	20	23
PISCICOLE				
Part municipale (%)	0	0	0	0
RÉSIDENTIEL				
Part municipale (%)	12,9	38,9	11,3	10,2
ICI RÉSEAU ET HORS RÉSEAU				
Part municipale (%)	3,5	21,0	60,5	2,1

Notes :

1 Les volumes nécessaires à la protection contre le gel et au lavage des légumes ont été omis dans la présentation de ces résultats.

2 Part relative au total des prélèvements des productions végétales.

3 Tel que défini dans les fiches d'enregistrement du MAPAQ.

4 Part relative au total des prélèvements dans la municipalité (résidentiel + ICI réseau + ICI hors réseau + agricole).

ESTIMATION DE LA RECHARGE DE L'AQUIFÈRE GRANULAIRE

La recharge de l'aquifère granulaire du territoire a fait l'objet d'une simulation dans le cadre de l'étude réalisée antérieurement par Technorem (2009)¹⁵⁸. Cette simulation ne couvrait cependant pas l'ensemble du complexe tourbeux, puisque les municipalités de L'Assomption et de Saint-Sulpice n'étaient pas couvertes. Dans l'étude de 2009, la recharge a été estimée à environ 190 mm par an en moyenne sur le territoire (voir la Figure 9.11). Sur une base de volume spécifique, la recharge totale annuelle de l'aquifère pour l'ensemble du territoire du complexe tourbeux est ainsi estimée à plus de 70 M m³.

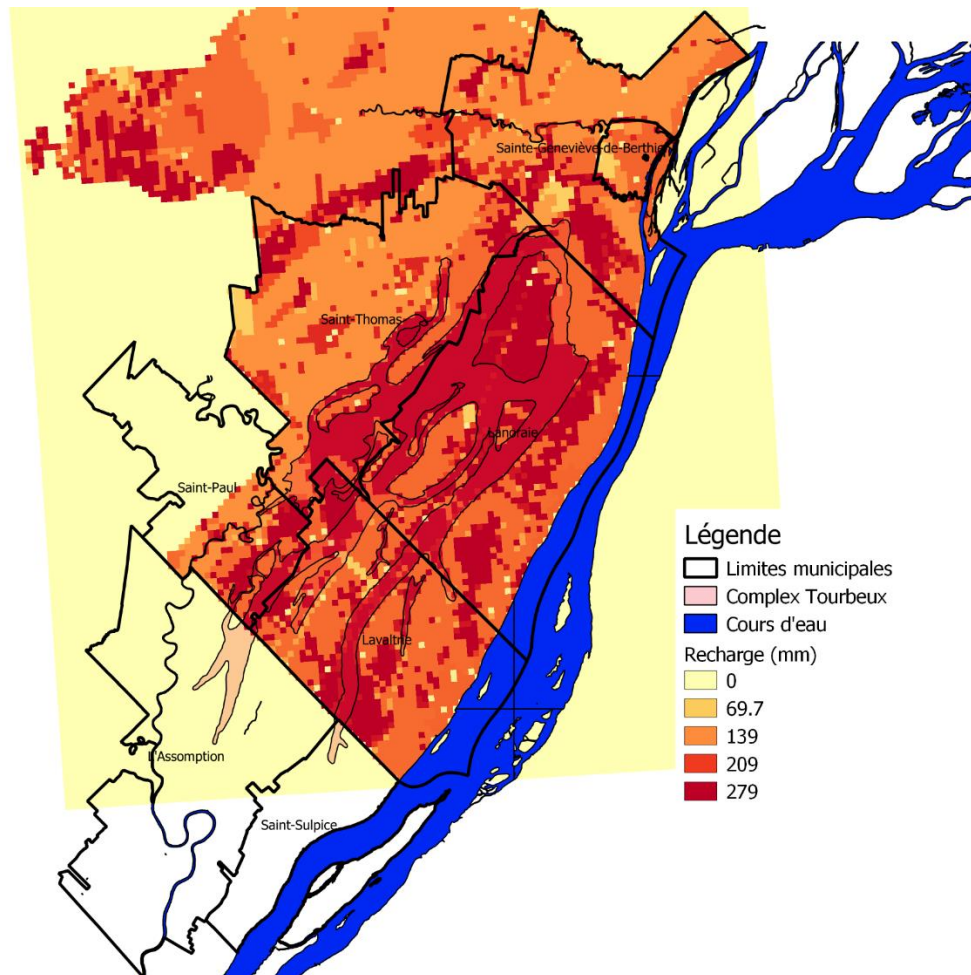
COMPARAISON DES PRÉLÈVEMENTS ET DE LA RECHARGE ANNUELLE

Les prélèvements dans les cours d'eau du territoire (hors fleuve et rivière L'Assomption) et l'aquifère granulaire représenteraient, selon nos estimations, au maximum 7,23 M m³ par an. Les prélèvements représenteraient donc 13 % de la recharge annuelle. Cette valeur semble acceptable au regard du seuil suggéré de 20 % de la recharge annuelle¹⁵⁹. Cependant, des situations problématiques ont été rencontrées à plusieurs reprises, notamment par des producteurs agricoles qui ont vu le niveau d'eau de leurs étangs diminuer à quelques reprises au cours de la dernière décennie. Des craintes ont par ailleurs été formulées quant à l'évolution du niveau d'eau dans le complexe tourbeux en réponse aux changements climatiques.

¹⁵⁸ TechnoRem, 2009, Cartographie hydrogéologique régionale de la zone de production maraîchère des MRC de Joliette et d'Autray, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, Projet CDAQ #5040.

¹⁵⁹ René Lefebvre, INRS-ÉTTÉ, communication personnelle

Figure 9.2
Estimation de la recharge annuelle de l'aquifère granulaire.



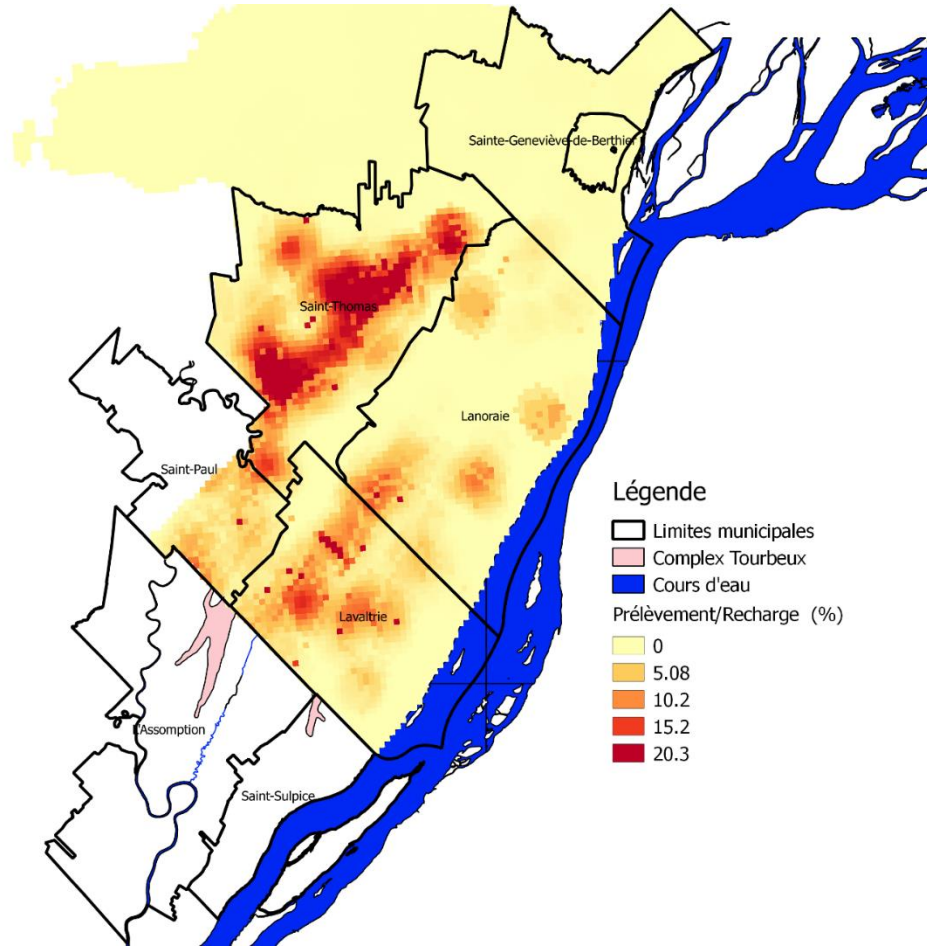
Source : Technorem, 2009

LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS

Sur la base des données des cultures assurées de la Financière Agricole du Québec, la localisation approximative des prélèvements a été projetée afin d'évaluer si les pénuries d'eau dans les étangs pouvaient être associées à la distribution (concentrée) des prélèvements dans l'espace. La Figure 9.3 illustre la projection spatiale résultante des prélèvements, exprimée par rapport au taux de recharge de l'aquifère granulaire. Cette analyse spatiale met en relief le secteur nord du complexe tourbeux, dans la municipalité de Saint-Thomas, où le ratio des prélèvements sur la recharge est le plus important¹⁶⁰.

¹⁶⁰ Cette carte a été obtenue en identifiant la localisation des parcelles sur cinq années (2014 à 2018) et en associant à chaque parcelle un volume annuel prélevé sur la base de nos références de prélèvements.

Figure 9.3
Localisation des zones présentant les prélèvements les plus importants
par rapport à la recharge de l'aquifère granulaire.

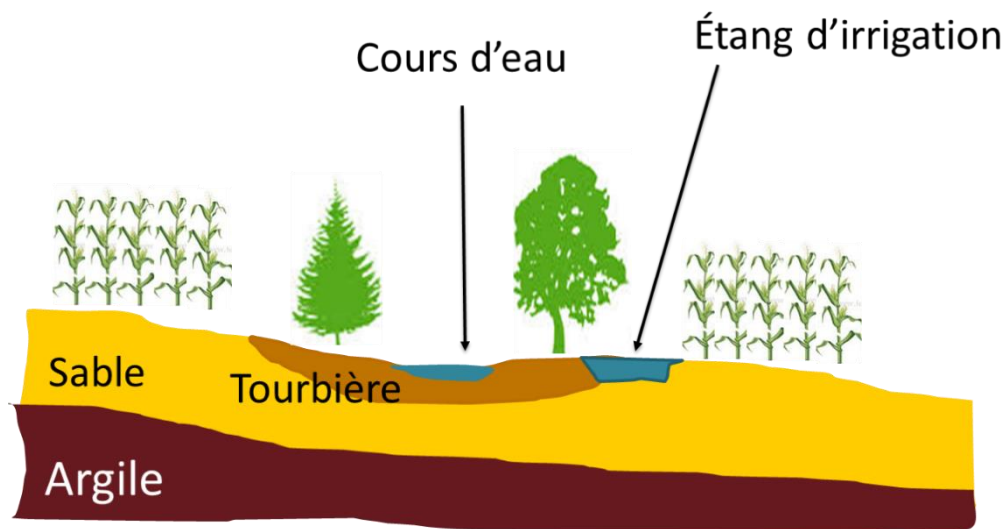


9.2.2 BILAN HYDRIQUE ACTUEL ET FUTUR DU TERRITOIRE DU COMPLEXE TOURBEUX DE LANORAIE

BILAN HYDRIQUE ACTUEL

Sur la base des renseignements présentés dans l'étude de Bourgault et coll. (2014)¹⁶¹ et des données météorologiques de la station météorologique d'Environnement Canada de L'Assomption, le bilan hydrique annuel moyen historique du territoire du complexe tourbeux a été projeté selon les bases conceptuelles illustrées à la Figure 9.4.

Figure 9.4
Représentation schématique d'une coupe transversale du complexe tourbeux.



La Figure 9.5 présente le bilan hydrique historique sommaire généré pour le complexe tourbeux de Lanoraie. Les précipitations annuelles historiques pour la période 1981-2010 sont de l'ordre moyen de 1036 mm. L'évapotranspiration moyenne pour le territoire est estimée à 590 mm (Bourgault et coll., 2014). Le ruissellement de surface est estimé à 150 mm par an selon les simulations réalisées pour le bassin versant de la rivière David (Michaud et coll., 2018). Si nous déduisons des précipitations les deux autres termes du bilan (ruissellement et évapotranspiration), l'eau qui s'infiltre dans les sols et qui rejoint l'aquifère granulaire représenterait donc en moyenne 296 mm par an. Cette dernière serait en partie exportée par l'intermédiaire des cours d'eau, pour une hauteur projetée de 163 mm¹⁶². Les systèmes de drainage et d'irrigation cumuleraient ainsi un volume spécifique de l'ordre de 93 mm par an, alors que les écoulements latéraux vers le fleuve représenteraient 40 mm (Figure 9.6).

¹⁶¹ Bourgault, M.A., Larocque, M., Roy, M., 2014. Simulation of aquifer-peatland-river interconnections under climate change. *Hydrology Research*. 45-3, p. 425-440.

¹⁶² Résurgence, estimée à partir des débits annuels présentés dans Bourgault et coll., 2014

Figure 9.5
Représentation schématique du bilan hydrique annuel.

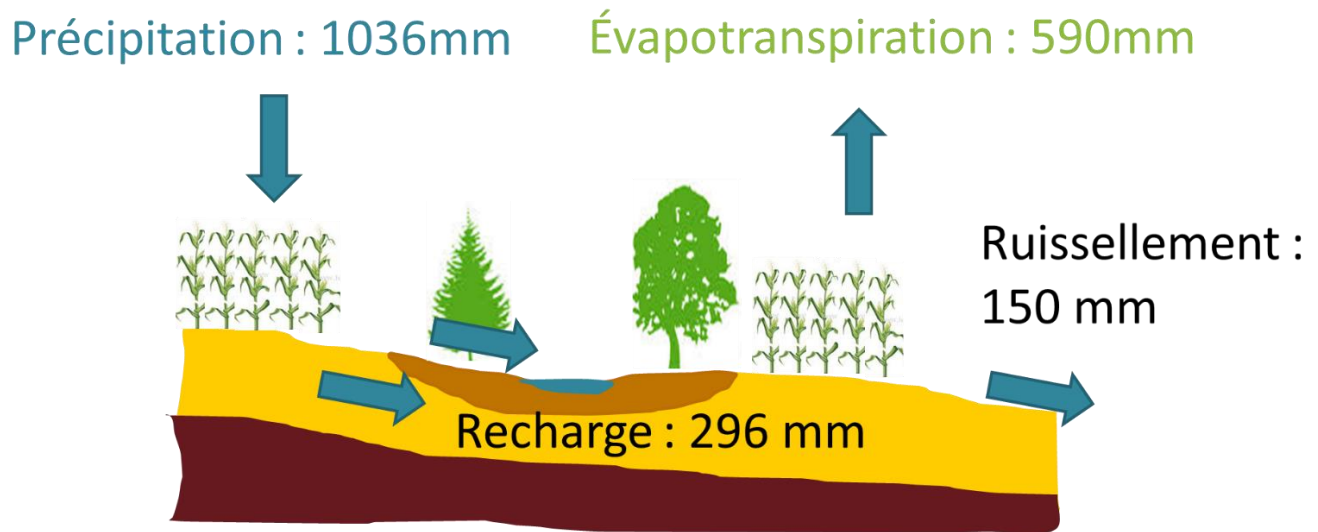
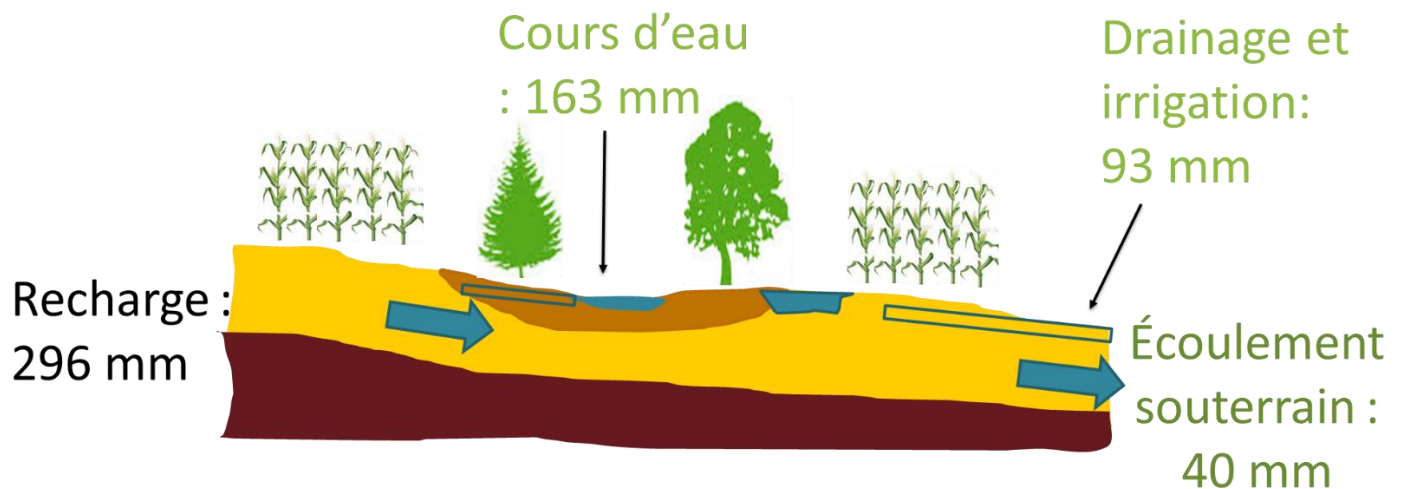


Figure 9.6
Représentation schématique du devenir de l'eau infiltrée dans l'aquifère granulaire sur une base annuelle.



MÉTAMODÉLISATION DU BILAN HYDRIQUE MENSUEL

Afin de pouvoir analyser ce bilan hydrique moyen de manière dynamique au cours de l'année, nous avons analysé les sorties du modèle SWAT-MAC appliqué au bassin versant de la rivière David (Michaud et coll., 2018), un territoire situé à moins d'une cinquantaine de kilomètres à vol d'oiseau du territoire du complexe tourbeux de Lanoraie. Validé sur plus de 30 ans d'observations hydrométriques, le modèle hydrologique répartit notamment les écoulements selon leurs cheminements hydrologiques de surface et souterrain (latéral, drainage souterrain artificiel, aquifères de surface et profond). Les résultats du modèle, notamment les projections d'évapotranspiration, se sont avérés cohérents avec les sorties du

modèle STICS réalisées dans la présente étude, en soutien à la mise à jour des abaques de consommation en eau des cultures (voir le chapitre 6). Les mêmes séries de données climatiques ont par ailleurs été utilisées pour les deux exercices de modélisation (SWAT-MAC et STICS), permettant d'évaluer la cohérence de leurs projections, tant en climat historique que futur. De plus, l'hypothèse que les territoires du complexe tourbeux et du bassin versant de la rivière David étaient exposés à la même saisonnalité climatique a été retenue.

Les simulations hydrologiques validées pour le bassin versant de la David ont été analysées, et chaque terme du bilan hydrique du complexe tourbeux a été projeté sur une base mensuelle. Le tableau 9.15 présente la part mensuelle de chacun des termes du bilan hydrique, estimée à partir des simulations du modèle SWAT-MAC, en climat actuel. Par exemple, l'écoulement latéral souterrain du mois d'avril a été projeté à un niveau équivalent à 26 % de l'écoulement souterrain. En appliquant ces pourcentages mensuels, dérivés de l'étude du bassin David, aux volumes annuels estimés pour le complexe tourbeux de Lanoraie, une distribution des différents termes du bilan hydrique pour chaque mois de l'année a été obtenue.

Retenons que cette approche, dite de métamodélisation, qui consiste à simplifier les sorties du modèle physique validé pour en projeter les résultats de façon empirique, est certes moins précise que ne le serait une modélisation hydrologique complète du territoire. Il est cependant estimé que la proximité des conditions agroclimatiques et édaphiques des zones d'études, notamment la présence du sous-sol argileux hérité de la mer de Champlain qui limite la recharge profonde de l'aquifère, fait en sorte que l'approche de métamodèle retenue répond adéquatement aux objectifs et aux contraintes de réalisation de la présente étude.

Le Tableau 9.17 présente la répartition mensuelle des différents termes du bilan hydrique du complexe tourbeux de Lanoraie. Les teneurs en eau volumique maximale des deux types de sols principaux rencontrés dans le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie ont été considérées. Pour le sol sableux, la réserve en eau utile (différence entre la valeur de la teneur en eau volumique à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent) a été estimée à 5 %. Pour le sol tourbeux, l'eau utile a été estimée à 24 % sur la base volumique de données colligées au laboratoire de physico-chimie de l'IRDA. Considérant la superficie totale et la profondeur moyenne du complexe tourbeux (2,6 m, Bourgault et coll., 2014) et du sable (6,5 m, Bourgault et coll., 2014), la capacité de rétention en eau moyenne de l'aquifère granulaire a ainsi été projetée dans l'ordre de 387 mm.

En considérant le stock d'eau du sol plein au début du mois d'avril en raison de la fonte de la neige, et en appliquant les différents termes du bilan hydrique sur une base mensuelle, le stock d'eau projeté à la fin du mois d'août, en climat historique, atteindrait une hauteur moyenne de 178 mm. Compte tenu des étangs vides et des débits pratiquement nuls des cours d'eau en cette période de l'année, cette hauteur projetée d'eau contenue dans l'aquifère granulaire serait représentative d'un niveau résiduel, qui ne peut contribuer de façon significative aux exportations.

BILAN HYDRIQUE FUTUR

Le bilan hydrique du territoire de la tourbière Lanoraie est appelé à se modifier, en réponse aux changements climatiques. En effet, du fait de la hausse des températures, l'évapotranspiration

augmentera. Sur la base des cinq scénarios climatiques obtenus d'Ouranos (cf chapitre 6, section 6.1.2) pour la station météorologique de L'Assomption pour la période 2041-2070, il est estimé que les précipitations totales annuelles seraient en hausse de l'ordre de 10 à 13 % suivant les scénarios climatiques, alors que l'évapotranspiration augmenterait de 22 à 25 % et le ruissellement de l'ordre de 10%. En conséquence, la recharge de l'aquifère granulaire diminuerait de 4 à 24 % (Figure 9.7).

Sur la base des simulations réalisées dans le bassin versant de la David, nous avons conservé le même volume d'écoulement latéraux et de drainage, et fait l'hypothèse d'une légère hausse du ruissellement (10% sur une base annuelle, du fait de la hausse des phénomènes de précipitations intenses), conduisant à une réduction du volume d'eau qui s'infiltrate dans les sols et rejoint la nappe phréatique. Comme pour le climat actuel, les simulations en climat futur réalisées dans le bassin versant de la rivière David ont permis de calculer la répartition mensuelle des différents termes du bilan hydrique pour ce territoire. Nous avons utilisé cette projection mensuelle pour estimer le volume projeté d'eau contenu dans l'aquifère granulaire du complexe tourbeux en climat futur. Il diminuerait ainsi sensiblement, en climat futur, pour atteindre à la fin du mois d'août environ 93mm (Tableau 9.20). Cette diminution est significative par rapport au climat actuel, où la valeur projetée est de 178mm pour le même paramètre (Tableau 9.19). A noter que pour ces projections, nous avons considéré également une hausse des besoins en eau pour l'irrigation, celle-ci a cependant un impact relativement faible sur le déficit hydrique estival estimé.

Bourgault et al. (2014) simulent les conséquences d'une diminution de 20% de la recharge de l'aquifère, en lien avec les changements climatiques. Les auteurs concluent à une diminution du niveau moyen de la nappe dans la tourbière de 54cm et de 60cm dans les sables résultant de cette baisse de la recharge en climat futur. Cette diminution se ferait très certainement ressentir sur le stockage dans les étangs d'irrigation, entraînant des difficultés supplémentaires pour les producteurs.

Figure 9.7.
Bilan hydrique futur (période 2041-2070) projeté sur la base
des scénarios climatiques fournis par Ouranos

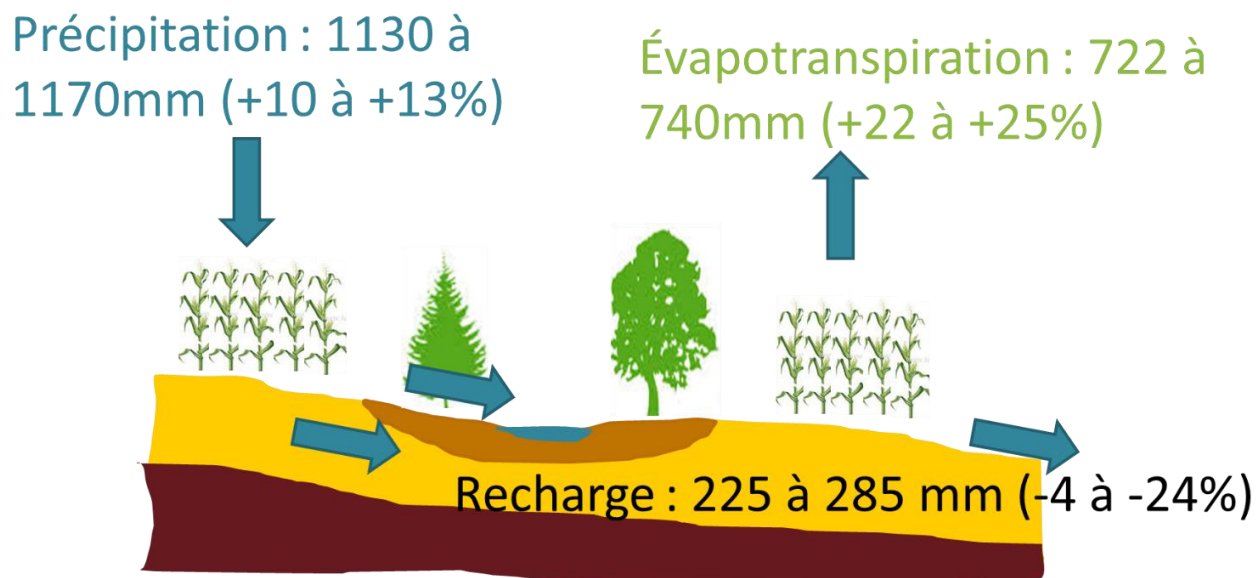


Tableau 9.17
Répartition mensuelle des différents termes postes du bilan hydrique en climat historique estimée
pour le BV de la rivière David par le modèle SWAT-MAC

PART MENSUELLE DE:	TOTAL	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
EVAPOTRANSPIRATION	100 %	1 %	1 %	2 %	7 %	13 %	17 %	19 %	17 %	12 %	7 %	4 %	1 %
EAU INFILTRÉE QUI S'ÉCOULE VERS LES COURS D'EAU	100 %	4 %	3 %	11%	35 %	10 %	7 %	2 %	2 %	5 %	5 %	8 %	8 %
RUISSELLEMENT DE SURFACE (REJOINT LES COURS D'EAU)	100 %	7 %	7 %	18 %	24 %	11 %	8 %	3 %	2 %	4 %	5 %	5 %	6 %
IRRIGATION	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %	25 %	40 %	25 %	5 %	0 %	0 %	0 %
DRAINAGE (DRAIN SOUTERRAIN)	100 %	1 %	3%	20 %	44 %	5 %	2 %	1 %	1 %	2 %	6 %	8 %	6 %
ÉCOULEMENT LATERAL	100 %	3 %	2 %	7 %	26 %	17 %	9 %	6 %	4 %	4 %	8 %	8 %	7 %

Tableau 9.18
Répartition mensuelle des différents termes postes du bilan hydrique en climat futur estimée
pour le BV de la rivière David par le modèle SWAT-MAC

PART MENSUELLE DE:	TOTAL	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
EVAPOTRANSPIRATION	100 %	1 %	1 %	4 %	11 %	15 %	17 %	18 %	14 %	10 %	6 %	3 %	1 %
EAU INFILTRÉE QUI S'ÉCOULE VERS LES COURS D'EAU	100 %	8 %	9 %	23 %	21 %	6 %	4 %	1 %	1 %	2 %	7 %	10 %	10 %
RUISSELLEMENT DE SURFACE (REJOINT LES COURS D'EAU)	100 %	11 %	12 %	17 %	17 %	8 %	7 %	1 %	1 %	2 %	6 %	9 %	9 %
IRRIGATION	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	5 %	25 %	40 %	25 %	5 %	0 %	0 %	0 %
DRAINAGE (DRAIN SOUTERRAIN)	100 %	4 %	6 %	30 %	25 %	2 %	1 %	0 %	0 %	2 %	7 %	12 %	10 %
ÉCOULEMENT LATERAL	100 %	5 %	5 %	14 %	23 %	12 %	6 %	4 %	2 %	3 %	7 %	9 %	9 %

Tableau 9.19
Bilan hydrique mensuel en climat historique du complexe tourbeux de Lanoraie projeté
sur la base des simulations hydrologiques validées pour le bassin versant de la rivière David

PART MENSUELLE DE:	TOTAL ANNUEL	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
PRECIPITATION	1037	85	66	71	87	82	95	82	97	90	95	99	91
EVAPOTRANSPIRATION RÉELLE	590	3	4	12	41	78	98	113	103	70	42	21	5
RUISELLEMENT (EAU SORTIE DU BV VIA LES COURS D'EAU)	150	10	10	27	36	17	12	4	3	6	8	7	9
EAU INFILTRÉE QUI REJOINT LES COURS D'EAU	163	6	7	30	55	14	9	3	3	5	10	11	10
SORTIE PAR LES SYSTÈMES DE DRAINAGE	71	1	2	14	31	4	2	1	1	1	5	6	4
POMPAGE (IRRIGATION)	22	0	0	0	0	1	5	9	5	1	0	0	0
ÉCOULEMENT LATÉRAL VERS LE FLEUVE	40	1	1	3	11	7	4	2	1	2	3	3	3
EAU CONTENUE DANS L'AQUIFÈRE (FIN DU MOIS)					299	261	232	191	178	183			

Tableau 9.20
Bilan hydrique mensuel en climat futur du complexe tourbeux de Lanoraie (moyenne des 5 scénarios climatiques)
projeté sur la base des simulations validées pour le bassin versant de la rivière David.

PART MENSUELLE DE:	TOTAL ANNUEL	JANVIER	FÉVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPT.	OCT.	NOV.	DÉC.
PRECIPITATION	1158	108	79	79	93	93	87	91	87	95	125	119	102
EVAPOTRANSPIRATION RÉELLE	730	6	9	27	78	113	123	131	101	74	41	20	8
RUISELLEMENT (EAU SORTIE DU BV VIA LES COURS D'EAU)	165	18	19	28	28	14	11	2	1	3	10	14	15
EAU INFILTRÉE QUI REJOINT LES COURS D'EAU	113	9	10	26	23	7	5	1	1	2	8	12	11
SORTIE PAR LES SYSTÈMES DE DRAINAGE	71	3	4	21	18	2	1	0	0	1	5	9	7
POMPAGE (IRRIGATION)	39					2	10	15	10	2			
ÉCOULEMENT LATÉRAL VERS LE FLEUVE	40	2	2	6	9	5	3	1	1	1	3	4	3
EAU CONTENUE DANS L'AQUIFÈRE (FIN DU MOIS)				359	295	246	181	120	93	105			

9.2.3 ANALYSE DES PISTES DE SOLUTIONS ENVISAGÉES AVEC LES PRODUCTEURS AGRICOLES DU COMPLEXE TOURBEUX DE LANORAIE

L'analyse présentée dans les sections précédentes a été présentée à une vingtaine de producteurs de différentes spécialités (pommes de terre, fraises, asperges, horticulture ornementale, canneberges) situés dans le complexe tourbeux de Lanoraie. La présentation a suscité plusieurs questions et craintes de la part des participants quant aux risques et aux conséquences de pénuries d'eau en climat futur. Plusieurs pistes de solution ont été envisagées par les producteurs et intervenants présents. Une analyse sommaire de celles-ci est exposée dans les sections ci-dessous. Le matériel utilisé pour les rencontres avec les producteurs est présenté en annexe 9.

APPROFONDIR LES ÉTANGS D'IRRIGATION

Plusieurs producteurs remettaient en question la possibilité et les conséquences d'avoir des étangs plus profonds. Selon des experts consultés¹⁶³, creuser davantage les étangs permettrait de puiser plus d'eau dans la nappe. Comme les étangs sont rechargés en moyenne 2,5 fois au cours de la saison d'irrigation, cela entraînerait une baisse supplémentaire du niveau de la nappe phréatique. Un tel phénomène aurait probablement pour effet de favoriser le développement des arbres au détriment de la végétation typique d'un milieu tourbeux, ce qui accélérerait encore les changements observés et augmenterait le risque de disparition du complexe tourbeux. Ces renseignements ont été présentés aux producteurs, et un consensus s'est dégagé sur le fait que cette piste de solution, qui peut sembler porteuse à court terme, aurait probablement des conséquences négatives à plus long terme.

CONSERVER DAVANTAGE D'EAU DANS LE COMPLEXE TOURBEUX

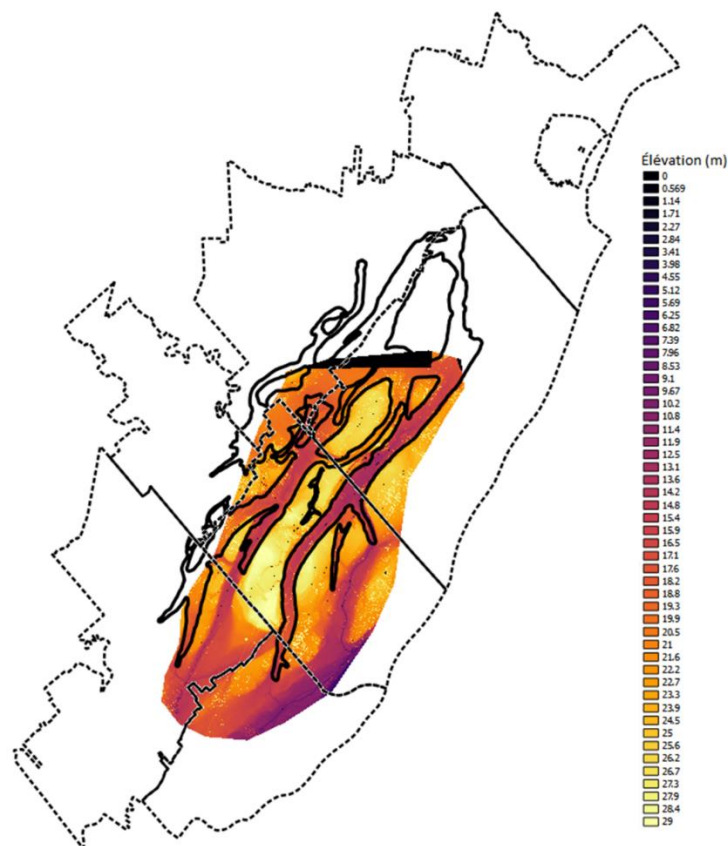
Une des pistes proposées est de tenter de réduire les pertes d'eau par écoulement de surface du complexe tourbeux. Dans notre analyse présentée dans la section précédente, nous avons montré que les débits (simulés) dans les cours d'eau atteignent, durant la période de fonte de la neige, un volume spécifique de 57 mm en climat historique pour le mois d'avril. Si, par une gestion d'ouvrages de type barrages ou autres ouvrages de retenue d'eau, il était possible de retenir une partie de cette eau dans le complexe tourbeux, nous pourrions alors couvrir les besoins en eau liés à l'irrigation. Ces besoins représentent actuellement 22 mm.

