



Agriculture and
Agri-Food Canada
Agriculture et
Agroalimentaire Canada

G R O U P E
AGÉCO

MAPAQ



UNIVERSITÉ
LAVAL

irda

**RECHERCHE PARTICIPATIVE D'ALTERNATIVES DURABLES POUR
LA GESTION DE L'EAU EN MILIEU AGRICOLE DANS UN
CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (RADEAU 2)**

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

**Agriculture, Pêcheries
et Alimentation**
Québec 

RAPPORT FINAL

JUIN 2020

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 la modélisation et aux études de cas
- Carl Boivin, IRDA, études de cas à la ferme
- Sylvestre Delmotte, élaboration du protocole - volet agricole et direction des études de cas
- Sandrine Ducruc, Groupe AGÉCO, appui aux études de cas
- David Dugré, IRDA, appui à la modélisation et aux études de cas
- François Landry, IRDA, appui à la modélisation
- René Lefebvre, INRS, estimation de la recharge (Laval, Laurentides)
- Guillaume Jégo, Agriculture et Agroalimentaire Canada, soutien à la modélisation des cultures
- Jean-Sébastien Gosselin, INRS, estimation de la recharge (Laval, Laurentides)
- Aubert Michaud, IRDA, appui à l'élaboration du protocole
- René Morissette, Agriculture et Agroalimentaire Canada, soutien à la modélisation des cultures
- Mélanie Raynauld, INRS, estimation de la recharge (Laval, Laurentides)
- Rosalie-Maude St-Arnauld, Groupe AGÉCO, revue réglementaire sur gestion de l'eau
- Jérémie Vallée, IRDA, études de cas à la ferme
- Andrea Vallerios, Groupe AGÉCO, élaboration du protocole – volet résidentiel et industriel

Révision linguistique : Apogée Solutions linguistiques (sauf annexes)

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, de clubs agroenvironnementaux ou d'organismes de bassin-versants consultés pour l'élaboration des chartes de consommation agricoles et la réalisation des études de cas régionales**

- Bas-St-Laurent Joelle Ouellet
- Capitale-Nationale Daniel Bergeron
Stéphanie Tellier
Philippe-Antoine Taillon
- Laurentides Lucie Caron
Stéphane Goyette
Larbi Zerouala
Gabrielle Tanguay (Club conseil Profit-eau-sol)
Roxanne Jasmin-Larocque (Club conseil Profit-eau-sol)
Anne-Frédérique Gendron St-Marseille (COBAMIL)
Maude Richard (AgroPomme)
- Laval Xavier Bernard
Mélicca Gagnon
- Mauricie Guy-Anne Landry
Sam Chauvette
- Outaouais Maryse Harnois

Autres experts consultés

- 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 Bussièrès, Direction de l'agroenvironnement et du milieu hydrique, MELCC

INTRODUCTION

Soucieux de participer à l'adaptation des entreprises agricoles dans un contexte de changement climatique, 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 l'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 sollicité la participation des acteurs régionaux concernés. Une première phase (RADEAU 1) débutée en 2016 a couvert les régions de la Montérégie, Estrie, Chaudières-Appalaches, Lanaudière, Centre-du-Québec. Une deuxième phase (RADEAU 2) s'est amorcée en 2017 pour six autres régions : Mauricie, Laval, Bas St-Laurent, Capitale-Nationale, Laurentides et Outaouais.

Ce rapport constitue le livrable final de RADEAU 2 :

- Le premier volet (chapitre 1), synthétise l'encadrement législatif et réglementaire sur la gestion de l'eau au Québec (aménagement et entretien des cours d'eau, prélèvements). Les annexes 1 et 2 présentent des informations 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 et 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 six régions à l'étude.
- Le troisième volet (chapitres 3 à 5), présente 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).
 - L'annexe 6 présente le travail réalisé par l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) pour évaluer la recharge des nappes phréatiques avec le modèle d'infiltration HELP pour les régions de Laval et des Laurentides, régions pour lesquelles il n'y avait pas de données disponibles issues des PACES.
- Le chapitre 6 décrit la méthodologie retenue pour quantifier les besoins en eau futur (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 6 régions à l'étude. À noter que les bilans hydriques régionaux plus exhaustifs font l'objet de 6 rapports distincts, complémentaire au présent rapport.
- Le chapitre 9 présente les résultats des études de cas réalisées à l'échelle de petits territoires : soit celui du bassin-versant du ruisseau Rousse (Laurentides) et de la MRC de Portneuf (Capitale-National). L'annexe 8 correspond au matériel d'animation utilisé avec les acteurs locaux lors de la rencontre dans les Laurentides.
- Le chapitre 10 présente les résultats d'étude de cas réalisées à la ferme (cultures de pomme de terre et de fraises sur l'Iles -d'Orléans et Portneuf) et
- 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, élus, gestionnaires d'organismes de bassins versants et 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 pluies trop abondantes, 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 aboutissants. Aussi, 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 de première importance de renforcer les connaissances des intervenants quant à cette question afin de désamorcer des craintes et 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 : via des puits d'eau souterraine, dans les cours d'eau et dans des 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 conseiller 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.
- Dans ce domaine, 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 et des connaissances déficientes des gestionnaires des cours d'eau en droit, en géographie, génie, biologie, hydrologie, etc. en lien avec 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, 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).
- **En ce qui concerne la prise d'eau dans les cours d'eau**, malgré un encadrement réglementaire important, relativement peu de chose 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-barrage. 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. Le MELCC est à revoir tout l'encadrement réglementaire lié à l'aménagement et l'entretien des cours d'eau, ces questions sont donc à surveiller.
- 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 (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 peu de balises ont été énoncées, si ce n'est les distances séparatrices. Dans plusieurs régions du Québec, des producteurs prélèvent actuellement dans des étangs qui se révèlent, selon les nouvelles cartographies des milieux humides, être à proximité ou dans des milieux humides. Selon la compréhension des producteurs, ils n'ont pas besoin de certificat d'autorisation. Cependant la nouvelle cartographie de ces milieux pourrait changer la donne, sans qu'ils ne soient mis au courant. Encore là, les lacunes en matière de connaissance de la réglementation ressortent, de même que l'absence de données objectives : dans les territoires où se sont réalisées les études de cas, aucun producteur n'avait eu accès à la carte des milieux humides du territoire de son entreprise agricole. L'application du RPEP dans les années à venir, et la redéfinition des milieux humides et hydriques, nécessiteront donc un effort considérable d'information et de sensibilisation, afin que les producteurs puissent prélever de l'eau de manière durable en minimisant les impacts sur les ressources, et se conformer aux règlements en vigueur.

BILANS HYDRIQUES RÉGIONAUX

- Nous avons également développé des bilans hydriques actuels et futurs qui ont mis en évidence un certain nombre d'observations.
 - Les 6 régions à l'étude ont permis de constater que les sources d'eau dominantes actuelles sont très contrastées pour combler les besoins agricoles. Par exemple, en Outaouais et au Bas-St-Laurent, l'eau souterraine domine fortement (respectivement 93% et 90% des

usages agricoles hors-piscicoles) alors qu'elle est de moindre importance dans d'autres régions (ex. 30% à Laval et 40% dans la Capitale-Nationale).

- Dans les 6 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, soit plus fréquents. La pratique de l'irrigation est croissante depuis la dernière décennie, et les programmes de salubrité tels que Canada GAP imposent des critères élevés de qualité de l'eau d'irrigation aux producteurs maraîchers, comme c'est le cas dans les Laurentides, notamment au sud de la région. Aussi, des contraintes sont anticipées pour le développement résidentiel (Laval, Laurentides) ou industriel (Capitale-Nationale) autant pour l'eau souterraine que de surface.
- Par ailleurs, même dans des régions où la pression démographique est absente, comme au Bas-St-Laurent, des inquiétudes s'expriment du côté des usages agricoles, en particulier compte tenu des sécheresses sévères vécues à l'été 2018 et, 2019 dans une moindre mesure. Ainsi, la recharge des aquifères de surface préoccupe dans certaines portions du territoire de cette région, comme l'eau souterraine est la source d'eau dominante.
- A 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. Ce phénomène est potentiellement présent dans les Basses-Laurentides en particulier.
- 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 en milieu agricole notamment. 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, menés par des interventions individuelles ou collectives. Par ailleurs, à sens inverse, plusieurs s'interrogent sur les risques de « surdrainage », en particulier dans les régions de la Capitale-Nationale et au Bas St-Laurent, qui entraînerait un assèchement des terres l'été et augmenterait les risques de coups d'eau lors de précipitations intenses.

FUTUR ET PISTES DE SOLUTION

- Outre le Bas St-Laurent (24%) et la Mauricie (14%), notamment compte tenu des activités piscicole), les usages agricoles représentent une part relativement modeste des prélèvements en eaux totaux (entre 1 à 6 %) dans les régions à l'étude. 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, des travaux précédents réalisés au Québec sur l'usage de l'eau en irrigation par l'équipe de l'IRDA (Carl Boivin et collègues), de même que les études de cas réalisées à la ferme pour la présente étude (section 10) 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 traduirait pas nécessairement par une diminution de la consommation d'eau par unité de superficie cultivée. Davantage de recherches doivent

être menées afin d'identifier, notamment par l'amélioration des pratiques culturelles, des pistes 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 un impact important sur les prélèvements en eau. En effet, dans les régions des Laurentides, de Laval et même de l'Outaouais par exemple, la hausse attendue de la population est tellement importante qu'elle va avoir des conséquences largement supérieures aux évolutions des secteurs agricoles et industriels. Au Bas-St-Laurent en particulier, de même qu'en Mauricie, 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 des consommations d'eau peuvent être obtenus par divers incitatifs, allant de la sensibilisation jusqu'à une tarification dissuasive. Néanmoins, pour les municipalités en charge de la gestion des réseaux d'adduction d'eau potable, ces différentes mesures n'ont pas toute la même popularité auprès des résidents.
- Néanmoins, le secteur agricole est le plus impacté par les changements climatiques quant 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.
- Dans des territoires où les producteurs comblent leur besoin d'irrigation dans les eaux de surface ou issues des aquifères de surface, les changements climatiques risquent d'entraîner une diminution de la ressource en eau. Dans certaines zones comme celle du bassin-versant du Ruisseau Rousse, il y a déjà des enjeux puisque l'eau du ruisseau est insuffisante pour combler les besoins d'irrigation. 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 puit pour s'alimenter en eau souterraine pour l'irrigation), ce n'est pas toujours possible. En effet, la qualité de l'eau souterraine ou la faible productivité de l'aquifère 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) comme dans le bassin-versant du Ruisseau-Rousse. Dans ce cas, la proximité du Lac des Deux-Montagnes ou d'aquifères productifs dans des bassins-versants à proximité pourraient représenter des sources potentielles d'approvisionnement via un réseau d'aqueduc à développer. Mais les défis techniques et de coûts sont multiples.
- Les défis réglementaires sont également majeurs, notamment compte tenu de l'évolution récente du cadre réglementaire, de sa méconnaissance, et du caractère encore incertain de certains paramètres (par exemple le référence pour les effets cumulatifs). L'étude de cas réalisée dans la MRC de Portneuf l'expose très bien. Ainsi, dans le contexte de resserrement réglementaire, les producteurs de Portneuf auront à l'horizon 2025-2027 à

renouveler leur permis ou obtenir de nouvelles autorisations de prélèvement. Un doute plane sur l'autorisation ou le renouvellement de ces autorisations compte tenu de l'inclusion de nouveaux paramètres tels que l'effet cumulatif.

- 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 qu'il y a place à amélioration dans l'efficacité d'utilisation de l'eau en agriculture. Tel que 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 ou l'adaptation du système cultural. À ce titre, les études de cas réalisées à la ferme pour des cultures de fraises et de pommes de terre montrent qu'il peut y avoir des gains dans l'efficacité de l'usage de l'eau par un choix optimal de cultiver. Néanmoins, depuis quelques années, il semble que beaucoup de producteurs aient été sensibilisés sur 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 apparaît toutefois nécessaire pour en assurer un déploiement efficace. L'écosystème agricole québécois est en mouvement dans ce domaine. 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, étude de cas terrain, formations) auprès des producteurs agricoles et des conseillers.
- On constate 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)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. En date de mars 2020, plus de 200 projets représentant quelque 655 000\$ d'investissement avaient été déposés dans la mesure 4304 du programme².
- Or, le manque de professionnels et 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 et universitaires. Sans diplômés formés, il est difficile de venir supporter 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 support 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.

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

² Communication avec le MAPAQ, Sara Dufour, juin 2020.

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.....	25
2.1 Définition du conflit d'usage de l'eau	25
2.2 Constats et choix pour l'étude	26
2.3 Conflits d'usage de l'eau documentés dans la littérature	27
3. Prélèvements en climat actuel	31
3.1 Secteur résidentiel.....	31
3.2 Secteur agricole.....	33
3.2.1 Analyse documentaire et état de l'art	33
3.2.2 Productions végétales.....	34
3.2.3 Production animale.....	36
3.2.4 Production piscicole	36
3.2.5 Coefficient de consommation.....	36
3.3 Secteur industriel, commercial et institutionnel.....	37
3.3.1 Industrie, commerces et institutions hors réseaux	37
3.3.2 Coefficient de consommation.....	37
3.3.3 Industrie, commerces et institutions reliées aux réseaux	38
4. Traitement spatial des données de prélèvements	40
4.1 Prélèvements d'eau de surface par bassin versant	40
4.1.1 Résidentiel et Industriel, commercial et institutionnel lié au réseau (ICI réseau)	40
4.1.2 Agricole et Industriel, commercial et institutionnel non relié au réseau (ICI hors réseau).....	40
4.2 Prélèvements d'eau souterraine par municipalité.....	40
4.2.1 Résidentiel et Industriel, commercial et institutionnel lié au réseau (ICI réseau)	40
4.2.2 Agricole et Industriel, commercial et institutionnel non relié au réseau (ICI hors réseau).....	40
4.3 Intégration des bassins versants	40
5. Traitement spatial des données concernant la disponibilité de la ressource hydrique.....	42
5.1 Eau de surface	42

5.1.1	Calcul des débits $Q_{2,7}$	43
5.1.2	Comparaison des ressources et des prélèvements	46
5.1.3	Présentation cartographique	46
5.2	Eau souterraine	47
6.	Prélèvements en climat futur	50
6.1	Élaboration des scénarios d'évolution	50
6.1.1	Scénarios narratifs	50
6.1.2	Scénarios climatiques	52
6.2	Secteur résidentiel	61
6.2.1	Hypothèses pour estimer l'évolution des besoins en eau	62
6.2.2	Impacts du changement climatique sur les besoins en eau du secteur résidentiel	64
6.3	Secteur agricole	64
6.3.1	Évolution des superficies cultivées et irriguées	65
6.3.2	Évolution des besoins en eau pour les activités d'élevage	83
6.3.3	Pisciculture	87
6.4	Secteur industriel, commercial et institutionnel	88
6.4.1	Évolution de la production industrielle	88
6.4.2	Projection économique (2015-2050)	90
6.4.3	Efforts de réduction de la consommation d'eau	94
6.4.4	Impacts du changement climatique sur les besoins en eau du secteur industriel	94
6.5	Secteur récréotouristique	94
6.5.1	Impacts du changement climatique sur les besoins en eau du récréotourisme	95
6.5.2	Efforts de réduction de la consommation d'eau	96
7.	Pistes d'adaptation technologique et approches innovantes	99
7.1	Grille d'analyse	99
7.1.1	Usages et usagers ciblés	100
7.1.2	Approche et voie de changement	100
7.1.3	Implantation et mise en application	101
7.1.4	Aspect temporel	101
7.1.5	Aspect économique	102
7.2	Résultats	103
7.2.1	Pratiques agronomiques	104
7.2.2	Technologies d'irrigation	106
7.2.3	Sources d'approvisionnement	108
7.2.4	Approches politiques et institutionnelles	110
7.3	Constats	112

8. Résultats sommaires des bilans hydriques actuels et futurs.....	113
8.1 Portrait global actuel	113
8.2 Portrait global futur	116
8.3 Bilans hydriques régionaux	121
9. Études de cas	123
9.1 Bassin versant du ruisseau Rousse.....	123
9.1.1 Contexte et objectifs	123
9.1.2 Portraits actuel et futur	127
9.1.3 Pistes de solutions envisagées	143
9.1.4 Retombées de l'étude de cas.....	145
9.2 Municipalité régionale de comté de Portneuf	148
9.2.1 Contexte et objectifs.....	148
9.2.2 Pratiques actuelles et perspectives d'évolution des besoins en eau pour l'irrigation des pommes de terre à Portneuf	154
9.2.3 Quelques situations potentiellement problématiques rencontrées dans la région de Portneuf	162
10. Étude de cas à la ferme – fraises et pommes de terre	166
10.1 Mise en contexte	166
10.2 Facteurs ou sources de risques considérés pour les études de cas à la ferme	169
10.2.1 Contrôlables	169
10.2.2 Incontrôlables	171
10.3 Proposer des stratégies innovantes	172
10.4 Résultats	174
10.4.1 Essais réalisés dans la pomme de terre	174
10.4.2 Essais réalisés en culture de fraises à jours neutres	178
10.5 À retenir des études de cas à la ferme	180
10.6 Autres stratégies.....	181
Annexe 1 Délimitation du bassin du fleuve Saint-Laurent établi dans le cadre de l'entente des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent	184
Annexe 2 Information complémentaire sur le Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP)	186
Annexe 3 Chartes de consommation pour les productions végétales	190
11. Besoin en eau pour l'irrigation des cultures et la protection contre le gel.....	191
11.1 Cultures en serres	191
11.2 Bleuets de corymbes ou géants.....	200
11.3 Canneberges	201
11.4 Fraises d'automne (ou fraises à jours neutres)	202

11.5	Fraises conventionnelles et hautes densités.....	203
11.5.1	Fraise à haute densité.....	204
11.5.2	Fraise en rang natté	205
11.6	Framboises conventionnelles et framboises d'automne	206
11.7	Melons et cantaloups	208
11.8	Vigne	209
11.9	Pommiers.....	209
11.10	Asperges	211
11.11	Betteraves potagères	211
11.12	Brocolis	212
11.13	Choux	213
11.14	Chou-fleur	214
11.15	Citrouilles, courges et zucchini	215
11.16	Concombre frais	216
11.17	Échalote française.....	217
11.18	Épinards	217
11.19	Fines herbes.....	218
11.20	Laitues.....	219
11.21	Maïs sucré.....	220
11.22	Navets et rutabagas.....	221
11.23	Oignons secs et oignons espagnols	222
11.24	Oignons verts.....	223
11.25	Poivrons	224
11.26	Pommes de terre	225
11.27	Tomate de champs	226
11.28	Autres légumes	226
11.29	Haricots.....	226
11.30	Carottes	227
11.31	Gazon	227
11.32	Arbres, arbustes, conifères au champ.....	228
11.33	Arbres, arbustes, conifères et vivaces en conteneurs.....	228
	Annexe 4 Chartes de consommation pour les productions animales	230
	Annexe 5 Simulations des besoins en eau de la pomme de terre en climat actuel	233
12.	Simulation des besoins en eau avec le modèle STICS	234
12.1	Fonctionnement des modèles STICS	234
12.1.1	Simulation de la pomme de terre avec le modèle STICS	236

12.1.2 Conclusions	242
Annexe 6 Approche méthodologique pour l'estimation de la recharge avec le modèle HELP- rapport de l'INRS.....	243
Annexe 7 Les scénarios narratifs.....	244
Annexe 8 Animation pour l'étude de cas du Ruisseau Rousse	249
Bibliographie	250

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	Milieux humides tels que définis par la Loi	22
Tableau 2.1	Exemples de conflit d'usage selon la notion de Banton et coll. (1995)	26
Tableau 3.1	Nombre de municipalités avec ou sans compteur d'eau et représentativité selon la population desservie	32
Tableau 3.2	Explications des variables prises en compte dans le calcul des prélèvements d'eau pour les usages ICI hors réseau à partir de la base de données sur la consommation d'eau potable du MAMH	38
Tableau 3.3	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 MAMH	39
Tableau 5.1	Micro-bassins de référence de l'IRDA retenus dans les projections de Q _{2,7}	44
Tableau 5.2	Bassins retenus de la DEH/MELCC dans les projections de Q _{2,7}	44
Tableau 6.1	Correspondance entre les scénarios narratifs et les scénarios climatiques	52
Tableau 6.2	Scénarios climatiques retenus pour la période de référence (1981-2010) et les climats futurs (2041-2070)	53
Tableau 6.3	Comparaison des températures moyenne observées d'avril à octobre pour la période 1981-2010, simulées sur la période 1981-2010 et simulées sur la période 2041-2070.....	54
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	55
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)	57
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	58
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 de 2041-2070 (en mm).....	59
Tableau 6.8	Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20mm 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)	60