Cependant, cette hypothèse repose sur la possibilité de retenir davantage d'eau, ce qui, sur un plan technique soulève plusieurs défis en termes de conception d'ouvrage et de gestion subséquente. En effet, comme le montre la Figure 9.8, l'élévation du complexe tourbeux semble assez uniforme, autour d'une dizaine de mètres, ce qui signifie que retenir de l'eau aurait des conséquences sur l'ensemble du territoire à l'étude. L'aménagement de retenues pourrait entraîner une hausse du niveau de l'eau à proximité de certaines habitations et d'ouvrages hydrauliques. De plus, selon la professeur Marie Larocque (communication personnelle), cette piste de solution représente une option intéressante à moyen terme, puisque le phénomène d'assèchement actuellement observé prend en partie sa source dans tous les travaux de drainage et canalisation de fossés et cours d'eau qui ont pour effet d'accélérer la sortie de l'eau du complexe tourbeux. Réaliser des travaux pour restaurer un écosystème dont l'écoulement de l'eau serait ralenti (plus proche du fonctionnement naturel) permettrait donc de maintenir davantage d'eau. Néanmoins, la faisabilité technique est à étudier, car plusieurs des cours d'eau sont diffus au niveau de l'exutoire du complexe tourbeux, c'est-

¹⁶³ Prof. Marie Larocque (UQAM) et René Lefebvre (INRS-ÉTTÉ). Communications personnelles

à-dire qu'ils ne sont pas canalisés. De plus, il faudrait analyser les conséquences de ces travaux, à la fois sur le fonctionnement écologique du complexe tourbeux, mais aussi sur les débits des cours d'eau qui y prennent leur source. Le cadre réglementaire québécois est par ailleurs contraignant quant à l'aménagement d'ouvrages de retenue, comme présenté dans la section précédente de la présente étude (voir le chapitre 1). En conclusion, la réalisation de travaux et/ou l'aménagement d'ouvrages additionnels dans la zone d'étude appellerait donc une évaluation intégrée et systémique des conséquences de cette piste de solution. Une telle initiative dépasse largement le cadre et le mandat de la présente étude, mais présente une perspective pertinente pour la poursuite de la réflexion sur l'évolution de la gestion de l'eau dans ce territoire.

Figure 9.8
Élévation du territoire modélisée à partir des données du LIDAR¹⁶⁴



¹⁶⁴ <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/produits-derives-de-base-du-lidar>

UTILISER DE L'EAU POUR L'IRRIGATION DES CULTURES PROVENANT D'UNE AUTRE SOURCE D'EAU

Une autre option envisagée par les producteurs consisterait à se détourner des étangs d'irrigation situés à proximité du complexe tourbeux, et à prélever de l'eau dans d'autres sources. Les sources d'eau potentielles envisagées sont la rivière L'Assomption et le fleuve Saint-Laurent, les eaux souterraines au roc étant salées (Technorem, 2009). Pour analyser cette piste de solution, deux expériences réalisées au Québec visant à assurer l'approvisionnement en eau d'entreprises agricoles ont été documentées, et sont rapportées succinctement ci-après.

Approvisionnement au fleuve à l'île d'Orléans

Dans un premier temps, les rapports d'études de l'IRDA sur l'approvisionnement au fleuve à l'île d'Orléans ont été consultés^{165,166}, complétés par des échanges avec Caroline Côté de l'IRDA, qui a travaillé sur les aspects de qualité de l'eau du fleuve dans le cadre de ce projet. Un entretien téléphonique auprès de M. Gabriel Gosselin, gestionnaire de la ferme François Gosselin inc., a complété la démarche.

À l'île d'Orléans, la ferme François Gosselin inc. a commencé en 2012 le pompage d'eau du fleuve Saint-Laurent pour l'irrigation des cultures, de fraises notamment. Ce sont environ 50 ha de fraises qui sont irrigués chaque année grâce à l'eau du fleuve, l'installation fournissant 25 000 m³ par an. La démarche pour la réalisation d'un tel projet a consisté dans un premier temps à obtenir une autorisation du MELCC ainsi que de Pêches et Océan Canada (notamment en ce qui concerne le dispositif immergé permettant le prélèvement de l'eau, voir la Figure 9.9), puis à construire une station de pompage et une conduite permettant d'acheminer l'eau à 1,6 km de distance et 130 m au-dessus du niveau du fleuve. À l'extrémité de cette conduite, l'eau se déverse dans un filtre à sable, puis rejoint après filtration un étang dans lequel un système d'aération de l'eau fonctionne en continu. L'eau est finalement pompée de nouveau pour être acheminée aux champs.

La construction d'un tel système a représenté un investissement de près de 70 000 \$. Ce mode d'approvisionnement apparaît beaucoup plus coûteux que le creusage d'étangs d'irrigation. Par ailleurs, le principal enjeu rencontré concernait la qualité de l'eau, à la fois du fait de la présence de bactéries *E. coli*, mais aussi de larves de moules zébrées qui ont la possibilité de se développer par la suite dans les étangs d'irrigation et dans les systèmes d'irrigation (tuyau, pompes, etc.). D'autres paramètres ont été mesurés pour vérifier la qualité de l'eau, en particulier les matières en suspension, la salinité de l'eau en fonction de marées, ou encore les risques de propagation d'algues dans les étangs. Si la plupart de ces enjeux pouvaient être gérés par l'aération des étangs et le pilotage des périodes de pompage en fonction des taux de MES analysés en direct, ce n'était pas le cas de la moule zébrée. Des travaux ont donc été conduits par l'IRDA pour mettre au point le système de filtre à sable, afin d'empêcher la propagation de ces larves de moules¹⁶⁷. Ces travaux de recherche ont fait l'objet d'une présentation, par la chercheuse Caroline Côté, aux producteurs et aux intervenants de la région de Lanoraie réunis pour l'étude de cas.

¹⁶⁵ Pruneau-Rodrigue M. et coll., 2016. Évaluation de l'efficacité d'un procédé de traitement de l'eau du fleuve pour l'irrigation à l'île d'Orléans. Projet IA213090, 28 p.

¹⁶⁶ Généreux, M., C. Côté, J. Leblanc et L. Belzile. 2014. Étude de faisabilité technico-économique de l'utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures horticoles de l'île d'Orléans. Rapport final présenté au CDAQ dans le cadre du PCAA. 27 p.

¹⁶⁷ Pruneau-Rodrigue M. et coll., 2016. Évaluation de l'efficacité d'un procédé de traitement de l'eau du fleuve pour l'irrigation à l'île d'Orléans. Projet IA213090, 28 p.

Figure 9.9
Cage de protection des crépines de pompage pour le prélèvement de l'eau au fleuve



Source : photo issue de l'IRDA, 2015¹⁶⁸.

L'expérience de l'île d'Orléans est pertinente pour le cas de Lanoraie, principalement en ce qui a trait à la question de la qualité de l'eau du fleuve, puisque les volumes prélevés dans le fleuve semblent très faibles au regard des besoins des producteurs de Lanoraie. Si la présence des bactéries *E. coli* est moins préoccupante, pouvant se régler par une aération de l'eau, celle des larves de moules zébrées serait probablement un enjeu à considérer dans le cas d'un approvisionnement en eau du fleuve pour le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie. Les moules zébrées sont en effet probablement présentes dans le fleuve au niveau de la région de Lanaudière¹⁶⁹. La technique de filtre à sable retenue à l'île d'Orléans ne pourrait probablement pas être utilisée dans Lanoraie, du fait des volumes nécessaires pour l'irrigation qui sont très élevés.

Approvisionnement collectif dans la rivière Jacques-Cartier pour l'irrigation de pommes de terre dans Portneuf

En ce qui concerne cette seconde expérience d'intérêt, en l'absence de document public, nous avons communiqué avec l'un des producteurs ayant instauré ce projet d'approvisionnement collectif pour obtenir de l'information.

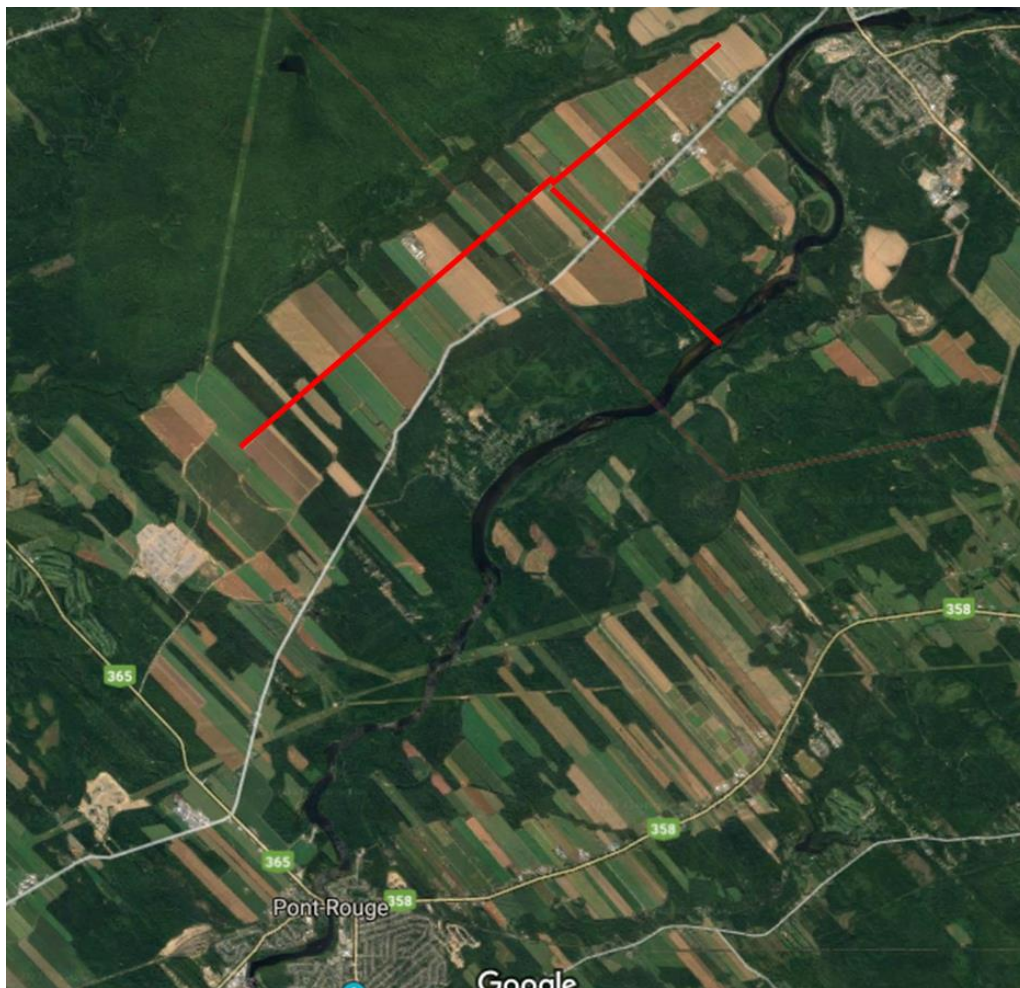
À Pont-Rouge, dans la MRC de Portneuf, trois entreprises de production de pommes de terre ont décidé de s'associer pour construire un réseau d'aqueduc destiné à transporter l'eau de la rivière

¹⁶⁸ Généreux M. et coll., 2014. Étude de faisabilité technico-économique de l'utilisation de l'eau du fleuve pour l'irrigation des cultures horticoles de l'île d'Orléans. IRDA. Programme Canadien d'Adaptation Agricole, Projet CDAQ # 6690. 27 p.

¹⁶⁹ Caroline Côté, IRDA, communication personnelle.

Jacques-Cartier jusqu'à leurs champs, situés pour certains à plusieurs kilomètres de la rivière. Le projet a été initié en 2006, et plusieurs mois ont été nécessaires pour concevoir le système de pompage et d'aqueduc permettant, après un agrandissement, d'approvisionner en eau près de 2000 acres de pommes de terre chaque année. Un an et demi a été nécessaire pour l'obtention de l'autorisation du ministère de l'Environnement. Des ententes ont également dû être conclues avec une entreprise qui détenait un droit d'eau sur la rivière Jacques-Cartier, et avec des propriétaires de terres traversées par l'aqueduc. Une station de pompage a été installée au bord de la rivière Jacques-Cartier, contenant six pompes de 100 forces (hp), alimentées en électricité par une ligne électrique construite spécialement à cet effet. De cette station de pompage, l'eau est envoyée jusqu'aux champs sous pression. Au champ, des raccords ont été installés tous les 500 pieds environ afin de permettre le branchement des systèmes d'irrigation, des pivots et des rampes d'aspersion. Au total, ce sont plus de 12 km de conduites qui ont été enterrées (Figure 9.10).

Figure 9.10
Représentation schématique du réseau d'aqueduc permettant d'amener l'eau sous pression jusqu'aux champs de pommes de terre.



Une entreprise en co-actionariat entre les trois producteurs agricoles a été créée pour gérer le réseau d'aqueduc. Les parts dans l'actionariat ont été calculées en fonction des distances et de la

superficie à irriguer de chaque entreprise. Les coûts variables sont partagés selon la superficie irriguée chaque année par chaque entreprise. Afin d'éviter les enjeux de manque de pression à certaines périodes ou à certains emplacements du réseau, le territoire couvert a été séparé en trois zones, et un quota d'eau correspondant à une superficie qui peut être irriguée est défini pour chaque zone. Chaque année, les trois producteurs s'entendent donc sur leurs superficies de pommes de terre respectives, en fonction de leurs rotations. Chaque lieu où un système d'irrigation peut être branché au réseau est équipé d'un compteur d'eau, ce qui permet d'avoir un suivi précis des volumes consommés par chaque producteur, dans chaque zone. De l'avis du producteur interrogé, ce système nécessite une gestion régulière et sérieuse, mais est efficace et permet aux trois producteurs d'obtenir l'eau qu'ils souhaitent.

Finalement, la station de pompage, l'approvisionnement en électricité, le réseau de canalisations, les travaux d'excavation, les frais de notaire, etc. auront coûté au total environ 2,5 millions de dollars (valeur de 2006). Les producteurs n'ont reçu aucune subvention pour ce projet. À cet investissement dans le réseau se sont également ajoutés des investissements importants dans des équipements d'irrigation.

Cette expérience est intéressante pour les producteurs situés autour du complexe tourbeux de Lanoraie à plusieurs titres :

- Le réseau d'irrigation ne fait pas appel à des étangs. L'eau est pompée et mise sous pression dans le réseau de canalisation, sur lequel sont branchés directement les systèmes d'irrigation. Avec un tel système, il est possible d'imaginer que les répercussions de l'irrigation sur le fonctionnement hydrologique du complexe tourbeux seraient fortement réduites, en comparaison à un système où il faudrait recharger les étangs actuels, eux-mêmes en lien avec le complexe tourbeux.
- L'organisation entre les producteurs, pour le financement initial de l'investissement et pour assumer les coûts de fonctionnement, est un exemple inspirant. Des réseaux d'aqueduc collectifs visant l'irrigation des cultures existent ailleurs dans le monde¹⁷⁰, appelant à une concertation des usagers. Il y a là des leçons à tirer de ces expériences, au bénéfice des producteurs de Lanaudière.

Dimensionnement d'un réseau d'aqueduc pour le complexe tourbeux de Lanoraie

Sur la base des renseignements disponibles, nous avons réalisé une première estimation des caractéristiques d'un réseau d'aqueduc répondant aux besoins de la région d'étude. Selon la cartographie des étangs d'irrigation actuelle à proximité des champs à irriguer, nous avons estimé qu'il faudrait environ 90 km de conduites pour rejoindre l'ensemble des étangs. Nous avons ensuite estimé le débit qui devrait être injecté dans ce réseau. Les besoins sont estimés à 7,8 millions de m³ sur les 3 mois d'été (juin à août), avec des pointes à 1,5 million de m³ sur une semaine (ce qui représenterait 2 épisodes d'irrigation en une semaine pour les pommes de terre, par exemple). Pour réussir à fournir un tel volume d'eau, le réseau devrait donc pouvoir fournir un débit de 2,5 m³/s, ce qui est un débit très élevé. À titre de comparaison, le débit estimé du réseau de la ville de Québec est de 2,9 m³/s. Ce point soulève donc un questionnement sur la faisabilité.

¹⁷⁰ Voir, par exemple : <https://asadegignac.jimdo.com/>

Finalement, nous avons analysé les débits d'étiage des cours d'eau situés à proximité du territoire du complexe tourbeux de Lanoraie. La rivière Chaloupe présente un débit d'étiage beaucoup trop faible. La rivière L'Assomption a un débit de 12 m³/s après l'embouchure de la rivière Ouareau, mais celui-ci pourrait être réduit de près de 50 % en climat futur (voir la section 6.1.2). La valeur de 2,5 m³/s représenterait donc 20 % de ce débit d'étiage. Finalement, le fleuve présente un débit d'étiage de près de 7 000 m³/s à Sorel. Dans ce cas, le prélèvement de 2,5 m³/s serait quasiment sans incidence.

À la lumière de ces renseignements, il ne semble pas y avoir de solutions simples. L'avenir pour les producteurs du complexe tourbeux de Lanoraie, et pour la protection de cet écosystème, réside probablement dans la combinaison de plusieurs des pistes de solutions envisagées ici. Il semble donc important et nécessaire que ces pistes de solutions soient approfondies afin de valider leur faisabilité technique et économique. Il conviendrait aussi d'intégrer les répercussions de ces pistes de solutions sur le fonctionnement hydrologique du complexe tourbeux et des cours d'eau en lien avec celui-ci.

9.2.4 RETOMBÉES DE L'ÉTUDE DE CAS

Les difficultés d'approvisionnement en eau des producteurs agricoles de cultures irriguées du complexe tourbeux de Lanoraie sont appelées à s'accroître dans le futur en raison des changements climatiques. La mise en œuvre du nouveau cadre réglementaire compliquera par ailleurs la situation, alors que l'ensemble des producteurs devront obtenir une autorisation de prélèvement délivrée par le MELCC à l'horizon de 2027 ou de 2028 (en fonction des volumes prélevés). Compte tenu de la nature particulière de ce territoire, de l'origine de l'eau utilisée et des évolutions récentes du milieu naturel (assèchement), le renouvellement des autorisations pourrait être remis en question.

Or, il s'agit d'un bassin de production maraîchère non-négligeable qui contribue à la vitalité économique de 4 municipalités en particulier. Au total, sur le territoire de Saint-Thomas, Saint-Paul, Lanoraie, Lavaltrie, plus de 14 195 ha sont cultivés en différentes productions maraîchères dominées par la pomme de terre, le soya et autres céréales (maïs, blé, seigle)¹⁷¹. Rappelons-le, autour du complexe tourbeux de Lanoraie, nous avons estimé la superficie irriguée à quelques 3600 ha, essentiellement pour la culture de la pomme de terre, les canneberges et les fraises. C'est donc plus du quart des superficies en cultures qui dépendent de l'irrigation, pour le moment, pour atteindre une bonne performance de production.

Avec les données disponibles¹⁷², il a été possible d'évaluer la valeur économique de ce petit territoire de production pour les cultures qui dépendent de l'irrigation. Selon les rendements et valeurs par tonne ou par superficie moyenne documentées en 2018, une valeur de production de plus de 28 M \$ a été générée (Tableau 9.21).

¹⁷¹ Données issues des Fiches d'enregistrement du MAPAQ.

¹⁷² Données de la Financière Agricole du Québec (FADQ) pour les superficies et les rendements moyens des cultures assurées et données de Statistiques Canada pour les superficies et rendements des autres cultures.

Tableau 9.21
Évaluation sommaire de la valeur économique générée par les cultures irriguées sur le territoire du complexe tourbeux de Lanoraie (4 municipalités)¹

	Superficies totales (ha)	Valeurs unitaires	Rendement (t/ha)	Valeur \$
Pomme de terre table	1499	201 \$/tonne	37,75	11 377 378 \$
Pomme de terre croustille	1330	209 \$/tonne	33,13	9 211 983 \$
Pomme de terre prépelage	184	201 \$/tonne	37,75	1 396 109 \$
Pomme de terre semence	53	241 \$/tonne	32,89	422 970 \$
Fraises*	146	22 224 \$/ha		3 253 100 \$
Canneberges	185	500 \$/tonne	25,70	2 374 953 \$
TOTAL	3399			28 036 493 \$

1.Saint-Thomas, Saint-Paul, Lanoraie, Lavaltrie

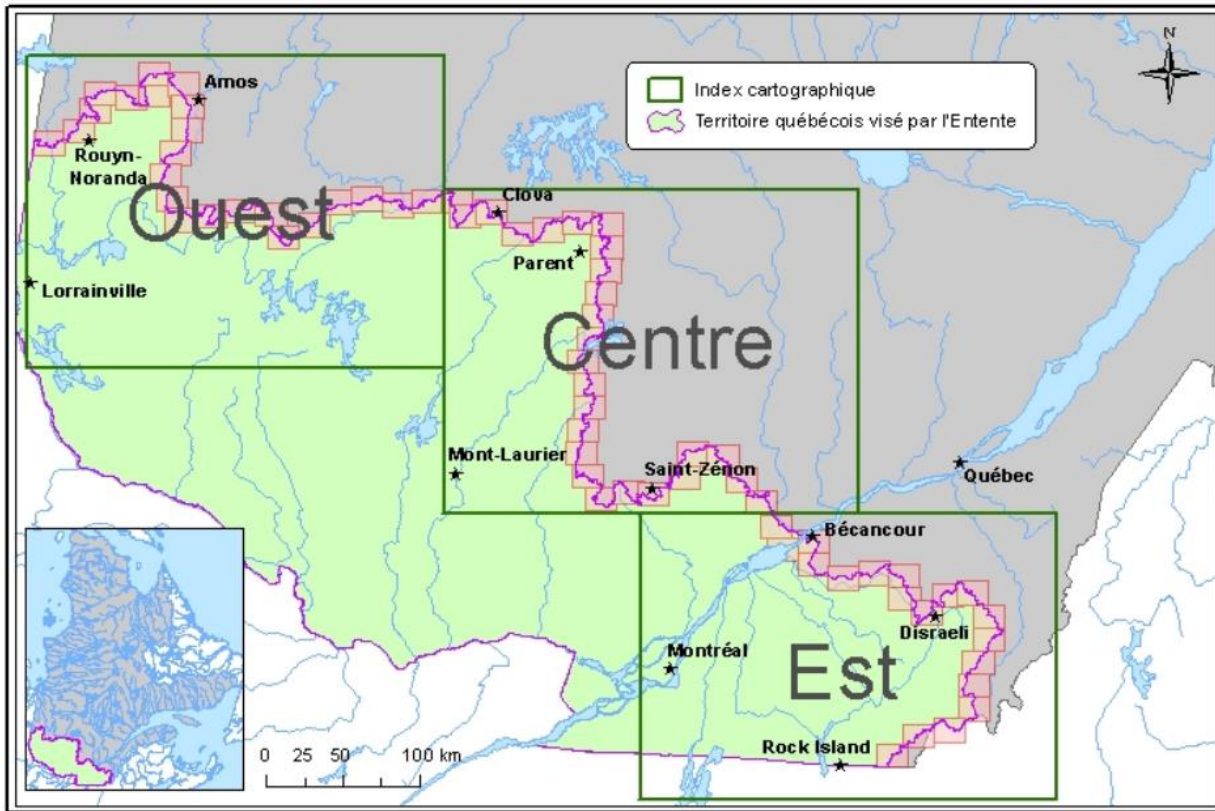
Source : FADQ Assurance Récolte référence 2018 *Valeur moyenne entre fraises d'automne et conventionnelle 1re et 2ième année d'implantation Rendement pour Pomme de terre de table zone 10-03. Autres rendement provincial moyen

Il reste encore plusieurs années avant l'échéance, et les producteurs auraient tout intérêt à mettre à profit ce temps pour développer une solution concertée. Une approche collective avec l'ensemble des usagers du territoire et des autorités compétentes favoriserait sans doute une gestion durable de la ressource en eau et du milieu écologique exceptionnel que représente le complexe tourbeux de Lanoraie.

À ce titre, une retombée importante du projet RADEAU dans la région d'étude, à la suite des rencontres avec les principaux acteurs concernés par la gestion de l'eau, concerne la création d'un comité multipartite impliquant les producteurs agricoles, la fédération régionale de l'UPA et la direction régionale du MAPAQ. Ce comité aura pour mandat de contribuer à poursuivre les réflexions initiées dans le cadre du projet RADEAU, en lien avec les orientations du MELCC, afin d'identifier des solutions concertées et pérennes à la problématique de gestion de l'eau dans la région.

ANNEXE 1
DÉLIMITATION DU BASSIN DU FLEUVE SAINT-LAURENT ÉTABLIE DANS LE CADRE DE
L'ENTENTE DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT

DÉLIMITATION DU BASSIN DU FLEUVE SAINT-LAURENT ÉTABLIE DANS LE CADRE DE L'ENTENTE SUR LES RESSOURCES EN EAUX DURABLES DU BASSIN DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT



Source : MELCC, 2017.

ANNEXE 2

INFORMATION COMPLÉMENTAIRE SUR LE RÈGLEMENT SUR LE PRÉLÈVEMENT DES EAUX ET LEUR PROTECTION (RPEP)

RÈGLEMENT SUR LE PRÉLÈVEMENT DES EAUX ET LEUR PROTECTION (RPEP)

Catégories de prélèvement

- Dans le cadre du RPEP (art. 51), 3 catégories de prélèvement sont définies. Le Tableau 9.22 présente de façon détaillée ces types de prélèvement.
- Les prélèvements de catégorie 1 et 2 requièrent automatiquement une autorisation du MELCC. Ces catégories ne visent pas les producteurs agricoles. Ceux de catégorie 3 sont, pour la plupart, assujettis à une autorisation municipale, bien que certains requièrent également une autorisation du MELCC.
 - Par exemple, un projet de prélèvement de catégorie 3 prévoyant un débit égal ou supérieur à 75 000 litres par jour (art. 31.75, LQE) ou destiné à alimenter plus de 20 personnes (art. 5, RPEP).
- L'application du chapitre 3 (installations de prélèvement d'eau souterraine et de surface qui ne nécessitent pas d'autorisation gouvernementale [essentiellement des puits desservant moins de 20 personnes]) et du chapitre 4 (installations de géothermie) du RPEP est de la responsabilité des municipalités. Celle-ci porte essentiellement sur l'aménagement d'installations et leur exploitation, mais peut également toucher, au besoin, à l'usage de l'eau et à son retour au milieu, tant en qualité qu'en quantité.
 - Précisons que le RPEP n'oblige pas les municipalités d'assujettir à un permis les installations de prélèvement visées par la catégorie 3. Rappelons que les types de prélèvement énumérés à l'article 6 du RPEP (étangs d'irrigation, fossés destinés à recueillir les eaux de ruissellement, etc.) ne sont pas soumis à une autorisation (municipale ou du MELCC).

Tableau 9.22
Catégories de prélèvement telles que définies par le RPEP

1	<p>Prélèvement d'eau effectué pour desservir :</p> <p>a) le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant plus de 500 personnes et au moins une résidence.</p>
2	<p>Prélèvement d'eau effectué pour desservir :</p> <p>a) le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant de 21 à 500 personnes et au moins une résidence;</p> <p>b) tout autre système d'aqueduc alimentant 21 personnes et plus et au moins une résidence;</p> <p>c) le système indépendant d'un système d'aqueduc alimentant notamment un ou des établissements d'enseignement, un ou des établissements de détention ou un ou des établissements de santé et de services sociaux au sens du Règlement sur la qualité de l'eau potable de 21 personnes et plus.</p>
3	<p>Prélèvement d'eau effectué pour desservir :</p> <p>a) le système indépendant d'un système d'aqueduc alimentant exclusivement un ou des établissements utilisés à des fins de transformation alimentaire;</p> <p>b) le système indépendant d'un système d'aqueduc alimentant exclusivement une ou des entreprises, un ou des établissements touristiques ou un ou des établissements saisonniers au sens du Règlement sur la qualité de l'eau potable;</p> <p>c) tout autre système alimentant 20 personnes et moins (incluant les puits individuels).</p>

Source : RPEP.

Mesures de protection des eaux

Le RPEP comprend également des mesures afin de protéger les sites de prélèvement d'eau potable, notamment au niveau de la qualité de l'eau. Celles-ci incluent la définition d'aires de protection pour les sites de prélèvement qui sont établis en fonction du type de prélèvement (eau souterraine ou eau de surface) et de la catégorie de prélèvement (1 à 3). Pour les eaux de surface, le type de cours d'eau (lac, fleuve, etc.) dans lequel s'effectue le prélèvement est également pris en compte.

- Les **prélèvements d'eau souterraine** comptent 4 aires de protection : immédiate, intermédiaire bactériologique, intermédiaire virologique et éloignée. À l'exception de l'aire éloignée, toutes les aires de protection peuvent faire l'objet de restrictions aux activités agricoles, peu importe la catégorie de prélèvement. À l'intérieur de l'aire de protection immédiate d'un prélèvement d'eau souterraine, aucune activité (incluant les activités agricoles) autre que celles liées à son entretien ne peut être réalisée.
 - Trois niveaux de vulnérabilité au plan quantitatif (santé de la recharge) et qualitatif (qualité de l'eau) sont définis pour les prélèvements d'eau souterraine. L'indice

DRASTIC sert à définir ces niveaux (voir le Tableau 9.23). Les sept lettres de l'acronyme DRASTIC représentent les facteurs déterminant l'indice de vulnérabilité¹⁷³.

Tableau 9.23
Indice DRASTIC déterminant le niveau de vulnérabilité des eaux souterraines

Faible	Indice DRASTIC < 100, sur l'ensemble de l'aire
Moyen	Indice DRASTIC entre 100 et 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection
Élevé	Indice DRASTIC > 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection

D : Depth to water table ou profondeur de la nappe d'eau

R : Recharge ou infiltration efficace

À : Aquifer media ou milieu aquifère

S : Soil media ou type de sol

T : Topography ou pente du terrain

I : Impact of vadose zone ou impact de la zone vadose

C : Conductivity ou conductivité hydraulique

Source : MELCC.

- Les **prélèvements d'eau de surface** comptent pour leur part 3 types d'aires de protection : immédiate, intermédiaire et éloignée. Seule l'aire de protection immédiate des prélèvements des catégories 1 et 2 est contraignante pour les activités agricoles.
 - La taille de l'aire varie selon l'emplacement de l'installation de prélèvement (lac, cours d'eau ou fleuve Saint-Laurent).

¹⁷³ Pour les prélèvements de catégorie 1, le niveau de vulnérabilité est déterminé par un professionnel. Pour ceux des catégories 2 et 3, le niveau « élevé » est attribué par défaut dans chacune des aires de protection, bien qu'il puisse également être déterminé par un professionnel. Pour les catégories de prélèvement 1 et 3, l'aire de protection immédiate d'un prélèvement d'eau souterraine correspond à un rayon de 30 m autour du site (ce dernier peut toutefois être modifié par un professionnel). Pour ceux de catégorie 3, il correspond à 3 m.

ANNEXE 3

INVENTAIRE DES CONFLITS LIÉS À L'EAU DANS LES RÉGIONS À L'ÉTUDE

Régions	Ville/localité	Description du conflit	Usagers concernés	Usages concernés	Intensité du conflit	Maturité du conflit	Année d'émergence	Type d'eau concernée	Type de conflit	Contacts s'il y a lieu	Information recueillie par
Estrie	Barnston	Projet d'embouteillage d'eau	Résidentiel-ICI	embouteillage eau		Disparu				Hugues Ménard, MRC Membrempremagog	Rencontre régionale Sherbrooke-Mars 2017
Estrie	Standstead, Lac Mégantic	Municipalité creuse des puits chez des producteurs agricoles. Si la nappe descend trop, la ville doit compenser (entente)	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Latent		Eau souterraine	Quantité	François Bourasse, UPA	Rencontre régionale Sherbrooke-Mars 2017 et Portrait régional de l'eau du MDDELCC. http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/eau/regions/region05/05-estrie(suite).htm
Estrie	Val-Joli	Eau de puits artésien est contaminée au benzène	Résidentiel	eau potable	Moyen	Existant	2012	Eau souterraine	Qualité	Julie Poulin, MRC Val St-François	
Estrie	Plusieurs municipalités	Besoin de camion-citerne en période d'assèchement	Résidentiel	eau potable	Faible (vs rare)	Latent		Eau souterraine	Quantité	François Bourasse, UPA	Rencontre régionale Sherbrooke-Mars 2017
Estrie	Wotton	S'approvisionne à 100% d'eau souterraine. Prospection gazière possible et enjeu d'affecter la qualité de la source	Résidentiel-Industriel	eau potable - extraction gazière	Moyen	Anticipé mais non-concrétisé		Eau souterraine	Qualité	Hugues Ménard, MRC Membrempremagog	Rencontre régionale Sherbrooke-Mars 2017
Estrie	Weedon - Lac Aylmer	Barrage Aylmer : Il y a des discussions concernant la gestion des barrages avec les instances concernées chaque année lors d'éventuelle inondation, mais pas de conflits. Crainte à la fonte des neiges - Ouvrir ou fermer les valves du barrage afin de ne pas inonder nos résidents. - 2016 (1er juin) : le lac Aylmer était un demi-mètre (un pied et demi) en dessous de la norme (Fortier, 2016)	Résidentiel- ICI-Agricole	eau potable- récréotourisme	Faible	Latent		Eau souterraine	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Estrie	Stukely - Lac Stukely	Barrage Stukely: Il y a une grande variation du niveau d'eau - Des champs d'épuration sont inondés suite à cette variation - Il y a un lessivage des rivages et une accumulation des sédiments - Il y a une détérioration des aménagements faits par les riverains - Des crues abondantes surviennent parfois en plein été - Le Plan de gestion des eaux de retenues n'est pas adéquat selon certains acteurs	Résidentiel- ICI	eau potable- récréotourisme	Moyen	Existant	2002	Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Estrie	Saint-Denis-de-Brompton - Lac Mont-Joie	Barrage du lac Mont-Joie : Été : pas de débit minimum respecté donc le lac Caron devient un marais Hiver : niveau du lac très haut pour empêcher les prises d'eau de geler dans le lac ce qui crée beaucoup d'érosion des rives, matières organiques, cyanobactéries, eutrophisation, etc.	Résidentiel- ICI	récréotourisme	Moyen	Existant	1997	Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg

Régions	Ville/localité	Description du conflit	Usagers concernés	Usages concernés	Intensité du conflit	Maturité du conflit	Année d'émergence	Type d'eau concernée	Type de conflit	Contacts s'il y a lieu	Information recueillie par
Estrie	North Hatley- Rivière Massawippi	Barrage de North Atley : Le niveau du lac est très bas et est influencé par les étés secs et la diminution des précipitations Conséquences :-Certains baies du lacs sont inaccessibles pendant des périodes de l'été	Résidentiel- ICI	récréotourisme	Moyen	Existant		Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Estrie	Saint-Denis-de-Brompton - Lac Desmarais	Barrages X0022589 et X002598: Gestion manuelle du niveau de l'eau par le retrait ou l'ajout de planches à l'automne et au printemps. Lors de périodes de pluie abondante ou de fonte des neiges, un actionnaire se rend sur place pour retirer manuellement le nombre requis de planches pour permettre l'écoulement des eaux. Aucun outil n'est en place pour surveiller et identifier le niveau d'eau acceptable A l'automne, le coactionnaire doit dégager les feuilles mortes qui perturbent l'écoulement de l'eau vers le barrage pour éviter l'élévation du niveau. Érosion des berges lorsque le niveau de l'eau est trop haut - Qualité de l'eau et faune aquatique	Résidentiel- ICI	récréotourisme	Moyen	Existant	10	Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Montérégie	Villes en bordure du fleuve	Prélèvement dans les eaux souterraines (vs fleuve) pour meilleure qualité de l'eau et diminution des coûts de traitement. C.A difficile à obtenir pour prélèvement dans le fleuve	Résidentiel- ICI	eau potable	Faible	Latent		Eau souterraine	Qualité et quantité	Nathalie Fortin, CRNC	Rencontre régionale St-Bruno Avril 2017
Montérégie	Granby	Enjeu d'approvisionnement en eau potable	Résidentiel - ICI	eau potable	Faible	Existant			Quantité	Valérie-Anne Bachand, MRC Haute-Yamaska	Rencontre régionale St-Bruno Avril 2017
Montérégie	St-Rémie	Problème de pompe									
Montérégie	Vaudreuil-Dorion	Assèchement en période estivale de la baie (allongement de la tuyauterie nécessaire)	Résidentiel - ICI	eau potable	Faible						
Montérégie	MRC Haut- St-Laurent, municipalité de Franklin	Captage d'eau souterraine pour embouteillage du Verger Leahy. Demande refusée par la CPTAQ (2015) pour "maintenir les conditions favorables à la pratique de l'agriculture dans le milieu concerné"	Agricole -Ind agroalimentaire	embouteillage jus				Eau souterraine	Quantité	Evelyne Sorel UPA	Décision CPTAQ 400650
Montérégie	St-Armand/Baie-Missisquoi	Contaminants émergents (antibiotiques, hormones, cyanotoxines)	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Latent		Eau de surface	Qualité	Nathalie Fortin, CRNC	Rencontre régionale St-Bruno Avril 2017
Montérégie	St-Hyacinthe	Assèchement et pompage requis dans la Yamaska (conatmination avec algues)	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Existant		Eau de surface	Quantité et qualité	Isabelle Couture, MAPAQ	Rencontre régionale St-Bruno Avril 2017
Montérégie	Municipalité de Rougemont	Doit faire venir de l'eau par camion citerne			Moyen	Existant		Eau souterraine	Quantité		PACES Montérégie Est (2013), p.20

Régions	Ville/localité	Description du conflit	Usagers concernés	Usages concernés	Intensité du conflit	Maturité du conflit	Année d'émergence	Type d'eau concernée	Type de conflit	Contacts s'il y a lieu	Information recueillie par
Montérégie	Plusieurs municipalités Montérégie Est	plusieurs municipalités de la Montérégie Est se sont tournées vers les eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau vs règlement sur captage et vs qualité des eaux de surface détériorée depuis 30 dernières années. Exploitation « durable » des eaux souterraines, quantité et qualité, incertaine. Vulnérabilité des aquifères?	Résidentiel-ICI		Moyen	Existant		Eau souterraine	Quantité et qualité		PACES Montérégie Est (2013), p.20
Montérégie	MRC Brome-Missisquoi	problèmes à trouver des puits pour répondre aux besoins en approvisionnement, coûts importants d'exploration pour des sources adéquates d'approvisionnement.	Résidentiel-ICI		Moyen	Existant		Eau souterraine	Quantité et qualité		PACES Montérégie Est (2013), p.20
Lanaudière	St-Cuthbert	Rejet des eaux usées. Régulé avec étang d'aération	Résidentiel-ICI	eau potable		Disparu					
Lanaudière	Rivière Chaloupe	Hausse du maraîchage, manque d'eau selon l'inventaire des registres de la ville	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Latent		Eau souterraine	Quantité	Fanny Beaudoin, OBV Bayonne	
Lanaudière	MRC D'Autray- Rivière St-Joseph	Gestion des barrages difficile, arbitrage sur qui doit avoir de l'eau. Demandes croissantes d'ajouts de barrage des producteurs	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Latent		Eau de surface	Quantité	Stéphane Allard, MRC D'Autray	
Lanaudière	Les municipalités de Lanoraie, Lavitire, Notre-Dame-de-Lourde, Saint-Paul et Saint-Thomas (portion sud)	exploitent essentiellement l'aquifère granulaire superficiel pour leurs besoins en eau potable et agricole. Elles représentent donc des régions à risque pour l'observation d'impacts sur les usagers.	Résidentiel-Agricole	eau potable	Moyen	Latent		Eau souterraine	Quantité		Étude de Technorem 2009
Lanaudière	Ste-Mélanie, MRC de Joliette	Hausse du nombre de maison en zone blanche en bordure de zones agricoles	Résidentiel-Agricole	eau potable	Faible	Latent		Eau souterraine	Quantité	Michel Lambert, Asso pour la gestion intégrée de la rivière Maskinongé	
Lanaudière	Mascouche	Pompage important dans la rivière, devient un filet. Nuit aux activités touristiques (canot, pêche, etc.)	Résidentiel-ICI	eau potable/irrigation	Moyen	Existant		Eau de surface	Quantité	Elsa Dufresne, Conseil des bassins versants des Mille-Iles	

Régions	Ville/localité	Description du conflit	Usagers concernés	Usages concernés	Intensité du conflit	Maturité du conflit	Année d'émergence	Type d'eau concernée	Type de conflit	Contacts s'il y a lieu	Information recueillie par
Centre-du-Québec	Princeville	La présence de barrage en zone agricole entraîne des inondations en crues	Résidentiel-Agricole		Faible	Existant		Eau de surface	Quantité (trop)	Pierre Guérard, Ferme Guérard et fils	
Centre-du-Québec	Bécancour	Eau salée en bordure du fleuve							Qualité	Jonathan Daigle, Groupe de concertation des BV de la zone Bécancour	
Centre-du-Québec	Zone du BV de la rivière Bécancours	aquifères granulaires d'étendu	Résidentiel-Agricole	eau potable/irrigation	Faible	Latent		Eau souterraine	Qualité		PACES la zone basse du bassin de la rivière Bécancour (Centre-du-Québec) (2013),
Centre-du-Québec	Drummondville-Rivière St-François	Barrage de la Chute-Hemmings :Le bris du barrage a provoqué plusieurs inondations au fil des années - La gestion du niveau de l'eau affecte les riverains, les plaisanciers et les propriétaires d'embarcations - La gestion du niveau de l'eau a des conséquences sur les poissons ; inquiète la communauté abénaquise d'Odanak - L'ouverture des vannes en période de crues provoque des inondations dans les villes en aval, dont Pierreville	Résidentiel-ICI	eau potable - récréotourisme	Moyen	inconnu	2000	Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Centre-du-Québec	Sainte-Praxède-Rivière St-François	Barrage Jules-Allard. Concerne le marnage du lac servant à réguler le niveau du lac, l'usage du plan d'eau par les riverains et usagers de plaisance, le débit en aval et la production d'électricité, sans parler de la faune et flore. - Mauvaise gestion des conflits reliés aux trois premiers usages soit la régulation du niveau du lac, les usages du plan d'eau par les riverains et usagers de plaisance et la gestion du débit en aval. - Impact sur les plaisanciers, les riverains et leurs équipements nautiques, et les commerces (marinas, postes d'essence, etc.) - Faune et flore : la présence du doré baisse beaucoup et le roseau commun s'étend	Résidentiel-ICI	eau potable - récréotourisme		Existant	2008	Eau de surface	Quantité	Catherine Frizzle, biol. M. Env. COGESAF (819) 864-1033 poste 23	Gestion adaptative et intégrée des barrages face aux changements climatiques et résiliences de communautés, 2017, http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2017/05/Rapport1.jpg
Chaudière-Appalaches	Honfleur	Demande de la municipalité d'installation d'un puits d'alimentation en eau potable ainsi que le retrait de la zone agricole l'aire de protection immédiate, bactériologique et virologique	Municipal-Agricole	Eau potable/épandage de fumier et de pesticides	Nul. Le producteur est compensé.	Existant	2014	Eau souterraine	Qualité et quantité		Décision CPTAQ 404647
Chaudière-Appalaches	Saint-Isidore	Demande de la municipalité de pouvoir implanter trois puits, un bâtiment de service, des chemins d'accès, une station de pompage (et une servitude temporaire pour les travaux). Ceci vient créer des contraintes minimales mais réelles dans l'utilisation des terres agricoles en raison du respect des aires de protection immédiate, bactériologique et virologique	Municipal-Agricole	Eau potable/épandage de fumier et de pesticides	Très faible	Existant	2016	Eau souterraine	Qualité et quantité		Décision CPTAQ 409090

ANNEXE 4

CHARTES DE CONSOMMATION POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

10. BESOIN EN EAU POUR L'IRRIGATION DES CULTURES ET LA PROTECTION CONTRE LE GEL

Les principales cultures irriguées ont été identifiées sur la base des fiches FLORA du MAPAQ. Les renseignements recueillis dans chaque région sur les cultures irriguées sont donc présentés selon les catégories des fiches FLORA.

Pour chacune des cultures, nous avons tenté de décrire ce que serait une régie moyenne et raisonnée de l'irrigation, sachant que dans la réalité des producteurs, il y a beaucoup de variations en fonction du climat de l'année, du type de sol, de la localisation (région) et des règles utilisées par les producteurs pour décider de recourir à l'irrigation. Les données disponibles concernant souvent un nombre restreint d'entreprises et de situations, nous avons donc fait des hypothèses de ce que serait une régie raisonnée et durable de l'irrigation, hypothèses qui ont été validées par les conseillers et experts consultés. Par exemple, nous avons volontairement limité à 2 mm la dose par apport dans les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte, en considérant par contre la possibilité d'avoir plusieurs apports au cours d'une journée, pratique souvent plus efficace que des apports plus importants en quantité, du fait du risque de perte par drainage.

Ces résultats sont donc à considérer avec les incertitudes, nécessairement grandes, qui y sont associées.

10.1 CULTURES EN SERRE

Les cultures en serre nécessitent des pratiques d'irrigation particulières et ont des besoins en eau importants puisque les précipitations ne profitent pas aux cultures abritées. Les besoins en eau des cultures sous serre peuvent être modélisés en se basant sur le rayonnement global (Bellouch et coll., 2007). Un modèle a été utilisé dans les différentes études de Technorem pour estimer les besoins en eau pour les serres en Montérégie (Technorem, 2008-b et e), dans Lanaudière (Technorem, 2008-a et 2009) et dans les Laurentides (Technorem, 2008-c et d).

Nous avons donc calculé pour chacune des régions à l'étude, et sur la base de données historiques mesurées dans les stations météorologiques d'Environnement Canada, le rayonnement global cumulé moyen par mois pour la période 1995-2015. Par la suite, nous avons estimé, sur la base des renseignements utilisés par Technorem (2008-e) concernant le type de culture, le coefficient cultural et le pourcentage de croissance par mois, les volumes d'eau nécessaires pour chaque culture, par mois, puis par l'intermédiaire d'une sommation, par an. Ces données sont présentées dans les Tableau 10.1 et Tableau 10.2.

Tableau 10.1
Total mensuel de la radiation incidente en J par mois.

Mois	n ^{bre} jour par mois	Nicolet	Sherbrooke	L'Assomption	Saint-Hubert	Beauceville
Janvier	31	17 138	17 237	18 249	18 443	16 113
Février	28	23 262	24 426	24 455	26 382	21 956
Mars	31	36 438	39 457	37 803	42 363	35 066
Avril	30	48 919	47 959	50 332	51 199	45 193
Mai	31	65 154	59 973	65 597	63 617	60 275
Juin	30	65 785	60 999	67 309	65 634	61 137
Juillet	31	65 400	61 894	67 817	66 517	60 515
Août	31	56 213	53 153	58 706	57 821	52 589
Septembre	30	41 642	39 690	43 538	42 979	38 640
Octobre	31	27 403	26 462	29 005	28 701	25 447
Novembre	30	15 671	15 351	16 876	16 428	14 663
Décembre	31	13 479	13 271	14 606	14 223	12 723

Dans le rapport Technorem (2008-a), nous trouvons les valeurs de référence présentées dans le Tableau 10.2 qui permettent de convertir la radiation en ETP (mm).

Tableau 10.2
Table de conversion mensuelle de la radiation en ETP (issue de Technorem 2008).

Mois	ETP/1000J
Janvier	1,41
Février	1,64
Mars	1,82
Avril	1,95
Mai	2,03
Juin	2,07
Juillet	2,07
Août	1,99
Septembre	1,85
Octobre	1,63
Novembre	1,32
Décembre	1,26

Enfin, pour convertir l'ETP en besoin en eau réel (ETR, $ETR = ETP * kc$), il convient de prendre en compte le coefficient cultural kc de la culture en question, et le taux d'occupation (c'est-à-dire le nombre de jours par mois où la culture est présente). Le Tableau 10.3 présente le résultat du produit entre le taux d'occupation en % et le coefficient cultural de chaque culture, toujours selon Technorem (2008).

Finalement, pour obtenir les besoins en eau en mm, il convient donc de multiplier le coefficient calculé dans le tableau 4.3 à partir du kc également présenté dans ce tableau (les kc utilisés sont ceux de Technorem, 2008-e) à l'ETP calculée pour chaque région. Les Tableau 10.3 à Tableau 10.8 présentent les estimations des besoins en eau pour chaque culture dans chaque région.

Tableau 10.3
Produit du coefficient cultural et du taux d'occupation

	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Fleurs annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Concombres, piments, tomates longues	Laitues
kc utilisé¹	0,644	0,644	0,833	0,644	0,833	0,833	0,745	0,906	0,906	0,745
Janvier	0	0	0	0	0,82608696	0,26086957	0,26086957	0	0,86956522	0,73913043
Février	0	0	0	0	0,98484848	0,70707071	0,65656566	0,63131313	1,01010101	0,95959596
Mars	0,05706134	0,7275321	0,18544936	0,05706134	0,9700428	0,9700428	0,88445078	1,02710414	1,0128388	0,95577746
Avril	0,71875	0,82291667	0,84375	0,71875	0,80208333	0,80208333	0,75	1,02083333	1,02083333	0,94791667
Mai	0,78202995	0,82362729	0,99001664	0,78202995	0,98169717	0,9733777	0,88186356	1,01497504	1,01497504	0,9484193
Juin	0,35631294	0,82106894	0,4879938	0,35631294	0,97598761	0,97598761	0,88303641	1,01471727	1,01471727	0,95274981
Juillet	0	0,82458771	0	0,72713643	0,80209895	0	0,74962519	0,87706147	1,01949025	0,95202399
Août	0	0,35422343	0	0,78110808	0,98092643	0,25431426	0,90826521	1,01725704	1,01725704	0,95367847
Septembre	0	0	0	0,35519126	0,96994536	0,87431694	0,87431694	1,02459016	1,02459016	0,95628415
octobre	0	0	0	0	0,79812207	0,98591549	0,75117371	1,00938967	1,00938967	0,93896714
novembre	0	0	0	0	0,98837209	0,98837209	0,93023256	0	1,04651163	0,93023256
décembre	0	0	0	0	0,99337748	0,79470199	0,86092715	0	0,99337748	0,92715232

Remarque 1 : Le kc utilisé est issu de Technorem (2008-e) et correspond à une valeur moyenne estimée pour la durée de la culture. Les valeurs par mois dans les lignes au-dessous correspondent au produit du kc et du taux d'occupation des serres (% des superficies en serre effectivement plantées, le mois donné).

Tableau 10.4
Besoin en eau (mm) des cultures sous serre au Centre-du-Québec.

Nicolet	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Fleurs annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Laitues	
Janvier	0	0	0	0	20	6	6	0	21	18
Février	0	0	0	0	38	27	25	24	39	37
Mars	4	48	12	4	64	64	59	68	67	63
Avril	69	79	80	69	77	77	72	97	97	90
Mai	103	109	131	103	130	129	117	134	134	125
Juin	49	112	66	49	133	133	120	138	138	130
Juillet	0	112	0	98	109	0	101	119	138	129
Août	0	40	0	87	110	28	102	114	114	107
Septembre	0	0	0	27	75	67	67	79	79	74
Octobre	0	0	0	0	36	44	34	45	45	42
Novembre	0	0	0	0	20	20	19	0	22	19
Décembre	0	0	0	0	17	13	15	0	17	16
Total	224	499	290	437	827	610	736	819	911	850

Tableau 10.5
Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Estrie.

Sherbrooke	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Flours annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Laitues	
Janvier	0	0	0	0	20	6	6	0	21	18
Février	0	0	0	0	39	28	26	25	40	38
Mars	4	52	13	4	70	70	64	74	73	69
Avril	67	77	79	67	75	75	70	95	95	89
Mai	95	100	121	95	120	119	107	124	124	115
Juin	45	104	62	45	123	123	111	128	128	120
Juillet	0	106	0	93	103	0	96	112	131	122
Août	0	37	0	83	104	27	96	108	108	101
Septembre	0	0	0	26	71	64	64	75	75	70
Octobre	0	0	0	0	34	43	32	44	44	40
Novembre	0	0	0	0	20	20	19	0	21	19
Décembre	0	0	0	0	17	13	14	0	17	16
Total	212	476	274	413	796	588	707	785	876	817

Tableau 10.6
Besoin en eau (mm) des cultures sous serre dans Lanaudière.

L'Assomption	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Fleurs annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Laitues	
Janvier	0	0	0	0	21	7	7	0	22	19
Février	0	0	0	0	39	28	26	25	41	38
Mars	4	50	13	4	67	67	61	71	70	66
Avril	71	81	83	71	79	79	74	100	100	93
Mai	104	110	132	104	131	130	117	135	135	126
Juin	50	114	68	50	136	136	123	141	141	133
Juillet	0	116	0	102	113	0	105	123	143	134
Août	0	41	0	91	115	30	106	119	119	111
Septembre	0	0	0	29	78	70	70	83	83	77
Octobre	0	0	0	0	38	47	36	48	48	44
Novembre	0	0	0	0	22	22	21	0	23	21
Décembre	0	0	0	0	18	15	16	0	18	17
Total	228	512	295	450	856	630	762	845	943	880

Tableau 10.7
Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Montérégie

Saint- Hubert	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Fleurs annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Laitues	
Janvier	0	0	0	0	21	7	7	0	23	19
Février	0	0	0	0	43	31	28	27	44	42
Mars	4	56	14	4	75	75	68	79	78	74
Avril	72	82	84	72	80	80	75	102	102	95
Mai	101	106	128	101	127	126	114	131	131	122
Juin	48	112	66	48	133	133	120	138	138	129
Juillet	0	114	0	100	110	0	103	121	140	131
Août	0	41	0	90	113	29	105	117	117	110
Septembre	0	0	0	28	77	70	70	81	81	76
Octobre	0	0	0	0	37	46	35	47	47	44
Novembre	0	0	0	0	21	21	20	0	23	20
Décembre	0	0	0	0	18	14	15	0	18	17
Total	226	510	293	444	855	631	760	844	942	879

Tableau 10.8
Besoin en eau (mm) des cultures sous serre en Chaudière-Appalaches

Beauceville	Légumes caissette jardin	Légumes caissette champ	Fleurs annuelles caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombres, piments, tomates	Laitues	
Janvier	0	0	0	0	19	6	6	0	20	17
Février	0	0	0	0	35	25	24	23	36	35
Mars	4	46	12	4	62	62	56	66	65	61
Avril	63	73	74	63	71	71	66	90	90	84
Mai	96	101	121	96	120	119	108	124	124	116
Juin	45	104	62	45	124	124	112	128	128	121
Juillet	0	103	0	91	100	0	94	110	128	119
Août	0	37	0	82	103	27	95	106	106	100
Septembre	0	0	0	25	69	62	62	73	73	68
Octobre	0	0	0	0	33	41	31	42	42	39
Novembre	0	0	0	0	19	19	18	0	20	18
Décembre	0	0	0	0	16	13	14	0	16	15
Total	208	464	269	406	771	568	686	762	849	792

10.2 BLEUETS DE CORYMBES OU GÉANTS

Dans les 5 régions à l'étude, seuls les bleuets de corymbes sont irrigués à notre connaissance. La majorité des champs de bleuets sont cultivés en pleine terre, mais la culture des bleuets en pots serait en essor vu sa facilité de gestion, notamment en ce qui concerne les risques de gel. Dans les paragraphes suivants, nous décrivons l'irrigation d'une bleuetière de plein champ. L'irrigation des bleuetières n'est pas systématique, ce qui conduit à des pourcentages de surfaces irriguées variables d'une région à l'autre. Ces pourcentages sont supérieurs dans les régions plus chaudes et plus sèches (le Centre-du-Québec, Lanaudière et la Montérégie).

Le système dominant est le goutte-à-goutte (GAG), cependant, dans Lanaudière, les bleuets sont souvent cultivés sur d'anciennes terres à tabac, et les entreprises cultivant ces terres possèdent souvent des systèmes d'irrigation par aspersion qu'elles utilisaient pour le tabac.

L'irrigation dans le cas du bleuet se résume souvent à une irrigation de « confort » (sous-entendue non essentielle pour la survie des plantes), pour maintenir le régime hydrique en cas de sécheresse, ce qui explique que tous les producteurs ne la pratiquent pas, et que les volumes soient très variables, mais généralement faibles (Boivin, 2008, Boivin et coll., 2008, Boivin et Landry, 2011) (Tableau 10.9).

Tableau 10.9
Informations recueillies sur l'irrigation des bleuets de corymbes

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	90	25	50	100	90
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	Aspersion	GAG
Nombre moyen d'apports	20	15	15	4	20
Dose moyenne par apport (mm)	3	3	3	15	3
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	12	12	12	14	12
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	120 mm (3 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)

Légende : GAG = goutte-à-goutte.

10.3 CANNEBERGES

La culture de la canneberge nécessite le recours à l'eau à différentes étapes du cycle cultural :

- Aspersion au printemps pour la protection contre le gel
- Inondation estivale pour la lutte contre les insectes
- Irrigation estivale pour limiter le stress hydrique
- Aspersion de fin d'été pour la protection contre les températures élevées
- Aspersion à l'automne pour la protection contre le gel
- Inondation à l'automne pour la récolte
- Inondation en début d'hiver pour la création d'une couche de glace qui va protéger les plantes du gel

La majorité des canneberges fonctionnent aujourd'hui en cycle fermé, c'est-à-dire que l'eau de drainage des champs est pompée de nouveau dans de grands réservoirs, afin de servir par la suite à l'irrigation ou à l'inondation des champs. De ce fait, il y aurait peu ou pas de prélèvements d'eau dans les cours d'eau en période estivale. Des prélèvements pourraient survenir en période de fort débit ou de crue au printemps, pour remplir les réservoirs avant l'été, si ceux-ci ne sont pas déjà pleins après la fonte des neiges. Néanmoins, les besoins en eau pour l'irrigation semblent très variables. Selon Jabet (2014)¹⁷⁴, les doses d'irrigation appliquées peuvent varier entre 75 mm et 843 mm durant la saison estivale, en fonction des précipitations observées et de la régie de l'irrigation. Pelletier et coll. (2015)¹⁷⁵ ont mesuré des volumes variant entre 24 et 168 mm par été dans différentes parcelles de producteur faisant l'objet d'un contrôle de la nappe. Enfin, le CEHQ¹⁷⁶ estimait en 2008 que l'irrigation estivale représentait en moyenne 350 mm.

Il semble que certaines années, et en fonction de la régie d'irrigation mise en œuvre par les producteurs, les réservoirs puissent ne pas toujours satisfaire aux besoins, auquel cas les producteurs n'auraient d'autres choix que de les remplir avec de l'eau provenant des cours d'eau environnants. Cette situation semblant de plus en plus rare, nous avons fait l'hypothèse dans nos bilans qu'il n'y a pas de prélèvements en période estivale. L'irrigation de la canneberge n'est donc pas comptabilisée dans la somme des prélèvements dans les eaux de surface en période critique, qui est comparée aux débits d'étiage.

Sur la base des renseignements recueillis ci-dessus, nous avons donc estimé le volume d'irrigation estival à 350 mm (Tableau 10.10). Cette eau étant principalement évaporée, nous avons utilisé ce chiffre pour le calcul des prélèvements totaux annuels du système, considérant que le reste de l'eau utilisé au cours de l'année pouvait être drainé, pompé de nouveau et réutilisé.

¹⁷⁴ T. Jabet, 2014. Étude des retombées économiques liées à l'utilisation de tensiomètres. Mémoire de fin d'études. INP Toulouse Purpan / Université Laval. 112 p.

¹⁷⁵ Pelletier et coll. (2015), Water table control for increasing yield and saving water in cranberry production. Sustainability 7, p. 10602-10619.

¹⁷⁶ CEHQ, 2008. Étude d'impact hydrologique de la production de canneberges dans le bassin versant de la rivière Bécancour. Définition de pistes de solutions pour l'approvisionnement en eau. Association des producteurs de canneberges du Québec. 59 p.

Tableau 10.10
Informations recueillies sur l'irrigation des canneberges

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	- (pas cultivé)	100	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	-	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	-	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	39	39	-	39	39
Dose moyenne par apport (mm)	9	9	-	9	9

Légende : GAG= goutte-à-goutte.

10.4 FRAISES D'AUTOMNE (OU FRAISES À JOURS NEUTRES)

Les fraises d'automne ou fraises à jours neutres sont toutes irriguées au GAG, peu importe les régions, car cultivées en plasticulture. Ce type de fraises, souvent de variété Seascape, est planté en juin, et fertigué durant l'été jusqu'à septembre. Cette variété d'automne est produite jusqu'au premier gel et est souvent conservée pour produire l'année suivante.

Ce type de fraises est donc systématiquement irrigué. En ce qui concerne les volumes utilisés, Boivin et Deschenes (2011) rapportent des prélèvements de l'ordre de 50 mm pour une saison, atteignant 100 mm dans un cas. Caron et coll. (2015) rapportent des volumes compris entre environ 100 et 160 mm par saison. Boivin et coll. (2016) rapportent une cinquantaine d'apports au cours d'une saison dans le cadre d'une gestion raisonnée de l'irrigation.

Le volume moyen par apport a été estimé à 2 mm et les apports seraient répartis de mi-juin à fin septembre. Le nombre d'apports estimé varie en fonction de la région (différence de climat et de sols) (Tableau 10.11).

Tableau 10.11
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'automne

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	100	100	100
Période d'apport	Mi-juin à fin septembre	Mi-juin à fin septembre	Mi-juin à fin septembre	Mi-juin à fin septembre	Mi-juin à fin septembre
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	70	50	50	70	70
Dose moyenne par apport (mm)	2	2	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	14	14	14	14

10.5 FRAISES CONVENTIONNELLES ET À HAUTE DENSITÉ

Cette catégorie de fraises dans les fiches FLORA regroupe deux systèmes de culture qui sont en réalité très différents : des systèmes de fraises d'été en rang natté, souvent cultivées sur des buttes ou des planches, et des systèmes de fraises d'été plantés à haute densité, au travers d'un couvert de plastique et avec un système d'irrigation goutte-à-goutte. Nous les avons donc traitées séparément. Les superficies cultivées de chaque type de fraises ont été estimées (Tableau 10.12).

Tableau 10.12
Superficie estimée de chaque type de fraises.

Superficie de chaque type estimée (ha)	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Fraises conventionnelles et à haute densité (fiches FLORA)	110	248	77	150	355
Fraises à haute densité	20	15	8	15	35
Fraises conventionnelles	90	233	69	135	320

10.5.1 FRAISES À HAUTE DENSITÉ

Les fraises à haute densité sont cultivées en plasticulture avec un système d'irrigation goutte-à-goutte. Elles rentrent en production assez tôt dans l'année et ont des besoins en eau surtout pendant la période de production, qui s'achève au courant du mois de juillet. Par contre, il est nécessaire de les irriguer jusqu'au mois de septembre, du fait de la présence du paillis plastique, si

la plantation vise à être conservée pour l'année suivante. Les besoins en eau sont néanmoins plus faibles dans cette période qu'une fraise d'automne en production par exemple (Tableau 10.13). Boivin et coll. (2017) rapportent environ une dizaine d'épisodes d'irrigation par an, seulement pour la période de production.

Tableau 10.13
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été plantées à haute densité

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	100	100	100
Période d'apport	Juin	Juin	Juin	Juin	Juin
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	35	25	20	35	35
Dose moyenne par apport (mm)	2	2	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	14	14	14	14
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	120 mm (3 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)

10.5.2 FRAISES EN RANG NATTÉ

Le système des fraises en rang natté est le système encore dominant au Québec. Il s'agit de fraises produites en début d'été. Elles sont implantées début mai, et ne produisent pas la première année. La seconde année, les producteurs réactivent la plantation en la fauchant après la récolte. Elles ne sont pas systématiquement irriguées, et quand elles le sont, c'est par l'intermédiaire d'un système d'asperseurs, le plus souvent pour éviter les stress hydriques pendant la période de production s'étalant de juin à juillet. À noter que ce type de fraises est également protégé contre le gel avec une aspersion des plantes pendant les nuits trop fraîches de mai à juin. Le nombre de nuits où il est nécessaire de protéger les fraisières contre le gel varie de 2 à 3 par année en moyenne, en fonction des régions, à raison d'environ 40 mm par nuit en moyenne.

Tableau 10.14
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été en rang natté

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	15	0	50	100	100
Période d'apport	Juin	Juin	Juin	Juin	Juin
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	2	2	2	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	20	20	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	20	20	20	20
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	120 mm (3 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)

10.6 FRAMBOISES CONVENTIONNELLES ET FRAMBOISES D'AUTOMNE

Dans les fiches FLORA, deux types de framboises sont distinguées : la framboise dite « conventionnelle » et la framboise « d'automne ». Cependant, ces deux types de framboises auraient le même type de système d'irrigation. Les framboisiers sont irrigués la plupart du temps au goutte-à-goutte (Bergeron, 2008). Les producteurs qui possèdent de grandes surfaces sont spécialisés, mais il y a aussi quelques producteurs diversifiés qui cultivent des framboises. Les apports ont lieu à partir de la floraison (en juin) jusqu'à la récolte (en juillet).

Tableau 10.15
Informations recueillies sur l'irrigation des framboises

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	0	25	10	100	100
Période d'apport	-	Juin à juillet	Juin à juillet	Juin à juillet	Juin à juillet
Type de système d'irrigation dominant	-	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	-	15	15	15	15
Dose moyenne par apport (mm)	-	2	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	-	8	8	8	8

10.7 MELONS ET CANTALOUPS

Les melons et cantaloups sont principalement cultivés en Montérégie. Le système d'irrigation le plus courant est par goutte-à-goutte. Les apports d'irrigation sont très variables d'une entreprise à l'autre, avec des doses d'apport quotidiennes souvent trop importantes par rapport à la capacité de rétention en eau du sol dans l'horizon exploré par les racines, signifiant qu'une partie de l'eau apportée ne bénéficie pas à la plante (Boivin et coll., 2016). Une régie raisonnée moyenne serait de 15 apports d'environ 2 mm entre juin et août. Environ la moitié des superficies serait irriguée.

Tableau 10.16
Informations recueillies sur l'irrigation des melons et cantaloups

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50
Période d'apport	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG
Nombre moyen d'apports	15
Dose moyenne par apport (mm)	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	10

10.8 VIGNES

La plupart des vignobles ne seraient pas irrigués. Cependant, il semble que les vignes plus récemment plantées soient irriguées au goutte-à-goutte. L'irrigation de cette culture n'a pas été considérée faute de connaissance suffisante et de la relative marginalité de la culture en superficie, et de surcroît en superficie irriguée.

10.9 POMMIERS

Il existe trois catégories de vergers de pommiers : les vergers de pommiers nains, semi-nains et standards. Ces vergers se distinguent par le choix des variétés et des porte-greffes, avec des potentiels de croissance et de tailles des arbres différents, et donc des densités de plantation et des systèmes d'irrigation différents.

Les pommiers nains sont la plupart du temps irrigués au goutte-à-goutte (Harnois, 2002) (Tableau 10.17), sauf dans Lanaudière, où les superficies sont très faibles. Les pommiers semi-nains le sont moins systématiquement, et les pommiers standards ne le sont quasiment jamais.

Pour estimer les quantités d'eau apportées aux pommiers nains, nous nous sommes basés sur le dimensionnement des systèmes d'irrigation, ainsi que sur la durée d'un épisode d'irrigation (Duraclub, 2016). Sur la base des densités de plantation des arbres, du nombre de lignes de goutteurs et de la distance entre goutteurs, nous avons déterminé qu'il y avait 4 448 goutteurs par ha¹⁷⁷, d'un débit de 0,53 gallon US par heure. Un épisode d'irrigation durant en moyenne 2 heures, cela correspond à 17 789 litres, soit 18 m³ pour un épisode d'irrigation. Nous avons considéré qu'un producteur pratique en moyenne une trentaine d'épisodes d'irrigation par an.

Pour les pommiers semi-nains, nous avons procédé au même calcul, ce qui nous a amenés, compte tenu des densités d'arbres différentes¹⁷⁸, à un volume de 1,1 m³.

¹⁷⁷ 1 ha = 100 m x 100 m = 38 pi x 328 pi. Une ligne tous les 12 pieds = 27 lignes par ha. 1 goutteur tous les 24 pouces = 164 goutteurs par lignes --> 4 428 goutteurs de 0,53 gph. 1 gallon = 3,79 litres. Pour deux heures d'irrigation, cela fait 17 789 litres (4 428 x 0,53 gph x 3,79 l/g x 2 h), soit 18 m³ (arrondi), soit 1,8 mm.

¹⁷⁸ Une ligne tous les 20 pieds = 16 lignes. 1 goutteur tous les 24 pouces = 164 goutteurs par lignes --> 2 624 goutteurs de 0,53 gph. Pour deux heures d'irrigation, cela fait 10 542 litres (2 624 x 0,53 gph x 3,79 l/g x 2 h), soit 10,5 m³ (arrondi), soit 1,1 mm.

Tableau 10.17
Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers nains

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	100	0	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	-	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	-	GAG
Nombre moyen d'apports	30	20	40	-	30
Dose moyenne par apport (mm)	1,8	1,8	1,8	-	1,8
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	7,2	5,4	7,2	-	7,2

Tableau 10.18
Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers semi-nains

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	20	20	20	0	20
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	-	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	-	GAG
Nombre moyen d'apports	30	20	40	-	30
Dose moyenne par apport (mm)	1,1	1,1	1,1	-	1,1
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	4,4	3,3	4,4	-	4,4

10.10 ASPERGES

La plupart des asperges cultivées dans les régions à l'étude le sont dans Lanaudière. Face à l'absence de données pour les autres régions, nous avons considéré que le même pourcentage des superficies cultivées dans Lanaudière s'appliquait dans les autres régions où l'asperge serait irriguée (Montérégie et Centre-du-Québec). Les asperges sont irriguées par aspersion. Il y a 2 à 3 apports en cours de saison (du 15 juillet à fin août) d'un peu moins d'un pouce d'eau (évalué à 20 mm), auxquels s'ajoutent des apports 1 à 2 nuits par an pour protéger contre le gel. Dans ce cas, on parle d'environ 1,5 po d'eau (évalué à 30 mm).