Tableau 6.9	Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 30mm 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)	61
Tableau 6.10	Hypothèse d'évolution de la population selon les scénarios, par région	62
Tableau 6.11	Répartition de la consommation d'eau résidentielle.....	63
Tableau 6.12	Hypothèse de variation de la consommation d'eau par habitant, par scénario	64
Tableau 6.13	Détail des superficies cultivées (ha) par région, 2017	65
Tableau 6.14	Tendance passée et hypothèses d'évolution des légumes de serre, hausse est exprimée en % d'évolution des superficies cultivées.....	67
Tableau 6.15	Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées en fruits et petits-fruits	69
Tableau 6.16	Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées en gazon et horticulture ornementale	70
Tableau 6.17	Hypothèses d'évolution des superficies pour les cultures classées par type de tendance	71
Tableau 6.18	Tendance passée et hypothèses d'évolution des superficies cultivées en légumes de plein champ	73
Tableau 6.19	Pourcentage des superficies cultivées irriguées pour les scénarios 2 et 4	74
Tableau 6.20	Estimation du déficit hydrique estival en climat actuel pour une station météorologique d'Environnement Canada pour chaque région couverte par le projet	76
Tableau 6.21	Évolution simulée des précipitations sur la période de juin à août	77
Tableau 6.22	Évolution simulée de l'ETP sur la période de juin à août	78
Tableau 6.23	Évolution simulée du déficit hydrique (P-ETP) sur la période de juin à août (2041-2070). ..	78
Tableau 6.24	Dates de semis utilisées pour les simulations avec le climat historique, les climats de référence et le climat futur, jours juliens	80
Tableau 6.25	Estimation des besoins en eau futurs pour la pomme de terre à partir des résultats des simulations réalisées avec le modèle STICS	81
Tableau 6.26	Coefficient cultural maximal pour chaque culture et hypothèse pour l'estimation de l'évolution du volume d'eau d'irrigation.....	82
Tableau 6.27	Évolution récente et hypothèses d'évolution pour les cinq scénarios du nombre d'animaux	84
Tableau 6.28	Valeur de référence de consommation d'eau de différents systèmes de refroidissements des bâtiments d'élevage laitier, issues de différentes études	87
Tableau 6.29	Taux de croissance économique selon le secteur d'activité et le scénario.	93
Tableau 6.30	Part de la valeur ajoutée manufacturière sectorielle par région.....	93
Tableau 6.31	Effort de réduction de la consommation d'eau selon l'industrie (code SCIAN)	94
Tableau 6.32	Hypothèse de consolidation de l'industrie récréotouristique, par région et scénario	95
Tableau 6.33	Hypothèse de variation de la consommation d'eau par les centres de ski, par scénario ..	96
Tableau 6.34	Évolution des besoins en eau pour le secteur récréotouristique selon la région (en %) ...	97

Tableau 7.1	Répartition des technologies par type de champ d'application ou d'intervention.....	104
Tableau 7.2	Technologies/bonnes pratiques de type agronomique.....	105
Tableau 7.3	Technologies/bonnes pratiques liées à l'irrigation.....	107
Tableau 7.4	Technologies/bonnes pratiques liées aux sources d'approvisionnement.....	109
Tableau 7.5	Technologies/bonnes pratiques liées au contexte institutionnel.....	111
Tableau 8.1	Quantité totale d'eau consommée par année selon la région et le type de source d'eau.	113
Tableau 8.2	Répartition de l'eau consommée selon le type d'usage.....	114
Tableau 8.3	Répartition des prélèvements selon le type d'usage et la région, % surface/souterraine	115
Tableau 8.4	Évolution de la consommation totale d'eau selon les différents scénarios	116
Tableau 9.1	Quantité totale d'eau prélevée par secteur dans le bassin Rouse.....	128
Tableau 9.2	Superficies cultivées et volumes d'eau associés.....	129
Tableau 9.3	Scénarios futurs d'irrigation des producteurs rencontrés	131
Tableau 9.4	Débits mesurés dans le cours d'eau Rouse	134
Tableau 9.5	Scénario d'approvisionnement dans le cours d'eau Rouse.....	134
Tableau 9.6	Sommaire des volumes d'eau prélevés pour différents usages dans la MRC de Portneuf	153
Tableau 9.7	Superficies cultivées des principales cultures potentiellement irriguées dans la MRC de Portneuf (périmètre élargi)	154
Tableau 9.8	Débits d'étiage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits.....	158
Tableau 9.9	Débits d'étiage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits.....	160
Tableau 9.10	Débits d'étiage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits.....	160
Tableau 10.1	Nombre d'épisodes d'irrigation, volume total (m ³ /ha) et hauteur d'eau totale (mm) selon le système d'irrigation de la pomme de terre pour une simulation de bilan hydrique (Capitale-Nationale) 2015-2019.....	177
Tableau 10.2	Résumé des enseignements tirés des études de cas à la ferme.....	181
Tableau 10.3	Description des moyens techniques utilisés pour récupérer l'eau provenant des précipitations et le potentiel d'approvisionnement qu'ils représentent selon un usage donné	183
Tableau 10.4	Catégories de prélèvement telles que définies par le RPEP.	188
Tableau 10.5	Indice DRASTIC déterminant le niveau de vulnérabilité des eaux souterraines.....	189
Tableau 11.1	Total mensuel de la radiation incidente en J par mois.	192
Tableau 11.2	Table de conversion mensuelle de la radiation en ETP (issue de TechnoRem 2008).	192
Tableau 11.3	Produit du coefficient cultural et du taux d'occupation.....	194

Tableau 11.4	Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre dans la Capitale-Nationale.	195
Tableau 11.5	Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre au Bas-Saint-Laurent.....	196
Tableau 11.6	Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre en Mauricie.	197
Tableau 11.7	Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre en Outaouais.	198
Tableau 11.8	Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre dans les Laurentides et à Laval.....	199
Tableau 11.9	Informations recueillies sur l'irrigation des bleuets de corymbes.....	200
Tableau 11.10	Informations recueillies sur l'irrigation des canneberges.....	202
Tableau 11.11	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'automne.	203
Tableau 11.12	Superficie estimée de chaque type de fraises.	204
Tableau 11.13	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été plantées en haute densité.	205
Tableau 11.14	Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été en rang natté.....	206
Tableau 11.15	Informations recueillies sur l'irrigation des framboises conventionnelles.....	207
Tableau 11.16	Informations recueillies sur l'irrigation des framboises d'automne.....	208
Tableau 11.17	Informations recueillies sur l'irrigation des melons et cantaloups.....	208
Tableau 11.18	Informations recueillies sur l'irrigation de la vigne.....	209
Tableau 11.19	Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers nains.	210
Tableau 11.20	Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers semi-nains.....	210
Tableau 11.21	Informations recueillies sur l'irrigation des asperges.	211
Tableau 11.22	Informations recueillies sur l'irrigation des betteraves potagères.....	211
Tableau 11.23	Informations recueillies sur l'irrigation des brocolis.....	212
Tableau 11.24	Informations recueillies sur l'irrigation des choux.....	213
Tableau 11.25	Informations recueillies sur l'irrigation des choux fleurs.....	214
Tableau 11.26	Informations recueillies sur l'irrigation des courges, citrouilles et zucchini.	215
Tableau 11.27	Informations recueillies sur l'irrigation des concombres.	216
Tableau 11.28	Informations recueillies sur l'irrigation des échalotes françaises.....	217
Tableau 11.29	Informations recueillies sur l'irrigation des épinards.	217
Tableau 11.30	Informations recueillies sur l'irrigation des fines herbes.....	218
Tableau 11.31	Informations recueillies sur l'irrigation des laitues.....	219
Tableau 11.32	Informations recueillies sur l'irrigation du maïs sucré.....	220
Tableau 11.33	Informations recueillies sur l'irrigation des navets et rutabagas.	221
Tableau 11.34	Informations recueillies sur l'irrigation des oignons.....	222
Tableau 11.35	Informations recueillies sur l'irrigation des oignons verts.....	223
Tableau 11.36	Informations recueillies sur l'irrigation des poivrons.	224
Tableau 11.37	Informations recueillies sur l'irrigation des pommes de terre.	225
Tableau 11.38	Informations recueillies sur l'irrigation des tomates de champs.	226

Tableau 11.39 Informations recueillies sur l'irrigation des haricots.	227
Tableau 11.40 Informations recueillies sur l'irrigation des carottes.	227
Tableau 11.41 Informations recueillies sur l'irrigation du gazon.	228
Tableau 11.42 Informations recueillies sur l'irrigation des arbres, arbustes et vivaces en conteneurs.	229
Tableau 12.1 Propriétés des sols utilisés pour les simulations pomme de terre.	238
Tableau 12.2 Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour les différents types de sols et différentes régions.	241

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 RADEAU 1 et 2 avec les bassins versants de la DEH.	41
Figure 5.1 Bassins couverts par l'Atlas hydroclimatique 2018 et bassins documentés par l'IRDA.	43
Figure 5.2 Relation entre débit d'étiage estival et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km ²	45
Figure 5.3 Relation entre débit d'étiage hivernal et superficie pour des bassins versants inférieurs à 400 km ²	45
Figure 5.4 Recharge (mm/an) pour la zone à l'étude d'après la littérature.	47
Figure 5.5 Recharge (mm/an) moyenne calculée par municipalité pour les régions à l'étude.	49
Figure 6.1 Approche par scénario pour ébaucher des trajectoires futures.	51
Figure 6.2 Évolution historique de la production industrielle ¹ de certains secteurs d'activité (base 100=2000), 1995-2015.	91
Figure 6.3 Production de pâtes, papiers et cartons au Québec ('000 tm), 1994-2015.	92
Figure 9.1 Emplacement du bassin versant Rousse (en blanc).	124
Figure 9.2 Emplacement des puits en date de mars 2020.	127
Figure 9.3 Étangs d'irrigation répertoriés sur le territoire du bassin Rousse.	130
Figure 9.4 Cartographie des milieux humides.	133
Figure 9.5 Piézométrie et direction d'écoulement.	136
Figure 9.6 Recharge au roc.	137
Figure 9.7 Productivité de l'aquifère.	138
Figure 9.8 Qualité de l'eau – fluorure.	139
Figure 9.9 Emplacement de l'intrusion alcaline responsable de la problématique d'uranium et de radon.	140
Figure 9.10 Zones favorables à l'utilisation de l'eau souterraine.	142
Figure 9.11 Causeries du ruisseau Rousse, 12 mars 2020.	146
Figure 9.12 Carte des bassins versants de la MRC de Portneuf.	151
Figure 9.13 Carte des champs de pommes de terre assurés à la FADQ entre 2015 et 2019.	152

Figure 9.14 Scénarios climatiques retenus pour le projet RADEAU	159
Figure 10.1 Système cultural de type « parapluie »	168
Figure 10.2 Système cultural de type « entonnoir ».....	168
Figure 10.3 Déplacement du sol effectué pour l'architecture améliorée : garnir de sol un entre-rang sur deux en déportant du sol des entre-rangs adjacents	175
Figure 10.4 Hypothèses de réserve en eau facilement utilisable (RFU) communément rencontrées en contextes de pommes de terre	176
Figure 10.5 Favoriser les carrefours de prélèvement en augmentant la proportion de sols utilisés par la culture	180
Figure 12.1 Structure des modèles de culture STICS (adaptée de Jégo G., com pers.)	235

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

Il est important de comprendre l'encadrement législatif et réglementaire qui balise les prélèvements en eau au Québec afin de constater comment 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 lacs, rivières et 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. 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.

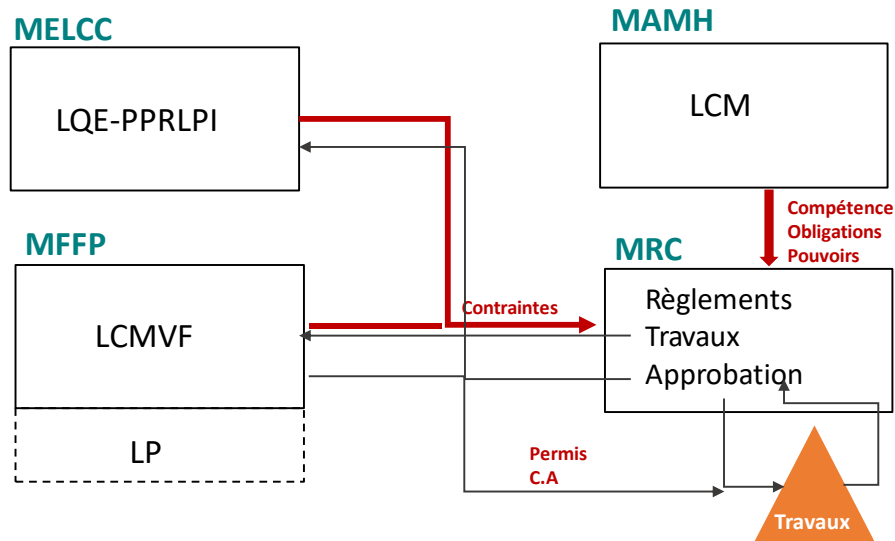
- Le **ministère des Pêches et des Océans du Canada** (MPO) a comme principal mandat de veiller à la gestion des pêches et à la protection des étendues d'eau, avec la Loi sur les Pêches. L'un de ses principaux objectifs est de contribuer à maintenir un environnement propre et sain ainsi que des écosystèmes 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.
- Finalement, le **ministère des Transports du Canada** a pour mandat de maintenir un réseau de transport sécuritaire et respectueux de l'environnement. Ces activités concernent le transport 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 aux lois et ont des responsabilités propres, notamment dans l'opérationnalisation des travaux dans les cours d'eau.

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

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

LP : Lois sur les Pêches

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, règlements et programmes touchant notamment à la prévention/réduction de la contamination de l'eau, la qualité de l'eau potable, et l'application des lois et des règlements en matière de protection de l'environnement, la gestion foncière et l'intégrité du domaine hydrique du Québec (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 en 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 via la Loi sur les compétences municipales (LCM), qui fait le pont vers les municipalités régionales de comté (MRC)³ à qui sont dévolues des compétences, pouvoirs et responsabilités résumés dans le tableau suivant :

³ Créées en 1979 à la suite de l'adoption de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (LAU).

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

Compétence	Pouvoirs	Responsabilités
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,	- Peuvent 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 - Réalisent des travaux permettant la création, l'aménagement ou l'entretien des cours d'eau	- 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 sur</u> : conservation écologique, maintien de la biodiversité ou 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)⁴ ».
- Également, en vertu de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) du MELCC révisée en 2014⁵, 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 en charge 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 foncières agricoles, géré par le MAPAQ, rembourse une partie des frais liés aux travaux d'entretien des cours d'eau⁶.

⁴ Partie du territoire du Québec qui n'est pas celui d'une municipalité locale.

⁵ Le MELCC a instauré la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) en 1987 et la par la suite révisée à plusieurs reprises (1991, 1996, 2005, 2008 et 2014).

⁶ Le MAPAQ finance divers programmes et accompagne la mise en place d'interventions chez les entreprises agricoles permettant de réduire l'impact 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).



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 municipales⁷. 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 (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

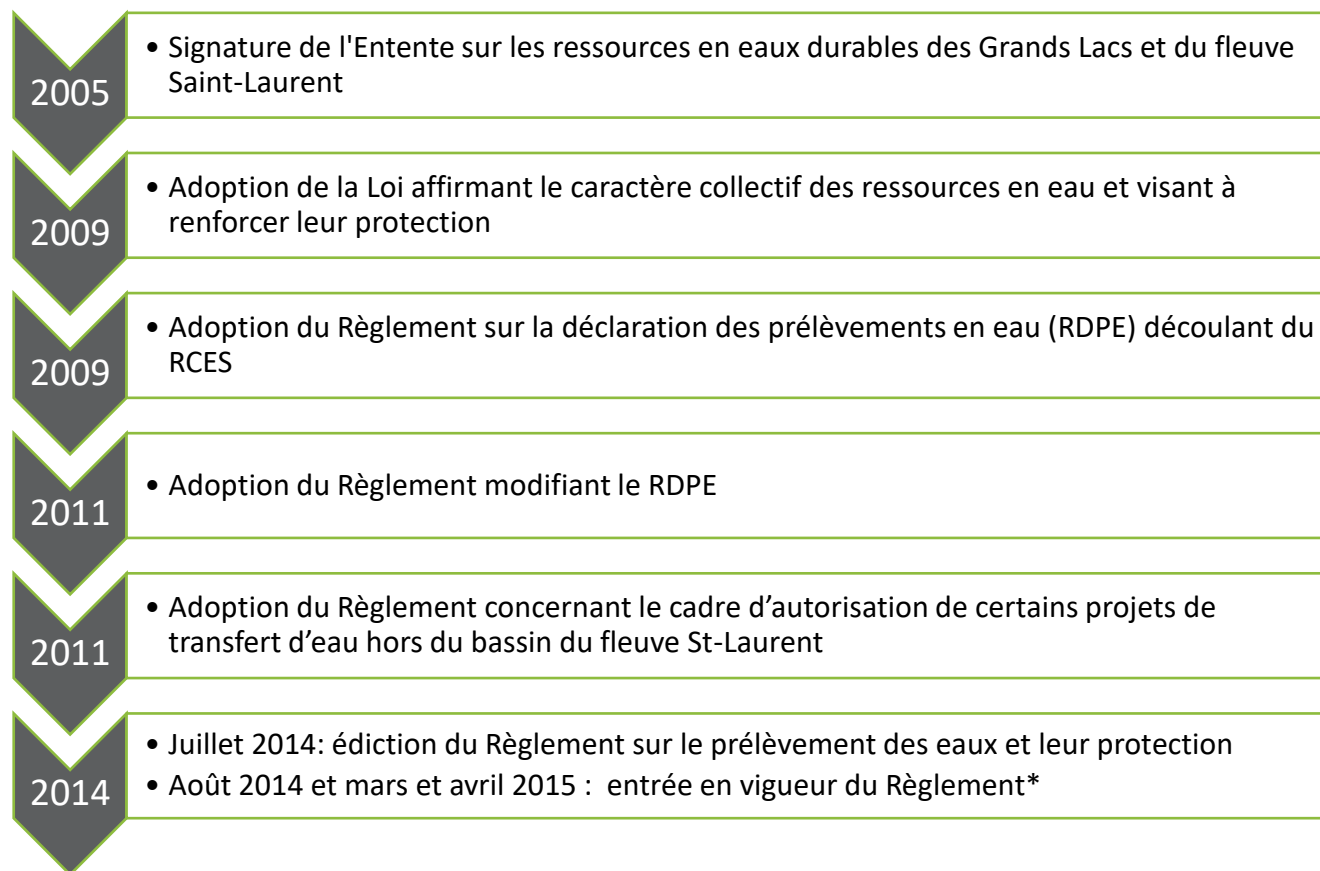
Une série de lois et règlements intervient pour baliser les prélèvements en eau. Ces prélèvements réfèrent au sens légal à « toute action de prendre de l'eau de surface ou de l'eau souterraine par quelque moyen que ce soit » (LQE, art. 31.74). **Les entreprises alimentées par un réseau d'aqueduc en sont 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 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 1970⁸.

⁷ Élisabeth Bussières, MELCC, décembre 2017.

⁸ 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 qui sont entrés en vigueur le 2 mars 2015 et les articles 68 et 75 le 1er 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 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 reconnues 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, possèdent 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 au 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)⁹. 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. Ce dernier 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 »¹⁰.
- Tel que 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-Laurent¹¹.

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 2015¹². Il remplace le Règlement sur le captage des eaux souterraines (RCES). Précisons que bien que plusieurs dispositions incluses dans le RCES aient été reconduites dans le RPEP, certains nouveaux concepts et quelques nuances ont également été introduits¹³.

⁹ 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>).

¹⁰ 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>

¹¹ ÉDITEUR OFFICIEL DU QUÉBEC. Projet de loi no 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>

¹² Les articles 11 à 30 qui sont entrés en vigueur le 2 mars 2015 et les articles 68 et 75 le 1er avril 2015.

¹³ 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.

Prélèvements visés par le RPEP¹⁴ :

- En vertu de l'article 31.75 de la LQE, seuls les prélèvements d'eau de plus de 75 000 litres par jour¹⁵ (actuels ou futurs) doivent obtenir une autorisation du MELCC (certaines exclusions s'appliquent)¹⁶. 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)¹⁷. 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 aquacoles¹⁸).
- 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)) :

¹⁴ À noter que lors de l'entrée en vigueur de la nouvelle Loi no 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.

¹⁵ Représente en équivalence plus ou moins 1 po d'eau sur 0,3 hectares. Soulignons que le calcul de prélèvement moyen est basé sur la période de 90 jours pendant lesquels les prélèvements sont les plus importants (art. 3 RPEP)

¹⁶ 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.

¹⁷ 2025 : 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.

¹⁸ 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.

- 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))¹⁹.

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 puit, 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 d'eau doivent obtenir une autorisation municipale.

Afin d'obtenir une autorisation pour prélever de l'eau, les producteurs doivent *remplir le Formulaire de demande d'autorisation pour un prélèvement d'eau assujetti à l'article 31.75 de la Loi sur la qualité de l'environnement (RLRQ, chapitre Q-2)* ainsi que les modules et les annexes correspondants (s'il y a lieu). La demande doit également être appuyée de certains documents (ex : plans et devis de l'installation de prélèvement d'eau et de l'aménagement envisagé, description du milieu environnement, description des travaux d'aménagement et d'entretien envisagés (s'il y a lieu), etc.) ainsi que d'un rapport technique signé par un professionnel (ex : ingénieur ou géologue) permettant de :

- « décrire le scénario du prélèvement d'eau projeté;
- démontrer que le volume maximal d'eau qui sera prélevé et consommé par jour est raisonnable en fonction des besoins à combler;
- démontrer que l'installation de prélèvement d'eau est adéquate pour les usages déclarés;
- décrire les modifications anticipées à la qualité de l'eau lors de son utilisation et de son rejet dans le milieu, en ce qui concerne, notamment, les substances ajoutées à l'eau pour améliorer sa qualité »²⁰.

À l'heure actuelle, les prélèvements d'eau de plus de 379 000 litres par jour sont également assujettis à l'obligation de produire une étude hydrogéologique complète, ce qui représente un coût important pour les producteurs agricoles (plusieurs milliers de dollars sont généralement requis pour réaliser ce type d'étude). À titre indicatif, cette quantité d'eau n'est pas suffisante pour irriguer 2 hectares de légumes en aspersion conventionnelle. Cette mesure sera toutefois révisée avec l'entrée en vigueur du Projet de règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE). L'étude hydrogéologique

¹⁹ 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.