Tableau 10.19
Informations recueillies sur l'irrigation des asperges

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	85	0	0	85	85
Période d'apport	Juillet à août	-	-	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	-	-	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	-	-	3	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	-	-	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	-	-	20	20
Aspersion contre le gel	60 mm (2 nuits à 30 mm)	-	-	60 mm (2 nuits à 30 mm)	60 mm (2 nuits à 30 mm)

10.11 BETTERAVES POTAGÈRES

Les betteraves potagères ne seraient pas irriguées la plupart du temps, car cultivées dans des sols relativement lourds avec une bonne rétention en eau. Cependant, en Montérégie 50 % des superficies recevraient un apport d'un pouce d'eau au cours du cycle, en cas de sécheresse (Tableau 10.20).

Tableau 10.20
Informations recueillies sur l'irrigation des betteraves potagères

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50
Période d'apport	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1
Dose moyenne par apport (mm)	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25

10.12 BROCOLIS

Les brocolis sont cultivés en Montérégie en terres minérales ainsi que dans Lanaudière, avec des superficies qui seraient en augmentation. Ils seraient destinés en partie à la surgélation. Les brocolis sont parfois cultivés à la suite d'une autre culture courte, comme l'oignon espagnol. 50 % des superficies recevraient deux apports d'un pouce d'eau, un à la plantation et un au cours de la culture en Montérégie. Dans Lanaudière, ce serait un apport au cours de la culture (Tableau 10.21).

Tableau 10.21
Informations recueillies sur l'irrigation des brocolis

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50	50
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	2
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

10.13 CHOUX

Il existe différentes variétés de choux (chou vert pommé, chou chinois, chou nappa et autres légumes asiatiques). Dans Lanaudière, la moitié des superficies seraient irriguées. Dans la MRC de Joliette, les cultures de choux sont irriguées une fois par semaine, environ $\frac{3}{4}$ de po par apport, sur la période de culture qui dure environ 2 mois. Il y aurait environ 4 irrigations au cours du cycle. Dans la région de Montcalm, il y a plutôt deux apports de 1 po d'eau environ sur la durée du cycle. Nous avons donc défini une régie moyenne de 3 apports de 20 mm pour prendre en compte les disparités entre les régions. En Montérégie, 50 % des superficies seraient irriguées et recevraient 2 apports d'un pouce d'eau en moyenne, ce qui semble cohérent avec ce qui a été observé par Boivin et coll., 2016.

Tableau 10.22
Informations recueillies sur l'irrigation des choux

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50	50
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	3	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25

10.14 CHOUX-FLEURS

Les choux-fleurs sont cultivés en partie pour la transformation. 50 % des superficies seraient irriguées. La régie de l'irrigation des choux-fleurs serait proche de celle des brocolis (Boivin et coll., 2016), ainsi nous avons appliqué les mêmes nombres d'apports.

Tableau 10.23
Informations recueillies sur l'irrigation des choux-fleurs

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50	50
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	2
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

10.15 CITROUILLES, COURGES ET COURGETTES

Dans Lanaudière, les courges, y compris les courgettes et les citrouilles, sont irriguées dans les MRC d'Autray et de Joliette. Les courges d'automne sont cultivées sur sol sableux, et, dans ce cas, reçoivent environ 3 apports de $\frac{3}{4}$ de pouce au courant des mois de juillet et d'août. Ces cultures sont toutes irriguées par aspersion.

En Montérégie, la plupart du temps les citrouilles et les courges ne sont pas irriguées, par contre les courgettes le sont, souvent en goutte-à-goutte (Boivin et coll., 2016). Les courgettes représenteraient environ 30 % des superficies.

Tableau 10.24
Informations recueillies sur l'irrigation des courges, citrouilles et courgettes

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	30 (courgettes)
Période d'apport	Juillet à août	Fin mai à fin août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	GAG
Nombre moyen d'apports	3	10
Dose moyenne par apport (mm)	20	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	6

10.16 CONCOMBRES POUR LE MARCHÉ FRAIS

La majorité des concombres cultivés pour le marché frais sont irrigués au goutte-à-goutte et cultivés sur paillis plastique. Une dizaine d'apports d'environ 2 mm seraient réalisés en moyenne.

Tableau 10.25
Informations recueillies sur l'irrigation des concombres

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées	100	70
Période d'apport	Fin mai à fin août	Fin mai à fin août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	10	10
Dose moyenne par apport (mm)	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	6	6

10.17 ÉCHALOTES FRANÇAISES

Les échalotes françaises sont surtout cultivées en terres noires, et ont une régie de l'irrigation proche de l'oignon. Il s'agit d'une culture semée, qui est souvent irriguée au semis, comme l'oignon. Nous avons donc considéré que la régie de l'irrigation était la même que celle de l'oignon.

Tableau 10.26
Informations recueillies sur l'irrigation des échalotes françaises

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50	50
Période d'apport	Juillet	Juillet
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

10.18 ÉPINARDS

Les épinards seraient irrigués éventuellement une fois au cours du cycle, au besoin. 50 % des superficies (concentrées en terres noires en Montérégie) recevraient un apport d'eau par aspersion.

Tableau 10.27
Informations recueillies sur l'irrigation des épinards

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50
Période d'apport	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1
Dose moyenne par apport (mm)	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25

10.19 FINES HERBES

Les fines herbes seraient irriguées éventuellement une fois au cours du cycle, au besoin. 50 % des superficies (concentrées en terres noires en Montérégie) recevraient un apport d'eau par aspersion.

Tableau 10.28
Informations recueillies sur l'irrigation des fines herbes

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50
Période d'apport	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1
Dose moyenne par apport (mm)	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25

10.20 NAVETS ET RUTABAGAS

Ces cultures ne seraient pas irriguées, car cultivées en sols plus lourds avec de bonnes réserves en eau.

10.21 OIGNONS SECS ET OIGNONS ESPAGNOLS

Il convient de distinguer l'oignon jaune (oignon de longue conservation) de l'oignon espagnol qui est un oignon frais (pas de garde).

En terre minérale, l'oignon espagnol est majoritairement cultivé pour le marché frais. Ce type d'oignon peut être irrigué par aspersion à la plantation pour favoriser la reprise. Il est par contre rarement irrigué par la suite.

L'oignon jaune est cultivé en terres noires en Montérégie et dans Lanaudière sur des sols légers et sableux. En terre noire, il est irrigué seulement 5 à 3 semaines avant la récolte afin de gagner en calibre. Il est question d'un apport d'un pouce d'eau environ.

Dans Lanaudière, l'irrigation est souvent faite à l'aide d'enrouleurs ou de gicleurs. Sur les sols très sableux, il y a deux apports par semaine, de 12 à 15 mm, de juin à mi-août en moyenne (Boivin et coll., 2016).

Tableau 10.29
Informations recueillies sur l'irrigation des oignons

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	50
Période d'apport	Juin à août	Juillet
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	8	1
Dose moyenne par apport (mm)	15	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	15	25

10.22 OIGNONS VERTS

L'oignon vert est une culture de 60 à 70 jours, d'une durée plus courte que l'oignon jaune. Il n'y a d'irrigation qu'en cas de coups de chaleur. Il y a des risques à la plantation en raison du chancre (brûlure). Ce type d'oignon est cultivé majoritairement en terres noires en Montérégie et dans Lanaudière.

Tableau 10.30
Informations recueillies sur l'irrigation des oignons verts

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	30	30
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

10.23 POIVRONS

Les poivrons sont cultivés en goutte-à-goutte et en plasticulture, principalement en Montérégie. Beaucoup de mesures réalisées sur cette culture par Boivin et coll. (2016) ont montré des pertes d'eau en raison de doses trop importantes. Une dose moyenne raisonnée serait d'environ 2 mm, correspondant à 60 apports en moyenne par été.

Tableau 10.31
Informations recueillies sur l'irrigation des poivrons.

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100
Période d'apport	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG
Nombre moyen d'apports	60
Dose moyenne par apport (mm)	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14

10.24 POMMES DE TERRE

Les pommes de terre sont cultivées au Québec pour 4 marchés principaux : la semence, le marché frais et la transformation : prépelage et croustilles.

En Montérégie, les pommes de terre sont surtout cultivées dans la zone de Saint-Amable, mais les surfaces ont beaucoup diminué depuis 2006 en raison de l'apparition d'un ravageur, le nématode doré. Dans la zone de Saint-Amable, la plupart du temps, il semble que les pommes de terre ne soient pas irriguées, car les parcelles sont sur des sols très profonds sableux sur un fond argileux, avec une nappe phréatique superficielle proche : les pommes de terre ne manquent pas d'eau. Il y aurait environ 300 ha de pommes de terre rouges hâtives en terres noires, qui ne sont pas irriguées.

Dans Lanaudière, la majorité des pommes de terre sont cultivées dans les MRC de Joliette, d'Autray et de L'Assomption, sur des sols sableux. Dans ce cas, l'horizon racinaire exploré est de l'ordre de 30 cm, ce qui fait en moyenne une capacité de rétention des sols de l'ordre de 21 mm : cette faible rétention en eau oblige à irriguer les pommes de terre (Lepage et Juteau, 2015). Il y a environ 25 % des surfaces des pommes de terre de la région qui sont cultivées dans d'autres MRC de Lanaudière (notamment MRC de Montcalm), et qui ne sont souvent pas irriguées. Le système majoritaire pour l'irrigation est l'enrouleur, présent sur environ 2 000 ha. Les pivots doivent couvrir environ 400 ha, et le reste des systèmes sont des gicleurs. La moitié de l'eau utilisée est directement pompée dans les cours d'eau, et l'autre moitié provient d'étangs d'irrigation qui drainent naturellement de l'eau de surface (par exemple, des tourbières).

En Chaudière-Appalaches, les pommes de terre ne sont que rarement irriguées, ce qui correspondrait à environ 25 % des superficies. Dans le Centre-du-Québec, une minorité de producteurs (moins de 5) ont mis en place des systèmes d'irrigation des pommes de terre.

En ce qui concerne les doses appliquées, nous avons considéré des doses de $\frac{3}{4}$ de pouces environ (20 mm) et le nombre d'apports a été déterminé selon le type de sol dominant et les pratiques répertoriées (Bergeron, 2012; Deschênes et Boivin, 2014).

Tableau 10.32
Informations recueillies sur l'irrigation des pommes de terre

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	50	25	0	75	0
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	-	Juin à août	-
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	-	Aspersion	-
Nombre moyen d'apports	6	3	-	8	-
Dose moyenne par apport (mm)	20	20	-	20	-
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	40	20	-	40	-

10.25 RADIS

Les radis sont principalement cultivés en Montérégie et dans Lanaudière. Ils seraient irrigués par aspersion lors des semis pour assurer une levée homogène (Tableau 10.33), mais pas systématiquement.

Tableau 10.33
Informations recueillies sur l'irrigation des radis

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	30	30
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

10.26 TOMATES DE CHAMPS

Les tomates sont cultivées en plasticulture et irriguées en goutte-à-goutte, principalement en Montérégie. L'irrigation de la tomate est nécessaire pour limiter les effets des stress hydriques, notamment l'apparition de nécroses apicales dues à un manque d'assimilation du calcium, ce qui est fréquent lorsque la plante vit un stress hydrique. Les suivis de Boivin et coll. (2016) dans des

champs de tomates ont montré que les doses apportées par épisode d'irrigation excédaient souvent la capacité de rétention en eau du sol. De plus, nous avons retenu une dose par apport faible (2 mm), mais un nombre d'apports légèrement plus important que ce qui a été observé afin de refléter ce que serait une régie raisonnée de l'irrigation (Tableau 10.34).

Tableau 10.34
Informations recueillies sur l'irrigation des tomates de champs

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100
Période d'apport	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG
Nombre moyen d'apports	60
Dose moyenne par apport (mm)	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14

10.27 AUTRES LÉGUMES

Cette classe des fiches FLORA ne nous permet pas de décrire les pratiques d'irrigation éventuelles des légumes concernés, étant donné le manque d'information sur le type exact de culture. Nous n'avons donc pas décrit de types de système d'irrigation pour cette classe.

10.28 HARICOTS

La majorité des haricots est cultivée pour la transformation. La plupart du temps, ces légumes sont cultivés par des producteurs de grandes cultures. Les semis ont lieu entre la fin mai et la fin juillet (en fonction du contrat, pour obtenir une récolte étalée), et la culture est récoltée par les acheteurs qui sous-traitent les opérations. Les haricots sont rarement irrigués en Montérégie (3 % des superficies cultivées), seuls les haricots extra fins le sont parfois. Par contre, dans Lanaudière, ils le sont davantage, jusqu'à concurrence de près de 15 % des superficies. Dans cette région, les haricots extra fins sont irrigués dans les 4 MRC de Joliette, d'Autray, de L'Assomption et de Montcalm. Il peut y avoir un apport aux semis, puis 3 apports de $\frac{3}{4}$ de po environ au cours du cycle. Cela correspond aux volumes mesurés par Deschenes et coll. (2013), soit 77 mm sur sol argileux et 90 mm sur sol sableux.

Tableau 10.35
Informations recueillies sur l'irrigation des haricots

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	14	3
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	4	4
Dose moyenne par apport (mm)	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	40	40

10.29 CAROTTES

En Montérégie, une très faible part des superficies serait irriguée lors des semis pour assurer une levée homogène. Ce serait essentiellement les carottes destinées au marché frais (carottes bottelées) qui seraient irriguées. Les carottes poussent en terres minérales et sur quelques zones de terres noires, où historiquement elles n'étaient pas irriguées. La carotte est principalement destinée à l'entreposage et est récoltée tard, il s'agit donc de variétés à cycle long qui sont cultivées. Les semis sont généralement étalés, les producteurs vont souvent faire un champ de carottes hâtives, et le reste plus tard, après les semis et les plantations d'oignons. La carotte bottelée ou vendue en saison peut éventuellement recevoir une irrigation; cela représente environ 5 % des superficies. Cela représenterait en moyenne un apport d'eau de 1 pouce soit 25 mm.

Dans Lanaudière, les carottes sont surtout irriguées dans la MRC de Joliette. Elles ne sont pas irriguées à L'Assomption ni dans la MRC de Montcalm. Il y a environ 40 ha qui sont irrigués tous les ans, sous forme de 3 à 4 apports au gicleur, d'environ $\frac{3}{4}$ de po. Les apports ont lieu de la mi-juillet à début septembre. Sur les sols sableux, les carottes de transformation sont moins irriguées que celles utilisées pour le marché frais.

Tableau 10.36
Informations recueillies sur l'irrigation des carottes

	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	15	5
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	4	1
Dose moyenne par apport (mm)	20	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	40	25

10.30 MAÏS SUCRÉ

Il existe plusieurs types de maïs sucré. Le maïs sucré primeur est réalisé avec des semis hâtifs sur plastique transparent au début du mois de mai. Ce maïs possède des épis plus petits et est récolté début juillet. Les maïs hâtifs sont semés sur des loam sableux en général.

Le maïs sucré est dirigé vers deux destinations, soit le marché frais et celui de la transformation. En Montérégie et au Centre-du-Québec, une très faible part des superficies serait irriguée, et recevrait en moyenne deux apports de 20 mm. Dans Lanaudière, il y aurait environ 100 à 125 ha de maïs sucrés primeur irrigués, sous forme de 2 ou 3 apports à l'épiaison à la fin du mois de mai et au début juin. Il s'agit d'apports réalisés à l'aide d'enrouleurs.

Tableau 10.37
Informations recueillies sur l'irrigation du maïs sucré

	Centre-du-Québec	Chaudière-Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	5	0	0	15	3
Période d'apport	Mai à juin	-	-	Mai à juin	Mai à juin
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	-	-	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	-	-	3	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	-	-	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	-	-	20	20

10.31 LAITUES

La Montérégie concentre la majorité des laitues, destinées au marché frais et à la transformation (en sachet prélavé). Il y a 3 types de laitues : les pommées, les romaines et les laitues feuilles (frisées, par exemple). Le mesclun représente une surface importante et est en augmentation. Les laitues peuvent être semées ou transplantées, dans le second cas elles sont moins longtemps au champ. Le cycle de culture varie de 28 jours à 60 jours, en fonction du type de laitue et du mode d'implantation (semis ou transplantée).

La très grande majorité des laitues est cultivée sur des sols organiques. Ces sols ont des caractéristiques très variables, notamment en matière de capacité de rétention de l'eau. Ces caractéristiques dépendent de leur nombre d'années en culture, de leur profondeur, de l'origine de la matière organique et du taux de décomposition de cette matière organique. Plus un sol organique est profond, meilleur il est pour la culture. Les sols récemment mis en culture sont très différents des sols cultivés depuis plusieurs années, notamment en raison de la décomposition de la matière organique, qui provoque un affaissement du sol, réduisant ainsi la capacité d'infiltration de l'eau. Un sol de terres noires est toujours drainé.

Les laitues reçoivent une première irrigation lors des semis ou à la plantation pour assurer un départ uniforme des transplants. Les apports sont d'environ $\frac{3}{4}$ de pouce par apport. Les laitues recevraient

en moyenne 2 apports (soit 60 mm) par la suite, afin d'éviter l'apparition de brûlure (taches noires) sur les pointes des feuilles (Caron et Gumiere, 2016).

Tableau 10.38
Informations recueillies sur l'irrigation des laitues

	Centre-du-Québec	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	100
Période d'apport	Mai à août	Mai à août	Mai à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	3	3	3
Dose moyenne par apport (mm)	20	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	20	20

10.32 Pois

Les pois sont destinés à la transformation, et, la plupart du temps, ne sont pas irrigués. En 2016, seulement 1 % des superficies cultivées en pois sont irriguées au Québec¹⁷⁹, par aspersion avec gicleurs ou canons et enrouleurs. Comme les autres légumes de transformation, ceux-ci sont cultivés par des producteurs de grandes cultures. Les semis débutent tôt à la fin du mois d'avril et sont ensuite échelonnés jusqu'à la fin du mois de juin afin d'étaler les récoltes et la transformation. Il s'agit d'une culture dont le cycle est court. Les pois sont cultivés sur tous les types de sols, sauf les sols organiques¹⁸⁰. Les superficies irriguées recevraient deux apports d'un pouce d'eau en moyenne.

Tableau 10.39
Informations recueillies sur l'irrigation des pois

	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	1
Période d'apport	Mai à juin
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2
Dose moyenne par apport (mm)	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25

¹⁷⁹ <http://www.laterre.ca/utiliterre/vegetal/irriguer-les-cultures-de-pois-et-de-haricots.php>

¹⁸⁰ <http://www.legumes-transformation.qc.ca/wp-content/uploads/2017/10/guide-complet-pois-version-pdf-complet-site-web-low.pdf>

10.33 GAZON

Le gazon est peu irrigué dans les régions à l'étude. Il le serait éventuellement juste avant la récolte, car cela facilite la coupe des plaques et abîme moins les couteaux. Dans Lanaudière, 10 % des superficies seraient irriguées, alors que 5 % le sont dans le Centre-du-Québec (Tableau 10.40).

Tableau 10.40
Informations recueillies sur l'irrigation du gazon

	Centre-du-Québec	Lanaudière
Part des superficies irriguées (%)	5	10
Période d'apport	Juillet à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	20

10.34 ARBRES, ARBUSTES ET CONIFÈRES AU CHAMP

Dans Lanaudière, il semble qu'il y ait quelques pépinières sur des sols sableux qui doivent irriguer. Cependant, nous n'avons pu colliger suffisamment d'information sur les pourcentages de superficies effectivement irriguées ni sur les pratiques d'irrigation.

Les renseignements recueillis sur ces cultures dans les autres régions indiquent que ces cultures ne seraient pas irriguées.

10.35 ARBRES, ARBUSTES, CONIFÈRES ET VIVACES EN CONTENEURS

Dans cette catégorie, nous avons regroupé les catégories suivantes des fiches FLORA : arbres feuillus en conteneurs, arbustes en conteneurs, conifères en conteneurs, plantes vivaces et rosiers en conteneurs ainsi qu'autres horticultures en conteneurs.

En pot, il y a également beaucoup d'irrigation, et cela se fait par aspersion, puisque les pots qui sont disposés sur des toiles ne retiennent que peu l'eau. L'été, cela peut aller jusqu'à 2 arrosages par jour, d'environ 1 pouce d'eau¹⁸¹. Cela se traduit donc par des besoins très importants en eau.

¹⁸¹ Deloitte, 2009. The impact of ornamental horticulture on Canada's economy. An economic and environmental impact assessment of the Canadian ornamental horticulture sector of production agriculture. Canadian Ornamental Horticulture Alliance. 138 p.

Tableau 10.41
Informations recueillies sur l'irrigation des arbres, arbustes, conifères et vivaces en conteneurs

	Centre-du- Québec	Chaudière- Appalaches	Estrie	Lanaudière	Montérégie
Part des superficies irriguées (%)	100	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	140	140	140	140	140
Dose moyenne par apport (mm)	25	25	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	175	175	175	175	175

ANNEXE 5

CHARTES DE CONSOMMATION POUR LES PRODUCTIONS ANIMALES

Intitulé fiche FLORA	m³/tête/an	Source
Agneaux	2,92	PACES Montérégie
Agnelles_de_replacement	1,22	PACES Montérégie
Autres_cervidés_femelles	9,006	PACES Montérégie
Autres_espèces_animales		
Autres_volailles	0,0365	BPR 2003
Autruches	0,146	PACES Montérégie
Béliers	2,92	PACES Montérégie
Bisons	16,425	PACES Montérégie
Bovins_de_finition	5,631	PACES Montérégie
Bovins_de_semi_finition	4,073	PACES Montérégie
Brebis_de_boucherie	2,92	PACES Montérégie
Brebis_laitières	2,92	PACES Montérégie
Cailles	0,002	PACES Montérégie
Canards	0,007	PACES Montérégie
Cerfs_rouges	9,006	PACES Montérégie
Chevaux_de_course_femelles	16,425	PACES Montérégie
Chevaux_de_course_mâles	16,425	PACES Montérégie
Chevaux_de_selles_femelles	16,425	PACES Montérégie
Chevaux_de_selles_mâles	16,425	PACES Montérégie
Chevaux_de_trait_femelles	16,425	PACES Montérégie
Chevaux_de_trait_mâles	16,425	PACES Montérégie
Chevreaux_laitiers_à_engraissement	5,792	PACES Montérégie
Chèvres_de_boucherie	5,792	PACES Montérégie
Chèvres_laitières	5,792	PACES Montérégie
Cochettes	6,205	PACES Nicolet
Dindons_à_griller	0,029	PACES Montérégie
Dindons_de_reproduction	0,1825	PACES Montérégie
Dindons_lourds	0,056	PACES Montérégie
Émeus	0,183	PACES Montérégie
Faisans	0,146	PACES Montérégie
Génisses_de_boucherie	8,296	PACES Montérégie
Génisses_laitières	8,505	PACES Montérégie
Gros_poulets	0,014	PACES Montérégie
Hongres	16,425	PACES Montérégie
Lapines_de_reproduction	0,172	PACES Montérégie
Lapins_pour_chair	0,172	PACES Montérégie
Oies	0,146	Absentes de toutes les chartes
Petits_veaux_laitiers_abattage	1,175	Idem que Veaux de Lait
Pintades	0,146	PACES Montérégie
Porcelets_non_sevrés	0,912	BPR 2003
Porcelets_sevrés	0,912	PACES Montérégie
Porcs_à_engraissement	2,555	PACES Montérégie
Poulains_et_pouliches	16,425	PACES Montérégie
Poules_pour_œufs_de_consommation	0,073	PACES Montérégie
Poules_pour_œufs_incubation	0,073	PACES Montérégie

Intitulé fiche FLORA	m³/tête/an	Source
Poulets_à_griller	0,073	PACES Montérégie
Poulettes_pour_œufs_de_consommation	0,073	PACES Montérégie
Poulettes_pour_œufs_incubation	0,073	PACES Montérégie
Sangliers	2,555	PACES Montérégie
Taureaux_de_boucherie	14,993	PACES Montérégie
Taureaux_laitiers	14,993	PACES Montérégie
Taures_de_boucherie	14,483	PACES Montérégie
Taures_laitières	11,615	PACES Montérégie
Truies	6,205	PACES Montérégie
Vaches_de_boucherie	17,838	PACES Montérégie
Vaches_laitières	39,63	PACES Montérégie
Veaux_de_grain_finition	3,318	PACES Montérégie
Veaux_de_grain_pouponnière	1,175	PACES Montérégie
Veaux_de_lait	1,175	PACES Montérégie
Verrats	5,475	PACES Montérégie
Visons	0,172	PACES Montérégie
Wapitis	9,006	PACES Montérégie

ANNEXE 6
SIMULATIONS DES BESOINS EN EAU DE QUELQUES CULTURES
EN CLIMAT ACTUEL

11. METHODOLOGIE DE SIMULATION DES BESOINS EN EAU

Cette annexe vise à présenter la méthode utilisée pour la simulation des besoins en eau pour différentes cultures, par l'intermédiaire de l'usage de plusieurs modèles :

- Les pommes de terre et les laitues avec le modèle STICS.
- Les pois et les haricots avec le modèle Cropsyst.

Dans les sections suivantes, nous détaillons le fonctionnement des modèles, puis les renseignements utilisés pour leur paramétrage, et enfin nous présentons les résultats des simulations effectuées.

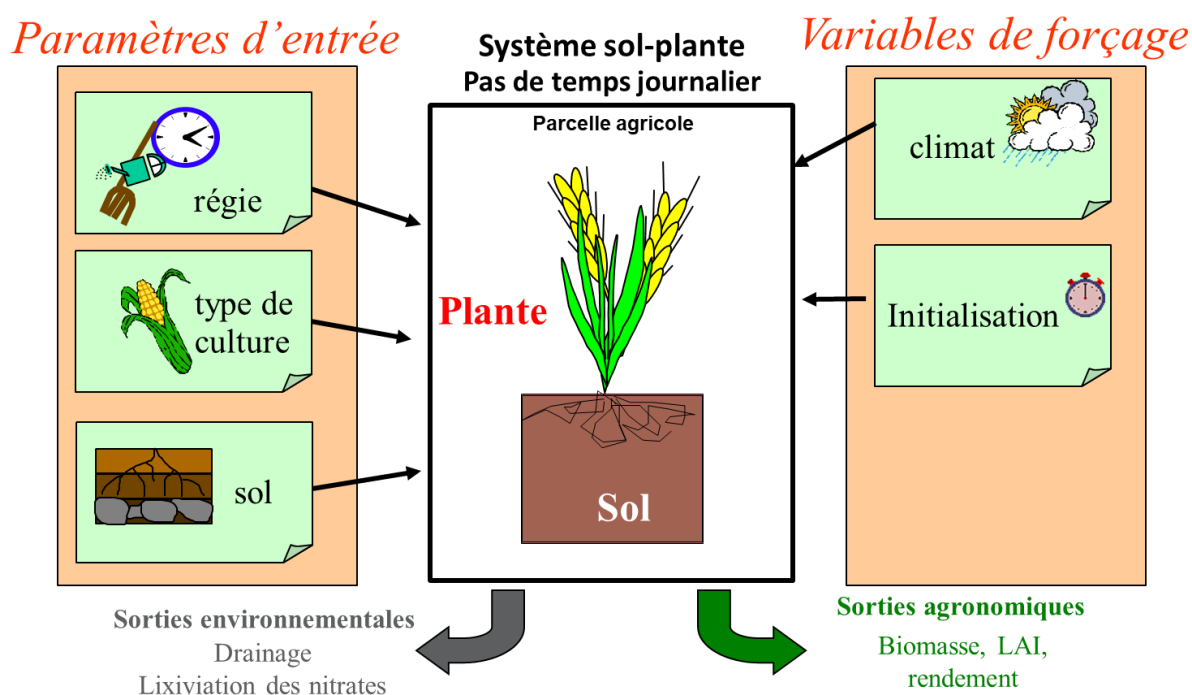
11.1 FONCTIONNEMENT DES MODELES STICS ET CROPSYST

Les modèles STICS et Cropsyst représentent des modèles de cultures qui n'utilisent pas de temps journalier (Stockle et coll., 1994; Brisson et coll., 2002)¹⁸². Ils simulent des situations culturales déterminées par le milieu physique et les techniques culturales, en reproduisant les principaux processus culturaux, soit la croissance et le développement de la culture, conditionnés notamment par les bilans hydriques et azotés.

Leurs variables d'entrée sont relatives au climat, au sol et à la régie de la culture. Leurs variables de sortie concernent la production, l'environnement et l'évolution des caractéristiques du sol sous l'effet de la culture (Figure 11.1).

¹⁸² Stöckle, C.O., S.A. Martin and G.S. Campbell. 1994. Cropsyst, a cropping system simulation model: water and nitrogen budgets and crop yield. *Agricultural Systems* 46 : 335 - 359. Brisson N., B. Mary, D. Ripoche, M.H. Jeuffroy, F. Ruget, B. Nicoullaud, P. Gate, F. Devienne-Barret, R. Antonioletti, C. Durr, G. Richard, N. Beaudoin, S. Recous, X. Tayot, D. Plenet, P. Cellier, J.M. Machet, J.M. Meynard and R. Delécolle. 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18 : 311-346.

Figure 11.1
Structure des modèles de culture STICS et Cropsyst (adaptée de Jégo G., communication personnelle).



Dans les deux modèles, le bilan hydrique est estimé de manière quotidienne, en intégrant les entrées (précipitations, moins le ruissellement) et les sorties d'eau (évapotranspiration, drainage) du sol. L'eau contenue dans le sol et disponible pour la plante est définie par des paramètres de description des sols qui représentent l'humidité volumique (ou massique) par rapport à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent; ceux-ci doivent être définis a minima pour les horizons de sol explorés par les racines. La profondeur d'enracinement est donc également un paramètre important à considérer.

Pour simuler la croissance quotidienne de la plante, les modèles estiment sa croissance potentielle à partir du rayonnement intercepté (lié à la surface foliaire). Puis, ils estiment si la plante subit un stress hydrique en comparant l'eau disponible à l'évapotranspiration maximale (besoin climatique, lié aussi à la surface foliaire). Si les besoins en eau de la plante peuvent être comblés par l'eau disponible dans le sol, alors sa croissance (en biomasse, de laquelle est dérivée la surface foliaire) sera maximale (égale à la croissance potentielle). Si la plante subit un stress hydrique, sa croissance sera réduite en comparaison à sa croissance potentielle. Dans les deux modèles, il est possible de définir un seuil de stress hydrique (calculé comme étant le rapport entre l'eau disponible et les besoins en eau de la plante) à partir duquel un apport d'eau d'irrigation est simulé. C'est en utilisant cette fonction des modèles que nous avons pu estimer les besoins en eau d'irrigation des cultures, en cumulant les apports simulés par les modèles pour chaque année climatique.

En suivant le même principe, les modèles peuvent également prendre en compte les stress azotés. Nous avons cependant fait le choix, dans les simulations réalisées dans le cadre du projet RADEAU 1,

de ne pas considérer ce stress, car cela ajoutait de la complexité pour l'interprétation des résultats, en raison des interactions possibles entre les stress hydriques et azotés. En conséquence, les rendements simulés par le modèle sont souvent légèrement supérieurs aux rendements réels des producteurs, en raison de la non prise en compte des stress azotés ni de tous les autres facteurs qui influencent les rendements, soit par exemple les adventices, les ravageurs et les maladies.

11.2 IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX TYPES DE SOL CULTIVÉS DANS CHAQUE RÉGION, ET DE LEURS PROPRIÉTÉS

Afin de définir les sols à utiliser pour réaliser les simulations, nous avons croisé les données de la Base de données des cultures assurées de 2015 de la Financière agricole du Québec qui contient des renseignements spatialisés sur les superficies cultivées, avec la cartographie des séries de sol de l'IRDA. Ceci nous a permis d'identifier les principaux types de sol cultivés en grandes cultures et en maraîchage, afin de paramétrer ces sols dans STICS et Cropsyst. Le tableau 11.1 présente ces séries de sol principales.

À partir de ces séries de sol, nous avons utilisé le logiciel SPAW hydrology de l'USDA-ARS¹⁸³ qui, par l'intermédiaire de l'utilisation de courbes de pédotransfert, permet d'estimer les valeurs de l'humidité volumique à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent à partir de la granulométrie des sols, du taux de matière organique et du pH (données issues de la base de données de l'IRDA). Ce sont ces valeurs de paramètres qui sont nécessaires pour pouvoir paramétrer les sols dans les modèles de culture.

¹⁸³ <https://www.ars.usda.gov/research/software/download/?softwareid=492&modecode=80-42-05-10>

Tableau 11.1
Principales séries de sol cultivées dans chaque région selon la BDCA 2015 (FADQ) et les données de sol de l'IRDA

Région	Texture	Nom série de sol (IRDA)	Superficie cultivée (ha)	% de sable	% de limon	% d'argile	Taux (%) de matière organique	pH	Densité apparente	Humidité volumique (%) à la capacité au champ	Humidité volumique (%) au point de flétrissement permanent
Centre-du-Québec	L-S	SJU	70 229	53	35	12	3,1	5,6	1,4	22	10
Centre-du-Québec	A-Li	SSL	4 801	4	40	56	4,5	6,7	1,1	43	32
Centre-du-Québec	L-S	CUV	17 637	70	20	10	4,8	6,5	1,3	20	10
Centre-du-Québec	L	LVD	3 846	32	45	23	7,1	4,9	1,0	35	18
Centre-du-Québec	L	WOI	9 865	43	45	12	8,1	4,6	0,9	32	13
Centre-du-Québec	L-A	BDF	15 366	38	33	29	13,1	7,1	1,1	37	21
Centre-du-Québec	L-S	SYV	7 175	76	12	12	17,0	4,8	1,0	29	14
Chaudière-Appalaches	L-S	BVG	13 354	75	19	6	5,2	4,7	1,2	18	9
Chaudière-Appalaches	L-S	SDR	12 816	59	29	12	5,5	5,2	1,2	25	12
Chaudière-Appalaches	A-Li	KRK	21 552	13	39	48	7,1	5,5	1,1	41	29
Chaudière-Appalaches	L	WOI	4 561	43	45	12	8,1	4,6	0,9	32	13
Chaudière-Appalaches	L	RTA	3 819	36	47	17	9,3	5,4	0,9	34	16
Estrie	L	ASC	2 231	52	29	19	5,3	5,2	1,2	29	15
Estrie	L-S	SHD	8 082	55	37	8	7,1	5,2	1,0	26	11
Estrie	L	MGO	8 368	42	41	17	13,1	4,9	1,0	33	16
Estrie	L	GEB	22 414	40	47	13	14,1	4,7	0,9	33	14
Estrie	L	BMP	1 209	41	45	14	20,0	5,0	0,9	33	14
Lanaudière	S	LOI	5 537	91	6	3	3,4	5,5	1,3	20	5
Lanaudière	A-Li	SSL	48 968	4	40	56	4,5	6,7	1,1	43	32
Lanaudière	L	DUP	4 896	28	46	26	5,5	5,6	1,1	35	18
Montérégie	L-S	SJU	41 332	53	35	12	3,1	5,6	1,4	22	10
Montérégie	L	SEG	8 936	51	35	14	4,1	6,7	1,3	25	12
Montérégie	L-A	SAB	18 610	21	46	33	4,5	6,2	1,2	37	21
Montérégie	A-Li	SSL	180 429	4	40	56	4,5	6,7	1,1	43	32
Montérégie	L	SHF	6 712	49	38	13	16,9	5,5	1,0	31	14

11.3 DETAILS DE MISE EN ŒUVRE ET SIMULATIONS TESTS EN CLIMAT ACTUEL

11.3.1 SIMULATION DES POMMES DE TERRE AVEC LE MODELE STICS

a. Résumé des hypothèses de modélisation pour les pommes de terre

Les simulations tests ont été réalisées pour les 3 régions couvertes dans le projet RADEAU 1 où les pommes de terre sont irriguées : Lanaudière, Chaudière-Appalaches et Centre-du-Québec.