²⁰ Formulaire de demande d'autorisation pour un prélèvement d'eau assujetti à l'article 31.75 de la Loi sur la qualité de l'environnement (RLRQ, chapitre Q-2).

ne sera plus systématiquement demandée pour les prélèvements d'eau de plus 379 000 litres. Les informations demandées se limiteront à celles requises pour les prélèvements de plus de 75 000 litres²¹.

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>Note : 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 qualité rejetée, les installations, ouvrages et travaux nécessaires, les usages de l'eau, les mesures de protection de l'environnement, les mesures d'économie d'eau et les mesures de mitigation²².
- Précisons que selon l'article 31.77 de la LQE, les décisions prises par le ministre prennent en compte les impacts environnementaux des prélèvements à court, moyen et 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 (ex. : étiage plus fréquent).

²¹ <http://www.environnement.gouv.qc.ca/lqe/autorisations/reafe/fiches/secteur-agricole.pdf>

²² 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 (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 l'impact 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 »²³.

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 »²⁴. 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 »²⁵.

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

- Le RPEP comporte plusieurs nouveautés pour les agriculteurs.
 - Parmi celles-ci figurent la nécessité de réaliser une étude de l'impact 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 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, les distances séparatrices et la localisation des bâtiments d'élevage et des ouvrages de stockage. Dans le cadre du RPEP,

²³ Judith Kirby, Direction de la gestion intégrée de l'eau, décembre 2017.

²⁴ MELCC. Lignes directrices pour l'estimation des débits d'étiage sur le territoire québécois, <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/methode/>

²⁵ BAPE. Débit écologique, http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/riviere_ouiatchouan_val-jalbert/documents/DA18.pdf

- « 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^{26,27}. L'épandage est toujours permis à partir de 30 mètres dans une aire de vulnérabilité faible²⁸.
- 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 élevée²⁹.
- 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 sera dépassé, l'épandage de matières fertilisantes azotées devra être effectué sur recommandation d'un professionnel.
- Il est maintenant interdit d'épandre des matières fertilisantes à moins de 500 mètres en amont et 50 mètres en aval d'un site de prélèvement d'eau de surface situé en rivière sur une bande de terre de 10 mètres le long des berges »³⁰.

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 à la contamination, la protection des ressources en eau, le traitement de l'eau et la gestion des matières résiduelles ou dangereuses. Elle dicte également les procédures d'évaluation des impacts des projets d'envergure. Elle intervient autant sur des aspects de gestion des cours d'eau que pour encadrer les prélèvements.

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 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 1^{ers} préleveurs³¹ 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).

²⁶ Les aires de protection et de vulnérabilité des eaux souterraines sont documentées en annexe 2.

²⁷ Indice DRASTIC entre 100 et 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection.

²⁸ Indice DRASTIC < 100, sur l'ensemble de l'aire de protection.

²⁹ Indice DRASTIC > 180, sur une quelconque partie de l'aire de protection.

³⁰ MELCC. Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (RPEP) – Fiche technique, <http://environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/ficheTechnique.pdf>

³¹ Industries, commerces et institutions sont alimentés par un réseau d'aqueduc municipal ainsi que les municipalités qui effectuent des prélèvements pour alimenter leur système d'aqueduc.

- **Déclaration initiale sur le territoire de l'Entente** : tous les 1^{ers} 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, de 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 production végétale 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
 - 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) »³².

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.

³² MELCC. Guide de soutien aux entreprises agricoles pour l'application du Règlement sur la déclaration des prélèvements d'eau, juillet 2015, <http://environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-applicationRDPE-entreprises-agricoles.pdf>

- 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 réalisation d'une déclaration annuelle doivent fournir des informations mensuelles pour tous les prélèvements d'eau de chacun de leurs sites de prélèvement³³ et tenir à jour un registre qui contient les renseignements requis pour la déclaration annuelle.

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 précis³⁴, 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 »³⁵.

- 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)

³³ 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 (ex. : mesure du temps de remplissage d'étangs ou rendement théorique de la pompe). Les estimations doivent de plus être approuvées par un expert et ne pas dépasser une marge d'erreur de 25 %.

³⁴ 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 et les municipalités locales localisées à l'extérieur du bassin mais inclut dans une MRC qui chevauche la ligne de partage des eaux.

³⁵ MELCC. La gestion des prélèvements d'eau, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/index.htm>

- 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 utilisé³⁶

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

Cette section présente certains encadrements réglementaires relatifs aux interventions (ex. : création, entretien, aménagement des cours d’eau) et infrastructures (ex. : micro-barrage) permises sur les cours d’eau. En effet, certains de ces règlements peuvent nuire à la mise en place de solution qui permettraient, par exemple, à certains usagers de pomper de l’eau dans les cours d’eau pour réguler au besoin leur approvisionnement en eau. L’encart suivant présente un glossaire de quelques termes clés.

³⁶ 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'EAU³⁷

- **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 PPRLPI, 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 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, administré 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

³⁷ 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>

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 »³⁸ doivent être examinés par le MPO parce qu'ils présentent un risque de causer des dommages aux poissons et à leur habitat.

En juin 2018, le gouvernement du Canada a adopté le projet de loi C-68 visant à modifier la Loi sur les pêches³⁹. 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 poisson⁴⁰.

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.

³⁸ 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>

³⁹ 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.)

⁴⁰ 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-iloi-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 (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 (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 prévisible.⁴¹

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 »⁴². 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.)⁴³.
- 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'avaient 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 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

⁴¹ 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/communiquer.asp?no=4049>

⁴² 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

⁴³ 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.

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 PPRLPI⁴⁴. 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 lit⁴⁵ ».

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 MAMH,, l'Union des municipalités du Québec et la Fédération québécoise des municipalités⁴⁶. 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.

⁴⁴ LAGACE, Robert. Aspects légaux et réglementaires, chapitre 17.

⁴⁵ 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-reference-lqe.pdf>

⁴⁶ MELCC et MFFP. Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole, 2016, <http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2012/04/Procure-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 5000 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 Loi sur la conservation du patrimoine naturel
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, tel que 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 1er janvier 2006 dans un processus de révision, regroupement et simplification des lois municipales, et notamment de celles traitant des compétences municipales. Tel que 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 103⁴⁷ et des cours d'eau inscrits au décret numéro 1292-2005⁴⁸.

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 d'entraîner des répercussions sur l'habitat ou sur les espèces fauniques menacées et vulnérables »⁴⁹.

LOI CONCERNANT LA CONSERVATION DES MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES⁵⁰

- Sanctionnée en juin 2017, la Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (projet de loi no 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).

⁴⁷ 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.

⁴⁸ 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.

⁴⁹ MELCC. Procédure relative à l'entretien de cours d'eau en milieu agricole, 24 février 2016, <http://agrcq.ca/wp-content/uploads/2012/04/Procédure-entretien-des-cours-deau-en-milieu-agricole-24-f%C3%A9vrier-2016.pdf>

⁵⁰ 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

- 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 tels que 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
• 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, tels que définis par règlement du gouvernement • Étangs, marais, marécages et tourbières.	• Fossés de voies publiques ou privées, fossés mitoyens et fossés de drainage, tels que 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 entrera 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 impacts 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
 - 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.) »⁵¹.
- 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'étiage des cours d'eau
 - Le maintien de la quantité et de la qualité de l'eau;
 - La régulation des nutriments et la fertilité des sols;
 - La rétention des produits toxiques (micropolluants); et
 - La pollinisation⁵².

⁵¹ 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>

⁵² MELCC. Feuillet d'information sur Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/milieux-humides/feuillet-info.pdf>

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. D'ailleurs, les études de cas présentées au chapitre 9 illustrent bien la confusion et la méconnaissance actuelles des acteurs terrains, autant producteurs agricoles que conseillers, en matière de réglementation.
- 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 et des connaissances déficientes des gestionnaires des cours d'eau en droit, en géographie, génie, biologie, hydrologie, etc. en lien avec la gestion des cours d'eau⁵³. 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 2012⁵⁴. 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 raffinerait 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 (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'impact 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

⁵³ Association des gestionnaires de cours d'eau du Québec.
http://canieca.org/wp-content/uploads/2017/05/2017-04-11_AGRQC_Symposium-erosion.pdf

⁵⁴ Élisabeth Bussièrès. MDDELCC, décembre 2017.

d'eau à l'endroit où le prélèvement est effectué »⁵⁵. Le changement de cette référence pourrait avoir des implications importantes sur les quantités d'eau autorisées.

- **En ce qui concerne la prise d'eau dans les cours d'eau**, malgré un encadrement réglementaire important, relativement peu de chose 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-barrage. 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. Le MELCC est à revoir tout l'encadrement réglementaire lié à l'aménagement et l'entretien des cours d'eau, ces questions sont donc à surveiller.
- 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 (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 peu de balises ont été énoncées, si ce n'est les distances séparatrices. Dans plusieurs régions du Québec, des producteurs prélèvent actuellement dans des étangs qui se révèlent, selon les nouvelles cartographies des milieux humides, être à proximité ou dans des milieux humides. Selon la compréhension des producteurs, ils n'ont pas besoin de certificat d'autorisation (cf section 9.2.3). Cependant la nouvelle cartographie de ces milieux pourrait changer la donne, sans qu'ils ne soient mis au courant. Encore là, les lacunes en matière de connaissance de la réglementation ressortent, de même que l'absence de données objectives : dans les territoires où se sont réalisées les études de cas, aucun producteur n'avait eu accès à la carte des milieux humides du territoire de son entreprise agricole. L'application du RPEP dans les années à venir, et la redéfinition des milieux humides et hydriques, nécessiteront donc un effort considérable d'information et de sensibilisation, afin que les producteurs puissent prélever de l'eau de manière durable en minimisant les impacts sur les ressources, et se conformer aux règlements en vigueur.

⁵⁵ Judith Kirby, Direction de la gestion intégrée de l'eau, décembre 2017.

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 des deux 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 (ex : alimentation, irrigation, etc.)
- *Fructus* ou le droit à l'usage des caractéristiques de l'eau (ex : géothermie, respiration aquatique, etc.)
- *Abusus* ou l'abus de la ressource (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*) par exemple limitera 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 droits 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 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 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	Irrigation vs eau utilisée en transformation alimentaire	Eau utilisée à titre de solvant dans l'industrie vs eau utilisée pour le nettoyage/l'hygiène	Surexploitation de l'eau par la population grandissante vs disponibilité de l'eau pour irrigation
FRUCTUS	Abreuvement des animaux vs utilisation de l'eau pour chauffer une résidence	Flottage du bois vs accès embarcation à moteur	Contamination de l'eau par les déjections animales et les terrains de golfs vs baignade et autres activités nautiques
ABUSUS	Consommation humaine vs spoliation de l'eau par une industrie	Habitat pour les poissons vs pollution de l'eau par les pesticides	

Usus (droit usage de l'eau)

Fructus (droit 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 que s'ils ont un impact sur les aspects quantitatifs (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.)⁵⁶ (Giroux, 2014; 2015) soulevant 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 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). Aucun cours d'eau toutefois ne dépasse la concentration maximale acceptable définie pour l'eau potable (10 mg N/l pour les nitrites et 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 2, les conflits répertoriés dans la littérature et lors des groupes régionaux réalisés dans chacune des régions visées par l'étude. Cet inventaire a aussi été bonifié par la consultation des plans directeurs de l'eau et des PACES des régions à l'étude, des décisions de la Commission de la protection du territoire agricole (CPTAQ)⁵⁷ relatives

⁵⁶ À ces concentrations importantes s'ajoutent de nombreuses traces de pesticides de toutes sortes qui peuvent avoir des effets néfastes lorsque mis en interactions (Giroux, 2014).

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.

à des enjeux quantitatifs d'eau. Cet inventaire ne prétend pas être exhaustif, mais il compile les principaux conflits (en cours ou potentiels) dans les régions ciblées.

BAS SAINT-LAURENT

La région du Bas-Saint-Laurent est en général bien desservie sur le plan des précipitations et les eaux de surface et souterraines sont abondantes (BPR, 2003). La région s'alimente avant tout en eau souterraine. L'utilisation grandissante des eaux souterraines par certaines municipalités entraînerait toutefois des conflits d'usage avec l'agriculture (Parent et Anctil, 2012). Selon BPR Groupe-conseil (2003), quelques dizaines d'entreprises maraîchères ou de petits fruits seraient touchées par cette plus grande concurrence pour les eaux souterraines (Kamouraska, Saint-Pascal, Sainte-Anne-de-la-Pocatière et Val-Brillant). De plus, certains cours d'eau seraient pollués par les activités agricoles et industrielles environnantes (Parent et Anctil, 2012; OBV Kamouraska, l'Islet et Rivière du Loup, 2014). Ce serait notamment le cas de la rivière Fouquette ainsi que des sources d'approvisionnement des municipalités de l'Isle-Verte, Saint-Modeste et Sainte-Luce en raison de contaminations bactériologiques ou d'une grande quantité de nitrates. Du côté de Rivière-Ouelle et de Sainte-Anne-de-la-Pocatière, les eaux seraient plutôt polluées par les fluorures (BPR Groupe-conseil, 2003). Les causes identifiées de contamination sont nombreuses et incluent des installations septiques déficientes, des bris dans la structure de puits, la fertilisation excessive des pelouses, l'épandage inapproprié d'engrais minéraux et d'engrais de ferme et l'entreposage de déjections à proximité des puits (MAPAQ, 2000). Quelques problématiques quantitatives ont été relevées dans la MRC de Kamouraska (BPR, Groupe-conseil, 2003).

Plus récemment, plusieurs nouveaux plans de drainage ont été déployés à la faveur d'un programme gouvernemental⁵⁸. Toutefois, l'absence d'approche holistique est reprochée et les acteurs rencontrés dans le cadre du groupe de discussion (le 26 avril 2018) craignent l'émergence de conflit liés au « surdrainage » à certains endroits.

CAPITALE-NATIONALE

Un des enjeux dans la région de la Capitale-Nationale concerne l'approvisionnement en eau pour des fins agricoles sur l'Île d'Orléans. L'ensemble des habitants est alimenté à partir d'eau souterraine et une part importante des superficies cultivées sur l'Île sont irriguées (BPR, 2003). Pour pallier ce problème, les agriculteurs de l'Île d'Orléans ont implantés de nombreux bassins de rétention d'eau mais leur capacité serait insuffisante. De plus, les eaux souterraines seraient particulièrement à risque de contamination par les activités agricoles (Parent et Anctil, 2012). Ces problèmes devraient s'amplifier avec la diminution prévue du niveau du fleuve et l'extension de la zone de salinité du fleuve à l'ouest de l'île (Parent et Anctil, 2012). Selon la directrice générale de la Chambre de commerce de l'île d'Orléans, certains puits dans la municipalité de Saint-François de l'île d'Orléans seraient salins.

Dans la MRC de Charlevoix, des problématiques liées à la disponibilité de source d'eau souterraine auraient été soulevées dans les municipalités de Saint-Urbain et de Baie-Saint-Paul, les producteurs agricoles auraient de la difficulté à réaliser de nouveaux puits d'eau. Selon les conseillers horticoles de la MRC de Portneuf du MAPAQ, plusieurs agriculteurs de la MRC s'interrogent sur les meilleures sources d'eau alors que plusieurs

⁵⁸ Ce programme du MAPAQ vise à améliorer la productivité et à revaloriser des terres offrant un potentiel de culture par l'augmentation des superficies drainées et chaulées dans les régions du Bas-Saint-Laurent, de la Côte-Nord, du Saguenay-Lac-Saint-Jean, de l'Abitibi-Témiscamingue et du Nord-du-Québec, ainsi que dans 34 municipalités régionales de comté (MRC) désignées comme prioritaires. Les demandes peuvent être déposées jusqu'en novembre 2022
(source : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/md/programmesliste/developpementregional/Pages/Soutiendrainagechaulageterres.aspx>)

parmi eux songent à installer de nouveaux systèmes pour irriguer leurs champs de pomme de terre dans un futur rapproché.

Des problèmes de qualité de l'eau sont aussi présents autour de la Capitale-Nationale avec de nombreux cours d'eau acides ou encore présentant des concentrations élevées en nitrates et en pesticides (BPR Groupe-conseil, 2003), en partie causés par la pollution agricole pour le Comté de Portneuf et l'île d'Orléans (Rousseau et coll., 2004). De façon plus précise, certains cours d'eau montrent une pollution liée aux activités agricoles et qui restreint le potentiel d'activités parallèles par les autres usagers : rivière Lorette (présence de coliformes fécaux et d'aluminium), ruisseau Savard (présence de coliformes fécaux), rivière Cap-Rouge (présence de coliformes fécaux, phosphore, matières en suspension), rivière Nelson (présence de nitrites et de nitrates) ainsi que le Lac Saint-Charles (Parent et Anctil, 2012; Brodeur et Trépanier, 2013).

MAURICIE

Les problématiques associées à l'eau sont plutôt d'ordres qualitatifs, relevant des paramètres esthétiques : elles sont surtout reliées à des concentrations élevées en manganèse, en fer et en chlorure dans certains puits (PACES Mauricie, 2013). Le secteur industriel serait néanmoins limité dans certaines localités par un débit d'eau limité (Consultation publique, 2018). Aussi, avec le développement démographique récent, le réseau d'aqueduc pourrait ne plus suffire en ce qui concerne le débit par rapport aux besoins. Déjà dans le secteur sud de la Maskinongé, la Régie d'aqueduc du Grand Pré doit s'assurer que la capacité des ressources actuelles répond adéquatement à la demande de Yamachiche (Le Nouvelliste, 2016)

Sur le plan qualitatif, la contamination de l'eau a été soulevée dans les rivières Saint-Maurice, Shawinigan, des Envies, du Loup et Maskinongé (BPR, 2003). Les cours d'eau seraient fortement pollués en raison des activités industrielles (dragage des voies maritimes du Lac Saint-Pierre, pollution agricole et industrielle des rivières Saint-Maurice, Shawinigan, des Envies, du Loup et Maskinongé) (BPR Groupe-conseil, 2003; Parent et Anctil, 2012). De plus, l'aquifère serait fortement pollué par l'agriculture (Parent et Anctil, 2012), notamment par des nitrates sur le territoire des agglomérations de Shawinigan-sud, Notre-Dame-de-Montauban et de Pointe-du-Lac (BPR Groupe-conseil, 2003). Selon la plus récente étude des PACES près de 40 % des puits résidentiels échantillonnés dépassaient au moins une des normes bactériologiques (PACES Mauricie, 2013). La contamination des eaux souterraines par les nitrates dans les MRC Les Chénoux, Mékinac et Maskinongé a aussi été rapportée (MELCC, 2000).

OUTAOUAIS

La région des Outaouais est parsemée de lacs et de rivières offrant une abondance en eau de surface et eau souterraine. Les besoins en eau de la région pour l'agriculture sont reliés principalement à la pisciculture et à l'élevage de bovins. Le principal problème relevé touche l'alimentation de ces derniers au pâturage (BPR, 2003). Les zones de pâturages étant grandement dispersées, les aires d'abreuvements pour les bovins sont aménagées sur de petits cours d'eau qui, durant des périodes de chaleur, s'assèchent et il est alors difficile d'abreuver le bétail.

Sur le plan qualitatif, quelques problèmes ont été soulevés notamment la présence d'algues pouvant produire des toxines dans le lac Heney et la contamination *E.coli* provenant des rejets d'eaux usées municipales et de fosses septiques. La région est reconnue pour ses activités de villégiature aquatique. Ces activités agrotouristiques et récréotouristiques seraient en forte croissance. La préservation de la qualité de l'eau est donc importante pour assurer la pérennité de cette activité. Un important projet d'expansion d'un site de villégiature au sud du Lac de l'Argile est annoncé mais il y aurait un enjeu lié à la qualité de l'eau. La MRC des Collines a connu une importante augmentation démographique qui a entraîné une hausse du nombre de bâtiments résidentiels. Le groupe d'experts consulté en région se dit préoccupé de l'impact de ce boom

immobilier et de la popularité des centres de villégiature sur les nappes phréatiques de la région. Selon eux, tout développement résidentiel hors réseau aqueduc deviendra difficile (Groupe de discussion, 23 avril 2018).

LAURENTIDES

La région des Laurentides peut être divisée en trois territoires, les Basses-Laurentides où la production agricole est relativement intensive et très variée, les Moyennes-Laurentides avec une production agricole extensive où les activités de villégiature et récréotouristiques prédominent et enfin les Hautes-Laurentides dominées par l'exploitation forestière. Les problématiques liées à la qualité et la quantité d'eau sont essentiellement dans les Basses-Laurentides et à moindre niveau dans les Moyennes-Laurentides. Dans certaines localités, la ressource eau est dégradée du fait principalement des rejets urbains non traités et de la production agricole (BPR, 2003). Selon le groupe d'acteurs consulté dans la région (24 avril 2018), les producteurs maraîchers situés le long de la rivière Rousse sont grandement affectés par la mauvaise qualité de l'eau et la faible disponibilité. La majorité des cours d'eau dans les Basses-Laurentides sont de taille modeste et tarissent en période d'étiage prolongée (BPR, 2003). Le manque d'eau commencerait à apparaître dans les Laurentides avec la présence d'usines d'embouteillage de l'eau (Parent et Anctil, 2012) mais aussi la multiplication des puits individuels qui assèchent les eaux souterraines des Basses-Laurentides (BPR Groupe-conseil, 2003). Une réglementation plus serrée, notamment avec l'interdiction des arrosages de pelouse, a cependant permis de réduire de 25 % la consommation d'eau en 20 ans dans certaines villes comme St-Anne-des-Plaines. Il y aurait néanmoins une certaine fragilité du secteur agricole qui dépend de l'eau de surface pour son irrigation. Les producteurs agricoles situés dans la municipalité d'Oka seraient à l'heure actuelle en discussion afin de développer un système pour mieux répartir l'eau en période d'étiage (Groupe de discussion, 24 avril 2018). Par ailleurs, une partie des besoins résidentiels et agricoles sont comblés par les eaux souterraines. Là aussi, des problèmes s'observent alors que le débit d'eau pompé aurait provoqué un abaissement des nappes phréatiques dans les municipalités d'Oka, Saint-Joseph et Saint-Benoît. Les producteurs agricoles doivent creuser encore plus loin pour aller à la recherche de l'eau.