Sol : Pour chaque région, seuls les sols présentant une teneur en sable supérieure à 50 % ont été retenus. Dans la base de données Cansis¹⁸⁴, il s'agit des séries décrites dans le Tableau 11.2 par leurs principales propriétés. À noter qu'en comparaison au Tableau 11.1, nous avons retenu uniquement les séries de sol cultivées en maraîchage.

Météo : Les données météo ont été compilées pour les années 1995 à 2015. Les variables utilisées pour la simulation sont décrites de manières journalières. Il s'agit des éléments suivants :

- La température minimale et maximale
- La pluviométrie
- Le rayonnement global
- Le vent
- L'humidité relative

Pour la région de Lanaudière, nous avons utilisé les données enregistrées à la station météorologique d'Environnement Canada de L'Assomption; pour le Centre-du-Québec, il s'agit de la station de Nicolet, et enfin pour Chaudière-Appalaches, il s'agit de la station de Beauceville.

Régie de la culture :

Les semis des pommes de terre sont effectués le jour 130 (autour du 10 mai) et la récolte est effectuée quand la plante a atteint une somme de 2 000 degrés-jours au minimum ou au plus tard à la fin du mois de septembre. La variété simulée est la Russet Burbank.

Ces simulations ont été réalisées en conditions d'azote non limitantes.

Le modèle simule des apports automatiques quand le rapport entre la transpiration réelle (limitée par l'eau disponible et extractible en une journée) et la transpiration maximale est inférieur à 0,8. Ce choix avait été validé par la comparaison avec des valeurs observées dans la publication de Morissette et coll. (2016)¹⁸⁵. Un épisode d'irrigation consiste à apporter le volume d'eau nécessaire pour que le profil de sol soit à la capacité au champ. L'efficacité de l'irrigation apportée par aspersion est estimée à 85 % (part de l'eau qui atteint le sol).

¹⁸⁴ <http://sis.agr.gc.ca/cansis/>

¹⁸⁵ Morissette, R., G. Jégo, G. Bélanger, A. N. Cambouris, J. Nyiraneza, and B. J. Zebarth. 2016. Simulating Potato Growth and Nitrogen Uptake in Eastern Canada with the STICS Model. *Agron. J.* 108:1853-1868. doi:10.2134/agronj2016.02.0112

Autres paramètres de simulations :

- Coefficient cultural des pommes de terre : 1,15
- Indice de récolte : 0,65
- Profondeur maximale d'enracinement : 50 cm

Tableau 11.2
Propriétés des sols utilisés pour les simulations (pommes de terre)

Région	Station météo	Classe de texture	Série de Sol Cansis	% de sable	% de limon	% d'argile	Carbone organique	pH	Capacité au champ (%vol)	Point de flétrissement permanent (%vol)	Densité apparente
Centre-du-Québec	Nicolet	L-S	CUV	70	20	10	3	7	20,2	10,2	1,3
Centre-du-Québec	Nicolet	L-S	PRV	72	23	5	2,1	5,3	21,8	13,8	1,52
Centre-du-Québec	Nicolet	L-S	SJU	53	35	12	2	6	22,4	9,7	1,4
Centre-du-Québec	Nicolet	L-S	SYV	76	12	12	10	5	24,9	14,3	1,1
Chaudière-Appalaches	Beauceville	L-S	BVG	75	19	6	3,0	4,7	17,9	8,5	1,25
Chaudière-Appalaches	Beauceville	L-S	SDR	59	29	12	3,2	5,2	24,6	11,8	1,24
Chaudière-Appalaches	Beauceville	L-S	SJU	53	35	12	2	6	22,4	9,7	1,4
Lanaudière	L'Assomption	S	LOI	91	6	3	2,0	5,5	11	5,5	1,35
Lanaudière	L'Assomption	S-L	UPD	80	13	7	1,5	5,9	13,2	6,4	1,38

b. Synthèse des résultats obtenus

Les rendements obtenus se situent dans une gamme de valeur plus élevée (45 t/ha en comptant 80 % d'eau dans les tubercules) que la moyenne observée au Québec (autour de 30 à 33 t/ha, selon les statistiques de l'ISQ) (voir le Tableau 11.3), mais proche des rendements maximaux obtenus par les producteurs lors de bonnes années. Cette différence peut probablement être imputée à la non-prise en compte lors des simulations d'un potentiel de manque de certains nutriments pour la plante, comme, par exemple, en azote, ainsi qu'aux pertes liées aux ravageurs et aux maladies.

Les apports d'eau semblent quant à eux cohérents avec ce qui est communément observé : pour Lanaudière, les valeurs de référence utilisées considèrent 8 apports de $\frac{3}{4}$ de pouces, ce qui représenterait entre 160 et 171 mm par an en 2015 (voir le Tableau 11.4). Les apports moyens simulés sont légèrement supérieurs aux apports moyens estimés par le modèle. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence : une erreur du modèle, une sous-estimation des experts du volume effectivement apporté par les producteurs, ou encore le fait que les producteurs apportent probablement des volumes d'eau inférieurs aux besoins des pommes de terre. En ce qui concerne les apports simulés pour les autres régions, le gradient de volume entre Lanaudière, le Centre-du-Québec et Chaudière-Appalaches semble être cohérent avec ce qui est observé chez les producteurs.

Nous avons donc considéré que ces résultats étaient satisfaisants pour envisager la simulation de scénarios climatiques futurs, afin de pouvoir analyser la différence entre les besoins en eau d'irrigation simulés actuels et futurs. Les résultats de ces simulations seront présentés dans un rapport à paraître ultérieurement.

Tableau 11.3
Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour les différents types de sols et différentes régions

Rendement (t/ha m.s) Étiquettes	Beauceville (Chaudière-Appalaches)			L'Assomption (Lanaudière)		Nicolet (Centre-du-Québec)			
	BVG	SDR	SJU	LOI	UPD	CUV	PRV	SJU	SYV
1995	9,8	10,3	10,3	6,2	6,8	8,7	8,1	8,7	8,8
1996	9,7	10,0	10,0	7,0	7,8	9,4	10,0	10,1	9,8
1997	9,1	10,0	10,1	7,2	8,1	9,1	9,3	9,8	9,1
1998	10,0	10,7	10,8	7,4	7,9	9,3	9,7	9,6	9,4
1999	9,7	9,9	9,9	5,9	6,8	7,6	9,6	9,5	9,1
2000	9,0	9,8	9,7	5,9	6,7	9,3	9,1	8,4	9,0
2001	9,4	9,9	9,9	6,5	7,4	9,3	9,5	9,7	9,4
2002	9,2	9,6	9,6	5,9	6,7	8,9	9,2	9,2	9,0
2003	8,9	9,3	9,3	6,1	6,8	8,5	8,6	8,1	8,7
2004	9,4	10,0	10,0	6,8	7,6	9,1	9,7	9,6	9,2
2005	9,5	10,2	10,2	5,1	6,0	8,7	9,4	9,3	9,0
2006	7,4	9,3	9,2	5,1	6,0	9,1	9,2	9,2	9,2
2007	10,1	10,5	10,5	6,5	6,2	9,4	9,9	10,0	9,7
2008	9,1	9,1	9,8	6,2	7,1	9,0	9,7	9,6	9,2
2009	9,1	9,8	9,7	5,8	6,6	9,4	9,4	9,6	9,3
2010	8,4	9,2	9,1	5,5	6,0	8,5	8,8	8,6	8,7
2011	9,5	9,8	9,8	5,6	6,4	8,8	9,1	9,0	8,9
2012	8,6	9,0	9,0	5,8	6,6	8,5	9,0	9,0	8,6
2013	9,4	9,8	9,8	6,1	6,9	8,9	9,2	9,2	9,1
2014	9,5	10,0	10,0	6,6	7,4	7,9	7,8	7,2	9,3
2015	8,5	8,9	8,9	6,2	7,1	8,6	9,0	8,9	8,7
Moyenne	9,2	9,8	9,8	6,2	6,9	8,9	9,2	9,2	9,1
Minimum	7,4	8,9	8,9	5,1	6,0	7,6	7,8	7,2	8,6
Maximum	10,1	10,7	10,8	7,4	8,1	9,4	10,0	10,1	9,8
Écart type	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,3

Tableau 11.4
Apports totaux d'irrigation simulés par le modèle (mm/saison) pour chaque région et type de sol

Apports d'eau d'irrigation (mm) Étiquettes	Beauceville (Chaudière-Appalaches)			L'Assomption (Lanaudière)		Nicolet (Centre-du-Québec)			
	BVG	SDR	SJU	LOI	UPD	CUV	PRV	SJU	SYV
1995	99	45	45	204	207	217	145	170	213
1996	115	70	70	202	205	80	70	70	84
1997	144	119	119	227	233	278	270	270	281
1998	104	95	95	163	163	165	145	145	152
1999	152	120	120	161	176	129	145	170	178
2000	74	50	50	110	110	157	100	100	136
2001	170	145	145	234	241	228	195	195	204
2002	190	192	192	223	219	227	195	195	198
2003	132	95	95	241	236	213	145	145	186
2004	84	69	69	140	136	160	120	145	149
2005	141	120	120	186	191	170	166	166	173
2006	154	194	194	173	167	131	94	144	129
2007	53	25	25	213	178	147	119	144	176
2008	65	43	45	150	146	88	70	70	93
2009	91	91	91	130	126	154	120	120	155
2010	151	120	120	151	135	206	195	195	200
2011	73	45	45	162	186	134	120	120	110
2012	193	159	159	235	234	218	166	191	196
2013	71	44	44	140	136	146	103	103	147
2014	128	89	89	216	223	140	120	120	114
2015	117	85	85	160	171	215	193	193	198
Moyenne	119	96	96	182	182	172	143	151	165
Minimum	53	25	25	110	110	80	70	70	84
Maximum	193	194	194	241	241	278	270	270	281
Écart type	41	48	48	39	41	50	49	48	46

11.3.2 SIMULATION DES BESOINS EN EAU DES LAITUES EN TERRES NOIRES

a. Résumé des hypothèses de modélisation

Cette section présente les résultats obtenus pour les laitues en terres noires avec le modèle STICS, pour estimer les besoins en eau d'irrigation dans la région de la Montérégie, principale région de production de laitues au Québec. Le modèle STICS-Laitues a été développé par Gay (2002)¹⁸⁶ et n'avait à notre connaissance jamais été utilisé dans les conditions du Québec. Nous avons donc vérifié que la durée de la culture et des biomasses des laitues à la récolte simulées par le modèle étaient cohérentes avec les données issues de Caron et coll. (2016)¹⁸⁷.

Les simulations ont été réalisées pour la Montérégie.

Sol : Un seul sol a été simulé, soit un sol de terres noires, dont les paramètres de capacité au champ et de point de flétrissement permanent (Tableau 11.5) ont été obtenus auprès de Carl Boivin (IRDA). Ces données sont cohérentes avec le sol organique décrit dans la publication de Broughton et Gallichand (1990)¹⁸⁸.

Météo : Les données météo ont été compilées pour les années 1995 à 2015. Les variables utilisées pour la simulation sont décrites de manières journalières pour la station météorologique de Saint-Hubert. Il s'agit des éléments suivants :

- La température minimale et maximale
- La pluviométrie
- Le rayonnement global
- Le vent
- L'humidité relative

Régie de la culture :

Les semis ont été effectués à des dates de semis variant du 1^{er} mai au 15 juillet (tous les 15 jours) et la récolte est effectuée au plus tard 60 jours après les semis.

Ces simulations ont été réalisées en conditions d'azote non limitantes.

¹⁸⁶ Gay Frédéric. 2002. Élaboration d'une méthode d'évaluation des risques de pollution nitrique et de pertes de rendement en parcelles agricoles : application à la gestion des irrigations en culture de laitue sous abri froid. Montpellier : ENSAM, 238 p. Thèse de doctorat : Biologie intégrale. Développement et adaptation des plantes : École nationale supérieure agronomique de Montpellier

¹⁸⁷ Caron J., Rompré, J. et Gumiére S. 2016. Irrigation de la laitue et caractérisation des sols organiques : présent et futur. Journées Horticoles de Saint-Rémi, 7 décembre 2016.

<https://www.agrireseau.net/documents/94056/irrigation-de-la-laitue-et-caracterisation-des-sols-organiques-present-et-futur>

¹⁸⁸ Galichand, J., R.S. Broughton, J. Boisvert, and P. Rochette. 1990. "Simulation of Irrigation Requirements for Major Crops in South Western Quebec". Canadian Agricultural Engineering 33 (1): 1-9.

Le modèle simule des apports automatiques quand le rapport entre la transpiration réelle (limitée par l'eau disponible et extractible en une journée) et la transpiration maximale est inférieur à 0,95. Un apport d'eau d'irrigation consiste à apporter le volume d'eau nécessaire pour que le profil soit à la capacité au champ. L'efficacité de l'irrigation est de 85 % (part de l'eau qui atteint le sol).

Paramètres de simulations :

- Coefficient cultural des laitues : 1,20
- Profondeur maximale d'enracinement : 30 cm

Tableau 11.5
Propriétés du sol organique utilisé pour les simulations (laitues)

Sol	0 à 15 cm			15 à 30 cm		
	Capacité au champ (en % massique)	Point de flétrissement permanent (en % massique)	Densité apparente	Capacité au champ (en % massique)	Point de flétrissement permanent (en % massique)	Densité apparente
Moyenne	0,55	0,33	0,33	0,52	0,33	0,32

b. Synthèse des résultats obtenus

Les rendements obtenus se situent dans une gamme de valeur cohérente avec ce qui semble être observé : autour de 40 t/ha de matière fraîche (à 90 % d'humidité) (Caron et coll., 2016) (voir le Tableau 11.6).

Les apports d'eau semblent également cohérents, Caron (2016) évaluant les besoins à environ 40 à 50 mm par cycle cultural, et nous utilisons une valeur de référence à 60 mm par cycle cultural (voir le Tableau 11.7). Dans nos simulations, la valeur moyenne obtenue étant de 63 mm.

Tableau 11.6
Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour chaque date des semis.

Date des semis	1 ^{er} mai	15 mai	1 ^{er} juin	15 juin	1 ^{er} juillet	15 juillet
1995	4,1	4,1	3,7	3,6	3,5	3,7
1996	3,7	3,5	3,6	3,3	3,4	3,3
1997	3,3	3,5	3,2	3,6	3,7	3,6
1998	3,9	3,3	3,3	3,8	3,5	3,5
1999	4,0	3,6	3,5	3,3	3,3	3,5
2000	3,7	3,9	3,6	3,4	3,0	3,3
2001	3,9	3,8	3,5	3,7	3,4	3,3
2002	3,3	3,8	3,6	3,5	3,7	3,3
2003	3,9	3,7	3,1	3,2	3,1	3,0
2004	3,9	4,2	3,5	3,4	3,4	3,5
2005	3,5	3,4	3,7	3,5	3,5	3,6
2006	3,9	3,8	3,5	3,3	3,3	3,6
2007	4,0	4,1	3,5	3,8	3,5	3,7
2008	3,5	3,7	3,6	3,5	3,4	3,5
2009	3,8	3,8	3,8	3,6	3,4	3,2
2010	3,8	4,0	3,2	3,2	3,5	3,4
2011	3,8	3,9	3,7	3,3	3,3	3,3
2012	4,0	3,9	3,3	3,4	3,2	3,1
2013	4,1	3,9	3,3	3,4	3,4	3,4
2014	4,3	3,7	3,4	3,3	3,4	3,4
2015	4,6	4,2	3,8	3,5	3,3	3,1
Moyenne	3,9	3,8	3,5	3,5	3,4	3,4
Maximum	4,6	4,2	3,8	3,8	3,7	3,7
Minimum	3,3	3,3	3,1	3,2	3,0	3,0
Écart type	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tableau 11.7
Apports totaux d'irrigation simulés par le modèle (mm/saison) pour chaque date de semis

Date des semis	1 ^{er} mai	15 mai	1 ^{er} juin	15 juin	1 ^{er} juillet	15 juillet
1995	120	126	100	20	3	73
1996	59	60	60	20	48	80
1997	120	80	74	40	100	40
1998	99	77	40	19	57	7
1999	140	120	38	103	100	40
2000	38	60	60	61	72	39
2001	60	60	18	41	136	100
2002	4	100	139	95	60	100
2003	75	100	131	100	15	71
2004	100	134	80	15	20	31
2005	78	60	60	54	72	80
2006	20	30	38	60	39	40
2007	80	79	39	20	59	20
2008	80	100	60	39	19	40
2009	60	40	14	20	40	59
2010	40	20	40	0	19	57
2011	80	79	80	140	100	60
2012	76	105	139	100	60	120
2013	40	60	60	68	60	80
2014	20	22	80	120	80	60
2015	40	40	57	40	40	40
Moyenne	68	74	67	56	57	59
Maximum	140	134	139	140	136	120
Minimum	4	20	14	0	3	7
Écart type	36	33	36	40	34	28

11.3.3 SIMULATION DES BESOINS EN EAU DES POIS

a. Résumé des hypothèses de modélisation

Les simulations ont été réalisées pour la région de la Montérégie, seule région où les pois sont parfois irrigués actuellement. Le modèle Cropsyst a été utilisé, les paramètres « plantes » pour la simulation des pois sont issus de Cormeau et coll. (2011).

Sol : Pour les simulations des pois, les sols sableux ont été exclus, ainsi que les sols à très forte teneur en argile qui sont a priori peu propice à cette culture. Les paramètres des différents sols utilisés pour les simulations sont présentés dans le Tableau 11.8

Météo : Les données météo ont été compilées pour les années 1995 à 2015. Les variables utilisées pour la simulation sont décrites de manières journalières pour la station météorologique de Saint-Hubert. Il s'agit des éléments suivants :

- La température minimale et maximale
- La pluviométrie
- Le rayonnement global
- Le vent
- L'humidité relative

Régie de la culture :

Les semis ont été simulés à la date du 2 juin et la récolte est effectuée environ 60 jours après les semis. D'autres dates ont été testées et ont donné des résultats similaires.

Ces simulations ont été réalisées en conditions d'azote non limitantes.

Le modèle simule des apports automatiques quand la différence entre la transpiration réelle et la transpiration maximale est inférieure à 0,85. Un apport d'eau d'irrigation représente $\frac{3}{4}$ de pouces, soit 20 mm. L'efficacité de l'irrigation est de 85 % (part de l'eau qui atteint le sol).

Paramètres de simulations :

- Coefficient cultural des pois : 1,18
- Profondeur maximale d'enracinement : 70 cm

b. Synthèse des résultats obtenus

Les rendements obtenus se situent légèrement au-dessus des rendements observés, puisque les pois contenant en moyenne 83 % d'eau ont des rendements légèrement supérieurs au rendement moyen observé en 2016 de 5,6 t/ha (Myriam Gagnon, communication personnelle). En rendement humide, cela représenterait des rendements autour de 5,8 t/ha.

En ce qui concerne les besoins en eau simulés, ils se situent en moyenne autour de 28 mm durant la durée du cycle, et sont donc inférieurs aux 2 apports de 25 mm réalisés par les producteurs en moyenne.

Tableau 11.8
Caractéristiques des sols utilisés pour les simulations, apport moyen d'irrigation et rendement obtenu (en kg/ha) pour les pois

Station	CANSIS	Apport moyen d'irrigation (mm) – modèle Cropsyst	Rendement moyen simulé à 0 % d'humidité (kg/ha)
Saint-Hubert	SAB	23	972
Saint-Hubert	SBL	47	907
Saint-Hubert	SEG	23	972
Saint-Hubert	SHF	23	982
Saint-Hubert	SJU	23	970
Saint-Hubert	SOG	24	966
Saint-Hubert	SSL	28	950
Nicolet	BDF	23	1 070
Nicolet	CUV	30	1 053
Nicolet	LVD	23	1 078
Nicolet	PRV	40	1 018
Nicolet	SJU	25	1 069
Nicolet	SSL	26	1 049
Nicolet	SYV	29	1 056
L'Assomption	DUP	26	1 087
L'Assomption	LOI	49	1 005
L'Assomption	SSL	29	1 065
L'Assomption	UPD	25	1 094

11.3.4 SIMULATION DES BESOINS EN EAU DES HARICOTS

Les simulations des besoins en eau des haricots ont été réalisées pour la Montérégie et Lanaudière, deux régions où cette culture est parfois irriguée. Le modèle Cropsyst a été utilisé, et les paramètres « plantes » pour la simulation des haricots sont issus de Cormeau et coll. (2011)¹⁸⁹. Ces paramètres sont rapportés dans le Tableau 11.9.

Sol : Pour les simulations des haricots, tout comme pour les pois, les sols sableux ainsi que les sols à très forte teneur en argile ont été exclus, car ils sont a priori peu propices à cette culture.

Météo : Les données météo ont été compilées pour les années 1995 à 2015. Les variables utilisées pour la simulation sont décrites de manière journalière pour les stations météorologiques de Saint-Hubert et de L'Assomption. Il s'agit des éléments suivants :

- La température minimale et maximale
- La pluviométrie
- Le rayonnement global
- Le vent
- L'humidité relative

Régie de la culture :

Les semis sont effectués le 2 juin et la récolte est effectuée environ 60 jours après les semis. D'autres dates de semis ont été testées et ont donné des résultats similaires.

Ces simulations ont été réalisées en conditions d'azote non limitantes.

Le modèle simule des apports automatiques quand la différence entre la transpiration réelle et la transpiration maximale est inférieure à 0,85. Un apport d'eau d'irrigation représente $\frac{3}{4}$ de pouces, soit 20 mm. L'efficacité de l'irrigation est de 85 % (part de l'eau qui atteint le sol).

Paramètres de simulations :

- Coefficient cultural des haricots : 1,18
- Profondeur maximale d'enracinement : 70 cm

¹⁸⁹ Cormeau et coll. (2011). Technical Report for the Columbia River Basin Long-Term Water Supply and Demand Forecast 2011 Appendix A. <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/summarypages/1112011.html>

Les rendements simulés semblent cohérents avec les rendements observés et prévus dans les conventions avec les transformateurs : de 3,6 à 4,4 t/ha. À 80 % d'humidité, nos rendements se situent entre 5 et 6 t/ha.

En ce qui concerne les apports d'eau d'irrigation simulés, ils semblent un peu faibles par rapport aux besoins calculés dans Deschênes et coll. (2013)¹⁹⁰, qui ont observés des apports allant de 77 à 90 mm par saison, et en comparaison à nos valeurs de référence qui se situent autour de 80 mm par cycle cultural.

Tableau 11.9
Résultats obtenus pour les simulations des besoins en eau des haricots.

Station	CANSIS	Apport moyen d'irrigation (mm) – modèle Cropsyst	Rendement moyen simulé à 0 % d'humidité (kg/ha)
Saint-Hubert	SAB	52	1 155
Saint-Hubert	SBL	118	1 076
Saint-Hubert	SEG	55	1 153
Saint-Hubert	SHF	45	1 169
Saint-Hubert	SJU	58	1 150
Saint-Hubert	SOG	60	1 143
Saint-Hubert	SSL	64	1 137
Nicolet	BDF	51	1 247
Nicolet	CUV	67	1 227
Nicolet	LVD	47	1 255
Nicolet	PRV	95	1 188
Nicolet	SJU	54	1 244
Nicolet	SSL	67	1 230
Nicolet	SYV	63	1 234
L'Assomption	DUP	50	1 273
L'Assomption	LOI	119	1 185
L'Assomption	SSL	64	1 250
L'Assomption	UPD	49	1 279

¹⁹⁰ Deschênes, P., C. Boivin et L. Belzile. 2013. Évaluation technico-économique d'une gestion raisonnée de l'irrigation dans la culture du haricot extra-fin. Rapport final remis à la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation. IRDA. 36 p. https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/deschenes-et-al-2013-rapport_irrigation_haricot.pdf

11.3.5 SIMULATION D'AUTRES CULTURES

D'autres cultures avaient été envisagées et des tests de simulation ont été réalisés. Cependant, les résultats obtenus n'étant pas satisfaisants pour les raisons exposées ci-dessous, les tests n'ont pas été poursuivis :

- Les fraises avec le modèle STICS : impossibilité de reproduire le couvert plastique, problèmes avec le nombre de fruits et les rendements.
- Les bleuets en corymbe avec le modèle Cropsyst : difficulté du fait qu'il s'agit d'une plante pérenne.
- Le maïs sucré avec Cropsyst : impossibilité de reproduire le plastique transparent utilisé dans les champs où du goutte-à-goutte est utilisé.

11.3.6 CONSTATS

Les simulations réalisées avec les modèles STICS et Cropsyst en climat actuel nous ont permis de reproduire des rendements globalement cohérents avec ce que nous avons pu observer en moyenne, ainsi que des quantités d'eau apportées par l'intermédiaire de l'irrigation, qui sont, dans l'ensemble, proches des pratiques moyennes des producteurs identifiées dans la littérature ou auprès d'experts.

Cependant, les modèles ont tendance, principalement dans le cas des laitues, des pois et des haricots, à sous-estimer les volumes d'eau d'irrigation. De multiples raisons peuvent expliquer ces différences, entre les erreurs potentielles des modèles, les estimations des experts ou encore la régie des producteurs qui s'avère parfois non optimale. Néanmoins, compte tenu de l'usage fait de ces simulations dans la suite du projet RADEAU, à savoir une estimation du niveau de variation de ces volumes d'eau utilisés pour ajuster les pratiques de références des producteurs, les résultats de ces simulations nous semblent satisfaisants et, à défaut de modèles plus performants, STICS et Cropsyst ont donc été utilisés pour simuler les besoins en eau de ces cultures en contexte de changements climatiques.

ANNEXE 7

LES SCÉNARIOS NARRATIFS

SCÉNARIO 1 : STATU QUO

→ Changements climatiques moyens et augmentation moyenne de la population

Il n'y a aucune proactivité en matière d'adoption de bonnes pratiques ou de révision réglementaire favorisant une gestion plus durable de l'eau. Les prélèvements suivent la tendance observée depuis les 20 dernières années.

SCÉNARIO 2 : CHALEUR ET SOIF

→ Changements climatiques importants et augmentation importante de la population

Il était une fois le Québec en 2050 : depuis l'implantation de politiques très favorables à l'immigration, la population du Québec a augmenté de manière constante et importante, autour des pôles urbains principaux, mais aussi dans les territoires ruraux à proximité. En raison de cette population croissante, des parcs à vocation commerciale et, d'une manière générale, le secteur de la construction et notamment les industries du sable et des graviers ont connu de belles années. De même, le récréotourisme s'est développé, avec des activités comme les parcs aquatiques. Cependant, d'autres secteurs ont connu une évolution plus morose, par exemple le secteur des pâtes et papiers qui n'a pas réussi à se renouveler avec des productions à valeur ajoutée. L'industrie du ski s'est également consolidée; il y a eu plusieurs fermetures de centres, et ceux qui restent ont augmenté leur usage de la neige artificielle.

De plus, en raison notamment des changements climatiques, l'eau a eu tendance à se raréfier. Devant ces consommations croissantes, il a été nécessaire de faire évoluer certaines pratiques. Premièrement, l'eau distribuée dans les aqueducs est dorénavant facturée au volume. Ce contrôle de la consommation résidentielle a permis de réduire de 30 % le volume prélevé par habitant par rapport à la consommation de 2015. En ce qui concerne l'agriculture, en raison des changements climatiques, la demande en eau est devenue plus importante : les cultures irriguées se sont fortement développées, principalement dans le secteur des fruits et légumes, du fait de la hausse de l'évapotranspiration, mais aussi de précipitations constantes. Les bâtiments d'élevage font aussi l'objet de nouvelles infrastructures de brumisation et d'aspersion, nécessaires pour rafraîchir l'atmosphère et garantir le bien-être des animaux d'élevage.

SCÉNARIO 3 : CHALEUR ET INTERDITS

→ Changements climatiques importants et croissance faible de la population

Il était une fois le Québec en 2050 : en raison des changements climatiques, la disponibilité de l'eau de surface en période estivale a diminué. Une meilleure gestion de la ressource est donc devenue nécessaire. Parmi les mesures qui ont été prises à l'échelle provinciale, notons celle de la taxation de l'eau à un niveau supérieur et pour toutes les industries, les commerces et les institutions, incluant le secteur agricole. Cette mesure a entraîné une amélioration des procédés industriels consommant de l'eau, et ainsi une réduction de la consommation.

L'évolution de la population, somme toute raisonnable, a eu un effet limité sur la demande en eau. L'usage de l'eau a même diminué dans le secteur résidentiel, notamment par une permission plus restreinte de l'eau pour des usages comme le lavage des voitures, mais aussi en raison d'un changement de comportement des citoyens à la suite de nombreuses campagnes de sensibilisation. La faible augmentation de la population et du tourisme international n'ont pas justifié l'essor de l'industrie récréotouristique.

Les cultures maraîchères et fruitières ont connu un développement modéré, de même que l'irrigation puisque le déficit hydrique ne s'est pas aggravé. Les élevages laitiers et avicoles se sont fortement consolidés à la suite de l'assouplissement des barrières tarifaires qui a dû être concédé sous la pression internationale. Le cheptel laitier a diminué de 40 %, alors que le cheptel avicole est resté stable en nombre d'animaux. Les sites d'élevage restant sont de plus grande taille et se traduisent par des densifications d'élevage dans certaines régions et zones. Les élevages porcins et ovins ont quant à eux connu une croissance, sous l'effet d'une demande mondiale en produits carnés de qualité. Pour toutes les productions animales en bâtiment, des procédés de refroidissement des bâtiments et des animaux (p. ex. : ventilation, brumisation) ont été adoptés.

Enfin, à la faveur de mouvement favorisant la consommation d'autres protéines que celles de sources animales, la consommation de poisson a augmenté. L'industrie piscicole québécoise a profité de ce marché plus dynamique pour se développer en circuit fermé.

SCÉNARIO 4 : TEMPÉRÉ ET DENSE

→ Changements climatiques faibles et augmentation forte de la population

Il était une fois le Québec en 2050 : en raison d'un effort global, les changements climatiques ont pu être contenus et leurs répercussions au Québec, bien que ressenties, sont inférieures aux scénarios les plus pessimistes. Néanmoins, des changements importants sont survenus dans les dernières décennies, notamment en raison de la forte croissance de la population : un flux migratoire important s'observe au Canada, comme le pays est relativement épargné des conséquences négatives des changements climatiques. À cette forte augmentation de population s'est combinée une forte augmentation des industries manufacturières en raison de la disponibilité de la main-d'œuvre, ainsi que du développement des parcs commerciaux et d'autres industries de la construction. L'industrie récréotouristique a subi une croissance économique modérée, suivi d'une augmentation de son usage d'eau, notamment pour la neige artificielle pour les centres de ski.

Afin de limiter les répercussions des besoins en eau pour le secteur résidentiel, en croissance en raison de l'augmentation de la population, des compteurs d'eau ont été installés dans chaque domicile afin de sensibiliser les citoyens sur une base individuelle et d'encourager une limite de consommation.

Les cultures irriguées ont connu des augmentations importantes de superficie, notamment les produits maraîchers et les légumes de transformation, afin d'approvisionner un marché en forte croissance ici et ailleurs. La viande blanche de volaille a pris une part plus importante dans le régime alimentaire des Québécois, au détriment de la viande rouge, particulièrement celle du bœuf et du veau. Les élevages avicoles se sont donc développés.

SCÉNARIO 5 : TEMPÉRÉ ET URBAIN

→ Changements climatiques faibles et augmentation faible de la population

Il était une fois le Québec en 2050 : la croissance démographique moyenne connue dans la province au cours de la dernière décennie n'a pas permis de contrebalancer l'effet de l'exode rural observé de manière un peu plus marquée depuis les années 2000. La dévitalisation des régions s'est poursuivie avec un recul démographique. La population se concentre maintenant de façon encore plus forte dans les principaux pôles urbains, posant des problèmes d'alimentation en eau. Cet enjeu a conscientisé les usagers résidentiels en zone urbaine sur la valeur de la ressource eau, les amenant à réduire leur consommation d'eau à la maison et à se munir d'équipements plus efficaces (p. ex. : pompe de douche à débit réduit). Les municipalités ont aussi limité des usages comme le remplissage estival des piscines.

Le territoire se divise donc clairement entre, d'une part, les régions où s'est imposée la production industrielle et d'autre part, les régions dominées par les activités récréotouristiques et fréquentées par les résidents des pôles urbains. L'industrie récréotouristique a donc augmenté son usage d'eau à la suite d'une forte croissance des centres de villégiature. Les hivers étant plus doux, les centres de ski ont augmenté leur usage de la neige artificielle.

En ce qui concerne l'agriculture, celle-ci a subi des mutations importantes : l'élevage porcin, en raison de la mise en œuvre de pratiques de bien-être animal soutenues depuis le tournant des années 2020, a bénéficié d'une nouvelle acceptabilité sociale et a pu profiter de la forte demande du marché international pour se développer. La production de fruits et légumes ainsi que la production serricole se sont développées pour répondre à la demande des consommateurs urbains friands de produits frais, tant au Québec que sur la côte Est américaine. En particulier, il y a eu une multiplication des serres de petite taille, et à l'autre extrême, il y a eu une expansion des parcs serricoles d'envergure (50 ha et plus). Néanmoins, des normes sanitaires resserrées et la mauvaise qualité de l'eau de surface ont rendu obligatoire l'usage d'eau souterraine pour l'irrigation des fruits et légumes.

Enfin, la production horticole ornementale s'est également développée, ayant été stimulée par un recours plus important aux infrastructures vertes et aux espaces verts par les municipalités dans la gestion de leurs risques climatiques (contrôle des îlots de chaleur, qualité de l'air, etc.).

ANNEXE 8

ANIMATIONS POUR L'ÉTUDE DE CAS DE SAINT-RÉMI



PROJET RADEAU
RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES POUR LA GESTION
DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE DANS UN CONTEXTE
DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Étude de cas pour Saint-Rémi- 1^{er} rencontre
19 décembre 2018



www.groupeageco.ca

1

PROGRAMME DE L'AVANT-MIDI

- Présentation des grands objectifs du projet RADEAU
- Tour de table - Présentation des participants et de leur usage de l'eau
- Présentation du portrait actuel des prélèvements et de la ressource en eau à Saint-Rémi

Pause

- Saint-Rémi en 2050: exercice de projection dans le futur
- Échange et réflexion
- Les prochaines étapes

Groupe AGÉCO

2

PROJET RÉALISÉ EN VERTU DU SOUS-VOLET 3.2 DU PROGRAMME PRIME-VERT 2013-2018

**PRIME-
VERT** UN PAS DE PLUS,
POUR VOUS.
VERS UN MILIEU DURABLE

2013-2018

AVEC UNE AIDE FINANCIÈRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE
L'ALIMENTATION (MAPAQ) ET DU FONDS VERT



Groupe AGÉCO

3

LES GRANDS OBJECTIFS DU MAPAQ

Obtenir un état de la situation harmonisé, à l'échelle régionale, sur les besoins et la disponibilité en eau :

- De différents usagers : agricole, ICI, résidentiel
- Maintenant et en 2050

S'outiller pour aider à prévenir/atténuer les conflits quantitatifs d'usage de l'eau en milieu agricole, dans un contexte de changement climatique

Groupe AGÉCO

4

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Équipe régulière	Équipe élargie
<ul style="list-style-type: none"> • Groupe AGÉCO <ul style="list-style-type: none"> - Coordination du projet - Animation et consultation - Expertise agroéconomique • Sylvestre Delmotte <ul style="list-style-type: none"> - Expertise agronomique - Modélisation (modèle STICS) • Institut de recherche en développement agroenvironnemental (IRDA) <ul style="list-style-type: none"> - Experts en modélisation hydrologique, géomatique et bilan hydrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Ouranos <ul style="list-style-type: none"> - Expertise pour les scénarios climatiques et soutien à l'interprétation • Institut national de recherche scientifique - Eau-Terre-Environnemental (INRS-ÉTE) <ul style="list-style-type: none"> - Hydroécologie - Direction expertise hydrologique (DEH) <ul style="list-style-type: none"> - Expertise pour les scénarios hydrologiques et soutien à l'interprétation - Soutien à l'élaboration du modèle simplifié • Agriculture et agroalimentaire Canada (AAC) <ul style="list-style-type: none"> - Appui à la modélisation STICS • Université Laval <ul style="list-style-type: none"> - Expertise en drainage, irrigation, aménagements hydro-agricoles et des cours d'eau

Groupe AGÉCO

5

PROJETS SUR 3 ANS ET UNE APPROCHE PARTICIPATIVE FORTE

Alternance entre la modélisation et le « terrain »

- Portrait des ressources et usages actuels → 11 régions
- Simulation des besoins et des disponibilités de l'eau en 2050 → 6 scénarios narratifs
- 2 rencontres dans chaque région pour présenter les informations et identifier les conflits existants et potentiels

- Pour la dernière année → études de cas à des échelles très locales

Groupe AGÉCO

6

LES ÉTUDES DE CAS

- Pour approfondir, à l'échelle d'un petit territoire :
 - La gestion des conflits potentiels ou avérés
 - Aller encore plus loin dans l'interaction avec les acteurs locaux et les pistes de solutions potentielles
- Pourquoi Saint-Rémi
 - Enjeu potentiel d'eau souterraine (assèchement de puits)
 - Important bassin de producteurs maraîchers en terre minérale et terre noire
 - Acteurs mobilisés
- Votre rôle
 - partager avec les autres usagers du territoire votre réalité, votre point de vue, vos craintes éventuelles
 - Contribuer à ce que nous trouvions ensemble des solutions au problème

Groupe A&ECO 7

7

Tour de table

Groupe A&ECO 8

8

PRÉSENTATION DES PARTIES PRENANTES DE L'EAU À SAINT-RÉMI

- Quel usage faites-vous de l'eau ?
- En quoi cette ressource est essentielle à vos activités ?
- D'où provient l'eau que vous prélevez ?
- Avez-vous vécu des difficultés d'approvisionnement à l'été 2018 ou à un autre moment ?

Groupe A&ECO 9

9

Portrait actuel des prélèvements et de la ressource en eau à Saint-Rémi

Groupe A&ECO 10

10

SITUATION



Groupe A&ECO 11

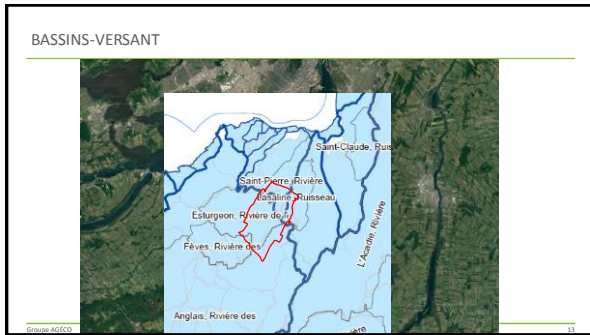
11

RESSOURCES EN EAU

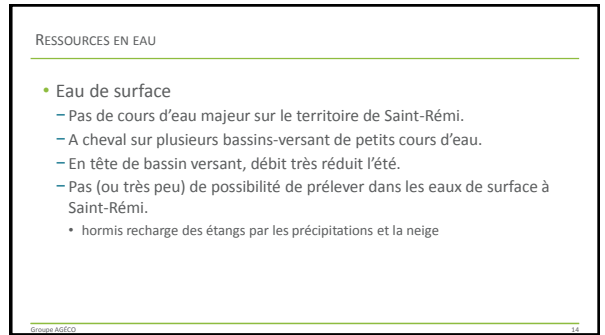
- Eau de surface
 - Pas de cours d'eau majeur sur le territoire de Saint-Rémi.
 - A cheval sur plusieurs bassins-versant de petits cours d'eau.

Groupe A&ECO 12

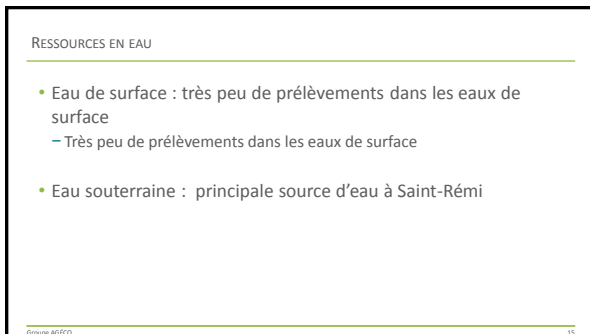
12



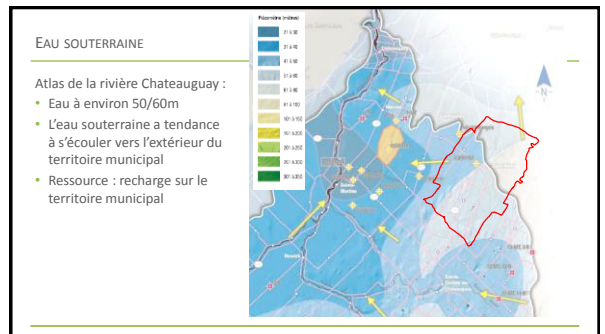
13



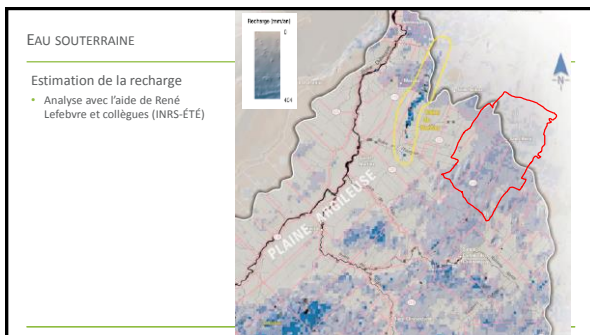
14



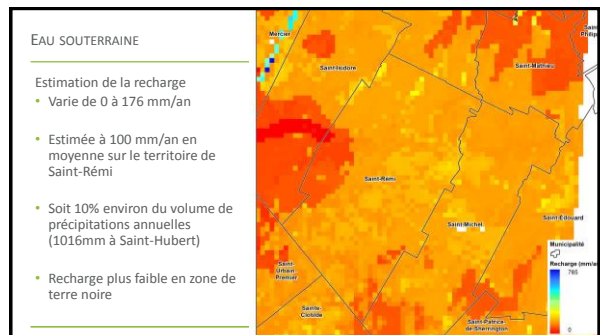
15



16



17



18

PRÉLÈVEMENTS EN EAU – ST-RÉMI

	Prélèvements actuel dans les eaux souterraines (m ³ par an)	Proportion des prélèvements
Résidentiel	641,250	33%
ICI* Réseau	610,142	31%
ICI hors réseau	128,941	7%
Irrigation des cultures	557,971	28%
Abreuvement des animaux	25,631	1%
TOTAL	1,963,937	100%

* ICI : Industrie, commerce et institutions

19

DÉTAILS DES PRÉLÈVEMENTS RÉSIDENTIELS ET INDUSTRIELS – ST-RÉMI

- 8128 habitants dont 7500 desservis
- Pas de données dans la base de données du MAMOT sur les volumes prélevés par la municipalité.
- Volume mesuré en 2017 : 1,201,442 m³

20

DÉTAILS DES PRÉLÈVEMENTS POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES – ST-RÉMI

86 producteurs dans les fiches FLORA :

- 1800ha potentiellement irrigués
- 26 producteurs ont une superficie cultivée potentiellement irriguée de 5ha et plus
- 8 producteurs ont une superficie cultivée potentiellement irriguée de 100ha et plus
- 650ha des 1800 sont dans la classe « autre légumes » non décrit en terme d'irrigation dans nos estimations.
 - Sous-estimation des besoins en eau pour l'irrigation?

21

DÉTAILS DES PRÉLÈVEMENTS POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES – ST-RÉMI

Culture	Superficie cultivées (ha)	Prélèvements actuel dans les eaux souterraines (m ³ par an)	Proportion des prélèvements
Laitues (terres noires)	344	206,316	37%
Tomates frais	71	84,936	15%
Choux	194	48,415	9%
Brocolis	132	33,000	6%
Poivrons	27	32,196	6%
Plantes vivaces et rosiers en conteneurs	0,9	30,450	5%
Potées fleuries serres	5	29,663	5%
Fleurs annuelles serres	7	20,576	4%
TOTAL		485,552	87%

22

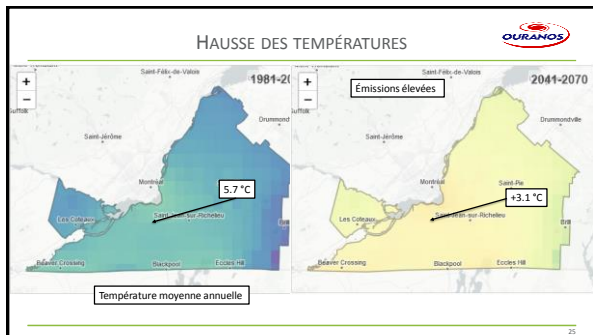
Saint-Rémi en 2050: exercice de projection dans le futur

23

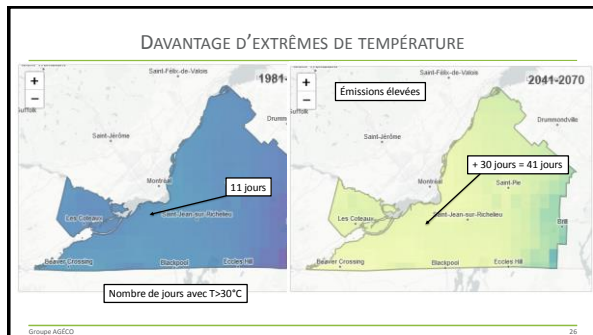
SAINT-RÉMI EN 2050 – QUELS SCÉNARIOS DU FUTUR ?

- Présentation des impacts connus des changements climatiques sur les prélèvements en eau (10 min)
- Identifier un ou deux porte-parole
- Discussion en équipe (50 min)
 - 15 min industriel
 - 15 min résidentiel
 - 20 min agricole
- Utiliser la liste de mots-clés pour vous inspirer
- Vous devez trouver un titre évocateur à votre scénario!**
- Animateur et secrétaire à chaque table
- Retour en grand groupe pour présenter les scénarios de chaque équipe (30min)

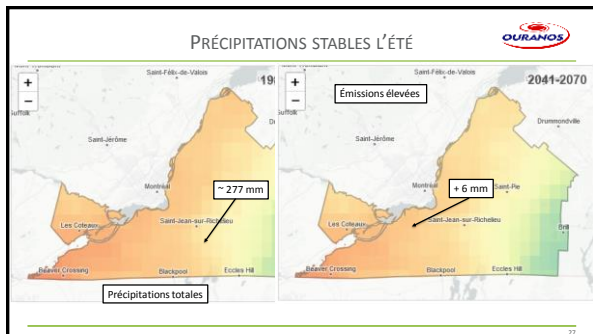
24



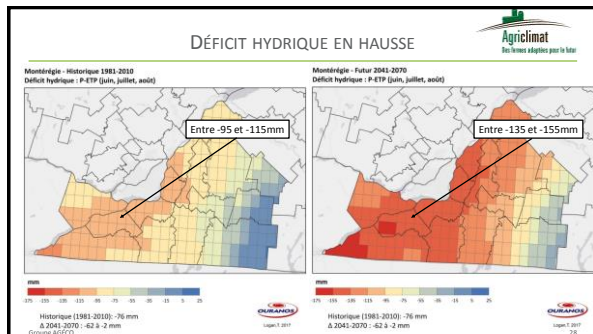
25



26



27



28

QUE SAIT-ON DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RESSOURCES EN EAU ?

- Diminution des débits d'étiages
 - Selon les scénarios choisis avec Océanos, de -17% à -50%
 - À l'échelle du Québec, pour les cours d'eau majeurs
- Pas d'évolution à court terme (2050) de la r

Source : Océanos, 2017, com. Pers. Résultats préliminaires, rôle unique de l'illustration

29

QUE SAIT-ON DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BESOINS EN EAU ?

- Peu d'impact sur les besoins résidentiels
- Peu d'impact sur les besoins industriels
- Augmentation des besoins pour les activités récréotouristiques (golfs, stations de ski)
 - Accentuation des conditions douces et pluvieuses qui raccourciront la saison de ski, mais augmentation de la fabrication de neige
 - Prolongation de 2 à 3 semaines de la saison de golf, essentiellement en début de saison
- Et surtout, hausses des besoins en eau pour l'agriculture
 - Besoin en eau d'irrigation plus important car déficit hydrique plus sévère

30

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BESOINS EN EAU EN AGRICULTURE

	ST-HUBERT
PRÉCIPITATIONS DE JUIN À AOÛT (CLIMAT HISTORIQUE - OURANOS)	286 mm
ETP MOYENNES JUIN À AOÛT (CLIMAT HISTORIQUE)	429 mm
MOYENNE DE P - ETP (MM) (CLIMAT HISTORIQUE)	-143 mm
VARIATION SUPÉRIEURE DU DÉFICIT HYDRIQUE EN CLIMAT FUTUR	-72 mm
VARIATION INFÉRIEURE DU DÉFICIT HYDRIQUE EN CLIMAT FUTUR	+17 mm

- Ex. simulations laitues en terres noires (modélisation)
 - Scénarios forts : +14 à +17 mm par cycle de culture | scénarios faibles : +1 à +8 mm
- Ex. brocolis (bilan hydrique)
 - Scénarios forts : +54 à +63 mm par saison | scénarios faibles : -4 à +13 mm
- Ex. poivrons (bilan hydrique en plasticulture)
 - Scénarios forts : +36 à +62 mm par saison | scénarios faibles : +27 à 28mm par saison

31

SAINT-RÉMI EN 2050 – QUELS SCÉNARIOS DU FUTUR ?

- Identifier un ou deux porte-parole
- Discussion en équipe (50 min)
 - 15 min industriel
 - 15 min résidentiel
 - 20 min agricole
- Utiliser la liste de mots-clés pour vous inspirer
- **Vous devez trouver un titre évocateur à votre scénario!**
- Animateur et secrétaire à chaque table
- Retour en grand groupe pour présenter les scénarios de chaque équipe (30min)

Groupe A&ECO

32

32

Les étapes à venir

Groupe A&ECO

33

33

4. LES ÉTAPES À VENIR

- 2^{ème} rencontre fin janvier: présentation de la quantification des résultats des scénarios.
- Vers des stratégies collectives d'adaptation aux enjeux de l'eau

Groupe A&ECO

34

34



PROJET RADEAU
 RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES POUR LA GESTION
 DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE DANS UN CONTEXTE
 DE CHANGEMENT CLIMATIQUE
 Étude de cas pour Saint-Rémi – 2^{ème} rencontre
 14 mars 2019



www.groupeageco.ca

1

RAPPEL DE LA DERNIÈRE RENCONTRE

- Portrait actuel des prélèvements et de la ressource en eau à Saint-Rémi
- Présentation des impacts connus des changements climatiques sur les prélèvements en eau
- Exercice de projection dans le futur: 3 scénarios de Saint-Rémi en 2050
 1. Consommer EAU-trement
 2. Problèmes imminents, des solutions soulevées
 3. Symbiose et communication

Groupe AGÉCO

2

PROGRAMME DE L'AVANT-MIDI

- Nouvelles informations sur la ressource et sur les prélèvements (30 min)
 - Discussion
- Exploration de pistes de solution par secteur (45 min)
 - Discussion
- Retour sur les scénarios et leurs conséquences sur la consommation (45 min)
 - Discussion
- Présentation des programmes de subvention Prime-Vert (20 min)
 - Conflit d'usage de l'eau en milieu agricole, irrigation et lavage des légumes
- Conclusion (5 min)

Groupe AGÉCO

3

RESSOURCES ET PRÉLÈVEMENTS : NOUVELLES INFORMATIONS

Groupe AGÉCO

4

PRÉLÈVEMENTS EN EAU – ST-RÉMI

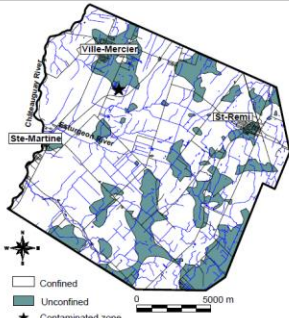
	Prélèvements actuel dans les eaux souterraines (m ³ par an)	Proportion des prélèvements
Résidentiel	641,250	33%
ICI* Réseau	610,142	31%
ICI hors réseau	128,941	7%
Irrigation des cultures	557,971	28%
Abreuvement des animaux	25,631	1%
TOTAL	1,963,937	100%

* ICI : Industrie, commerce et institutions

Groupe AGÉCO

5

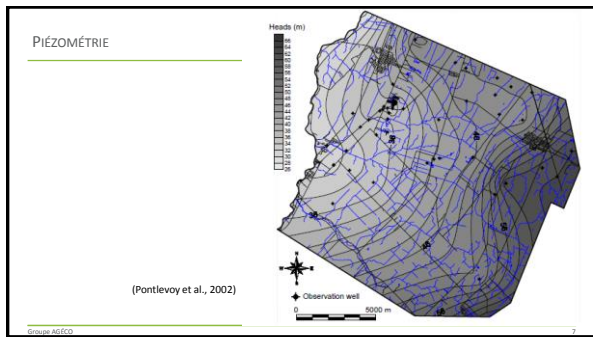
AQUIFÈRE CONFINÉ



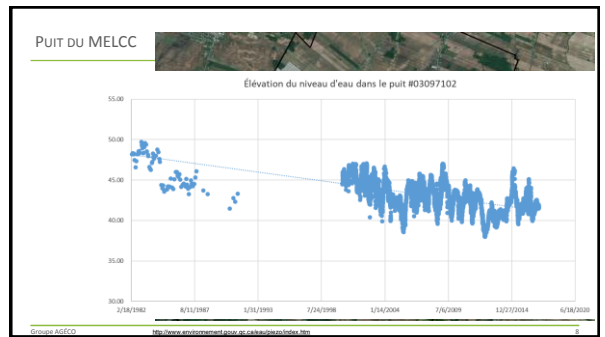
(Pontlevoij et al., 2002)

Groupe AGÉCO

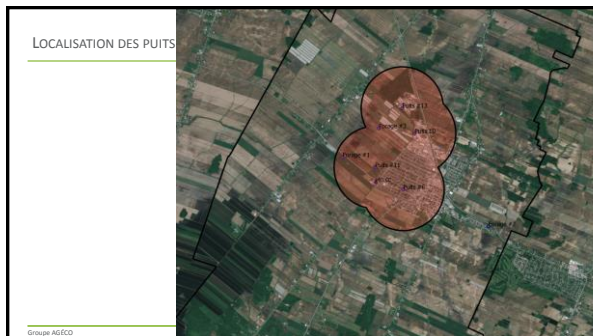
6



7



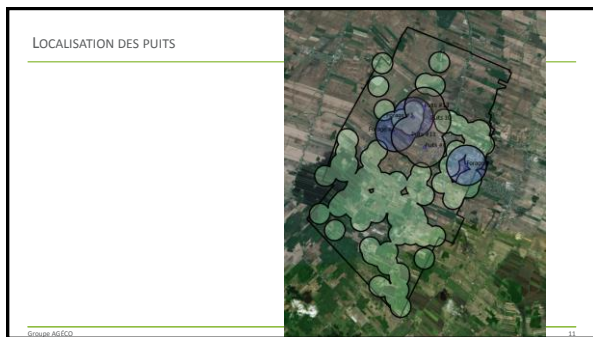
8



9



10



11

ÉCHANGES ET DISCUSSION – 15 MIN

The footer reads 'Groupe A&ECO'.

12


PISTES DE SOLUTION PAR SECTEUR

Groupe AEGECO

13


PISTE DE SOLUTION – SECTEUR RÉSIDENTIEL

Les laveuses chargement par le haut



- Coût: entre 500 \$ et 1 200 \$
- Brassée: 150 L

Les laveuses frontales homologuées Energy star




- Coût: entre 600 \$ et 1 799 \$
- Brassée: 80L
- Économie de 70L/brassée= 45%

Sources: Transition énergétique – Gouvernement du Québec et Écobilabation
Groupe AEGECO

14


PISTE DE SOLUTION – SECTEUR RÉSIDENTIEL

Toilette classique



- Coût: entre 100 \$ et 300 \$ et +
- Chasse d'eau : 9L

Toilette avec chasse d'eau double




- Coût: entre 250 \$ et 500 \$ et +
- Chasse d'eau : 3L – 6L
- Économie de 3L à 6L/chasse = 53%

Sources: Guide bâtiment durable de Brossais et Écobilabation
Groupe AEGECO

15


PISTE DE SOLUTION – SECTEUR RÉSIDENTIEL

Pomme de douche classique



- Coût: entre 20 \$ et 50 \$
- Débit : 17L/min
- Pression: 3 bars
- Douche de 5 min : 85L

Pomme de douche économie



- Coût: entre 10 \$ et 50 \$
- Débit : 7,5L/min
- Pression: 3 bars
- Douche de 5 min : 35,5L
- Économie de 49,5L/douche de 5 min = 55%

Sources: Guide bâtiment durable de Brossais et Écobilabation
Groupe AEGECO

16

PISTE DE SOLUTION – SECTEUR RÉSIDENTIEL

Système de récupération d'eau de pluie



- Coût totaux (Équipements + installation) entre 5 000 \$ et 10 000 \$
- Réduction potentielle de la consommation d'eau potable de 30 à 80% par foyers.
- Eau des toilettes et usages extérieur + laveuse
- Réservoir entre 1 200 L à 9 000 L

Sources: Ecoconex et Écobilabation
Groupe AEGECO

17

PISTE DE SOLUTION – INDUSTRIEL

Récupération de l'eau de pluie

- Superficie de toiture des bâtiments industriels (3 principales industries de Saint-Rémi) :
 - 15 500 m²
- Volume d'eau potentiellement récupérable :
 - 8 600 m³/an
- Rapport des eaux de pluie par rapport aux besoins:
 - 3 %

Groupe AEGECO

18

PISTES DE SOLUTIONS – SECTEUR AGRICOLE

- Suivi des pratiques d'irrigation de 25 producteurs au Québec (Carl Boivin et al., 2016) :
 - Des pratiques non optimales : volumes trop importants en un apport
 - Des apports pas suffisamment fréquents, pas nécessairement au bon moment
 - Main d'œuvre non qualifiée, manque d'outils d'aide à la décision
 - Analyse des volumes : apports sous-optimaux
- Beaucoup de possibilités d'optimisation des pratiques
- Peu (pas) de possibilités de réduire les volumes avec la réglementation actuelle des cultures

19

PISTES DE SOLUTIONS – SECTEUR AGRICOLE

- Projets de Carl Boivin et al. (IRDA)

20

PISTES DE SOLUTIONS – SECTEUR AGRICOLE

- Projets de Carl Boivin et al. (IRDA)

21

PISTES DE SOLUTIONS – SECTEUR AGRICOLE

- Expérimentations à poursuivre
 - Au mieux : limiter la hausse des besoins liée au changement climatique?

22

SCHEMA – CIRCUIT FERMÉ ET RÉCUPÉRATION DE L'EAU DE PLUIE

Source	Volume entrant (m³/an)	Volume sortant (m³/an)
Municipal Wells (46%)	670 000	540 000
Independent Wells (37%)	550 000	440 000
Independent Wells (17%)	250 000	220 000
Total	1 470 000	1 200 000
Rainwater Recovery (30%)	540 000	1 740 000

23

ÉCHANGES ET DISCUSSION – 15 MIN

24

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION EN EAU PAR SCÉNARIO

Groupe A&ECO 25

25

RÉSUMÉ SCÉNARIO 1


Saint-Rémi en 2050...

SCÉNARIO 1	
POPULATION	12 000 habitants
RÉSIDENTIEL	Baisse de la consommation d'eau par habitant, car sensibilisation et subventions pour : économiseurs d'eau et systèmes de récupération d'eau de pluie
INDUSTRIEL	Légère hausse des besoins, car dév. Économique limité
AGRICOLE	Superficies cultivées stables, mais hausse des besoins par unité de surface

Groupe A&ECO 26

26

SCÉNARIO 1 – BESOINS RÉSIDENTIELS



70 %

90 %

90 %

20 %

- Diminution des prélèvements par habitant (-22%)
- Mais augmentation des besoins en eau de 10 %
- de 670 599m³/an à 739 908m³/an

Groupe A&ECO 27

27

SCÉNARIO 1 – BESOINS INDUSTRIELS

- Expansion des industries limitée par l'apport en eau – Augmentation de 10 %
- Les commerces et institutions suivent les tendances du secteur résidentiel.

m ³ /an	Actuel	Futur
Industriel	247 546	287 230
Commerce et Institution	548 203	605 276
Total	795 749	892 507

Groupe A&ECO 28

28

SCÉNARIO 1 – BESOINS AGRICOLES

- Superficies cultivées stables

Cultures	Superficies cultivées (ha)
Laitues (terres noires)	344
Tomates frites	71
Choux	194
Brocolis	132
Poivrons	27
Plantes vivaces et rosiers en conteneurs	1
Potées fleuries serres	5
Fleurs annuelles serres	7
TOTAL	

- Hausse des besoins en eau du fait du changement climatique : +30%
- Scénario climatique médian d'Ouranos

Groupe A&ECO 29

29

SCÉNARIO 1 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

- Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m ³ /an)	2 024 319	2 357 006	+ 16 %
Recharge		7 905 068 m ³ /an	
% de la recharge utilisé	26	30	

Groupe A&ECO 30

30

SCÉNARIO 1 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

- Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m³/an)	2 024 319	2 357 006	+ 16 %
Recharge	7 905 068 m³/an		
% de la recharge utilisé	26	30	
- Évolution des besoins

	Évolution du volume (m³)	Actuel	Scénario 1
Résidentiel	+ 70 000	33 %	31 %
CI	+ 60 000	27 %	26 %
Industriel	+ 40 000	12 %	12 %
Agricole	+ 160 000	28 %	31 %

31

RÉSUMÉ SCÉNARIO 2

Saint-Rémi en 2050...

SCÉNARIO 2	
POPULATION	10 000 habitants
RÉSIDENTIEL	Légère baisse de la consommation par habitant, car sensibilisation modérée
INDUSTRIEL	Forte hausse des besoins, car dév. Économique important
AGRICOLE	Besoin à la hausse, car augmentation importante des superficies cultivées et changements climatiques

32

SCÉNARIO 2 – BESOINS RÉSIDENTIELS

- 50 %
- 40 %
- 80 %
- 20 %

- Légère diminution des prélèvements par habitant (-9%)
- Légère augmentation des besoins en eau - de 670 599m³/an à 696 904m³/an

33

SCÉNARIO 2 – BESOINS INDUSTRIELS

- Augmentation de la production suivant les projections des industries – +160%
- Aucune optimisation des équipements
- Les commerces et institutions suivent les tendances du secteur résidentiel

m³/an	Actuel	Futur
Industriel	247 546	644 387
Commerce et Institution	548 203	570 097
Total	795 749	1 214 485

34

SCÉNARIO 2 – BESOINS AGRICOLES

- Superficies cultivées en forte hausse

Cultures	Superficies cultivées (ha)
Laitues (terres noires)	430 (344)
Tomates frais	88 (71)
Choux	290 (194)
Brocolis	198 (132)
Polvrons	30 (27)
Plantes vivaces et rosiers en conteneurs	2 (1)
Potées fleuries serres	6 (5)
Fleurs annuelles serres	9 (7)
TOTAL	1660 (1225)
- Hausse des besoins en eau du fait des changements climatiques : +30%
- HAUSSE DES PRÉLÈVEMENTS DE 73%

35

SCÉNARIO 2 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

- Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m³/an)	2 024 319	2 878 941	+ 42 %
Recharge	7 905 068 m³/an		
% de la recharge utilisé	26	36	

36

SCÉNARIO 2 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

- Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m³/an)	2 024 319	2 878 941	+ 42 %
Recharge		7 905 068 m³/an	
% de la recharge utilisé	26	36	
- Évolution des besoins

	Évolution du volume (m³)	Actuel	Scénario 2
Résidentiel	+ 30 000	33 %	24 %
CI	+ 20 000	27 %	20 %
Industriel	+390 000	12 %	22 %
Agricole	+410 000	28 %	34 %

37

RÉSUMÉ SCÉNARIO 3

Saint-Rémi en 2050...

	SCÉNARIO 3
POPULATION	15 000 habitants
RÉSIDENTIEL	Légère diminution des besoins en eau par habitant, car sensibilisation modérée
INDUSTRIEL	Hausse importante des besoins, car dév. Important des activités économiques
AGRICOLE	Augmentation des besoins, car hausse modérée des superficies irriguées

38

SCÉNARIO 3 – BESOINS RÉSIDENTIELS

- Légère diminution des prélèvements par habitant (-9%)
- 56 % d'augmentation des besoins en eau - de 670 599m³/an à 1 045 356m³/an

39

SCÉNARIO 3 - BESOINS INDUSTRIELS

- Seulement la moitié des augmentations de production est effectuée - +80%
- Récupération de l'eau de pluie
- Les commerces et institutions suivent les tendances du secteur résidentiel

m³/an	Actuel	Futur
Industriel	247 546	445 967
Optimisation des procédés	0*	- 76 064
Eau de pluie	0*	- 8 639
Commerce et institution	548 203	855 146
Total	795 749	1 216 410

40

SCÉNARIO 3 – BESOINS AGRICOLES

- Superficies cultivées en faible hausse

Cultures	Superficie cultivées (ha)
Laitues (terres noires)	378 (344)
Tomates frais	78 (71)
Choux	242 (194)
Brocolis	165 (132)
Poivrons	27 (27)
Plantes vivaces et rosiers en conteneurs	1 (1)
Potées fleuries serres	5 (5)
Fleurs annuelles serres	8 (7)
TOTAL	1429 (1225)
- Hausse des besoins en eau du fait des changements climatiques : +30%
- HAUSSE DES PRÉLÈVEMENTS DE 49%

41

SCÉNARIO 3 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

- Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m³/an)	2 024 319	3 093 598	+ 53 %
Recharge		7 905 068 m³/an	
% de la recharge utilisé	26	39	

42

SCÉNARIO 3 – ÉVOLUTION GLOBALE DES BESOINS EN EAU

• Consommation totale en hausse

	2019	2050	Δ vs actuel
Prélèvement TOTAL (m ³ /an)	2 024 319	3 093 598	+ 53 %
Recharge		7 905 068 m ³ /an	
% de la recharge utilisé	26	39	

• Changement dans la répartition entre les usagers

	Évolution du volume (m ³)	Actuel	Scénario 3
Résidentiel	+ 375 000	33 %	34 %
CI	+ 307 000	27 %	28 %
Industriel	+ 114 000	12 %	12 %
Agricole	+ 270 000	28 %	27 %

Groupe AGECCO

43

43

ET SI LES EAUX USÉES ÉTAIENT RECYCLÉES...

Pourcentage de la recharge qui serait prélevé dans les eaux souterraines :

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Pour les industries	26% (30%)	28 (36%)	35 % (39%)
Pour tous les usages sauf agricoles	9%	12%	11%
Actuel	26%		

Groupe AGECCO

44

44

ÉCHANGES ET DISCUSSION – 15 MIN

Groupe AGECCO

45

45

LES PROGRAMMES DE SUBVENTION DISPONIBLES
PRÉSENTATION PAR LE MAPAQ

Groupe AGECCO

46

46

CONCLUSION

- Le projet RADEAU touche à sa fin :
 - Rapport pour la fin mars au MAPAQ
 - Synthèse des informations recueillies et présentées lors des deux rencontres
- Suite à envisager :
 - MELCC - Saint-Rémi incluse dans les études qui démarrent concernant les lagunes de Mercier.
 - Rencontre à prévoir?

Groupe AGECCO

47

47

ANNEXE 9

ANIMATIONS POUR L'ÉTUDE DE CAS DE LANORAIE



Les changements climatiques et les activités agricoles autour de la tourbière de Lanoraie
17 janvier 2019

PROJET RADEAU
RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES POUR LA GESTION DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE
DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE


 Agence canadienne
de l'agriculture
et de la pêche
Agriculture
et Pêche Canada
Аgriculture
и Рыболовство
Канады






www.irda.org/cecc

1

PROJET RÉALISÉ EN VERTU DU SOUS-VOLET 3.2 DU PROGRAMME PRIME-VERT 2013-2018

PRIME-VERT
UN PAS DE PLUS
POUR VOUS.
POUR UN BON DÉBUT D'ÉTIÉ

2013-2018

AVEC UNE AIDE FINANCIÈRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION (MAPAQ) ET DU FONDS VERT

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation
Québec



2

LES GRANDS OBJECTIFS DU MAPAQ

Obtenir un état de la situation harmonisé, à l'échelle régionale, sur les besoins et la disponibilité en eau :

- De différents usagers : agricole, ICI, résidentiel
- Maintenant et en 2050

S'outiller pour aider à prévenir/atténuer les conflits quantitatifs d'usage de l'eau en milieu agricole, dans un contexte de changement climatique

Groupe AGÉCO

3

OBJECTIFS DE LA RENCONTRE

- Présenter notre compréhension de la situation
- Recueillir votre vécu quant aux évolutions récentes
- Identifier les pistes de solutions possibles à étudier davantage en profondeur

Groupe AGÉCO

4

ORDRE DU JOUR DE LA RENCONTRE

1. Tour de table
2. Les changements climatiques attendus dans Lanaudière à l'horizon 2050
3. Impact des changements climatiques sur les besoins en eau et sur les ressources en eau
4. Comment s'adapter?

Groupe AGÉCO

5

TOUR DE TABLE - COMMENT AVEZ-VOUS VÉCU L'ÉTÉ 2018?

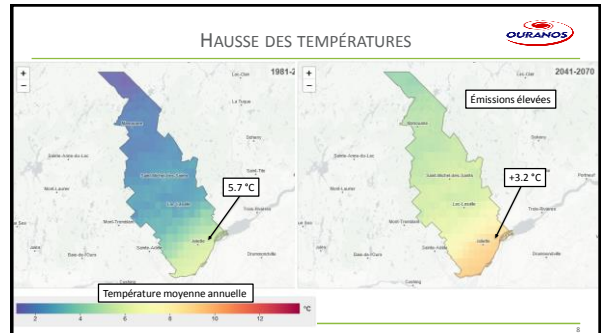
- Présenter votre entreprise
- Avez-vous eu des difficultés cet été? Manque d'eau? Systèmes qui ne suffisent pas?