LAVAL

La région de Laval est confrontée à des problématiques de natures qualitatives et plus récemment quantitatives. La ville est alimentée majoritairement à partir des eaux de surface. Les réseaux d'aqueduc s'approvisionnent dans la rivière des Mille-Îles et dans la rivière des Prairies. Les producteurs agricoles, principalement des producteurs horticoles, s'approvisionnent le plus souvent directement des rivières. Certains producteurs aménagent des étangs dans les points bas afin de retenir les eaux issues de la fonte de la neige et des précipitations. Toutefois, ces entreprises n'auraient pas les infrastructures de captage ou d'entreposages nécessaires à l'optimisation de leurs activités causant une problématique sur le plan régional (BPR, 2003). La qualité de l'eau serait aussi largement compromise par les rejets urbains de la région même et des débordements des réseaux d'égouts des municipalités avoisinantes, dont Montréal et Saint-Eustache, un enjeu majeur pour la production maraîchère locale. L'aération des étangs de rétention est nécessaire pour améliorer la qualité des eaux pluviales, chargées de coliformes fécaux, suivant des coups d'eau. De plus, le nombre croissant de construction de condos sur la Rive-Nord préoccupe la ville de Laval. Compte tenu de la croissance démographique, on craint que le débit d'étiage des rivières en souffre. Une augmentation de la densité de certaines villes notamment Terrebonne et Deux-Montagnes, aurait un impact direct sur la qualité de l'eau et pourrait accentuer les problèmes en approvisionnement d'eau pour le secteur agricole. L'absence d'un plan directeur de l'eau pour la ville est également déplorée (Groupe discussion, 13 avril 2018).

3. PRÉLÈVEMENTS EN CLIMAT ACTUEL

Les chapitres suivants exposent en détails 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 six régions à l'étude de RADEAU 2.

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 spatiale 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) :

- a. Facteur de consommation moyenne journalière multiplié par le nombre d'habitants de chaque municipalité.
- b. 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'Habitation (MAMH)⁵⁹.

MÉTHODE A

Cette méthode permet d'avoir un calcul harmonisé pour toutes les municipalités de la zone à l'étude. Par contre, elle repose sur l'utilisation d'un facteur de consommation moyen qui ne permet pas de nuancer selon les réalités régionales et locales.

Un certain nombre de traitement de données doivent également être faits :

- Distinguer le nombre de personnes connectées au réseau de 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 MELCC⁶⁰ renseigne 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

⁵⁹ Source : <https://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels/>

⁶⁰ Source : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/Eau/potable/distribution/index.asp>

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, fonction de la population, est ensuite appliqué. Les études du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines (PACES) utilisaient la valeur de 250 litres/personne/jour, qui correspondait à la valeur moyenne au Canada⁶¹. Un nouveau facteur a été calculé pour la présente étude afin d'avoir des données plus personnalisées (méthode b).

MÉTHODE B

Une estimation de la consommation journalière per capita 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 informations sont présentes dans la base de données du MAMH 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 3.1), 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 informations recueillies par ailleurs à ce sujet lors des groupes de discussions du 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.

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

Municipalités	N	Population desservie par les réseaux	
		N	%
sans compteur d'eau	1089	6 658 859	97,81%
avec compteur d'eau	22	149 132	2,19%

Source : <https://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/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 :

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

⁶¹ Donnée tirée 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.

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 production 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 litre par kg 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 végétale, animale 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 vs souterraine) utilisée en agriculture a été établie à partir des informations contenues dans les Plans d'Accompagnement Agroenvironnemental (PAA) des entreprises agricoles.

L'annexe 3 accompagne ce texte descriptif. Elle recense de manière détaillée pour une trentaine de produits maraîchers et fruitiers les références et données colligées pour établir les chartes de consommation. L'annexe 4 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 exemples, des fédérations régionales de l'Union des producteurs agricoles (UPA) ont commandité, via le 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 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 ingénieurs (dans le cas des études de TechnoRem), souvent non spécialistes de l'agriculture, qui se sont associés les 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 toujours 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 informations qui sont pour la plupart valides pour la région dans laquelle elles ont été développées, 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 (OMAFRA⁶²), dans les références du CRAAQ et dans les récentes études portant sur le changement climatique⁶³. 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 pour l'irrigation de protection contre le gel ou pour 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 kg de légumes lavés (carottes, radis, betteraves, navet, pommes de terre) (Brassard et al., 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.

⁶² <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/07-024.htm>

⁶³ Edith Charbonneau, communication personnelle septembre 2017.

Pour calculer les prélèvements totaux par municipalités et bassins versant, 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 ($\text{m}^3/\text{semaine}/\text{ha}$) et par les pourcentages de superficies généralement irriguées dans la région.
- Ces dernières informations ont été collectées et analysées 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 agro-environnementaux et du MAPAQ afin d'obtenir des informations détaillées sur l'irrigation dans chaque région, et pour des productions en particulier, de même que des contacts avec des producteurs afin d'obtenir des informations sur leur pratiques d'irrigation.
 - Le modèle STICS a été testé pour la culture de la pomme de terre⁶⁴. Les simulations avaient pour objectif de tester le modèle en climat actuel et de vérifier si les besoins en eau d'irrigation calculés par le modèle étaient cohérents avec les pratiques des producteurs. Les résultats de ces tests ont permis de confirmer la cohérence globale des besoins en eau simulés et des pratiques observées chez les producteurs pour la pomme de terre. La méthode poursuivie et les résultats obtenus sont détaillés dans l'annexe 5. Le modèle a servi à simuler l'impact du changement climatique sur les besoins des cultures, les résultats de ce travail seront présentés dans un rapport ultérieur.

Notons que les 3 approches ont servi à établir les prélèvements d'eau d'irrigation en climat actuel, le modèle STICS a ensuite été utilisé pour estimer les besoins en eau en climat futur.

Pour chacune des six régions, les différentes personnes contactées nous ont aidé à déterminer le pourcentage des superficies irriguées, et dans certains cas les nombres et doses d'apport moyen.

- Pour déterminer la provenance des prélèvements (eau de surface ou eau souterraine), les informations recueillies par le MAPAQ dans le cadre des Plans d'accompagnement agroenvironnemental (PAA) de 2013 à 2016 ont été utilisées. 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. Quand 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 à différentes ressources en eau disponibles et à différents seuils critiques de prélèvement (section 4) ceux-ci sont compilés de trois façons :

1. Prélèvements estivaux en eau de surface ($\text{m}^3/\text{sem.}$) : consiste à compiler les prélèvements en période critique d'étiage (mois d'été).

⁶⁴ Le modèle CROPSYST a été utilisé dans le cadre du projet RADEAU 1. Dans le cadre du projet RADEAU 2, seul le modèle STICS pour la pomme de terre a été utilisé, puisque les cultures simulées par le modèle CROPSYST (pois, haricot et maïs sucré) ne sont que très peu présentes dans les six régions à l'étude de RADEAU 2 et la plupart du temps pas irriguées.

2. Prélèvements totaux d'eau de surface (m^3/an) : consiste à compiler les prélèvements totaux sur l'année dans les eaux de surface, avec l'ajout des volumes pour la protection contre le gel des bleuets et des fraises d'été notamment.
3. Prélèvements en eau souterraine (m^3/an) : consiste à compiler les prélèvements totaux sur l'année dans les eaux souterraines, 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 changement climatique, cette pratique pourrait toutefois se développer. Enfin, le nettoyage des bâtiments a été comptabilisé sur la base des valeurs de référence développées par TechnoRem (2008)⁶⁵.

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 ($\text{m}^3/\text{tête}/\text{an}$) documenté dans la littérature existante.

L'information contenue dans les PAA nous a permis de définir un ratio d'origine de l'eau pour chaque région, en fonction de la provenance déclarée de l'eau entre eaux de surface, souterraines ou aqueduc. Pour les entreprises non reliées à un réseau d'aqueduc, nous avons considéré que l'eau utilisée pour l'abreuvement des animaux provenait exclusivement de source souterraine.

3.2.4 PRODUCTION PISCICOLE

La base de données utilisée (fournies 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 faite avec les données les plus récentes, soit 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 $\text{m}^3/\text{semaine}$ pour l'eau de surface. Les calculs sont basés sur une hypothèse d'approvisionnement en eau continu dans l'année.

3.2.5 COEFFICIENT DE CONSOMMATION

Afin de prendre en compte le fait qu'une partie des prélèvements effectués dans les eaux de surface retourne *in fine* au cours d'eau, nous avons utilisé des coefficients de consommation que nous avons appliqués aux prélèvements pour les productions animales, végétales et piscicoles. Ces coefficients sont les suivants :

- Pour les productions végétales, un coefficient de 0.9 a été utilisé, signifiant que 90 % de l'eau utilisée pour l'irrigation sert effectivement aux plantes, 10 % de cette eau retournant au cours d'eau (Pebbles, 2003).

⁶⁵ TechnoRem 2008, cartographie hydrogéologique approfondie dans la zone de production horticole de la MRC de Montcalm – Ianaudière, 311 p.

- Pour les productions animales, un coefficient de 0.8 a été utilisé, signifiant que 80 % de l'eau utilisée pour l'abreuvement des animaux est perdue (transpiration des animaux, lait, évaporation dans les fosses), 20 % de cette eau retournant au cours d'eau (Pebbles, 2003).
- Pour les productions piscicoles, un coefficient de 0.05 a été utilisé, signifiant que 95 % de l'eau prélevée retourne au cours, 5 % étant perdue (évaporée) (INRS, 2009, Shaffer, 2009).

3.3 SECTEUR INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL

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

3.3.1 INDUSTRIE, COMMERCES ET INSTITUTIONS HORS RÉSEAUX

Les prélèvements en eau pour les utilisations industrielles hors réseau d'aqueduc municipal 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 chapitre 1). Elle implique donc de la part des grands préleveurs (qui prélèvent plus de 75m³ par jour) qu'ils déclarent leurs prélèvements.

La base de données regroupe les informations suivantes :

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

Un certain nombre de traitement 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 en utilisant la nomenclature du système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN).

3.3.2 COEFFICIENT DE CONSOMMATION

Comme pour le secteur agricole, un coefficient de consommation a également été utilisé afin d'ajuster les volumes rapportés (prélèvements) en consommation. Quand il s'agit de prélèvement dans les eaux de surface, la majeure partie des volumes prélevés sont retournés au cours d'eau, éventuellement après traitement. L'utilisation de coefficients de consommation permet de rendre compte de ce processus et permet donc un

portrait plus fidèle de l'usage de l'eau. Ces coefficients sont définis pour différents usages codés par des codes SCIAN rattachés au secteur d'activité, chaque entreprise ayant un ou plusieurs codes SCIAN représentant un ou plusieurs usages. Le Tableau 3.2 présente les coefficients de consommation que nous avons utilisés, tirés des études l'INRS (2009) et de Shaffer (2009).

Tableau 3.2

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

Code SCIAN	Secteurs	Coefficient de consommation (%)
212	Extraction minière et exploitation en carrière (sauf l'extraction de pétrole et de gaz)	10
311	Fabrication d'aliments	20
312	Fabrication de boissons	100
313	Usines textiles	100
321	Fabrication de produits en bois	25
322	Fabrication du papier	10
324	Fabrication de produits du pétrole et du charbon	12
325	Fabrication de produits chimiques	28
326	Fabrication de produits en plastique et caoutchouc	8,6
327	Fabrication de produits minéraux non métalliques	19
331	Première transformation de métaux	15
332	Fabrication de produits métalliques	6
713	Récréotouristique	100
-	Autres (221, 334, 417, 486, 721, 913, 919)	100

3.3.3 INDUSTRIE, COMMERCE ET INSTITUTIONS RELIÉES AUX RÉSEAUX

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

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

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

$$\boxed{\text{Volume d'eau distribuée}} = \boxed{\text{Volume d'eau résidentiel}} + \boxed{\text{Volume d'eau CI}} + \boxed{\text{Pertes d'eau}}$$

- Tel que 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 MAMH), et le volume pour l'usage résidentiel.

$$\boxed{\text{Volume d'eau CI}} = \boxed{\text{Volume d'eau distribuée}} - \boxed{\text{Pertes d'eau potentielle annuelle}} - \boxed{\text{Volume d'eau résidentiel}}$$

Le tableau 3.3 apporte des précisions sur les variables utilisées dans les calculs et certaines hypothèses réalisées :

Tableau 3.3

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 MAMH

Variables	Description	Notes
Population desservie	Nombre de logements desservis et occupés de façon permanente * nombre de personnes par logement	Estimé par le MAMH
Estimation des pertes d'eau (m ³)	Volume d'eau distribué * le % de pertes d'eau potentielles	Le % de pertes 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) – basé sur moyenne pondérée	Population desservie * consommation résidentielle (m ³ /pers/jour)	Consommation résidentielle = 78.95 m ³ /pers/an ou 216l/pers/jour, calculé à partir de la consommation résidentielle des municipalités avec compteur d'eau
Estimation consommation CI ajusté (l/pers/jour)	Si population totale > population desservie-> Estimation CI (l/pers/jour) = Estimation CI (m ³)*1000) / population totale / 365. Si population totale < population desservie-> Estimation CI (l/pers/jour) = Estimation CI (m ³)*1000) / population desservie / 365.	

4. TRAITEMENT SPATIAL DES DONNÉES DE PRÉLÈVEMENTS

4.1 PRÉLÈVEMENTS D'EAU DE SURFACE PAR BASSIN VERSANT

Dans le cadre du projet, une hypothèse de travail importante dans la sommation des prélèvements pour l'eau de surface a été posée: l'eau est consommée dans le bassin versant où elle est prélevée, signifiant que nous ne considérons pas les transferts d'eau entre bassin versant. Cette hypothèse a dû être posée car il n'existe pas, à notre connaissance, de base de données permettant de prendre en compte ce phénomène.

4.1.1 RÉSIDENTIEL ET INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL LIÉ AU RÉSEAU (ICI RÉSEAU)

Comme les prélèvements du résidentiel et des ICI réseau sont évalués par municipalité et que pour l'eau de surface, le bassin versant est l'échelle d'évaluation, nous avons recoupé les limites des municipalités avec celles des bassins versants. Une répartition homogène de la population sur le territoire a été assumée, faute de données plus précises. Enfin, le calcul des prélèvements totaux a été réalisé au prorata de la surface des municipalités dans chaque bassin.

4.1.2 AGRICOLE ET INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL NON RELIÉ AU RÉSEAU (ICI HORS RÉSEAU)

Pour chaque entreprise agricole, nous disposons, avec la base de données des fiches FLORA, d'une information sur la localisation de l'entreprise et les superficies cultivées pour différentes cultures. Pour les industries qui sont inscrites au registre des grands préleveurs, nous disposons également d'une coordonnée à référence spatiale qui nous permet de localiser précisément le prélèvement. Le calcul des prélèvements totaux des secteurs agricoles et ICI hors réseau a donc été réalisé par intersection spatiale de façon à comptabiliser tous les points d'un même bassin.

4.2 PRÉLÈVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE PAR MUNICIPALITÉ

4.2.1 RÉSIDENTIEL ET INDUSTRIEL, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL LIÉ AU RÉSEAU (ICI RÉSEAU)

Les prélèvements d'eau souterraine sont calculés par municipalité pour les préleveurs des secteurs résidentiel et ICI réseau. 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, COMMERCIAL ET INSTITUTIONNEL NON RELIÉ AU RÉSEAU (ICI HORS RÉSEAU)

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

4.3 INTÉGRATION DES BASSINS VERSANTS

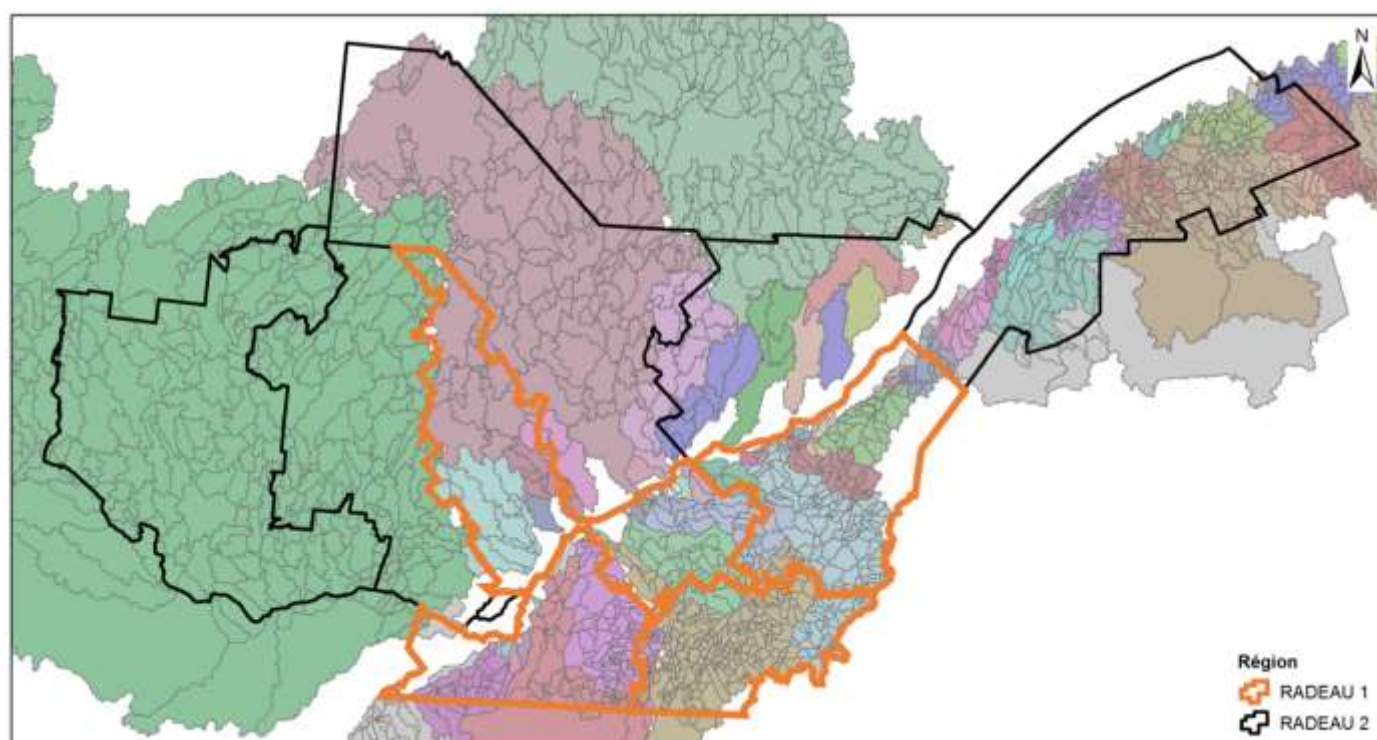
Les unités cartographiques de base sont les bassins versants de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2018.

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.

Les bassins d'une même couleur sur la carte sont liés par un exutoire unique et les contours gris à l'intérieur redécoupent en sous-bassins. Au total, pour la zone à l'étude, 1048 bassins (et leurs valeurs de débit en étiage) ont été utilisés. En moyenne, les bassins ont une superficie d'environ 3000 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 la section suivante.

Figure 4.1
Couverture des régions RADEAU 1 et 2 avec les bassins versants de la DEH.



5. TRAITEMENT SPATIAL DES DONNÉES CONCERNANT LA DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE HYDRIQUE

La disponibilité de la ressource hydrique a été évaluée de façon distincte pour l'eau de surface et l'eau souterraine 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 ans⁶⁶) 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 ($Q_{2,7}$) ont été estimés sur la base de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2018 (MELCC, 2018), ci-après nommé Atlas 2018. Une estimation de débit d'étiage estival (Q_{7min2E}) et une valeur 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,

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, tels que décrits ci-après :

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

Les bassins de l'Atlas 2018 sont produits par région hydrographique, c'est-à-dire un regroupement de bassins versants. La jonction entre ces régions hydrographiques n'est pas hydrologiquement cohérente et se traduit donc par des absences ponctuelles de donnée. Aucune correction n'a été apportée à ce sujet dans le cadre du projet. La tâche appréhendée, de grande ampleur, sort du cadre du mandat de la présente étude.

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

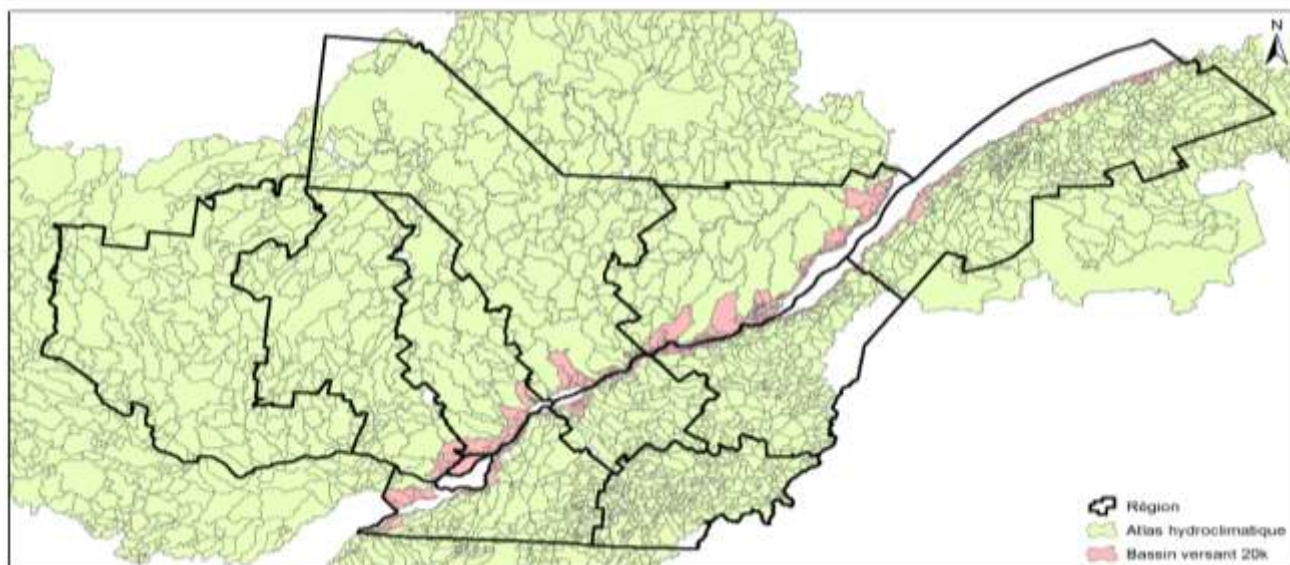
Ce problème concerne principalement le bassin de la rivière l'Assomption. Les sous-bassins de la portion de territoire problématique de l'Atlas a été ont été délimités sur la base du modèle numérique d'élévation 1:20 000 du MELCC. La démarche de calcul des nouveaux débits d'étiage est présentée ci-bas.

3. Erreurs résiduelles (petits bassins non couverts)

Le modèle qu'utilise la DEH pour produire les bassins versants de l'Atlas 2018 n'a pas la capacité de produire 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 les bassins délimités à l'échelle 1 :20000 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.

⁶⁶ Source : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/methode/>

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 $Q_{2,7}$ 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 (2007-2017) 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, dispositifs et protocoles de mesure est présentée dans les rapports scientifiques en ligne^{67,68}.
- 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 $Q_{2,7}$.

⁶⁷ <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/>

⁶⁸ <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	No de station	Station	Superficie (km ²)
Montérégie	030343	Yamaska Nord	31
Montérégie	030335	Yamaska Nord	59
Chaudière-Appalaches	023002	Boyer Sud	61
Chaudière-Appalaches	023432	Bras d'Henri	153
Chaudière-Appalaches	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

Région	No de station	Station	Superficie (km ²)
Centre-du-Québec	030103	Nicolet	1544
Centre-du-Québec	024014-07	Bécancour	2161
Montréal	030905	Châteauguay	2503
Chaudière-Appalaches	023429	Chaudière	3076
Montréal	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 21 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.

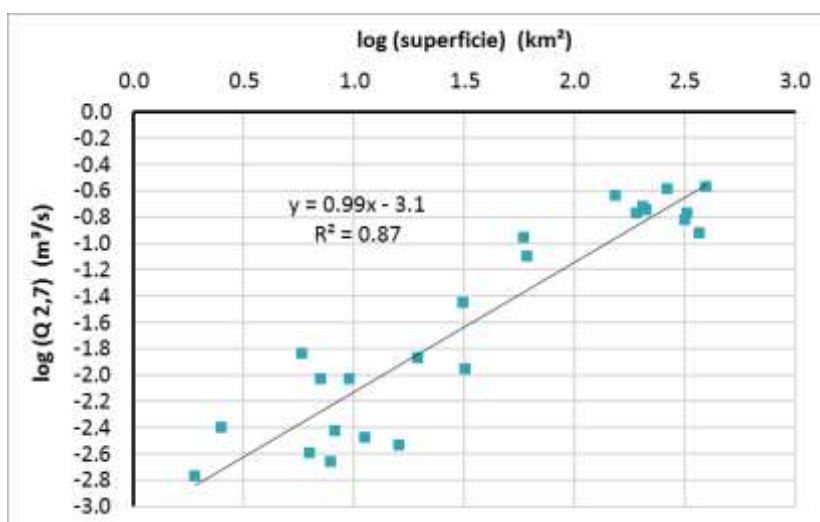
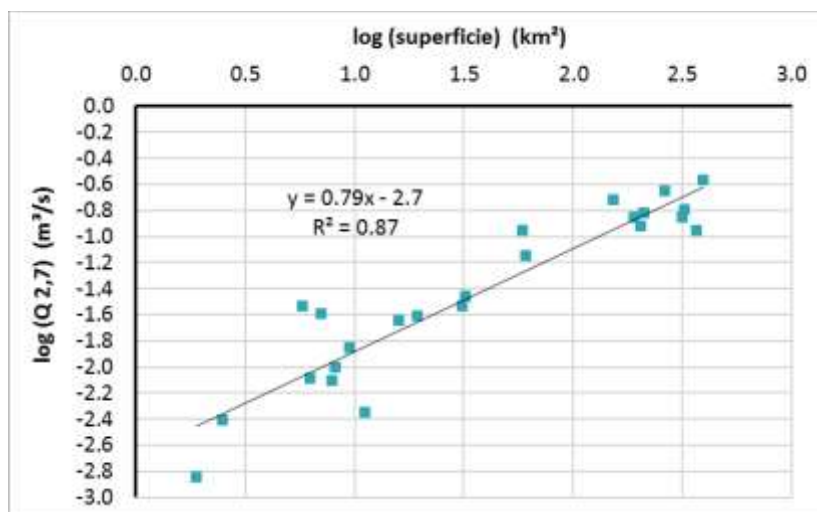


Figure 5.3

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). La contribution de d'autres variables (occupation forestière, précipitation annuelle moyenne et occupation des milieux humides) à l'explication des $Q_{2,7}$ a également été explorée, mais ne permettait pas d'améliorer de manière significative l'ajustement (R^2) du modèle de régression.

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 suivant 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. A 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 (cf 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 potable⁶⁹ en y intégrant la notion de seuil cumulatif par rapport au débit d'étiage⁷⁰.

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 versant, des corrections ont été apportées quant à l'exclusion de certains prélèvements dans l'analyse, de même que la correction de la localisation des sources d'eau de surface. Les prélèvements provenant du fleuve et des lacs ont de plus été ignorés dans les calculs des indices de pression sur l'eau de surface.

En particulier, les entreprises agricoles en production animale qui sont connectées au réseau de la régie de Grand-Pré, dans l'ouest de la Mauricie, ont été exclues du volume des ICI des municipalités correspondantes, pour éviter une double comptabilisation. Dans la région Capitale-Nationale, les prélèvements pour l'irrigation des pommes de terre ont été relocalisés dans le bassin de la rivière Jacques Cartier (au lieu de la rivière Portneuf tel qu'initialement mal localisés), et les ratios d'usage de l'eau de surface pour l'Île d'Orléans n'ont pas été calculés, puisqu'ils existent trop d'incertitudes sur les prélèvements réellement effectués dans les rivières de ce territoire, ainsi que sur les débits de celles-ci.

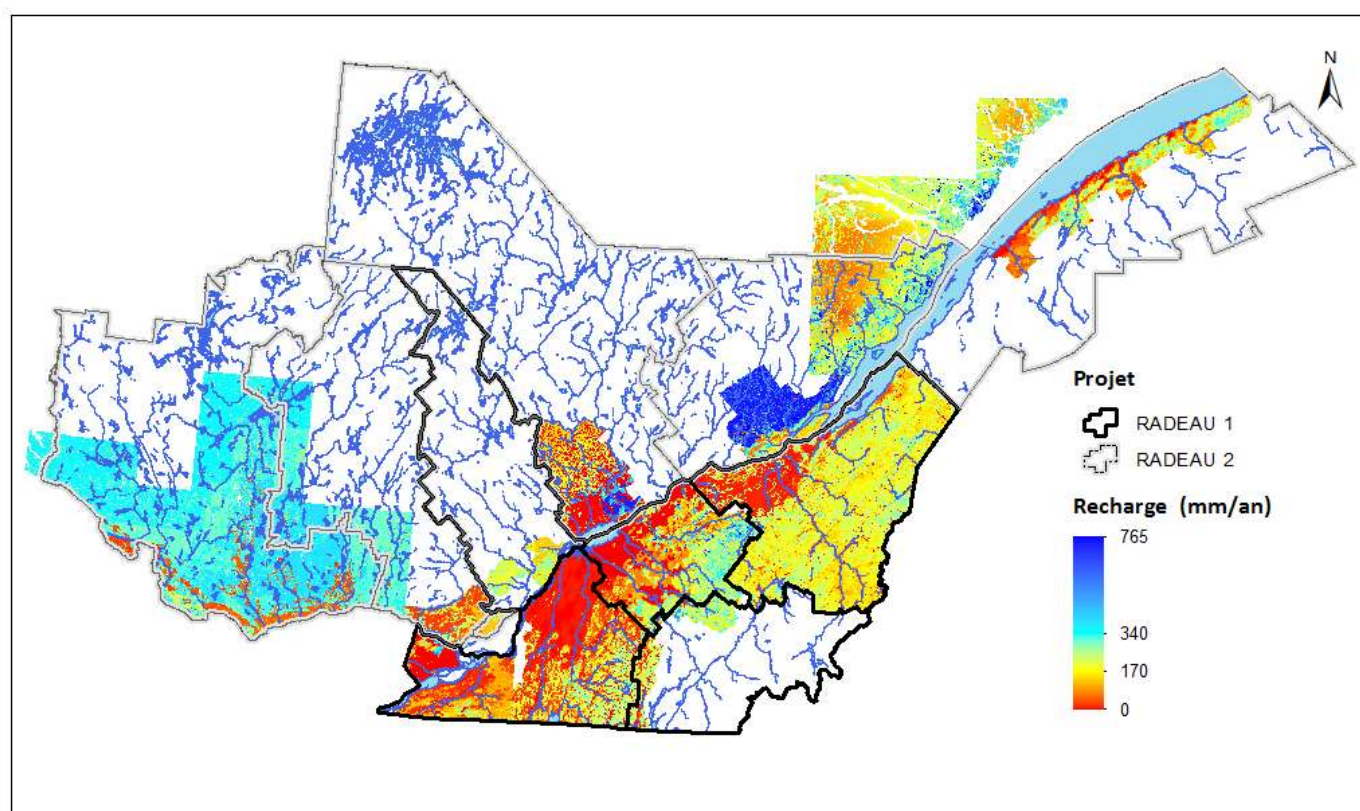
⁶⁹ <http://www.MELCC.gouv.qc.ca/eau/potable/guide/documents/volume1.pdf>

⁷⁰ 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.

5.2 EAU SOUTERRAINE

Les cartes de recharge de l'aquifère (mm/an) développées dans le cadre de différentes études ont été utilisées pour estimer l'intensité des prélèvements de l'eau souterraine. Les études du Programme d'acquisition des connaissances sur les eaux souterraines (PACES) de l'Outaouais (Comeau et al., 2013), du nord-est du Bas-Saint-Laurent (Buffin-Bélanger et al., 2015), du sud-ouest de la Mauricie (Leblanc et al., 2013), de la Communauté métropolitaine de Québec (Talbot et al., 2015), de Charlevoix, de Charlevoix-Est, de la Haute-Côte-Nord (Rouleau et al., 2013), ainsi que l'étude de l'estimation de la recharge de Laval et des Laurentides réalisée dans le cadre du projet RADEAU 2 (Raynauld et al., 2018) 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.



Sur la figure, la différence entre les études est observable. Si l'on s'intéresse par exemple en particulier à la frontière entre les Laurentides et l'Outaouais, on observe une coupure franche dans l'échelle des valeurs estimées.

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

- Pour l'Outaouais et la communauté métropolitaine de Québec, l'Université Laval a utilisé le modèle numérique HELP® (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) qui détermine l'infiltration verticale unidimensionnelle de l'eau dans la zone d'étude non saturée (maillage de 250 m par 250 m). La recharge est définie comme étant la hauteur d'eau traversant la stratigraphie de la cellule pour se rendre jusqu'au premier aquifère rencontré (aquifère de roc fracturé sauf s'il y a un aquifère régional

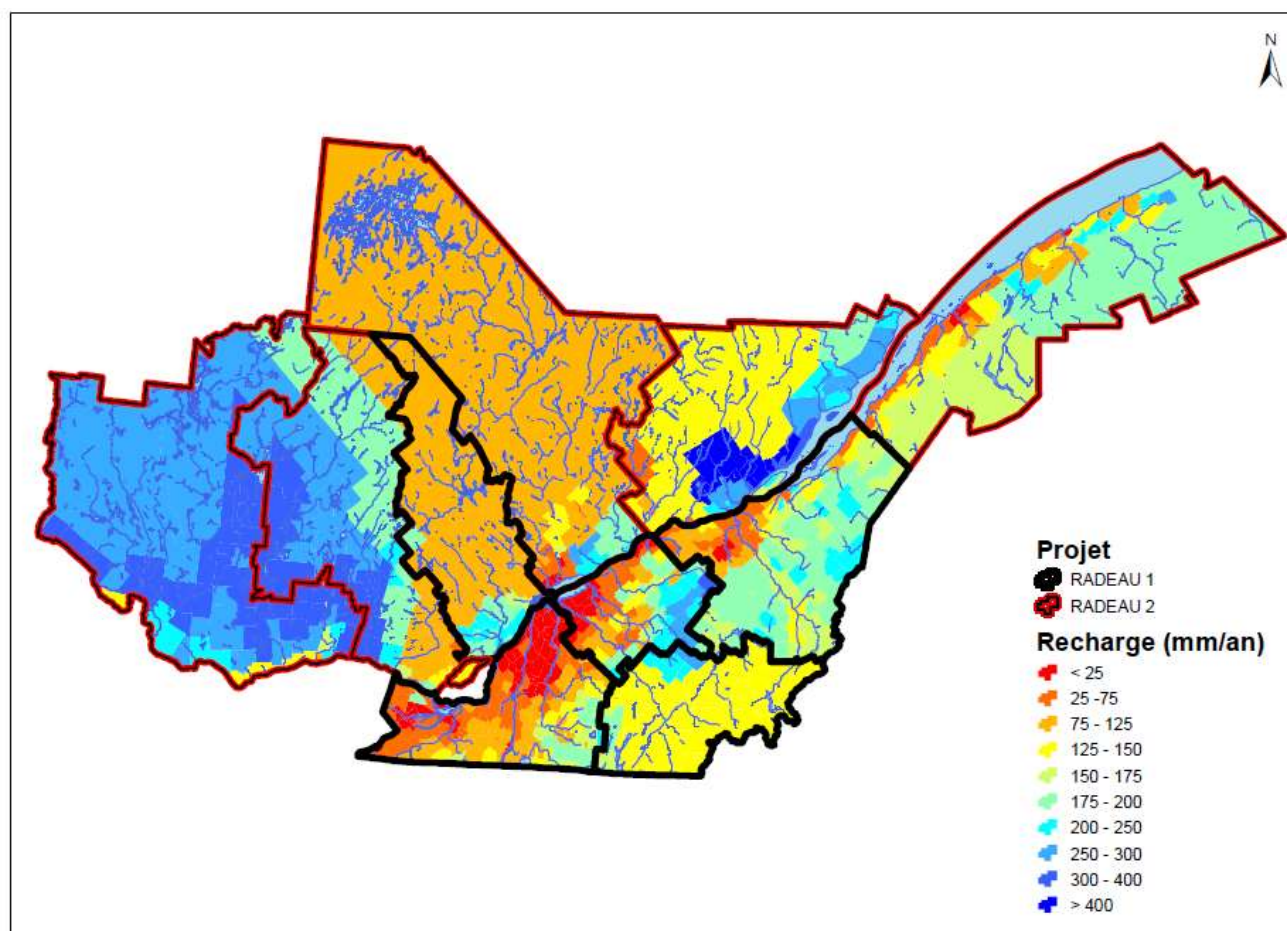
répertorié). La modélisation se base sur la distribution de la végétation, l'occupation du sol, les informations du territoire, de la géologie et des données météorologiques sur 30 années.

- L'INRS, pour le territoire de Laval et des Laurentides, a aussi procédé avec le logiciel HELP sur un maillage de 250 m par 250 m en se basant sur près de 60 ans de données météorologiques (cf annexe 6).
- Pour le nord-est du Bas-Saint-Laurent (UQAR), Charlevoix, Charlevoix-Est et la Haute-Côte-Nord (UQAC), la Communauté Métropolitaine de Québec (Université Laval), l'approche qui a été utilisée consiste à effectuer par bilan hydrologique (où $Recharge = Précipitation - Ruissellement - Évapotranspiration$) sur des cellules de 250 m par 250 m. Ce bilan est basé sur l'utilisation du territoire, les classes de sols et des moyennes annuelles de précipitations.
- L'UQTR a évalué la recharge du sud-ouest de la Mauricie pour un maillage de 100 m par 100 m en effectuant un bilan hydrologique tel qu'exposé précédemment. Ce bilan consiste à appliquer un coefficient de ruissellement (basé sur la texture des sols et la pente) aux apports verticaux annuels moyens et à y enlever l'évapotranspiration potentielle évalué en fonctions des températures moyennes maximales et minimales répertoriés sur 30 années.

Tous les modèles utilisent donc le même genre de paramètres généraux de bilan hydrique mais tendent à les évaluer différemment. Même si les résultats entre les études varient, la méthode retenue valorise toute la couverture des données de la Figure 5.4.

- Pour les municipalités couvertes à plus de 50 % de leur territoire par les études, une valeur de recharge moyenne par municipalité est calculée.
- Pour les municipalités dont la superficie couverte est inférieure à 50 % (dans les Laurentides, dans Capitale-Nationale et dans le Bas-Saint Laurent notamment), la valeur minimale de recharge dans les municipalités en périphérie a été utilisée. Cette hypothèse tend donc à brosser 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.

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



COMPARAISON DES RESSOURCES ET DES PRÉLÈVEMENTS

La formule utilisée pour déterminer l'intensité de la pression sur la ressource est la suivante :

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

L'estimation de la recharge est indépendante des prélèvements : la recharge se fera au même taux, que l'on pompe davantage ou non dans la nappe. Elle dépend plutôt des facteurs comme le climat, la topographie, la géologie, la végétation et les propriétés physiques des sols, telle que vues dans les modèles ci-haut.

Le seuil au-delà duquel les prélèvements sont considérés comme critiques est établi à 20 %⁷¹.

⁷¹ René Lefebvre, INRS, communication personnelle.

6. PRÉLÈVEMENTS EN CLIMAT FUTUR

Le chapitre suivant expose en détails la méthodologique utilisée pour quantifier les prélèvements d'eau futurs pour les différents usages (agricole, résidentiel et ICI) dans les six 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, ont été inspirés de différents scénarios d'évolution élaborés pour la présente étude.

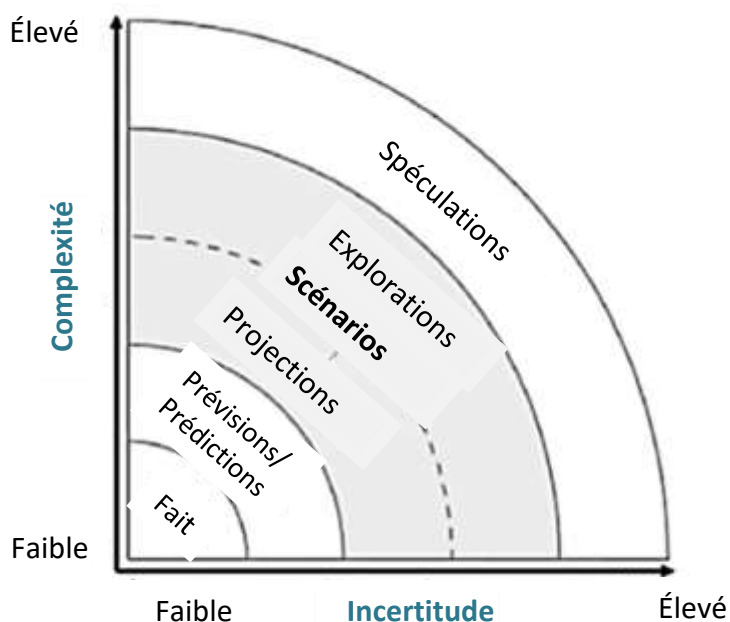
6.1 ÉLABORATION DES SCÉNARIOS D'ÉVOLUTION

Les prochaines sections présentent l'approche retenue pour articuler en 5 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 comportements d'acteurs pourraient évoluer dans le temps. Dans le cas de la présente étude, nous devons tenter d'évaluer comment 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 (cf Figure 6.1).