Groupe AGÉCO

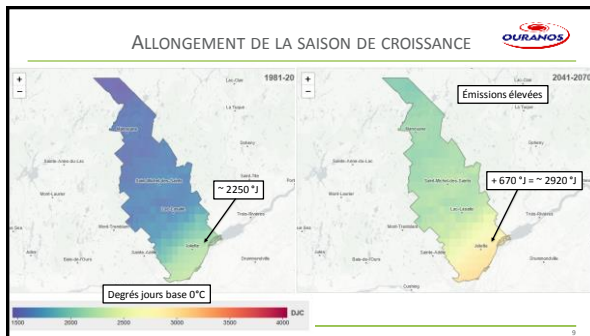
6

2. LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LANAUDIÈRE

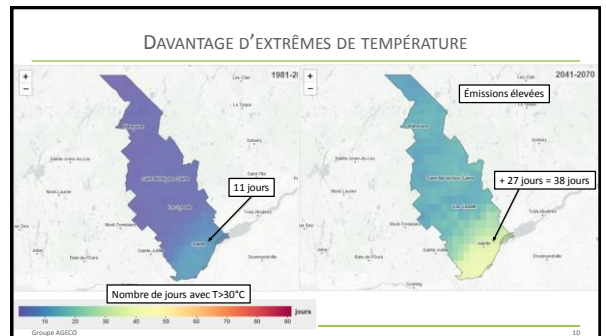
7



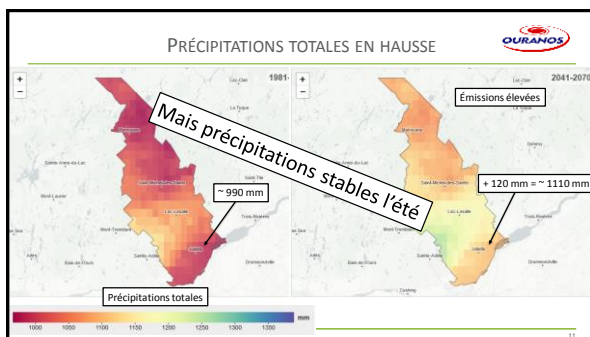
8



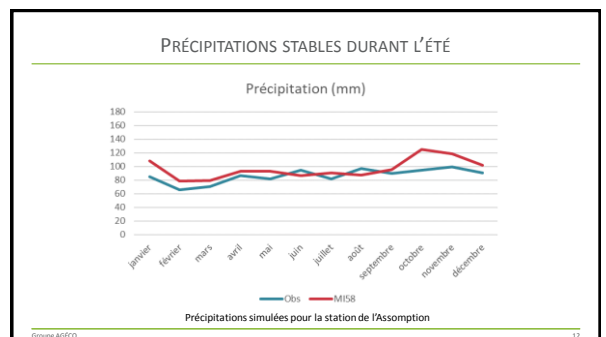
9



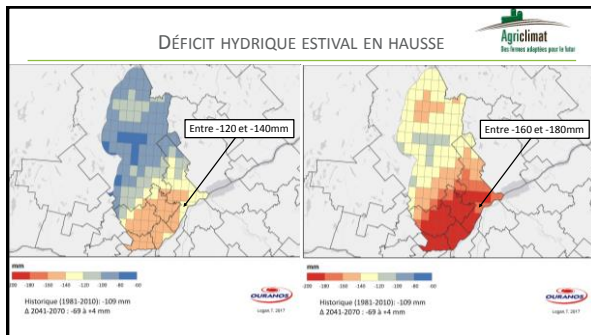
10



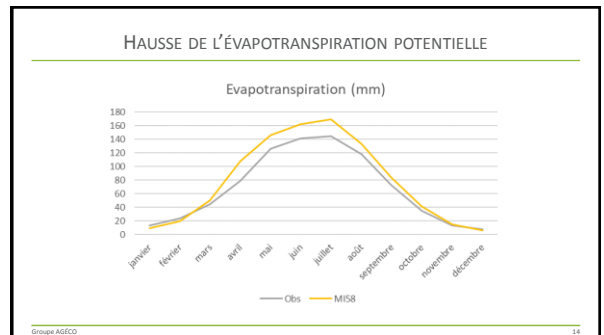
11



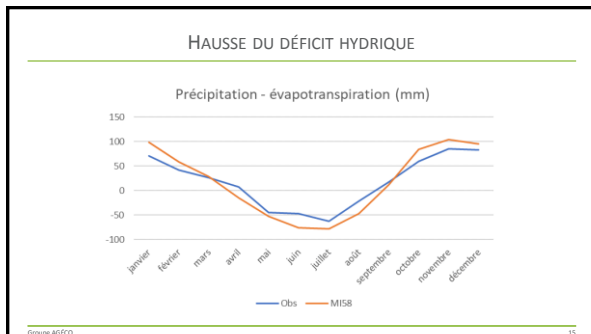
12



13



14



15

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS L'ANAUDIÈRE

Pour résumer :

- Saison de croissance plus longue, et plus chaude
- Plus d'extrêmes de température en été
- Stabilité des précipitations estivales
- Forte hausse de la demande évapo-transpirative

→ Hausse des besoins en eau pour l'irrigation?

16

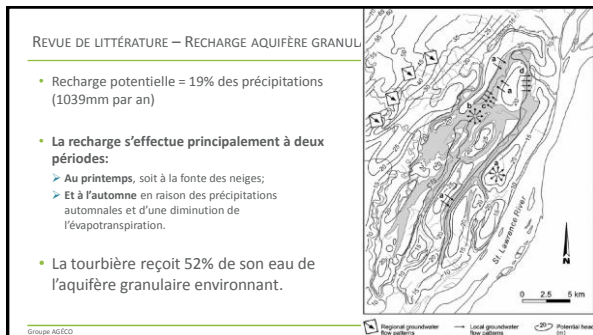
ET L'ÉTÉ 2018 DANS TOUT CELA?

- Température moyenne de juin à août:
 - Normale 1971-2015 : 17.6°C
 - 2018 : 20.6°C
 } +3°C par rapport à la normale
- Précipitations de juin à août :
 - Normale : 336mm
 - Été 2018 : 270mm
 } -66mm par rapport à la normale
- Déficit de précipitation ET évapotranspiration plus importante!

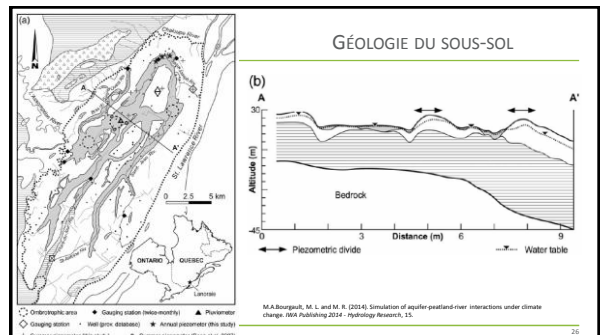
17

3. IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES BESOINS EN EAU ET SUR LES RESSOURCES EN EAU

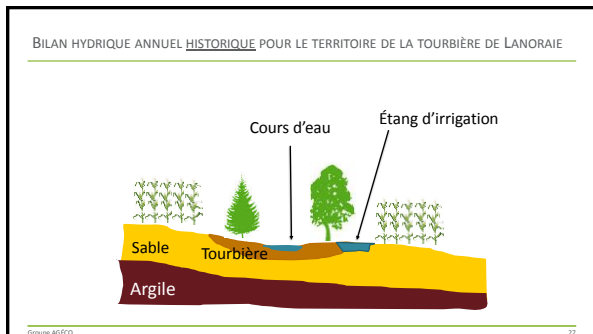
18



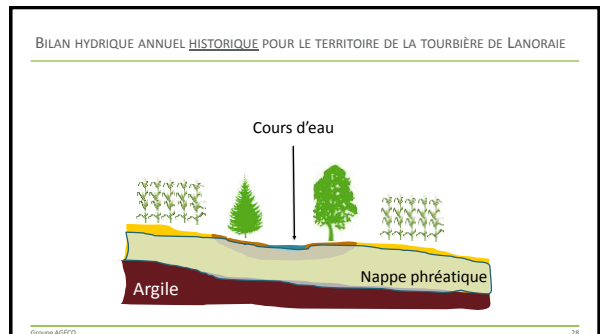
25



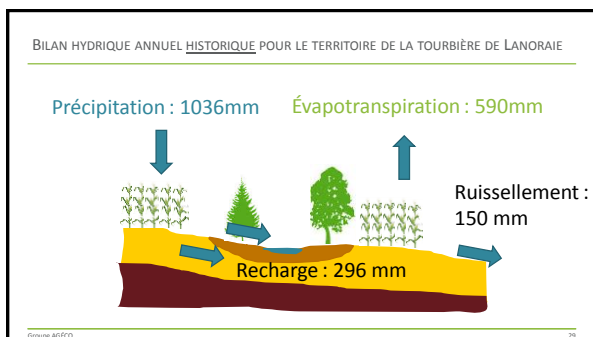
26



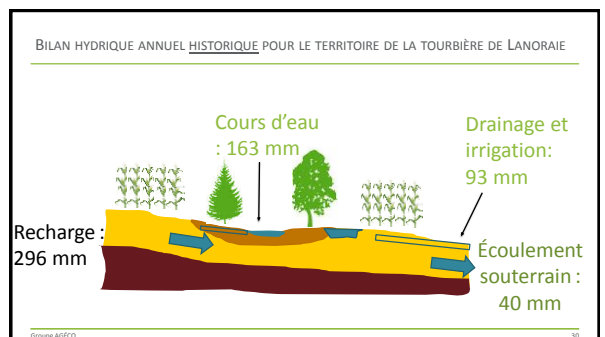
27



28



29



30

PRÉLÈVEMENTS POUR L'IRRIGATION VS AUTRES DESTINATION DE L'EAU

- Prélèvements concentrés sur la période estivale...
- Représentent 21mm de précipitations.
- Principalement pour l'irrigation des pommes de terre et horticulture en conteneur.

Groupe A&C/O 31

31

PRÉLÈVEMENTS POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES – COMPLEXE TOURBEUX

Culture	Superficie cultivées (ha)	Prélèvements actuel (m3 par an)	Proportion des prélèvements
Pommes de terre	3067	3,680,796	47%
Plantes en conteneur	89	3,129,000	40%
Canneberges	185	648,824	8%
Fraises	146	195,769	3%
Autres	140	192,853	2%
TOTAL	3627	7,847,242	98%

Sur plus de 7000ha (environ 18000 ares) cultivés

Groupe A&C/O 32

32

BILAN HYDRIQUE ANNUEL HISTORIQUE POUR LE TERRITOIRE DE LA TOURBIÈRE DE LANORAIE

Eau utile du sol (calculée sur l'ensemble du profil) quand les sols sont saturés (début avril): 387mm.

DÉBUT AVRIL

Pluie : 87 ET : 41

Stock initial : 387

Ruisellement, drainage, écoulement, cours d'eau : 135

Groupe A&C/O 33

33

BILAN HYDRIQUE ANNUEL HISTORIQUE POUR LE TERRITOIRE DE LA TOURBIÈRE DE LANORAIE

FIN AVRIL

Pluie : 87 ET : 41

Stock final : 297

Ruisellement, drainage, écoulement, cours d'eau : 135

Groupe A&C/O 34

34

BILAN HYDRIQUE ANNUEL HISTORIQUE POUR LE TERRITOIRE DE LA TOURBIÈRE DE LANORAIE

DÉBUT MAI

Pluie : 82 ET : 78

Stock initial : 297

Ruisellement, drainage, écoulement, cours d'eau : 45

Groupe A&C/O 35

35

BILAN HYDRIQUE ANNUEL HISTORIQUE POUR LE TERRITOIRE DE LA TOURBIÈRE DE LANORAIE

FIN MAI

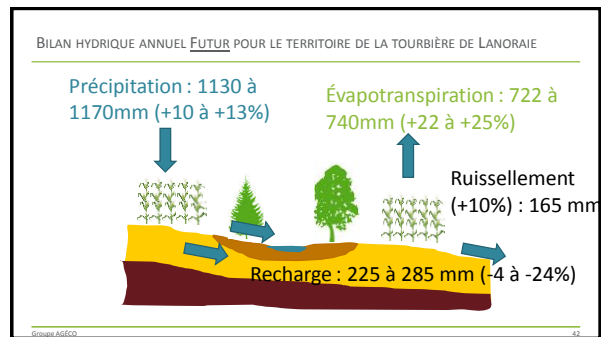
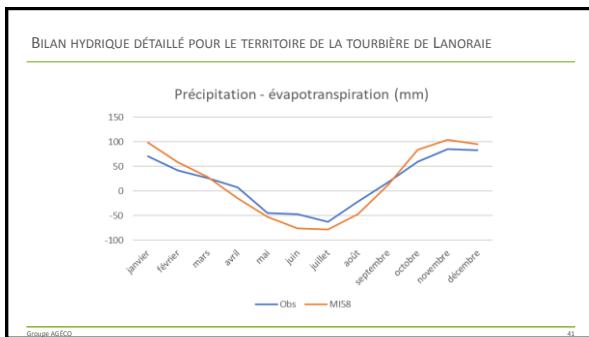
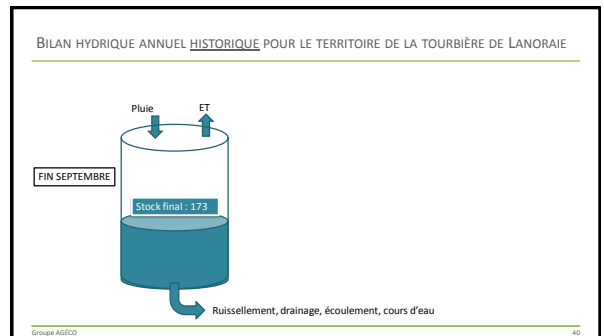
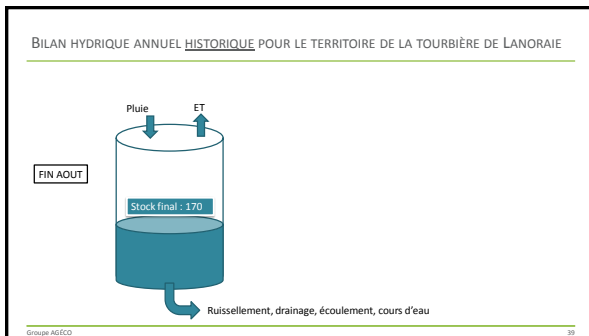
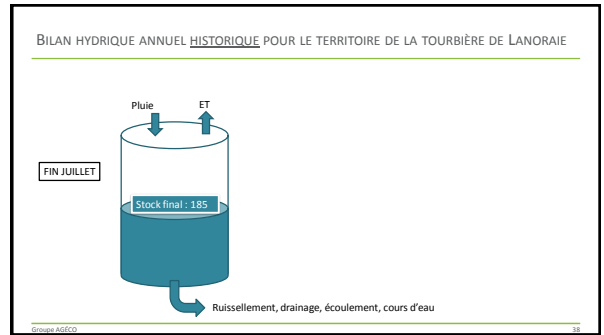
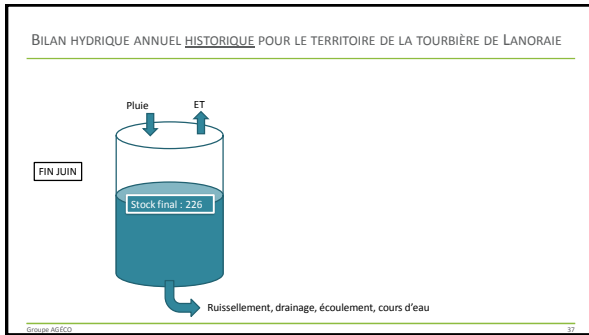
Pluie : 82 ET : 78

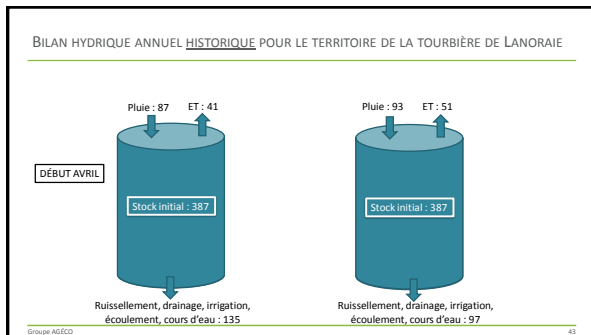
Stock final : 258

Ruisellement, drainage, écoulement, cours d'eau : 45

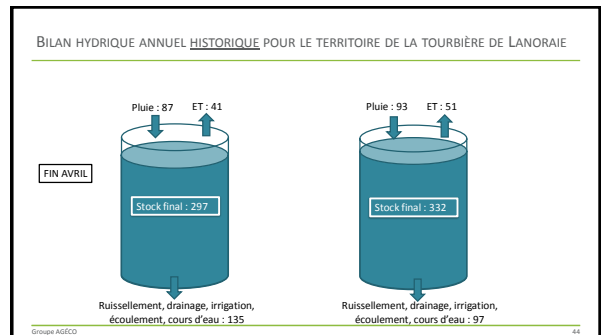
Groupe A&C/O 36

36

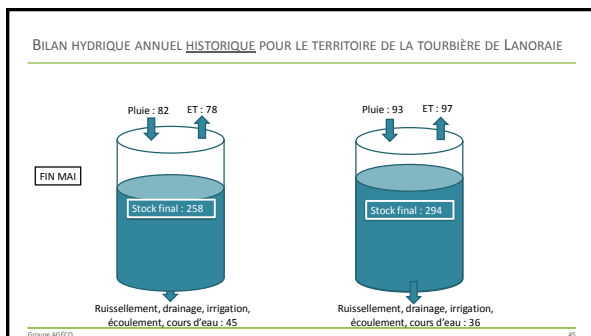




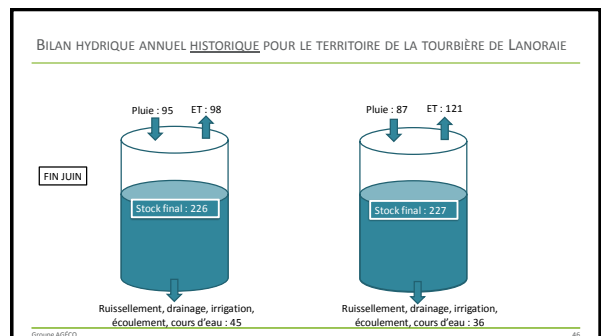
43



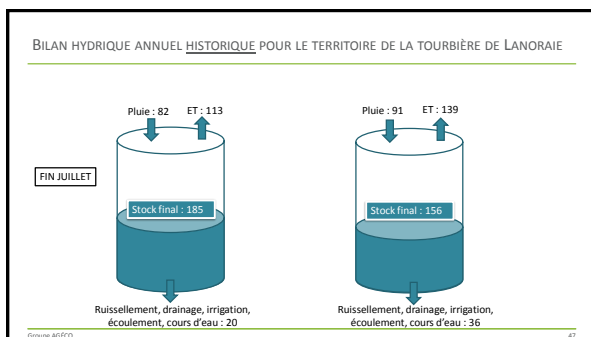
44



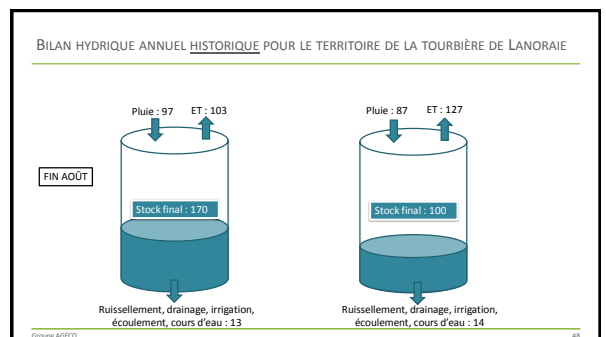
45



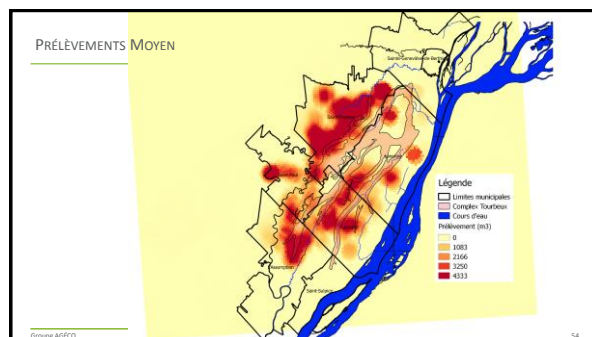
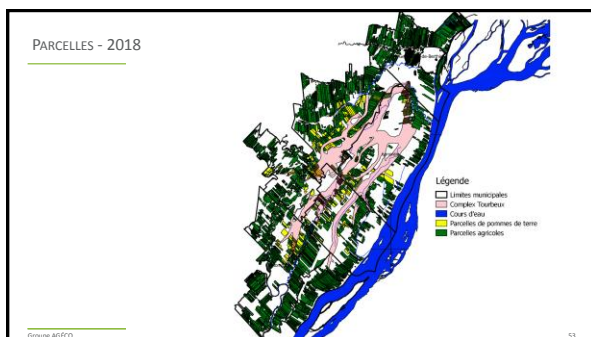
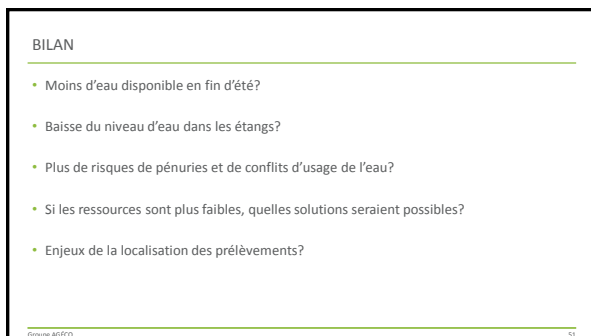
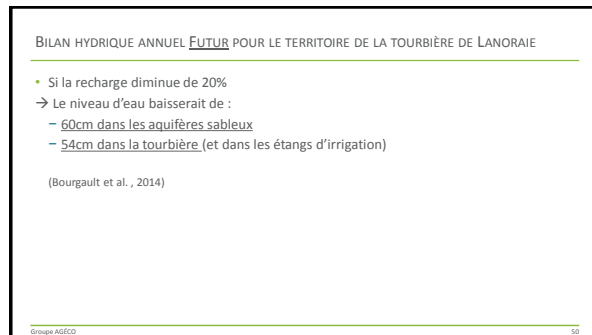
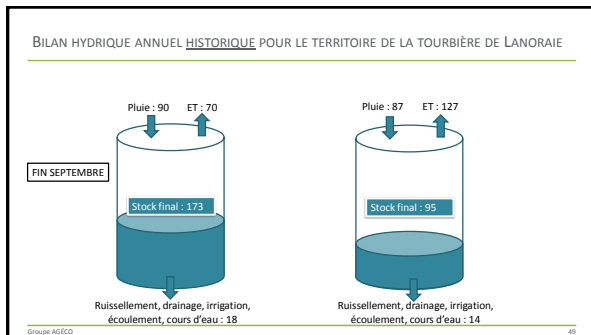
46

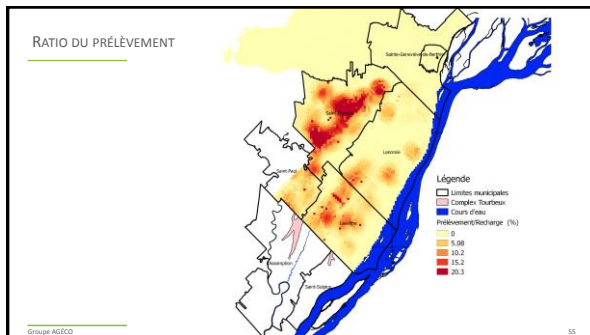


47

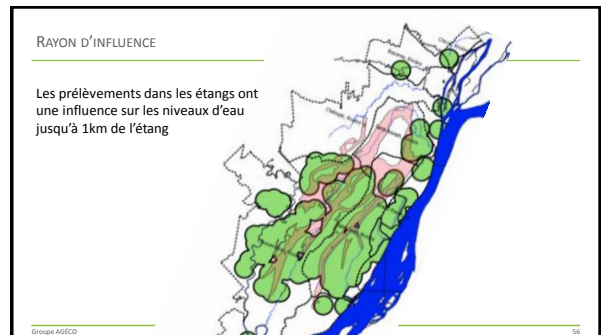


48

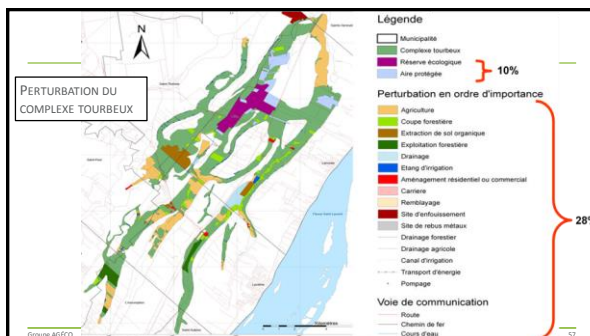




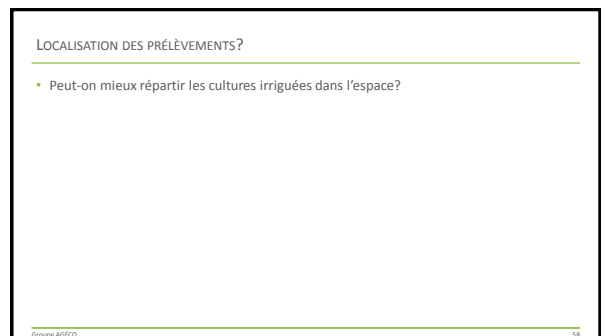
55



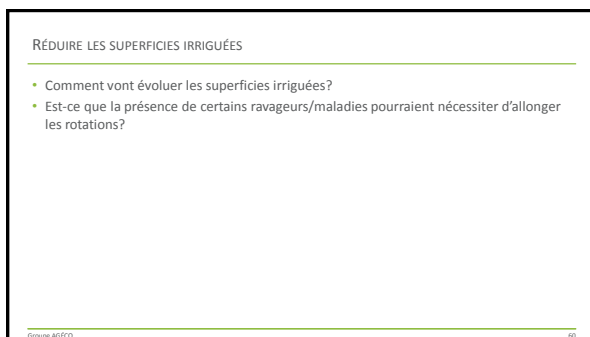
56



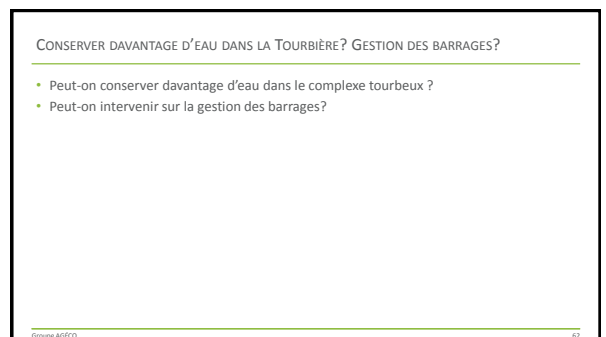
57



58



60



62

SOURCE ALTERNATIVE D'EAU?

- Peut-on imaginer de prélever de l'eau ailleurs? Au fleuve?

64

AUTRES PISTES DE SOLUTIONS?

66

MERCI!

67

Les changements climatiques et les activités agricoles autour de la tourbière de Lanoraie
Rencontre #2 – 15 mars 2019

PROJET RADEAU
RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES POUR LA GESTION DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE
DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

www.irda.org.ec.gc.ca

1

PROJET RÉALISÉ EN VERTU DU SOUS-VOLET 3.2 DU PROGRAMME PRIME-VERT 2013-2018

PRIME-VERT
UN PAS DE PLUS
POUR VOUS.
POUR UN BON DÉVELOPPEMENT DURABLE

2013-2018

AVEC UNE AIDE FINANCIÈRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION (MAPAQ) ET DU FONDS VERT

Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec Fondsvert

2

OBJECTIFS DE LA RENCONTRE

- Suite de la rencontre du 17 janvier
- Présenter une analyse sommaire des pistes de solutions envisagées
- Décider des suites à privilégier

Groupe AGÉCO

3

ORDRE DU JOUR DE LA RENCONTRE

1. Rappel des conclusions de la rencontre du 17 janvier 2019
2. La question réglementaire : quelques précisions et éléments de réponses
3. Retour sur les pistes de solutions envisagées
 1. Creuser les étangs
 2. Retenir davantage d'eau dans le complexe tourbeux
 3. Changer de source d'eau
4. Conclusion : pistes à explorer pour continuer d'avancer

Groupe AGÉCO

4

ORDRE DU JOUR DE LA RENCONTRE

1. Rappel des conclusions de la rencontre du 17 janvier 2019
2. La question réglementaire : quelques précisions et éléments de réponses
3. Retour sur les pistes de solutions envisagées
 1. Creuser les étangs
 2. Retenir davantage d'eau dans le complexe tourbeux
 3. Changer de source d'eau
4. Conclusion : pistes à explorer pour continuer d'avancer

Groupe AGÉCO

5

BILAN HYDRIQUE ANNUEL HISTORIQUE POUR LE TERRITOIRE DE LA TOURBIÈRE DE LANORAIE

Cours d'eau

Étang d'irrigation

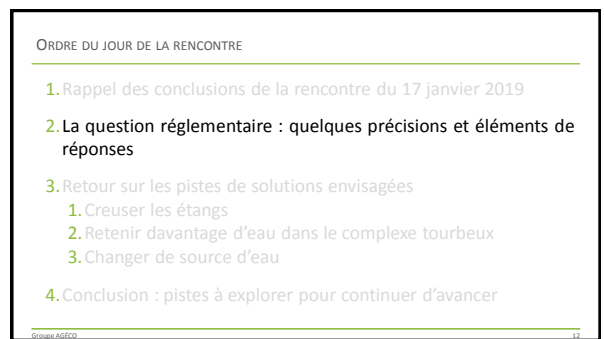
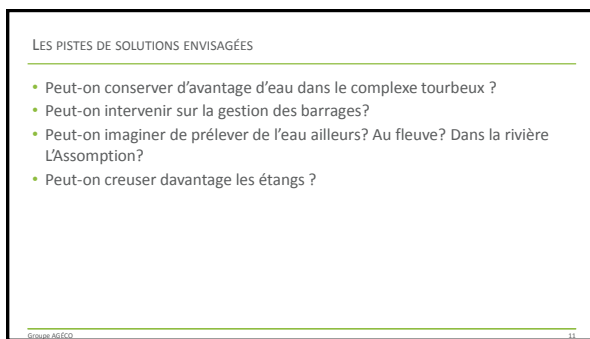
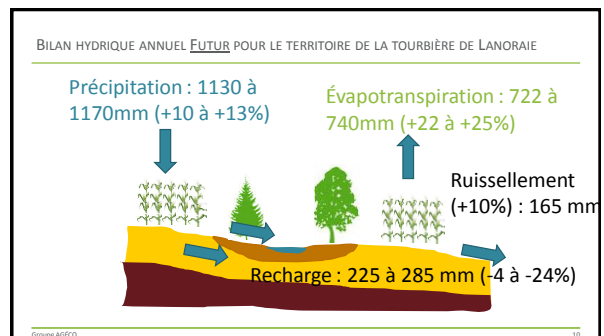
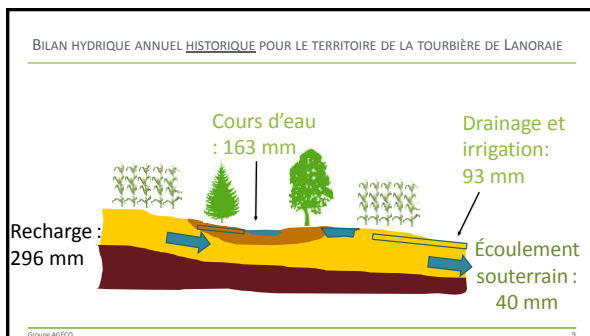
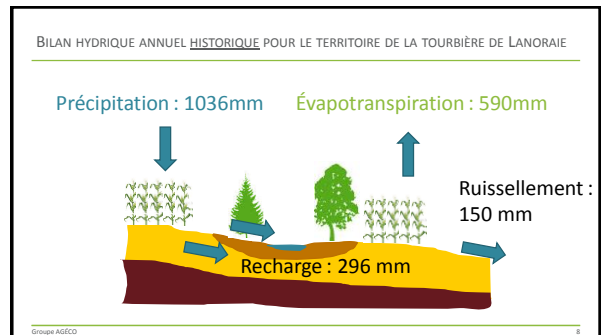
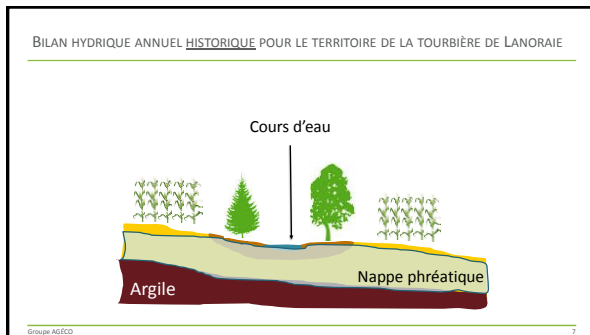
Sable

Tourbière

Argile

Groupe AGÉCO

6



CONCERNANT LE RÉGIME D'AUTORISATION

- Rencontre tenue avec la direction générale des politiques de l'eau (MELCC en février 2019)
- Autorisation :
 - 1 autorisation par entreprise, pour l'ensemble des lieux de prélèvement,
 - Valable pour un type d'usage, avec une certaine flexibilité pour la variabilité interannuelle,
 - Droit acquis se transmet quand la terre est cédée (informer le MELCC),
 - Si nouvelle terre, augmentation des superficies irriguées, augmentation importante du volume (au-delà de la variabilité), nécessité de modifier l'autorisation,
 - Pas d'études nécessaires pour les prélèvements dans les eaux de surface, mais nécessaire pour les prélèvements dans les eaux souterraines et dans les étangs situés à proximité des milieux humides et tourbière (Article 46.0.3 LQE).

Groupe AGECO

13

13

CONCERNANT LE RÉGIME D'AUTORISATION

- Autorisation :
 - Échéance d'obtention d'une autorisation :
 - 100ha irrigués à raison de 180mm par an : 2026
 - 50ha irrigués à raison de 180mm par an : 2027
 - Une étude collective, pour l'ensemble du territoire pourrait être envisagée par MELCC.

Groupe AGECO

14

14

CONCERNANT LA DÉCLARATION

- Règlement sur la déclaration des prélèvements en eau
 - Territoire de l'entente des Grands Lacs
 - Capacité de prélever plus de 379m³ par jour
 - Déclaration annuelle avant le 31 mars
 - Volumes prélevés par mois, sur la base d'instruments de mesure ou certifié par un professionnel habilité.