Figure 6.1
Approche par scénario pour ébaucher des 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 telle que celle de RADEAU. Cette approche consiste à littéralement raconter une histoire, c'est-à-dire à mettre en récit des futurs possibles, en assurant 4 critères pour chacune des « histoires ». Ainsi, les scénarios doivent :

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

Une telle approche peut conduire à la rédaction d'une multitude de scénarios, selon l'équipe de chercheurs/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 2^{ème} rencontre a permis, d'assembler ces différents facteurs et leur intensité pour concevoir 5 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 induire des changements de comportement, par exemple la taxation de l'eau), le développement industriel et agricole, la croissance démographique.
- Pour l'élaboration des scénarios, nous avons retenus les deux facteurs les plus incertains et se traduisant par des impacts sur les prélèvements, et avons choisi la direction vers laquelle les autres facteurs allaient évoluer. Puis nous avons déterminé l'impact de ces évolutions sur les prélèvements. Le fil conducteur des changements sont les changements climatiques. Les scénarios climatiques d'Ouranos (cf section 6.1.2) ont alors été combinés à nos scénarios narratifs.

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 aviseur afin d’être mis à l’épreuve. Notre choix, rappelons-le, était de ne pas proposer de scénarios extrêmes mais de 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, récréotouristiques.

6.1.2 SCÉNARIOS CLIMATIQUES⁷²

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 termes de précipitations cumulées sur la période 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 simulées dans les scénarios climatique de l’ensemble CMIP5⁷³ 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).

Pour la région de l’Outaouais, la station que nous avons retenue est Ottawa, puisque c’est la seule station météorologique d’Environnement Canada pour laquelle nous disposons de données suffisantes. Pour les Laurentides et Laval, nous avons retenu la station de Mirabel. Pour la Mauricie, nous avons retenu la station de Nicolet (au Centre-du-Québec, juste au sud de la Mauricie par rapport au fleuve Saint-Laurent), la station de Trois-Rivières présentant trop de données manquantes, et la seule autre station disponible (Shawinigan) étant située trop au nord en comparaison à la situation du territoire agricole de la Mauricie. Pour la région Capitale-Nationale, nous avons retenu la station de l’aéroport de Québec, et finalement pour le Bas-Saint-Laurent, celle de Mont-Joli.

Les cinq scénarios retenus sont présentés dans le Tableau 6.2:

⁷² Section écrite avec la collaboration de Guillaume Jégo et René Morissette d’Agriculture et Agro-Alimentaire Canada

⁷³ <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

Note : les scénarios de référence sont composés de données considérées comme historique (1981-2005) 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 cette valeur absolue, simulées dans le cadre des scénarios de référence et des scénarios de changement climatique (CC).

Tableau 6.3

Comparaison des températures moyenne 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)	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé (°C)	14.8	13.6	14	12.8	11.1
Différence entre simulé et observé (°C) pour la période 1981-2010	GFDLCM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 0.6	+ 0.1	0.0	+ 0.1	+ 0.1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 0.8	+ 0.1	0.0	0.0	+ 0.1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 0.9	+ 0.2	0.0	+ 0.2	+ 0.2
Différence entre les scénarios pour 2041-2070 et la période de référence simulée 1981-2010 (°C)	GFDL-CM3_rcp45	+ 4.1	+ 3.8	+ 4.4	+ 4.1	+ 4.2
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.2	+ 1.9
	MIROC5_rcp60	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.3	+ 2.3	+ 2.0
	MIROC5_rcp85	+ 3.6	+ 3.8	+ 4.1	+ 4.0	+ 3.6
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.1	+ 2.0
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en °C)		+ 2.5	+ 2.5	+ 3.0	+ 2.6	+ 2.4

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 0,9°C pour la station d'Ottawa (section du haut dans le tableau). Ces différences peuvent être considérées négligeables.

En ce qui concerne les scénarios de changement climatique, l'augmentation moyenne simulée est de plus de 2.4°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 comprise entre 3.8 et 4.4°C. Enfin, l'ensemble des scénarios est assez constant d'une station à l'autre en termes d'amplitude de changement, les principales différences observées étant entre scénarios et non entre stations.

Les scénarios climatiques utilisés sont issus de simulations réalisées avec différents modèles climatiques qui utilisent des forçages radiatifs représentant une accumulation plus (RCP⁷⁴ 8.5) ou moins importante (RCP 6.0 et 4.5) de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Dans la plupart des cas, les scénarios climatiques utilisant le RCP 8.5 se traduisent par la hausse de température la plus importante, mais parfois, la différence de

⁷⁴ Representative Concentration Pathways : il s'agit de trajectoires hypothétiques d'accumulation de GES dans l'atmosphère se traduisant par des accumulations plus ou moins importante d'énergie dans l'atmosphère. Plus le chiffre du RCP est élevé (4.5, 6.0 ou 8.5 W/m²), plus le RCP traduit une augmentation importante d'énergie.

représentation du système atmosphérique entre les modèles climatiques se traduit par une hausse de température plus importante pour une simulation réalisée avec le RCP 4.5 ou 6.0 qu'avec le RCP 8.5. Ce phénomène s'observe surtout à un horizon de temps aussi proche (2050, soit la période de simulation 2041-2070) où les RCP diffèrent encore peu. C'est ce que l'on peut observer avec le scénario GFDL-CM3_rcp45 qui entraîne une hausse de température plus importante que GFDL-ESM2G_rcp85.

Nous avons également analysé le nombre de jour 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	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé (nombre de jours) entre 1981 et 2010	13	8	9	4	1
Différence entre simulé et observé (nombre de jours) pour la période 1981-2010	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 3	+ 1	-2	0	-1
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 7	-1	-2	-1	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 1	0	-2	-1	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 1	0	-2	-1	-1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 8	0	-2	0	-1
Différence entre les simulations pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (nbre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	+ 38	+ 38	+ 45	+ 33	+ 17
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 10	+ 14	+ 14	+ 12	+ 7
	MIROC5_rcp60	+ 14	+ 13	+ 14	+ 10	+ 4
	MIROC5_rcp85	+ 26	+ 29	+ 32	+ 25	+ 12
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 11	+ 11	+ 11	+ 9	+ 4
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (jours)		+ 20	+ 21	+ 23	+ 18	+ 9

Dans le climat actuel, ce nombre de jour varie de 1 à Mont-Joli jusqu'à 13 à Ottawa. En climat de référence, le nombre de jour simulé est très proche, légèrement inférieur en moyenne pour la majorité des scénarios, sauf pour Ottawa où l'on observe un biais plus important entre les simulations de références et le climat observé. Dans les cinq scénarios de changements climatiques pour 2041-2070, ce nombre de jour augmenterait très fortement, d'au minimum environ 10 jours (le 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 dans certain cas 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.

Cette évolution semble relativement similaire pour les différentes régions sauf pour le Bas-Saint-Laurent, où elle serait plus faible. En moyenne, il s'agirait d'une augmentation d'une vingtaine de jours.

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

A 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. A 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 semis automatique des cultures dans les modèles de simulation des cultures.

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 0 et 5 jours dans la plupart des cas. En fonction des stations, il y a des différences parfois positives ou négatives. Nous pouvons retenir qu'au maximum, l'écart est de 9 jours pour la station d'Ottawa, montrant une nouvelle fois que les scénarios de référence sont légèrement différents du climat historique à Ottawa, légèrement plus froids.

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 le scénario MIROC5_rcp85 prévoit un allongement d'une quarantaine de jours.

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 termes 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 6.5

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	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé (nombre de jours) entre 1981 et 2010	206	194	196	186	169
Différence entre simulé et observé (nombre de jours) pour la période 1981-2010	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 5	0	+ 4	+ 4	+ 2
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 9	+ 2	0	+ 3	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 6	+ 2	+ 2	+ 5	-1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 6	+ 2	+ 2	+ 5	-1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 9	+ 5	+ 1	+ 5	+ 2
Différence entre les simulations pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (nbre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	+ 27	+ 24	+ 22	+ 26	+ 29
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 22	+ 20	+ 22	+ 18	+ 11
	MIROC5_rcp60	+ 20	+ 23	+ 17	+ 25	+22
	MIROC5_rcp85	+ 40	+ 44	+ 37	+ 44	+ 41
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 17	+ 20	+ 19	+ 21	+ 26
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (jours)		+ 25	+ 26	+ 23	+ 27	+ 26

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	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé pour la période 1981-2010 (DJ)	1253	1060	1073	947	698
Différence entre les observations et simulations pour 1981-2010 (DJ)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 76	+ 9	+ 17	-2	0
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 110	-1	+ 13	-12	-5
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 13	+ 3	+ 6	-4	-6
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 13	+ 3	+ 6	-4	-6
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 149	+ 29	+ 5	+ 13	+ 17
Différence entre les scénarios pour la période 1981-2010 et 2041-2070 (DJ)	GFDL-CM3_rcp45	+ 732	+ 658	+ 797	+ 710	+ 681
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 337	+ 340	+ 347	+ 342	+ 348
	MIROC5_rcp60	+ 335	+ 323	+ 353	+ 319	+ 262
	MIROC5_rcp85	+ 620	+ 615	+ 692	+ 627	+ 509
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 348	+ 345	+ 341	+ 305	+ 262
Moyenne de la différence entre 1981-2010 et 2041-2070 (en DJ)		+ 474	+ 456	+ 505	+ 460	+ 412

Les valeurs de degrés jours en base 10°C varient pour la situation actuelle, entre environ 700 et 1250 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 (sauf encore une fois pour la station d'Ottawa où ils sont sous-estimés). 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 : Ottawa et Nicolet), cette hausse serait autour de 500 DJ alors qu'elle serait comprise entre 400 et 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 de 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).

2. Évolution des précipitations

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

Les précipitations sont assez variables d'une station à l'autre : il a plu durant la période 1981-2010 en moyenne 743 mm à Québec d'avril à octobre contre et seulement 602 mm à Ottawa, soit environ 140 mm d'écart. Les scénarios de référence simulés sont assez proches des valeurs observées pour les stations de Nicolet et de Québec, mais sous estiment les précipitations pour les stations d'Ottawa, de Mirabel et de Mont-Joli. L'écart maximum observé concerne le scénario MIROC5_historical à Mont-Joli où l'écart moyen est de 88 mm, ce qui représente un écart 14% 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 65 mm suivant les stations, et surtout de 6mm à 87 mm en fonction des scénarios. A noter que l'évolution des précipitations est très variable pour le scénario MIROC5_rcp60 qui prévoit de très fortes augmentations pour Québec et Mont-Joli (environ 80 mm) et une augmentation beaucoup plus faible pour les stations plus à l'ouest (autour de 50 mm).

Si l'on analyse ces évolutions des cumuls de précipitation sur la durée du cycle de croissance cette fois-ci, on observe 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 (résultats non présentés ici).

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 de 2041-2070 (en mm)

	Précipitations cumulées d'avril à octobre (mm)	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale- Nationale)	Mont- Joli (Bas- Saint- Laurent)
	Observé	602	664	616	743	629
Différence entre les observations et simulations pour la période 1981- 2010 (en mm)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 37	+ 37	0	-8	+ 69
	GFDL- ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 29	+ 25	+ 2	+ 3	+ 69
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 52	+ 49	-3	+ 17	+ 88
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 52	+ 49	-3	+ 17	+ 88
	MRI- CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 27	+ 30	+ 2	+ 4	+ 83
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (en mm)	GFDL-CM3_rcp45	+ 44	+ 48	+ 31	+ 38	+ 6
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 63	+ 60	+ 53	+ 84	+ 43
	MIROC5_rcp60	+ 37	+ 52	+ 55	+ 87	+ 73
	MIROC5_rcp85	+ 43	+ 50	+ 46	+ 60	+ 60
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 35	+ 42	+ 42	+ 56	+ 59
Moyenne de la différence entre 1981- 2010 et 2041-2070 (en mm)		+ 45	+ 50	+ 45	+ 65	+ 48

Tableau 6.8

Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 20mm 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	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé	6.8	8.5	7.0	9.3	5.6
Différence entre les observations et simulations pour la période 1981-2010 (nombre de jours)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	0.0	+ 0.6	+ 0.2	- 0.9	- 0.2
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 0.4	0.0	-0.1	- 0.1	- 0.6
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 0.7	+ 0.7	+ 0.6	- 0.1	+ 0.2
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 0.7	+ 0.7	+ 0.6	- 0.1	+ 0.2
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	- 0.1	0.3	0.0	- 0.2	+ 0.2
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	- 0.4	+ 0.3	- 0.2	- 1.0	- 0.1
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 1.8	+ 1.1	+ 1.2	+ 2.5	+ 0.7
	MIROC5_rcp60	+ 0.7	+ 1.0	+ 0.9	+ 2.1	+ 1.9
	MIROC5_rcp85	+ 1.4	+ 1.7	+ 0.8	+ 1.8	+ 2.1
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 1.1	+ 1.4	+ 0.9	+ 0.9	+ 1.6

Un autre effet attendu en termes d'impact du changement climatique 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 6.8) et à 30 mm (Tableau 6.9).

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 5 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 (entre 1 et 2 événements de plus de 20 mm et environ 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 important, alors que le scénario MIROC5_rcp85 prévoit quant à lui une augmentation de plus de 2 épisodes de plus de 20 mm.

Dans le rapport du projet RADEAU 1, nous avons pu analyser d'autres variables telles que le vent, la radiation et l'humidité relative, qui nous avait permis d'estimer l'évapotranspiration potentielle selon la méthode de Penman. Cependant, pour 2 des 5 stations, nous n'avons pu obtenir ces données puisqu'elles n'ont pas été mesurées. Nous n'avons donc pas réalisé les comparaisons pour ces variables, qui s'avéraient par ailleurs peu concluantes pour le vent, la radiation et l'humidité relative dans le cadre des stations analysées dans le projet RADEAU 1.

Tableau 6.9

Comparaison du nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 30mm 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 30 mm	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
	Observé	2.5	3.1	2.3	3.6	1.8
Différence entre les observations et simulations pour la période 1981-2010 (nombre de jours)	GFDL-CM3_historical + GFDL-CM3_rcp45	+ 0.2	- 0.1	0.0	- 0.3	- 0.3
	GFDL-ESM2G_historical + GFDL-ESM2G_rcp85	+ 0.3	- 0.5	+ 0.4	- 0.6	- 0.6
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp60	+ 0.3	- 0.1	+ 0.1	- 0.3	+ 0.1
	MIROC5_historical + MIROC5_rcp85	+ 0.3	- 0.1	+ 0.1	- 0.3	+ 0.1
	MRI-CGCM3_historical + MRI-CGCM3_rcp85	+ 0.4	- 0.1	+ 0.2	- 0.2	- 0.1
Différence entre les périodes simulées 1981-2010 et 2041-2070 (nombre de jours)	GFDL-CM3_rcp45	+ 0.5	+ 0.5	+ 0.3	+ 0.6	+ 0.1
	GFDL-ESM2G_rcp85	+ 1.1	+ 0.8	+ 0.8	+ 1.2	+ 0.6
	MIROC5_rcp60	+ 0.4	+ 0.3	+ 1.0	+ 1.2	+ 0.9
	MIROC5_rcp85	+ 1.0	+ 1.2	+ 1.3	+ 1.5	+ 1.2
	MRI-CGCM3_rcp85	+ 0.7	+ 1.0	+ 0.7	+ 1.3	+ 0.9

3. Constats globaux

L'analyse des différentes variables montrent 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.

6.2 SECTEUR RÉSIDENTIEL

Tel que présenté dans la section 3.1 sur le bilan en climat actuel, nous obtenons une moyenne de 216 litres/personne/jour comme prélèvement actuel. C'est cette donnée de consommation moyenne que nous avons fait varier en climat futur. Pour les 5 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 :

- 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, lorsque pertinent, pour chacune des régions. Ces hypothèses ont été co-construites avec les acteurs locaux lors des rencontres régionales.

Tableau 6.10
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
Capitale-Nationale	737 857	+13 %	+30 %	+13 %	+30 %	+13 %
Laurentides	601 699	+29,5 %	+44 %	+24 %	+44 %	+24 %
Outaouais	389 100	+24,5 %	+49 %	+4,6 %	+4,6 %	+49 %
Laval	429 400	+32,5 %	+54 %	+13 %	+54 %	+13 %
Mauricie	268 200	+ 4 %	+15 %	-7 %	+15 %	-7 %
Bas-Saint-Laurent	199 534	-6 %	+4 %	-14 %	+4 %	14 %

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

COMPORTEMENT DE CONSOMMATION

En se basant sur la littérature disponible et des informations empiriques (québécoises ou européennes), nous avons également fait fluctuer la consommation moyenne par habitant, en se basant sur une utilisation typique de l'eau dans une résidence (utilisation extérieure, toilette, lavage, bain et douche, alimentation, (cf Tableau 6.11). En effet, il est 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 réglementations gouvernementales peuvent influencer les comportements de consommation. Par exemple, le déploiement de campagnes de sensibilisation jumelées à l'installation de compteur d'eau, ou de manière plus dissuasive la tarification de l'eau, peuvent entraîner des réductions de la consommation, récurrente ou ponctuelle. Ultimement, certains usages peuvent être interdits, pensons par exemple à l'arrosage des pelouses ou encore le remplissage des piscines.

Tableau 6.11
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 : 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'impact significatif 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 un impact sur la consommation d'eau (INRS 2002, Environnement Canada 2011)⁷⁵.
- 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 aux types d'équipements en place (réservoirs de toilette, laveuses à linge, lave-vaisselle, etc.) et du nombre d'utilisateurs.
- Pour l'utilisation extérieure, elle 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 au plan de l'utilisation de l'eau permettrait à elle seule d'économiser environ 25 % de la consommation actuelle dans les résidences⁷⁶.
 - 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.
- Sensibilisation⁷⁷ :
 - 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.
 - 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.

⁷⁵ Rapport 2011 sur la tarification municipale de l'eau : statistiques de 2009
Environnement Canada

⁷⁶ Hydro-Québec, Produits économiseurs d'eau et d'énergie (<http://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/eau-chaude/economiseurs-eau-energie.html>)

⁷⁷ <https://www.mamrot.gouv.qc.ca/grands-dossiers/strategie-quebecoise-deconomie-deau-potable/a-propos-de-la-strategie/>

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 (cf Tableau 6.12).

Tableau 6.12
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 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BESOINS EN EAU DU SECTEUR RÉSIDENTIEL

Selon les experts d'Ouranos consultés, il y a peu, voire pas d'impact du changement climatique sur les 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 termes 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 potable⁷⁸. 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 documenté⁷⁹.

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 et (cf section 6.1), nous avons développé des hypothèses d'évolution quant à certaines de ces variables :

- Les superficies en cultures qui nécessitent de l'irrigation ;
- La part de ces superficies qui seraient effectivement irriguée ;
- La hausse éventuelle des besoins en eau de chaque culture, impactant la régie de l'irrigation ;
- Le nombre d'animaux à abreuver ;
- L'impact du CC sur les besoins en eau des animaux ;

⁷⁸ Voir notamment l'étude d'OURANOS réalisée pour la Communauté métropolitaine de Québec : Rondeau-Genesse et al. Évolution du risque d'approvisionnement en eau potable sur le territoire de la communauté métropolitaine de Québec, 2017

⁷⁹ CERIU (2018) ; <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/rapport-2018-du-portrait-infrastructures-eau-municipalites-du-quebec-piemq>

- La nécessité de refroidir les étables et autres bâtiments d'élevage, certains systèmes pouvant 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 alimentés par la littérature consultée, des entrevues auprès de conseillers et intervenants, et finalement 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 2017, issues des fiches d'enregistrement des exploitations agricoles obtenues auprès du MAPAQ. Le Tableau 6.13 présente les superficies des cultures potentiellement irriguées, estimées à partir des données extraites de ces fiches.

Tableau 6.13
Détail des superficies cultivées (ha) par région, 2017

	Bas-Saint-Laurent	Capitale-Nationale	Laurentides	Laval	Mauricie	Outaouais
Autres cultures serre	3	2	4	4	1	2
Concombres serre	0	0	2	1	0	1
Fleurs annuelles serre	2	3	16	18	1	3
Laitues serre	0	0	5	0	0	0
Plants légumes caissettes serre	0	0	3	3	0	0
Plantes vivaces serre	0	0	6	1	1	0
Potées fleuries serre	0	1	5	11	0	1
Tomates serre	1	8	16	1	6	1
Bleuets corymbes ou géants	10	21	26	3	34	13
Canneberges	0	0	0	0	44	24
Fraises d'automne	2	130	148	3	5	3
Fraises convention,/haute densité	77	461	136	25	85	27
Framboises conventionnelles	21	48	115	10	21	21
Framboises automne	0	10	29	1	4	4
Melons et cantaloups	0	1	15	102	0	1
Pommiers nains	2	22	177	3	2	9
Pommiers semi nains	7	122	623	16	13	22
Asperges	4	24	10	0	176	5
Betteraves potagères	2	18	72	0	38	5
Brocolis	3	15	320	155	5	2
Choux	5	50	341	61	34	5

	Bas-Saint-Laurent	Capitale-Nationale	Laurentides	Laval	Mauricie	Outaouais
Choux fleurs	1	2	289	78	1	1
Citrouilles courges zuchinis	4	144	273	21	31	67
Concombres frais	1	26	12	78	3	4
Échalotes françaises	0	5	2	0	0	1
Épinards	1	1	1	0	0	2
Fines herbes	5	7	11	5	0	3
Oignons secs	3	15	16	20	2	3
Oignons verts	1	5	2	0	0	1
Poivrons	1	4	48	142	2	2
Pommes de terre frais	587	2285	178	0	1365	532
Pommes de terre semence	644	28	0	0	17	65
Pommes de terre croustilles	63	800	7	0	579	0
Pommes de terre prépelage	1	1444	0	0	0	0
Radis	1	2	3	0	1	1
Tomates frais	2	17	100	13	2	8
Haricots	0	14	0	0	48	0
Carottes	4	51	126	0	3	8
Mais sucré	6	387	554	323	276	84
Laitues	2	16	24	39	16	5
Gazon	105	539	958	17	445	424
Arbres feuillus conteneur	0	8	4	1	2	1
Arbustes conteneur	0	11	7	1	1	1
Autres horticulture conteneur	3	0	2	0	5	0
Conifères conteneur	12	10	18	3	12	0
Plantes vivaces/rosiers conteneur	0	8	5	1	2	1

Source : Fiches d'enregistrement du MAPAQ, 2017

CULTURE EN SERRE

Nous avons analysé l'évolution des superficies des serres sur la base des données de Statistique Canada disponibles⁸⁰. En ce qui concerne, les cultures légumières sous serre (tomate, concombre, laitue), 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 plants à destination des jardiniers, plantes en pots et 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 municipalités⁸¹. 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, tomates et laitues, et des plants de légumes, nous faisons l'hypothèse de hausse de la production dans tous nos scénarios. Étant donné les faibles superficies que cela représente actuellement,

⁸⁰ Tableau 001-0047, Statistique Canada, consulté en décembre 2017

⁸¹ 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.

nous avons considéré des hausses importantes d'ici à 2050 (cf. Tableau 6.14). 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 opération à l'heure actuelle, à terme, cela représentera pour ce seul projet une hausse de 300 % des superficies de production de concombre. En ce qui concerne les plantes en pots, vivaces, potées fleuries, etc., nous avons considéré qu'il n'y aurait presque pas d'évolution, la tendance de consommation *per capita* étant à la baisse, elle serait compensée par l'augmentation de la population et la demande croissante des municipalités, sauf dans le cas du scénario 5.

Tableau 6.14
Tendance passée et hypothèses d'évolution des légumes de serre,
hausse est 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%

FRUITS ET PETITS FRUITS⁸²

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 (cf Tableau 6.15).

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 supportée également 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.

⁸² L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section proviennent du Tableau 001-0009, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

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. Aussi, 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 hautes densités

Deux types de fraises sont regroupés dans cette catégorie : les fraises en rang natté et les fraises d'été cultivée 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 pu obtenir de chiffres précis sur les évolutions de superficie de fraises d'automne, étant regroupées avec les fraises d'été dans les statistiques. Néanmoins, ces dernières années, la tendance était à l'augmentation des superficies en fraise d'automne, et cette tendance pourrait se poursuivre à l'avenir. Cependant, la fraise d'automne ne tolère pas les trop grandes chaleurs et pourrait donc être amenée 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 fraise soit projetée en croissance.

Framboise conventionnelle et framboise d'automne

Les framboises conventionnelles et d'automne ne sont pas distinguées dans les statistiques. Cependant, la framboise cultivée au Québec est en majorité de la framboise conventionnelle, et les superficies cultivées sont en déclin depuis quelques années du fait de la difficulté de réussir la 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. Bien qu'il y ait 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 à 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 déploiements) 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 antérieures avec les données récentes en raison de méthodes de collecte qui diffèrent.

Tableau 6.15
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%
Fraise conventionnelle et hautes densités	-13% (2002-2017)	-30%	+10%	0	+5%	+5%
Fraise d'automne	Nd	+5%	+20%	0	+ 10%	+10%
Framboise conventionnelle 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 nain 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 ORNEMENTALE⁸³

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'alternatives à la pelouse auprès de leur population⁸⁴.

⁸³ L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section proviennent des Tableau 001-0060, Tableau 001-0049 et Tableau 001-0056, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

⁸⁴ C'est le cas par exemple de la ville de Beloeil, qui a même développé un guide à cet effet : https://beloeil.ca/wp-content/uploads/Guide-gazon2012_V5.pdf

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 conteneur (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 conteneur sur la base de l'évolution récente et de la croissance de la population pour chacun de nos scénarios, tel que présenté dans le Tableau 6.16. Aussi, tel que mentionné, la demande croissante des municipalités qui sont plus actives en verdissement des espaces publics contribuent à dynamiser le secteur.

Tableau 6.16
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%

LÉGUMES DE PLEIN CHAMP⁸⁵

La superficie cultivée en légume de plein champ a diminué entre 1996 et 2016 de 7 %. Cependant, cette baisse généralisée des superficies cultivées cache des disparités importantes entre les productions. Nous détaillons donc les informations que nous avons pu recueillir pour chacun des légumes de plein champ dans les paragraphes ci-dessous et résumons les hypothèses que nous avons formulé dans le Tableau 6.17 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 entrainera une hausse de la demande, et probablement donc une hausse de la superficie cultivée en fruits et légumes. A 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 (cf Tableau 6.17):

- 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.

⁸⁵ L'ensemble des tendances d'évolution de superficie de cette section proviennent du Tableau 004-0003, Statistique Canada, consulté en décembre 2017.

Tableau 6.17
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.

Asperge

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

Betteraves, Choux fleurs, choux, courges et zucchinis

La production de choux serait en croissance, notamment les choux d'origine asiatique⁸⁶. Les choux fleurs seraient également en croissance. En ce qui concerne les courges et zucchinis, ce sont ces derniers 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.

Concombre 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 progressés. Dans les trois cas, nous avons tablé sur une stabilité des superficies cultivées.

Poivrons

⁸⁶ https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/96662?utm_source=petits_fruits2018-01-12&utm_medium=courriel&utm_campaign=ABO

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

Radis

La superficie a peu évolué, nous l'avons donc considérée 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.

Haricots

Les superficies ont beaucoup diminué sur la période 2002-2016, cependant, depuis quelques années, on assiste 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 du pois ont connu une baisse au cours de la période 2002-2016. Cependant, nous avons retenu l'hypothèse de croissance pour ces cultures du fait de marchés en développement, principalement dans la transformation, notamment en agriculture biologique⁸⁷.

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.

⁸⁷ 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, maïs et haricots.

Tableau 6.18
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
Asperge	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%	+25%	+35%	+35%
Choux fleurs	18% (2002-2016)	0	+50%	+25%	+35%	+35%
Courges et zucchini	20% (2002-2016)	0	+50%	+25%	+35%	+35%
Concombre frais	-47% (2004-2010)	0	0	-15%	-5%	-5%
Échalotes françaises	Nd	0	+10%	0	+5%	+5%
Fines herbes	-11% (2002-2016)	0	+50%	+25%	+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%
Tomate 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'analysé dans la section 6.1.2, devrait augmenter, entraînant une hausse des besoins en eau des cultures. Dans certain cas, cela devrait se traduire par une augmentation des besoins en eau d'irrigation. De plus, dans une majorité de région 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. Pour réaliser ces hypothèses de développement des superficies, nous avons distingués les scénarios climatiques selon leurs impacts sur le déficit hydrique estival.

Dans les scénarios 2 et 4, qui correspondent aux scénarios climatiques MI58 et MR3 (cf 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 superficie irriguée de chaque culture cf. Tableau 6.19). Ces hypothèses ont été réalisées sur la base des informations obtenues des différents conseillers contactés 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) (cf 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 6.19
Pourcentage des superficies cultivées irriguées pour les scénarios 2 et 4

% des superficies irriguées	Bas-Saint-Laurent	Capitale-Nationale	Laurentides	Laval	Mauricie	Outaouais
Autres cultures serre	100% ²	100%	100%	100%	100%	100%
Concombres serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Autres fleurs coupées serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fleurs annuelles serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Laitues serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Plants légumes caissettes serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Plantes vertes serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Plantes vivaces serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Potées fleuries serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Roses coupées serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tomates serre	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Bleuets corymbes/géants	100% (75%) ¹	100% (75%)	75% (50%)	100%	100% (75%)	100%
Canneberges	100%	-	-	-	-	100%
Fraises d'automne	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Fraises conventionnelles et haute densité	100%	100% (75%)	75% (66%)	100%	100% (90%)	100%
Framboises conventionnelles	50% (40%) ¹	100%	25% (20%)	100%	100% (80%)	100% (75%)

% des superficies irriguées	Bas-Saint-Laurent	Capitale-Nationale	Laurentides	Laval	Mauricie	Outaouais
Framboises automne	-	100%	100%	100%	100%	100%
Melons et cantaloups	-	-	-	100%	-	100%
Pommiers nains	0%	25% (10%)	100%	75% (50%)	0 %	100%
Pommiers semi nains	0%	25% (10%)	75% (50%)	25% (20%)	0%	75% (50%)
Asperges	75% (50%)	0%	0%	0%	0%	0%
Betteraves potagères	75% (50%)	100%	0%	0%	0%	0%
Brocolis	75% (50%)	100%	100%	75% (50%)	100%	100%
Choux	75% (50%)	100% (90%)	0%	0%	100%	100%
Choux fleurs	75% (50%)	100%	100%	75% (50%)	100%	100%
Citrouilles courges zucchinis	75% (50%)	25% (20%)	50% (25%)	100%	0%	0%
Concombres frais	75% (50%)	100%	100%	100%	100%	100%
Échalotes françaises	-	100%	0%	0%	0%	0%
Épinards	75% (50%)	100%	100%	0%	0%	100%
Fines herbes	75% (50%)	100%	100%	75% (50%)	0%	100%
Oignons secs	75% (50%)	75% (66%)	100%	100%	100%	100%
Oignons verts	75% (50%)	100%	100%	0%	0%	100%
Poivrons	75% (50%)	100	100%	100%	100%	100%
Pommes de terre frais	25% (20%)	40% (20%)	0%	0%	50% (33%)	0%
Pommes de terre semence	25% (20%)	40% (20%)	0%	0%	50% (33%)	0%
Pommes de terre croustilles	25% (20%)	40% (20%)	0%	0%	50% (33%)	0%
Pommes de terre prépelage	25% (20%)	40% (20%)	0%	0%	50% (33%)	0%
Radis	75% (50%)	0	0%	0%	0%	0%
Tomates frais	75% (50%)	100%	100% (75%)	100%	100%	100% (75%)
Haricots	0	100%	75% (50%)	0%	0%	0%
Carottes	0	100%	0%	0%	0%	0%
Mais sucré	0	25% (2%)	50% (25%)	25% (15%)	0%	50% (25%)
Laitues	75% (50%)	100%	100%	100%	100%	100%
Pois	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Gazon	0%	0%	0%	25% (10%)	0%	0%
Arbres feuillus conteneur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Arbustes conteneur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Autres horticulture conteneur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Conifères conteneur	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Plantes vivaces et rosiers conteneur	100%	100%	100%	100%	100%	100%

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

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

3. Impacts du changement climatique sur les besoins en eau pour les cultures

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

DÉFICIT HYDRIQUE ESTIVAL

Climat actuel

Le Tableau 6.20 présente les précipitations moyennes observées durant les mois de juin à août dans des 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 STICS⁸⁸ (présenté dans l'annexe 5) pour la même période. En soustrayant l'évapotranspiration potentielle aux précipitations, nous calculons le déficit hydrique estival potentiel. À noter qu'il n'a pas été possible de trouver dans les données d'Environnement Canada une station météorologique présentant une série de données complète pour la période 1981-2010 incluant des données de radiation solaire pour la région de la Mauricie, ainsi que pour Laval. Pour la Mauricie, nous avons choisi d'utiliser les données de la station de Nicolet située au Centre-du-Québec juste au sud du fleuve Saint-Laurent, et pour Laval, les données de la station de Mirabel (Aéroport).

La région présentant le déficit hydrique estival potentiel le plus important est l'Outaouais, avec un déficit moyen de 119 mm estimé pour Ottawa, suivie des régions du Bas-Saint-Laurent et des Laurentides/Laval et de la Mauricie, qui atteignent un déficit estival de 90, 87 et 76 mm respectivement. La Capitale-Nationale diffère des autres régions puisque les précipitations estivales y atteignent presque l'évapotranspiration durant la période de juin à août. À noter que la principale différence entre ces 6 régions est liée aux précipitations, l'évapotranspiration potentielle variant seulement de 25mm entre l'Outaouais où elle est plus importante et le Bas-Saint-Laurent où elle est plus faible.

Tableau 6.20

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

(mm)	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale- Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint- Laurent)
Precipitations de juin à août (ENV. CAN.) (Po)	250	278	279	340	257
ETP STICS juin à août (ES)	369	368	355	345	344
Moyenne de P – ETP	-119	-90	-76	-5	-87

⁸⁸ 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 (cf. section 6.1.2).

Pour estimer les précipitations et l'évapotranspiration future, 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 6.21 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. Les scénarios MR3 et MI56 simulent quant à eux des légères hausses des précipitations estivales pour toutes les stations.

Tableau 6.21
Évolution simulée des précipitations sur la période de juin à août¹

Variation des Précipitations estivales entre 1981-2010 et 2041-2070	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale- Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint- Laurent)
GFG (%)	-4	-3	-3	6	4
MI56 (%)	6	10	1	5	3
MI58 (%)	-4	-3	-8	-7	-5
MR3 (%)	3	5	6	12	9
GFG (mm)	-11	-9	-9	+21	+10
MI56 (mm)	+15	+28	+3	+17	+9
MI58 (mm)	-9	-9	-23	-22	-13
MR3 (mm)	+8	+14	+17	+39	+24

Le Tableau 6.22 présente les évolutions simulées de l'ETP par 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 MI56 simulent une hausse moyenne de 8 %, alors que le scénario GFG simule une hausse de 10 % de l'ETP et MI58 de 14 %. Ces scénarios se traduiraient donc par une hausse de l'ETP variant d'une vingtaine à près d'une soixantaine de mm sur la période estivale.

Tableau 6.22
Évolution simulée de l'ETP sur la période de juin à août¹

Variation de L'ETP estival entre 1981-2010 et 2041-2070	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)	Moyenne
GFG (en %)	6%	9%	9%	11%	15%	10%
MI56 (en %)	5%	7%	9%	9%	10%	8%
MI58 (en %)	11%	12%	16%	15%	17%	14%
MR3 (en %)	8%	9%	9%	8%	7%	8%
GFG (en mm)	+22	+33	+33	+38	+50	
MI56 (en mm)	+19	+27	+33	+30	+36	
MI58 (en mm)	+39	+44	+56	+51	+57	
MR3 (en mm)	+30	+34	+31	+28	+25	

¹Calculs réalisés à partir des données fournies par Ouranos, 2018.

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 à la période de référence sur la base des observations en appliquant le % de changement des quatre premières lignes.

Le Tableau 6.23 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 6.23
Évolution simulée du déficit hydrique (P-ETP) sur la période de juin à août (2041-2070¹)

		Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
Variation de P-ETP entre 1981-2010 et 2041-2070 (en MM)	GFG	-33	-42	-42	-18	-41
	MI56	-4	1	-29	-13	-27
	MI58	-48	-53	-78	-73	-70
	MR3	-23	-21	-14	11	-2
P-ETP simulé pour la période 1981-2010 (en Mm)		-119	-90	-76	-6	-87
P-ETP estival simulé pour 2041-2070 (en mm)	GFG	-152	-132	-118	-18	-128
	MI56	-124	-89	-105	-13	-114
	MI58	-167	-143	-154	-73	-157
	MR3	-142	-111	-90	6	-89

¹Calculs réalisés à partir des données fournies par Ouranos, 2018.

Les quatre premières lignes présentent la variation en mm du P-ETP pour 2041-2070 en comparaison à 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 de 18 à 42 mm pour GFG et entre 48 et 78 mm pour MI58. Les deux autres scénarios ont des tendances moins claires, MI56 entraînant un déficit hydriques estival légèrement plus important pour toutes les stations sauf Mirabel, et MR3 un déficit également légèrement plus important pour toutes les stations sauf pour Québec où il serait plus faible et Mont-Joli où il serait stable. A noter qu'en Outaouais, quel que soit le scénario, le déficit hydrique

atteint des valeurs importantes (entre 124 et 167mm de déficit estival). Le déficit hydrique atteindrait également des valeurs élevées à la station de Mirabel, de Nicolet et de Mont-Joli. Il n'y a qu'à Québec qu'il resterait dans des gammes de valeur plus faibles. Les valeurs de déficit hydrique atteintes pour les 4 stations sauf Québec auraient 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 à l'aide du modèle de culture STICS. Les détails concernant la réalisation de ces simulations en climat actuel sont présentés dans l'annexe 5. Les autres modèles qui avaient été utilisés dans le cadre du projet RADEAU1 n'ont pas été utilisés pour les régions de RADEAU 2 puisque les cultures pour lesquelles des simulations avaient été réalisées ne sont pas cultivées dans les 6 régions de RADEAU 2. La pomme de terre nous a servi de plante modèle pour évaluer la tendance générale d'évolution des besoins en eau pour les cultures du fait des changements climatiques dans les six régions à l'étude.

SIMULATIONS POUR LA POMME DE TERRE AVEC STICS

Le modèle STICS a été utilisé pour réaliser des simulations des rendements potentiels de la pomme de terre (en condition non limitante en azote) et des besoins en eau d'irrigation, en climat actuel et en climat futur. 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. Comme l'analyse de la section précédente l'a montré, le climat futur se distinguera de l'actuel notamment en termes de déficit hydrique, mais aussi en termes de longueur de saison de croissance. Celle-ci devrait en effet démarrer plus tôt et terminer plus tard (voir 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 études⁸⁹ en modélisation, deux principales stratégies d'adaptation sont souvent considérées : le décalage de la date de semis, pour s'adapter au climat futur, et le changement de variétés.

Dans le cas de la pomme de terre, nous avons réalisé les hypothèses suivantes :

- Variété : nous avons utilisé la même variété (Russet Burbank) calibré par Morissette et al., 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 de semis : nous avons avancé la date de semis en fonction de l'allongement de la saison de croissance, estimé dans la section 6.1.2. Par exemple, pour le scénario GFG à Ottawa, la date a été avancée de 11 jours, pour un semis en climat futur le 29 avril à la place du 10 mai en climat historique et de référence (cf Tableau 6.24).

⁸⁹ 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 6.24
Dates de semis utilisées pour les simulations avec le climat historique,
les climats de référence et le climat futur, jours juliens

	Scénario climatique	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides et Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale-Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint-Laurent)
Date de semis en climat historique et de référence 1981-2010	OBS	130	130	132	136	141
Date de semis pour les climats futurs	GFG	119	121	123	126	142
	MI56	119	119	123	124	131
	MI58	110	108	113	115	124
	MR3	126	125	125	128	134

Le Tableau 6.25 résume les résultats obtenus en termes d'évolution des besoins en eau pour l'irrigation de la pomme de terre. Il s'agit ici des moyennes des résultats obtenus pour les différents types de sol, tel que présentés dans l'annexe 4. Les résultats varient beaucoup d'une station à l'autre, et d'un scénario à l'autre. Actuellement, dans les six régions, les principaux bassins de production de pommes de terre se trouvent en Mauricie, dans Capitale-Nationale et au Bas-Saint-Laurent. Nous discutons ci-dessous des résultats pour ces 3 régions, sachant que pour les 3 autres régions, les tendances sont similaires.

Pour la Mauricie (station de Nicolet) où les pommes de terre sont fréquemment irriguées car les sols sont légers (sableux), le scénario MI58 entraînerait des besoins en eau plus importants de 44 mm par an, en comparaison au volume actuel simulé à 126 mm. Les trois autres scénarios entraînent des hausses plus modérées des besoins en eau d'irrigation, autour de 20 mm par an.

Pour Capitale-Nationale (station de Québec), les besoins en eau simulés dans le climat historique sont moins élevés qu'en Mauricie, à 92 mm par an en moyenne. Cette différence est due à la fois à la différence de climat, mais aussi aux types de sol de la région Capitale-Nationale, qui en particulier à l'Îles d'Orléans, ont une meilleure rétention en eau. Comme dans le cas de la Mauricie, la variation simulée entre le climat de référence et le climat futur est importante pour le scénario MI58, puisque la hausse par rapport au climat historique simulé atteindrait 52 mm. Les trois autres scénarios entraîneraient des hausses plus modestes des besoins en eau d'irrigation, situées entre 20 et 25 mm environ.

Pour le Bas-Saint-Laurent (station de Mont-Joli), les besoins en eau simulés en climat historique sont de 76 mm. C'est dans cette région que la hausse des besoins en eau pourrait être la plus importante, puisque pour le scénario MI58 elle atteindrait 57 mm et pour le scénario GFG 34 mm. Pour les deux autres scénarios climatiques, les simulations montrent une hausse des besoins en eau d'irrigation plus faible.

Pour la pomme de terre, les besoins en eau seraient donc systématiquement en hausse dans les six 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 aux rendements simulés pour la période historique, conformément aux projections établies par Morissette et al. (2016)⁹⁰.

Tableau 6.25
Estimation des besoins en eau futurs pour la pomme de terre à partir des résultats
des simulations réalisées avec le modèle STICS

Volume d'irrigation	Ottawa (Outaouais)	Mirabel (Laurentides)	Mirabel (Laval)	Nicolet (Mauricie)	Québec (Capitale- Nationale)	Mont-Joli (Bas-Saint- Laurent)
Simulation en climat historique (mm)	159	63	57	126	92	76
GFG - référence (mm)	163	65	61	135	71	86
GFG - 2050 (mm)	175	92	85	155	93	123
Delta GFG (%)	8%	41%	41%	14%	28%	45%
Projeté GFG (mm)	172	89	80	145	118	109
Volume supplémentaire GFG (mm)	13	26	23	18	26	34
MI56 - référence (mm)	162	74	63	137	73	91
MI56 - 2050 (mm)	175	89	80	156	97	123
Delta MI56 (%)	8%	22%	27%	14%	28%	38%
Projeté MI56 (mm)	172	77	72	144	118	104
Volume supplémentaire MI56 (mm)	13	14	15	18	26	28
MI58 - référence (mm)	162	74	63	137	73	91
MI58 - 2050 (mm)	199	117	113	184	119	156
Delta MI58 (%)	23%	62%	80%	35%	56%	76%
Projeté MI58 (mm)	195	103	102	171	144	133
Volume supplémentaire MI58 (mm)	36	39	45	44	52	57
MR3 - référence (mm)	163	68	63	135	74	97
MR3 - 2050 (mm)	183	85	81	159	90	111
Delta MR3 (%)	12%	25%	28%	17%	19%	16%
Projeté MR3 (mm)	178	79	73	148	110	88
Volume supplémentaire MR3 (mm)	19	16	16	22	18	12

⁹⁰ 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. [10.2134/agronj2016.02.0112](https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0112)

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

Comme développé dans les paragraphes précédents, pour certaines cultures irriguées, nous avons pu estimer le volume supplémentaire d'eau d'irrigation nécessaire du fait du changement climatique. 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 dans 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 (cf Tableau 6.26) et 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 al., 2017⁹¹, qui caractérise l'efficacité pour trois épisodes entre 22 et 51 %), mais étant donné l'évolution du régime de précipitations attendus (plus d'événements de précipitations intenses, d'une intensité plus élevée⁹², sur des sols secs⁹³), cette valeur nous a semblé réaliste.