Groupe AGECO

15

15

ORDRE DU JOUR DE LA RENCONTRE

1. Rappel des conclusions de la rencontre du 17 janvier 2019
2. La question réglementaire : quelques précisions et éléments de réponses
3. Retour sur les pistes de solutions envisagées
 1. Creuser les étangs
 2. Retenir davantage d'eau dans le complexe tourbeux
 3. Changer de source d'eau
4. Conclusion : pistes à explorer pour continuer d'avancer

Groupe AGECO

16

16

LA RÉSERVE EN EAU DE VOS ÉTANGS VS VOTRE CONSOMMATION

- Un peu plus de 200 étangs autour et dans le complexe tourbeux
- Pour une superficie totale d'environ 65ha
- Profondeur d'eau maximum = 5m
- Soit une réserve en eau de 3.2 Mm³
- Prélèvements annuels estimés : 7.8Mm³

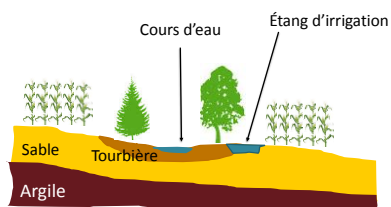
→ Chaque étang est vidé et rempli par la nappe près de 2,5 fois par été!

Groupe AGECO

17

17

SCHEMA DE LA TOURBIERE



Groupe AGECO

18

18

CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passe-t'il quand les étangs sont à sec?

Labels: Tourbière, Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique, Argile.

Groupe A&ECO 19

19

CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passe-t'il quand les étangs sont à sec?

Labels: Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique.

Groupe A&ECO 20

20

CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passe-t'il quand les étangs sont à sec?

Labels: Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique.

Groupe A&ECO 21

21

CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passe-t'il quand les étangs sont à sec?

Labels: Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique.

Groupe A&ECO 22

22

CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passerait-il si on creusait davantage les étangs?

Labels: Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique.

Groupe A&ECO 23

23

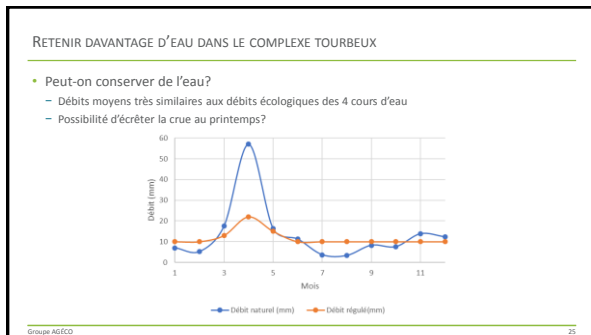
CREUSER DAVANTAGE LES ÉTANGS

- Que se passerait-il si on creusait davantage les étangs?

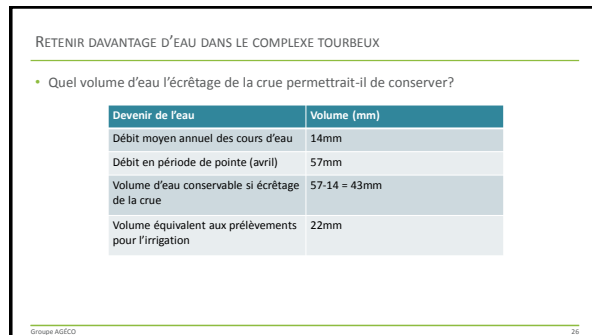
Labels: Ruisseau/rivière, Étang d'irrigation, Nappe phréatique.

Groupe A&ECO 24

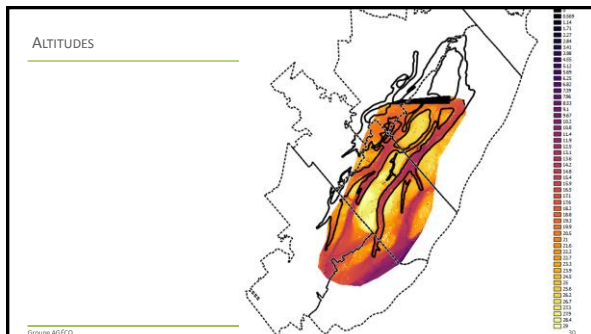
24



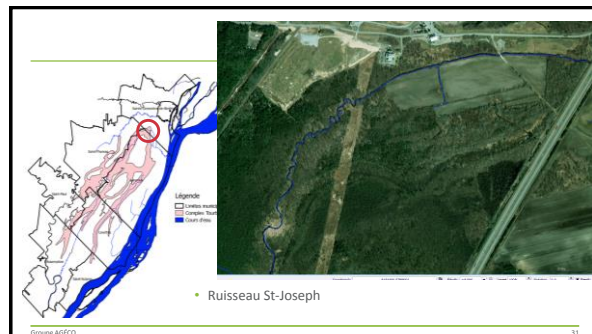
25



26



30



31

CONCLUSIONS : RETENUES D'EAU

- Études plus poussées nécessaires :
 - Fonctionnement hydrologique modifié par d'éventuelles retenues d'eau
 - Localisation de ces retenues?
 - Faisabilité technique?
 - Autres aménagements du complexe tourbeux à modifier?
- Avoir une meilleure connaissance des chemins de l'eau
- Données LIDAR disponibles en 2019
- L'institut des sciences de l'environnement de l'UQAM prêt à réaliser une étude

Groupes AGECO 32

32

CHANGER DE SOURCE D'APPROVISIONNEMENT : EXPÉRIENCES INSPIRANTES

- Région de Portneuf (Capitale-Nationale) : prise d'eau collective (3 producteurs de pommes de terre) dans la Rivière Jacques-Cartier.
- Iles d'Orléans : ferme François Gosselin Inc., prise d'eau au fleuve.

Groupes AGECO 33

33

L'EXPÉRIENCE DE LA PRISE D'EAU DANS LA JACQUES CARTIER

- Projet développé autour des années 2006 pour irriguer (actuellement) jusqu'à 2000 acres de pommes de terre.
- Principales étapes :
 - Obtention du CA : 1.5 ans
 - Moins de 1% du débit d'étiage
 - Signature de droit de passage
 - Entente avec une entreprise qui détient le droit d'usage de l'eau (coût annuel \$)
 - Conception du système :
 - Station de pompage
 - Canalisations : basse pression
 - Réalisation des travaux



Groupe A&E&C

34

34

STATION DE POMPAGE

- 6 pompes de 100 forces
- Sortie : 1 conduite de 21po



Groupe A&E&C

35

35

RÉSEAU D'AQUEDUC

- Réseau enterrée à mi distance des champs pour usage de rampes d'irrigation et pivots : 12 km de conduites basse pression.
- Sortie tous les 500 pieds.
- Diamètre diminue au fur et à mesure du réseau (4 ou 6po aux pivots).
- Branchement direct : pas d'étang d'irrigation.



Groupe A&E&C

36

36

CHANGER DE SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

- Mode de fonctionnement :
 - Le réseau appartient à une compagnie créée spécialement.
 - Chaque entreprise de production est co-actionnaire d'une part du réseau, en fonction du coût de construction : localisation, superficie.
 - Equitable
 - Partage des coûts fixes
 - Réseau structuré en 3 zones : 1 débit pour chaque
 - Gestion de la rotation des cultures pour avoir un équilibre entre les zones
 - Quotas d'eau par entreprise et par secteur.
 - Compteur à chaque installation.
 - Les coûts de fonctionnement sont assumés au prorata du volume.
 - Nécessite une gestion régulière et serrée.

Groupe A&E&C

37

37

CHANGER DE SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

- Coûts de construction : autour de 2.5M\$ pour 12km de conduites
 - Aucune subvention
 - Station de pompage et approvisionnement électrique : 310k\$
 - Conduites et accessoires du réseau : 2M\$
 - Travaux d'excavation, frais de notaire, autres frais connexes : 225k\$
 - Sans compter le coût des études, CA, démarches auprès d'une vingtaine d'entreprises pour identifier les fournisseurs, voyages d'études (Italie...)...
- Et plus de 3M\$ en équipement d'irrigation : pivots et rampes.

Groupe A&E&C

38

38

CHANGER DE SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

- Le témoignage du producteur interrogé :

« En 2006, on se demandait si cela valait la peine d'irriguer les pommes de terre, aujourd'hui on se demande si cela vaut la peine de faire des pommes de terre sans irrigation ».

Groupe A&E&C

39

39

PRISE D'EAU AU FLEUVE – ILES D'ORLÉANS

- Projet débuté en 2007-2008
- En opération depuis 2012
- Étapes :
 - Autorisation MELCC : 1 an
 - Pas d'étude spécifique nécessaire
 - Autorisation Pêches et Océan Canada
 - Cage et crépine adaptées aux poissons présents au niveau du site.
 - Localisation de la prise d'eau : 1m en dessous de la ligne des basses-eaux = 300 pieds dans le fleuve.
 - Installée et retirée chaque année.



Groupe ASÉCO

40

STATION DE POMPAGE ET CONDUITE

- Prise d'eau au fleuve (130m en dessous de la ferme) et 1,6km de distance
 - Station de 15hp
 - Fonctionne 24h/24 pendant 90 jours par an environ
- Conduite : tuyau flexible (250lb de pression) puis 4po rigide fusionné.
- L'installation fournie 25 000m³ par an
- Coût total : environ 70k\$
 - Station et entrée électrique : 25 000\$
 - Conduite : 30 000\$ (installée par eux-mêmes)
 - Filter à sable : 15 000\$
- Le principal enjeu : **la qualité de l'eau!**



Groupe ASÉCO

41

QUALITÉ DE L'EAU...

- Présentation de Caroline Côté (IRDA)

Groupe ASÉCO

42

CHANGER DE SOURCES D'APPROVISIONNEMENT

- Besoin en eau actuel :
 - Total : 1.5Mm³ par semaine
 - Solt 2.5m³/s
 - Ville de Québec : 2,9m³/s...

Production	Volume hebdomadaire (mm par semaine)	Volume total (m ³ /sem)
Pommes de terre	40	1,226,800
Plantes en conteneur	175	155,750
Canneberges	36	66,600
Fraises	28	40,880
Autres	40	56,000
Total		1,546,030

- Source d'eau possible :

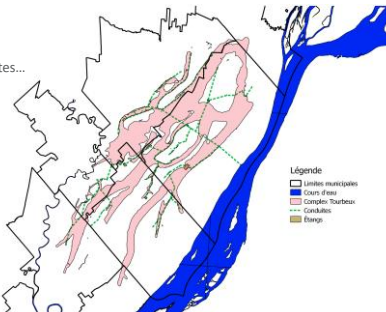
	Débit étiage (m ³ /s)	Besoins
Rivière Assomption après l'embouchure de la Ouareau	12m ³ /s (8m ³ /s en 2050)	20% de l'actuel...
Rivière Chaloupe	Trop faible	-
Fleuve	7000m ³ /s (Sorel)	Inférieur à 1%

Groupe ASÉCO

43

CONDUITES

- Environ 90km de conduites...



Légende
 [] Limites municipales
 [] Cours d'eau
 [] Canales Tourbeux
 [] Conduites
 [] Étangs

Groupe ASÉCO

44

PRISE D'EAU AU FLEUVE

- Moule zébrée?
- Recharger les étangs ou conduites basse-pression?
- 90 km de conduites (minimum): 15M\$?
- Faisabilité technique : 2,5m³/s ?
- Quel mode de gestion? Quelle institution pour gérer le réseau?
 - S'inspirer des « associations syndicales autorisées » en France? Exemple ASA de GIGNAC
 - 3000ha irrigués
 - 3,5m³/s de droit d'eau
 - <https://asadegignac.jimdo.com/infos-pratiques/histoire/>

Groupe ASÉCO

45

ORDRE DU JOUR DE LA RENCONTRE

- Rappel des conclusions de la rencontre du 17 janvier 2019
- La question réglementaire : quelques précisions et éléments de réponses
 - Creuser les étangs
 - Retenir davantage d'eau dans le complexe tourbeux
 - Changer de source d'eau
- Retour sur les pistes de solutions envisagées
 - Creuser les étangs
 - Retenir davantage d'eau dans le complexe tourbeux
 - Changer de source d'eau
- Conclusion : pistes à explorer pour continuer d'avancer

46

CONCLUSIONS

- Des études plus poussées sont nécessaires pour :
 - Mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du complexe tourbeux,
 - Mieux caractériser les interventions humaines qui sont préjudiciables au fonctionnement du complexe tourbeux,
 - Identifier si quelques interventions pourraient permettre de retenir davantage d'eau et pérenniser l'avenir du milieu.
 - Confirmer si une autre source d'eau devrait être privilégiée, et comment.
- Le projet RADEAU touche à sa fin :
 - Rapport pour la fin mars au MAPAQ
 - Synthèse des informations recueillies et présentées lors des deux rencontres
- Suite à envisager :
 - UQAM prêt à réaliser une étude hydrologique plus approfondie pour appuyer la réflexion sur les pistes de solutions (financement à trouver)
 - MELCC - Direction des politiques de l'eau intéressé à suivre/soutenir la suite des réflexions → Rencontre à prévoir?

47

MERCI!

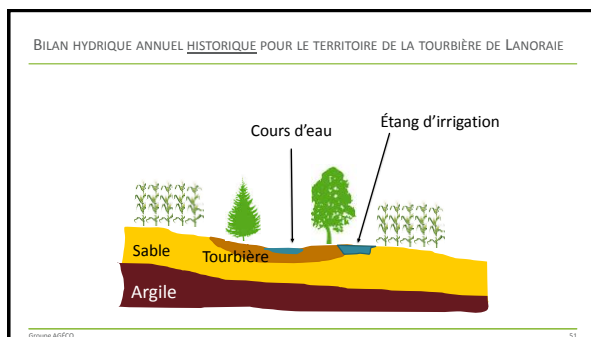
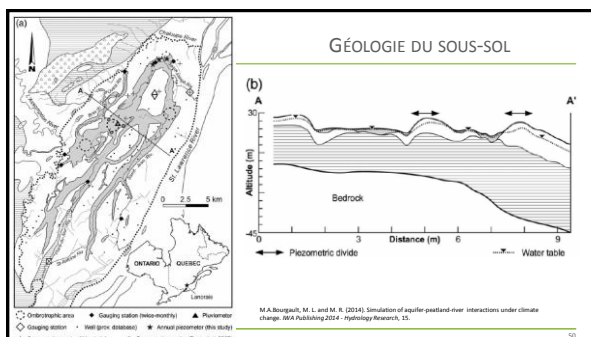
48

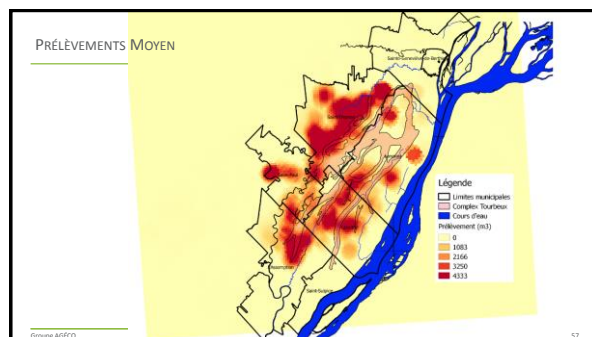
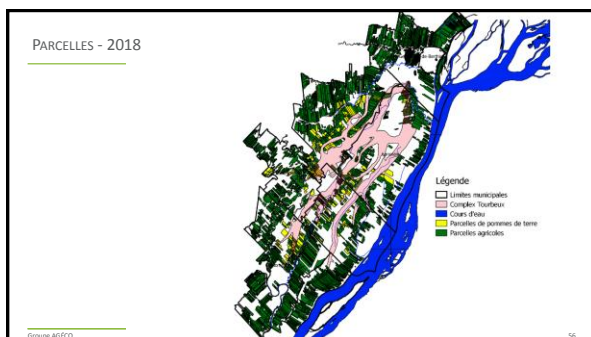
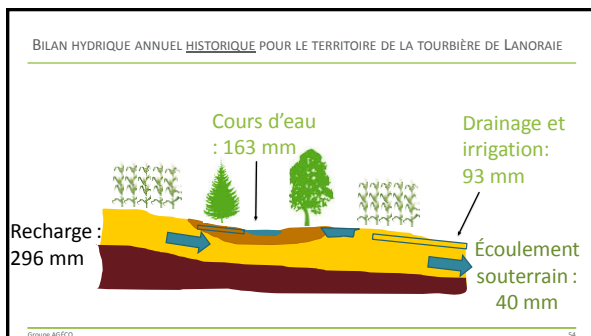
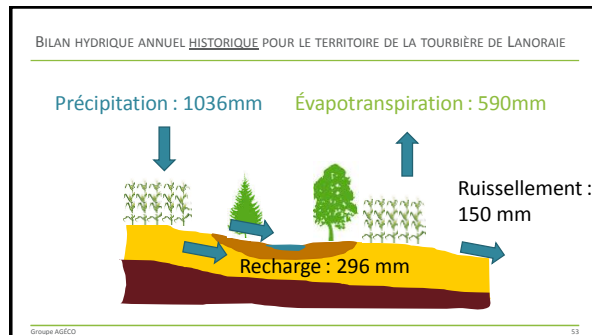
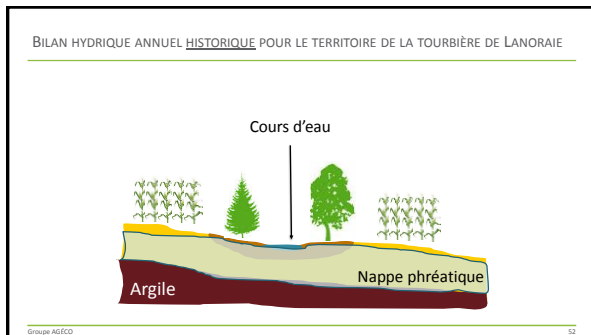
PRÉLÈVEMENTS POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES – COMPLEXE TOURBEUX

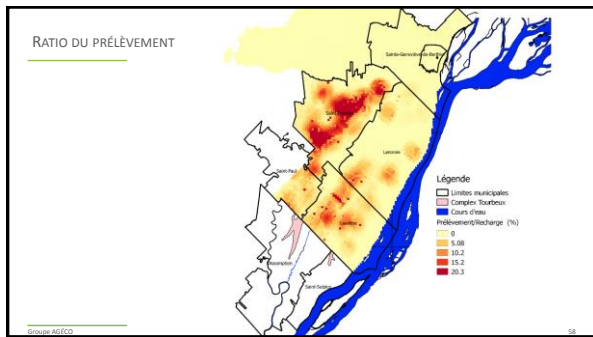
Culture	Superficie cultivées (ha)	Prélèvements actuel (m3 par an)	Proportion des prélèvements
Pommes de terre	3067	3,680,796	47%
Plantes en conteneur	89	3,129,000	40%
Canneberges	185	648,824	8%
Fraises	146	195,769	3%
Autres	140	192,853	2%
TOTAL	3627	7,847,242	98%

Sur plus de 7000ha (environ 18000 ares) cultivés

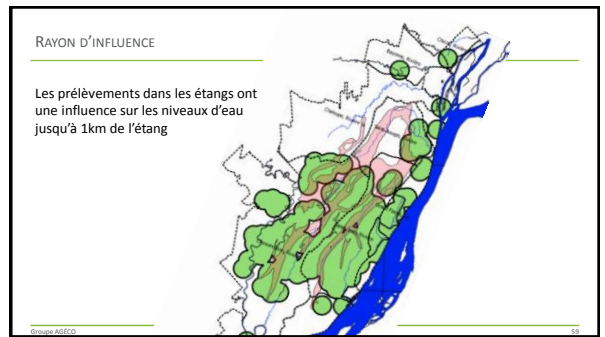
49



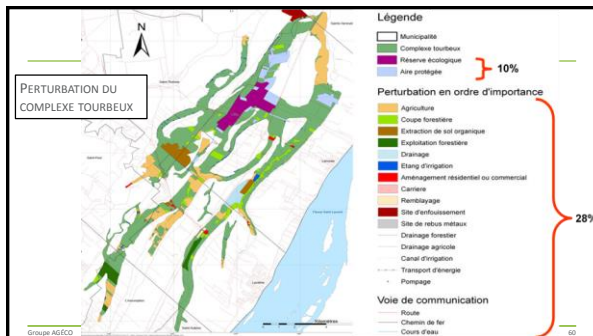




58



59



60

BIBLIOGRAPHIE

Notion de conflit d'usage et recension des conflits

Banton, O., Cellier, I., Martin, D., Martin, M., Samson, J.C. (1995). *Contexte social de la gestion des eaux souterraines au Québec*. INRS-Eau, Québec. 148 p.

BAPE. (2000). *L'eau, ressource à protéger, à partager et à mettre en valeur*. Tome II. Québec, Canada, 286 p.

BPR Groupe-conseil. (2003). *Analyse des questions d'approvisionnement en eau pour le secteur de l'agriculture – Programme national d'approvisionnement en eau – Province de Québec*. Rapport présenté à Agriculture et Agroalimentaire Canada. Québec, Canada, 68 p. et annexes.

Brodeur, Caroline, Trépanier, Julie. (2013). *Diagnostic des bassins versants de la Capitale*. [En ligne] <http://www.obvcapitale.org/plans-directeurs-de-leau-2/2e-generation/diagnostic> (page consultée le 24 mai 2016).

Cárdenas, Yenny Vega. (2012). *La construction sociale du statut juridique de l'eau : le cas du Québec et du Mexique*. Thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université de Montréal, Canada. 409 p.

Dagenais, Marie-Pierre. (2007). *Controverse et conflit sur l'utilisation de l'eau souterraine : L'exemple de Franklin*. Mémoire de maîtrise présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval. Québec, Canada. 117 p.

Denault, Jean-Thomas, Bélanger Comeau, Sophie. (2014). *Suivi de la santé de l'écosystème aquatique des projets de gestion intégrée de l'eau par bassin versant en milieu agricole : Bilan 2008 à 2012*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, Canada, 70 p.

Fernandez, Sara. (2013). *Eaux et conflits d'usage*. Présentation au Centre Alexandre Koyre.

Giroux, Isabelle. (2014). *Présence de pesticides dans l'eau au Québec – Zones de vergers et de pommes de terre, 2010 à 2012*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, Canada, 73 p.

Giroux, Isabelle. (2015). *Présence de pesticides dans l'eau au Québec : Portrait et tendances dans les zones de maïs et de soya – 2011 à 2014*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec, Canada, 64 p.

Gouvernement du Québec. (2016). *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*. Version en vigueur au 1^{er} avril 2016. [En ligne] http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/C_6_2/C6_2.html (page consultée le 27 mai 2016).

Julien Caron, Raphaëlle. (2009). *Analyse des impacts de la production de canneberge au Centre-du-Québec en fonction des objectifs de développement durable*. Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, Trois-Rivières, Canada, 92 p.

Marchand, Sébastien, Asselin, Rémi. (2006). *Caractérisation des effluents des fermes de canneberges*. Québec, Canada, 68 p.

Marcotte-Latulippe, Isabelle, Trudelle, Catherine. (2012). « Eau Québec, quel avenir pour l'or bleu? », *Revue de droit de l'Université de Sherbrooke* 42 (3) : 677-711.

Melé, Patrice. (2013). « Conflit d'usage », dans : *Dictionnaire critique et interdisciplinaire de la participation*, Éditeurs : Casillo, I. avec Barbier, R., Blondiaux, L., Chateauraynaud, F., Fourniau, J.-M., Lefebvre, R., Neveu, C., Salles, D., GIS Démocratie et Participation.

MENV. (1998). *Le bassin versant de la rivière Boyer*. [En ligne] <http://www.MELCC.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/boyer/index.htm> (page consultée le 24 mai 2016).

Organisme de bassin versant de la Yamaska, [s.d.]. *Portrait du Bassin Versant*. [En ligne] <http://www.obv-yamaska.qc.ca/portrait-du-bassin-versant> (page consultée le 24 mai 2016).

Organisme de bassins versants de Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup. (2014). *Conflits d'usages – Usages de l'eau – L'ensemble des bassins versants*. Fiche 40, Saint-Pascal, 2 p.

Parent, Annie-Claude, Anctil, François. (2012). *Pour des mesures de conservation et d'utilisation efficace de l'eau adaptables aux changements climatiques pour le bassin du fleuve Saint-Laurent – Proposer des mesures d'adaptation liées aux changements climatiques afin de supporter le projet de programme gouvernemental de conservation et d'utilisation efficace des ressources en eaux durables du bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent*. Ouranos, Rapport No GCS-1201, Québec, Canada, 191 p.

Patoine, Michel, D'Auteuil-Potvin, François. (2013). *Tendances de la qualité de l'eau de 1999 à 2008 dans dix bassins versants agricoles au Québec*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Québec, Canada, 32 p.

Poirier, Charles, Cyr, Jean-François, Turcotte, Richard. (2010). *Étude de l'impact hydrologique de la production de canneberges dans le bassin versant de la rivière Bécancour – Définition de pistes de solutions pour l'approvisionnement en eau*. Association des producteurs de canneberges du Québec, Québec, Canada, 89 p.

Rousseau, Alain N., Mailhot, Alain, Slivitzky, Michel, Villeneuve, Jean-Pierre, Rodriguez, Manuel J., Bourque, Alain. (2004). « Usages et approvisionnement en eau dans le sud du Québec Niveau des connaissances et axes de recherche à privilégier dans une perspective de changements climatiques ». *Canadian Water Resources Journal* 29 (2) : 121-134.

Samuel, Onil, St-Laurent, Louis. (2004). *Présence d'hexazinone dans l'eau de consommation au Saguenay-Lac-Saint-Jean – Toxicité de l'herbicide et appréciation des risques pour la santé humaine*. Institut national de santé publique du Québec, Québec, Canada, 45 p.

Simoneau, Marc (2017). Qualité de l'eau du fleuve Saint-Laurent et des tributaires du lac Saint-Pierre, avec emphase particulière sur le bassin de la rivière Richelieu. 112 p.

Thomas, C. (2003). Portrait environnemental de la production de canneberge au Québec. Mémoire de stage, Direction régionale Centre-du-Québec du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Centre-du-Québec, Québec, 71 p.

Littérature consultée pour les chartes de consommation

Bellouch H., Baroud A., Taoura M., Sirat B. Pilotage de l'irrigation par la méthode du rayonnement global. In : Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.). *Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs* [Vol. 2]. Bari : CIHEAM, 2007. p. 287-292 (Options Méditerranéennes : Série B. Études et Recherches; n° 56. Vol. II)

Benoit, L., Boudreau, S., Forest, G., Hébert, P. et Trudeau, F. 2006, Intégration des données d'observation de la terre à la cartographie hydrogéologique, Tome 2 : Rapport technique, Projet réalisé par TECSULT, le ministère du Développement durable, Environnement et Parcs du Québec et la Commission géologique du Canada dans le cadre du Programme de développement d'applications en observation de la Terre (PDAOT) de l'Agence spatiale canadienne et de l'Entente Canada-Québec sur l'utilisation des données RADARSAT.

Bergeron D., 2008. Réflexion sur l'irrigation de la framboise. Journées d'information sur la framboise, Saint-Nicolas. https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/73573/reflexion-sur-l_irrigation-de-la-framboise

Bergeron D., 2012. L'irrigation de la pomme de terre au Québec : état de la situation et tendance. Colloque sur la pomme de terre 2012. CRAAQ. https://www.agrireseau.net/pdt/documents/Bergeron_Daniel.pdf

Boivin, C, Bergeron, D. 2008. La gestion de l'eau dans la culture de bleuets en corymbe. La semaine Horticole, Boucherville, 13 février 2008. https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Boivin_Carl_bleuet.pdf

Boivin, C. 2008. Gestion de l'irrigation par tensiométrie dans la culture du bleuets en corymbe. Rapport final. Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec. IRDA. 44 p.

Boivin, C. et C. Landry. 2011. Impact de l'irrigation sur la dynamique de l'azote du sol, la nutrition, le rendement et la qualité du bleuets en corymbe en implantation. Rapport de recherche, IRDA. 45 p.

Boivin, C. et P. Deschênes. 2011. Stratégies d'irrigation dans la fraise à jours neutres. Rapport final présenté au CDAQ. 80 p. et annexes.

Boivin C, Vallée J, Deschênes P, Guillou M, Bergeron D. 2016. Caractérisation de l'usage de l'eau en irrigation Rapport de recherche. IRDA. 229 p.

https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/rfinal_projet901051_vf.pdf

Brassard, P., M. Généreux, C. Côté, S. Godbout et L. Belzile, 2014, Solutions optimales pour une gestion durable des eaux de lavage de légumes à l'échelle de la ferme : projets pilotes, Rapport final présenté au CDAQ dans le cadre du PCAA, 61 p.

Caron J., Cormier J., Gendron L., 2015. Stratégies d'irrigation dans la fraise hors-sol et en sol minéral : bilan ou flux d'eau. Journées Petits Fruits 2015.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/ChaudiereAppalaches/Espaceconferences/journeepetitsfruits15_jeancaron.pdf

Caron J., Rompré, J. et Gumiere S. 2016. Irrigation de la laitue et caractérisation des sols organiques : présent et futur. Journées Horticoles de Saint-Rémi, 7 décembre 2016.

<https://www.agrireseau.net/documents/94056/irrigation-de-la-laitue-et-caracterisation-des-sols-organiques-present-et-futur>

Carrier, M-A., Lefebvre, R., Rivard, C., Parent, M., Ballard, J-M., Benoit, N., Vigneault, H., Beaudry, C., Malet, X., Laurencelle, M., Gosselin, J-S., Ladevèze, P., Thériault, R., Beaudin, I., Michaud, A., Pugin, A., Morin, R., Crow, H., Gloaguen, E., Bleser, J., Martin, A., Lavoie, D. (2013) Portrait des ressources en eau souterraine en Montérégie Est, Québec, Canada, Projet réalisé conjointement par l'INRS, la CGC, l'OBV Yamaska et l'IRDA dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines, rapport final INRS R-1433, soumis en juin 2013.

Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050, 2015, Québec, 81 p.

Deschênes, P., C. Boivin et L. Belzile. 2013. Évaluation technico-économique d'une gestion raisonnée de l'irrigation dans la culture du haricot extra-fin. Rapport final remis à la Fédération québécoise des producteurs de fruits et légumes de transformation. IRDA. 36 p.

https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/deschenes-et-al-2013-rapport_irrigation_haricot.pdf

Deschênes, P., C. Boivin, D. Bergeron. 2017. Évaluation de stratégies d'irrigation afin d'améliorer la nutrition minérale de la fraise d'été (cv. Clery) biologique produite sur sol recouvert de paillis de plastique noir. IRDA.

https://www.irda.qc.ca/assets/documents/Publications/documents/rfinal_ia215439_irda901155.pdf

Deschênes P., Boivin C. 2014. L'irrigation de la pomme de terre : sa gestion et ses impacts à la ferme. Journées Pomme de terre de semence et de table. Saint-Ambroise, 13 février 2014.

Duraclub, 2016. La gestion de l'irrigation en vergers. Présentation PowerPoint. Réseau Agriconseils, 44 p.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/Irrigationpommeterre_gestionimpactsferme.pdf

Harnois R. 2002. L'irrigation au Québec en 2002. Les industries Harnois inc. AGRI-VISION 2001-2002. <https://www.agrireseau.net/reseaupommier/documents/Irrigation%20des%20vergers.pdf>

Larocque, M., Meyzonnat, G., Ouellet, M-A., Graveline, M-H., Gagné, S., Barnette, D. et Dorner, S. 2015a, Projet de connaissance des eaux souterraines de la zone de Vaudreuil-Soulanges - Rapport scientifique, Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 202 p.

Larocque, M., Gagné, S., Barnette, D., Meyzonnat, G., Graveline, M-H et Ouellet, M-A, 2015 b, Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François – Rapport final, Rapport déposé au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 258 p.

Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L., Meyzonnat, G., 2013, Projet de connaissance des eaux souterraines du bassin versant de la rivière Bécancour et de la MRC de Bécancour – Rapport scientifique, Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, 213 p.

Lefebvre, R., Ballard, J-M., Carrier, M-A., Vigneault, H., Beaudry, C., Berthot, L., Légaré-Couture, G., Parent, M., Laurencelle, M., Malet, X., Therrien, A., Michaud, A., Desjardins, J., Drouin, A., Cloutier, M-H., Grenier, J., Bourgault, M-A., Larocque, M., Pellerin, S., Graveline, M-H., Janos, D. et Molson, J., 2015, Portrait des ressources en eau souterraine en Chaudière-Appalaches, Québec, Canada, Projet réalisé conjointement par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS), l'Institut de recherche et développement en agroenvironnement (IRDA) et le Regroupement des organismes de bassins versants de la Chaudière-Appalaches (OBV-CA) dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES), Rapport final INRS R-1580, soumis au MELCC en mars 2015.

Lepage A., Juteau M., 2015. Amélioration de la gestion de l'eau d'irrigation dans la tourbière de Lanoraie (cours d'eau Bras du Sud-Ouest)

<https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/LavalLanaudiere/Journeesagricol es2017/AmeliorationdelagestiondeleauirrigationtourbiereLanoraie.PDF>

Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT), 2017b, Décret de population pour l'année 2016, gouvernement du Québec,

<http://www.mamrot.gouv.qc.ca/organisation-municipale/decret-de-population>

Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT), 2017a, Répertoire des municipalités, gouvernement du Québec, <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/repertoire-des-municipalites>

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 2014a, Fiches d'enregistrement – centroïdes animal, mise à jour juin 2016.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 2014 b, Fiches d'enregistrement – centroïdes végétal, mise à jour juin 2016.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 2013-2016, Données de Plan d'accompagnement agroenvironnemental (PAA).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2016, Répertoire des installations municipales de distribution d'eau potable, gouvernement du Québec, <http://www.MELCC.gouv.qc.ca/eau/potable/distribution>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2015a, Guide de conception des installations de production d'eau potable, Volume 1, gouvernement du Québec, <http://www.MELCC.gouv.qc.ca/Eau/potable/guide>

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2015 b, Données du système de gestion des prélèvements d'eau (GPE), gouvernement du Québec, données distribuées en 2016.

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (MERN), 2017, Système sur les découpages administratifs (SDA) à l'échelle 1/20 000, gouvernement du Québec,

TechnoRem, 2009, Cartographie hydrogéologique régionale de la zone de production maraîchère des MRC de Joliette et d'Autray, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, Projet CDAQ #5040.

TechnoRem, 2008-a, Cartographie hydrogéologique approfondie de la zone de production horticole de la MRC de Montcalm – Lanaudière, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada.

TechnoRem, 2008-b Étude hydrogéologique régionale dans la zone de production maraîchère des MRC Les Maskoutains, Rouville et Brome-Missisquoi – Montérégie Est, Projet réalisé dans le cadre du Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec (PAECQ), rapport PR07-30, mars 2008, 339 p.

Technorem, 2008-c CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONALE DANS LA ZONE DE PRODUCTION HORTICOLE ET FRUITIÈRE DE LA MRC DE DEUX-MONTAGNES – VOLET EAU DE SURFACE, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada- projet CDAQ #5201, 137 p.

Technorem, 2008-d CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONALE DANS LA ZONE DE PRODUCTION HORTICOLE ET FRUITIÈRE DE LA MRC DE DEUX-MONTAGNES, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada- projet CDAQ #5201, 451 p.

Technorem, 2008-e CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONALE DANS LA ZONE DE PRODUCTION MARAÎCHÈRE DES BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES L'ACADIE ET DE LA TORTUE - MONTÉRÉGIE, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada- projet CDAQ #5073, 1009 p.