Tableau 6.26
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 hypothèse d'évolution des besoins
Serre	NA	Pas d'évolution car l'évapotranspiration est déterminée par le rayonnement
Bleuets	1 (Source : MAFF ⁹⁴)	Base ETP-0.8*P
Fraises conventionnelles	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Fraises hautes densité et fraises d'automne	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P car les précipitations profitent peu à la culture du fait 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 ⁹⁵)	Base ETP-0.8*P

⁹¹ https://culturinnov.qc.ca/sites/culturinnov.qc.ca/files/conference_irrigation_camerise_granby_27_avril_2017_final.27_avril.pdf

⁹² Mailhot, A., Bearegard, 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

⁹³ Voir <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/SynthesePartie1.pdf>

⁹⁴ <ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ad/EMS/Anita/MSCreports/msc/cropcoeff.pdf>

⁹⁵ <http://www.agrometeo.fr/Irrigation.asp>

Culture	Valeur maximale du coefficient cultural Kc	Base pour hypothèse d'évolution des besoins
Melons et cantaloups	1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P car les précipitations profitent peu à la culture du fait 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 du fait de la faible réserve en eau du contenant
Asperge	0.95 (Source : MAFF)	Pas d'évolution car la pratique actuelle de l'irrigation a lieu au printemps pour la qualité, pas en cas de stress hydrique
Betteraves	1,05 (Source : FAO ⁹⁶)	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 zucchini	0,95-1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Concombre frais	1 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P car les précipitations profitent peu à la culture du fait du couvert plastique
Échalotte française	1,05 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Épinards	1 (Source : FAO)	Base modèle laitue
Fines herbes	1,05 (Source : Agrilife extension)	Base laitue
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 du fait du couvert plastique
Pommes de terre	1,15 (Source : MAFF)	Modèle Pommes de Terre
Radis	0,9 (Source : MAFF)	Base ETP-0.8*P
Tomate 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 haricot
Laitues	1 (Source : MAFF)	Modèle laitue
Mais sucré	1,15 (Source : MAFF)	Base ETP-0.25*P car les précipitations profitent peu à la culture du fait 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 al. (2004)⁹⁷ concluait qu'en climat futur, les risques de gel devraient rester semblables pour le sud du Québec, et être moindre 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.

⁹⁶ <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0b.htm#tabulated%20kc%20values>

⁹⁷ 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.

1. Évolution du nombre d'animaux au Québec

Nous avons dans un premier temps analysé les tendances récentes⁹⁸. La première colonne du Tableau 6.27 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 moutons sont en forte augmentation, tout comme les chèvres et poules et poulets. Les autres types de volailles sont en diminution. Pour nos cinq scénarios, nous avons réalisé des hypothèses d'évolution cohérente avec les narratifs présentés dans la section 6.1.1. Ces hypothèses sont communes à toutes les régions.

Pour ce qui est des bovins laitiers, nous avons considéré une tendance à la poursuite de la réduction des effectifs, notamment du fait 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 stables.

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 considèrent 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, du fait de la demande toujours croissantes des consommateurs pour ce type de protéine, sauf dans le cas du scénario 3 où nous avons considéré le cheptel stable.

Tableau 6.27
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%

⁹⁸ 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)

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

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

La hausse de température liée au changement climatique 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 via 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 al., (2012)⁹⁹, la consommation des animaux augmenterait de l'ordre de 6 à 7 % de plus pour chaque degrés 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, telle qu'attendu 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 basses 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 réalisés 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)¹⁰⁰ ont défini l'équation suivante pour estimer les besoins en eau des porcs :

$$\text{Besoin en eau en L/jour} = 0.2 * T \text{ (en } ^\circ\text{C)} + 2.59$$

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.

⁹⁹ Denery, G. et al., 2012. L'eau en élevage avicole : une consommation maîtrisée. ITAVI, France 34p.

¹⁰⁰ 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 faible (Pouliot et al. 2013¹⁰¹) : 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 dans Chaudière-Appalaches.

PRODUCTION BOVINE

Selon la Pr. E. Charbonneau (ULaval, 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 lactation¹⁰². 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 * 150 jours).

Pour ce qui est du refroidissement des bâtiments, selon le professeur S. Fournier (ULaval, communication personnelle), plusieurs techniques existent en Amérique du Nord (voir Tableau 6.28). Celle qui semble le plus prometteur 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 dans Chaudière-Appalaches.

¹⁰¹ 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.

¹⁰² Dany Cinq-Mars, 2001. L'eau. 12p. <https://www.agrireseau.net/bovinslaitiers/Documents/Eau1.pdf>

Tableau 6.28
Valeur de référence de consommation d'eau de différents systèmes de refroidissements des bâtiments
d'élevage laitier, issues de différentes études ¹

Référence	Région	Brumisation		Aspersion	
		Valeurs originales	Valeurs converties (L/j/vache)	Valeurs originales	Valeurs converties (L/j/vache)
Lin et al. (1998) ¹⁰³	Alabama	200-530 L/j/12 vaches	17-44	2053-5348 L/j/12 vaches	171-448
Shearer et al. (1999) ¹⁰⁴ + Jones et Stallings (1999) ¹⁰⁵	Floride et Virginie	3-5 gal/j/vache	11-19	50-100 gal/j/vache	189-378
Holmes et al. (2013) ¹⁰⁶	Iowa			0,35 gal/cycle/vache	127
House (2016) ¹⁰⁷	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)¹⁰⁸. La croissance du secteur demeure toujours sous contrainte. En effet, suivant les démarches de la STRADDAQ, une grille d'analyse environnementale pour les piscicultures a été implantée en 2014 par le ministère 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 rejet afin de pouvoir 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

¹⁰³ 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, 177–182.

¹⁰⁴ 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.

¹⁰⁵ Jones, G.M.; Stallings, C.C. Reducing Heat Stress for Dairy Cattle; Virginia Cooperative Extension: Blacksburg, VA, USA, 1999; pp. 1–6.

¹⁰⁶ 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.

¹⁰⁷ House, H.K. Dairy Housing—Ventilation Options for Free Stall Barns. Available online: <http://www.omafr.gov.on.ca/english/engineer/facts/15-017.htm> (accessed on 6 May 2016).

¹⁰⁸ La stratégie peut être consultée au lien suivant : https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/straddaq_table_filiere.pdf

vient aussi s'ajouter la nécessité d'acquiescer un permis de prélèvement d'eau pour les préleveurs utilisant plus de 75 m³/j tel qu'indiqué par la Loi sur la qualité de l'environnement (art 31.75, voir 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 piscicole 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 SECTEUR 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 procédé industriel plus efficace.

Nous avons fait varier ces hypothèses et les avons combinées de différentes façons en cohérence avec chacun des 5 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 papier, 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 de pâtes et papier est la seule industrie pour laquelle les données sur les quantités produites sont disponibles¹⁰⁹. Le volume de production pour ce secteur équivaut à la quantité (en tonnes métriques) des pâtes, papiers et cartons produits au Québec. Nous avons 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 régions¹¹⁰.

¹⁰⁹ Le ministère Forêts, Faune et Parcs (MFFP) publie annuellement le portrait statistique de l'industrie forestière qui présente les principales statistiques de l'industrie des pâtes et papier (capacité de production, volume de production, valeur des livraisons, emplois, nombre d'usine, etc.)

¹¹⁰ Conseil de l'industrie forestière du Québec. Portraits forestiers régionaux, consulté le 5 juin 2018, <http://www.cifq.com/fr/industrie/portraits-forestiers-regionaux>

ESTIMATION DU VOLUME DE PRODUCTION RÉGIONALE

$$Part\ régionale\ (\%) = \frac{Capacité_prod_{i2014}}{Capacité_prod_{QC2014}}$$

$$Volume_prod_{i2015} = Part\ régionale * Volume_prod_{iQC2015}$$

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 fabriqués¹¹¹. Cette donnée provient de l'Enquête annuelle sur les industries manufacturières et de l'exploitation forestière¹¹² (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 2012¹¹³ et les données de Statistiques Canada¹¹⁴ 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.

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 la déflation. Le revenu des biens fabriqués est reporté en dollars courant, 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

¹¹¹ Cette donnée exclue les autres types de revenus pouvant être générés par l'entreprise tels que 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>

¹¹² Cette enquête recueille les principales statistiques industrielles notamment le revenu (total et des biens fabriqués), les salaires et traitements, les coûts d'opération incluant énergie, matières premières et fournitures utilisées et stocks d'ouverture et fermeture).

¹¹³ 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.

¹¹⁴ Statistique Canada. Statistiques principales pour les industries manufacturières, selon le SCIAN, Tableau 16-10-0117-01 (CANSIM 301-0008)

des produits industriels¹¹⁵. 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 industriel¹¹⁶. La valeur de production est convertie en dollars constants de 2010. Nous utilisons cette donnée pour le calcul du ratio de consommation et dans nos hypothèses de projection économique.

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 (cf section 3.1), avons utilisé un ratio de consommation d'eau.

6.4.2 PROJECTION ÉCONOMIQUE (2015-2050)

L'évolution économique d'un pays, province ou 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 à chaque année des mises à jour sur les projections économiques et budgétaires à long terme du pays. La dernière mise à jour réalisée en 2017 disponible lors de la modélisation de nos scénarios, prévoit une augmentation annuelle moyenne de 1,8 % pour les périodes 2017-2022 et 2023-2055. Nous avons utilisé cette projection nationale comme base de référence pour nos hypothèses¹¹⁷.

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 (présent notamment en Mauricie) vu sa tendance baissière des années passées et 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'impressions 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 Nord¹¹⁸. Il existe tout de même des avenues

¹¹⁵ Statistique Canada. Indice des prix des produits industriels, par industries, mensuel. Tableau 18-10-0032-01 (CANSIM 329-0077).

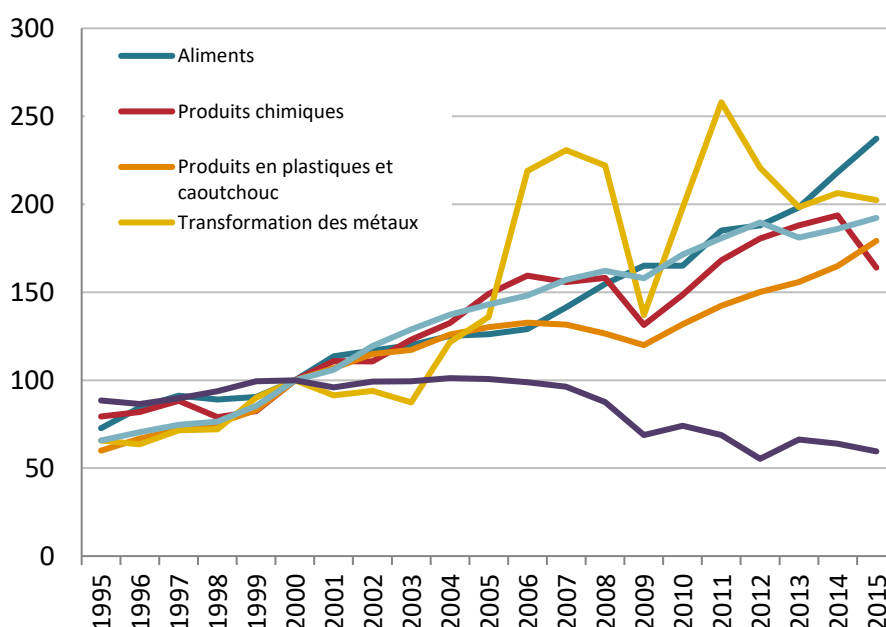
¹¹⁶ Les données utilisées pour le calcul de l'indice des prix des produits industriels proviennent d'établissements de fabrication qui résident et produisent au Canada.

¹¹⁷ Ministère des finances du Canada. Mise à jour des projections économiques et budgétaires à long terme. 2017

¹¹⁸ Desjardins. Études économiques. Perspective. Volume 25, Oct-Nov 2015.

intéressantes au-delà de la production de papier journal dont la production des cartons, des papiers tissus et des pâtes qui mènent vers d'autres applications (notamment les tissus) sans compter les possibilités qu'offrent les nouvelles technologies¹¹⁸. Il est donc possible de penser que le secteur pourrait se renouveler avec des produits de valeur ajoutée et modifier son portefeuille de produits traditionnels. Ces opportunités viendront avec des investissements dans les usines, des efforts pour la commercialisation et par la recherche et 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.

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



Note 1: 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

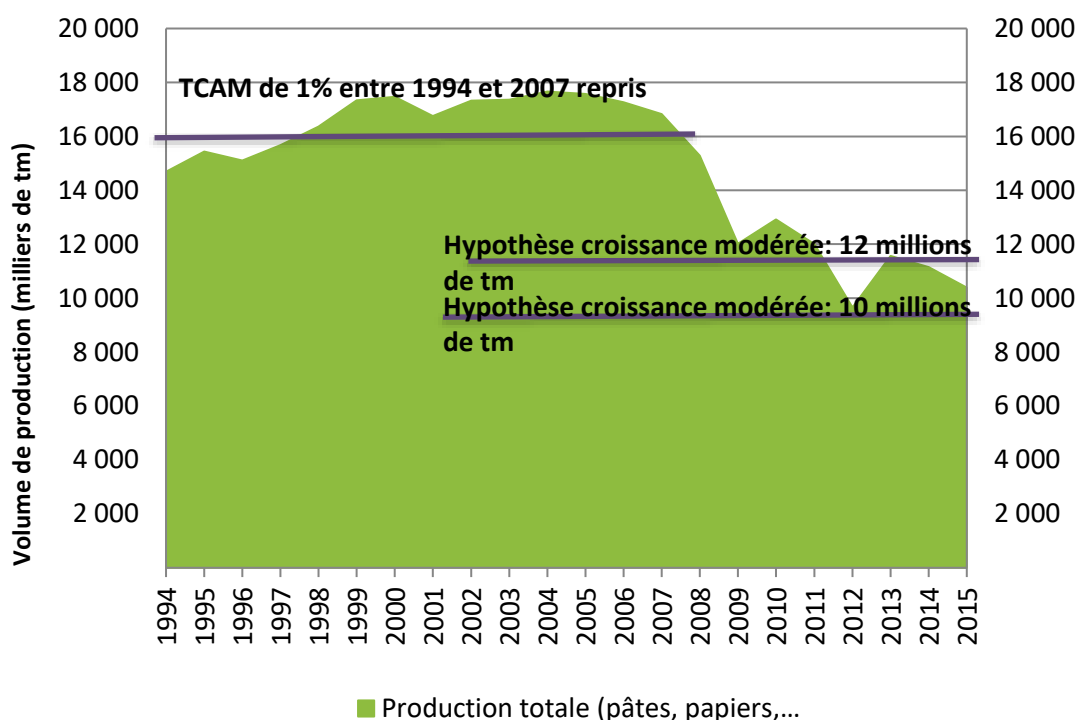
Le scénario modéré est une projection d'une croissance annuelle de 1,8% de la valeur ajoutée pour toute la période à l'étude, soit 2020-2050. Pour le scénario élevé, nous supposons qu'une accélération de la croissance économique est plausible au courant de la période de 30 ans. Ainsi, nous appliquons 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 papier, 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 (cf Tableau 6.29).

Tableau 6.29
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 papier [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 produits minéraux non métalliques [327]	-	1,8%	2,1%
Première transformation des métaux [331]	-	1,8%	2,1%

Enfin, nous projetons alors la valeur ajoutée manufacturière au Québec en 2050 en multipliant par le taux de croissance établi pour nos différents scénario (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 6.30
Part de la valeur ajoutée manufacturière sectorielle par région.

Secteur d'activité [SCIAN]	Outaouais	Capitale-Nationale	Mauricie	Laurentides	Bas St-Laurent	Laval
Fabrication d'aliments [311]	0,3%	5%	4%	4%	4%	3%
Fabrication de pâtes et papier [322]	14%	9%	20%	0,3%	6%	0%
Fabrication de produits chimiques [325]	nd	5%	1%	5%	0,2%	2%
Fabrication de produits plastique/caoutchouc [326]	nd	4%	2%	4%	nd	5%
Fabrication produits minéraux non métal. [327]	2%	8%	2%	8%	7%	2%
Première transformation des métaux [331]	nd	nd	nd	0,2%	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 CIFIQ.

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

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

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 (c.f section 3.3) et l'appliquons à la valeur ajoutée manufacturière 2050 de la région:

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

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 un impact direct 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 mis 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 (cf Tableau 6.31).

Tableau 6.31
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 papier [322]	-10	-20	-30
Fabrication de produits chimiques [325]	-6	-10	-50
Fabrication de produits plastique/caoutchouc [326]	-3	-8	-15
Fabrication produits minéraux non métalliques [327]	-2	-5	-8
Première transformation des métaux [331]	-4	-16	-32

6.4.4 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BESOINS EN EAU DU SECTEUR INDUSTRIEL

Selon les experts d'Ouranos consultés, il y a peu, voire pas d'impact du changement 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 la gestion des eaux usées, dont l'état de vétusté est bien documenté¹¹⁹.

6.5 SECTEUR RÉCRÉOTOURISTIQUE

Une démarche propose au 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 villégiatures. Les

¹¹⁹ CERIU (2018) ; <https://ceriu.qc.ca/bibliotheque/rapport-2018-du-portrait-infrastructures-eau-municipalites-du-quebec-piemq>

projections en besoin d'eau du secteur récréotouristique se sont faites sur la base de ces deux types d'activité selon la région.

L'achalandage des centres de ski est en baisse depuis les dernières années (2009-2010) et ce dans toutes les régions¹²⁰. Les plus fortes baisses s'observent au Centre-du-Québec, Lanaudière, Chaudière-Appalaches¹²¹. 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 ouverts¹²². Le Tableau 6.32 montre les hypothèses retenues, basées sur des entrevues d'experts et nos décisions.

Tableau 6.32
Hypothèse de consolidation de l'industrie récréotouristique, par région et scénario

	Scénario 2	Scénario 1, 3 et 4	Scénario 5
Capitale-Nationale	Les centres de ski de petite/moyenne taille ont fermé leur porte -	Aucun changement dans le nombre	Sauf Laval, les centres de villégiatures augmentent en région en termes de taille et des nombres et non en termes de demande
Laurentides			
Outaouais			
Laval			
Mauricie			
Bas-Saint-Laurent	Les centres de ski de petite/moyenne taille ont fermé leur porte		

Source : calculs AGÉCO

6.5.1 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 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 degré 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 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

¹²⁰ 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 2014-15.

¹²¹ Archambault, M. Étude économique et financière des stations de ski du Québec. 2015-2016 (p.15)

¹²² Citons par exemple la fermeture de petit centre comme celui de Mont-Carmel en Mauricie, et ceux de St-Pacôme et Val-Neigette dans le Bas St-Laurent. Des centres plus importants, comme le Massif du Sud, ont aussi des difficultés financières.

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 désuets¹²³.

Selon les études réalisées, les changements climatiques auront vraisemblablement un impact sur l'industrie du ski¹²⁴. Des conditions douces et pluvieuses raccourciraient la saison de ski dans les régions du sud du Québec¹²⁵. 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 centre de ski, l'acquisition de nouveaux équipements ou l'amélioration des canons à neige existant 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 dès 2020, et plus du double en 2050 pour Québec et les Laurentides¹²⁶.

TERRAINS DE GOLF

Pour le golf, 75% de la fréquentation des terrains de golf s'effectue de juillet à septembre¹²⁷. Dans un contexte de changement climatique, la saison pourrait être prolongée de deux à trois semaines, essentiellement au début de la saison¹²⁸. Sur la base que la saison de golf pourrait débuter 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 la Capitale-Nationale, l'Outaouais et les Laurentides, nous appliquons la moyenne du mois d'avril. Pour l'Outaouais, 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 des 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 (cf Tableau 6.33).

Tableau 6.33

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

Scénario	Changement associé dans la consommation
Scénario 1 (statu quo) et 5	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

Source : calculs AGÉCO

¹²³ OURANOS. Analyse économique des mesures d'adaptation aux changements climatiques appliquée au secteur du ski alpin au Québec, rapport final publiée en janvier 2019 (<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportDaSilva2019.pdf>).

¹²⁴ Ibid et Singh et al (2006) et Scott et al. (2007)

¹²⁵ Desjarlais C. et Blondot, A., Savoir s'adapter aux changements climatiques. 2010

¹²⁶ Ibid

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

¹²⁸ 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 mai 2009].

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 6.34 rapporte cette évolution en %.

Tableau 6.34
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
Capitale-Nationale	0,0%	9%	5%	7%	10%
Laurentides	0,0%	50%	27%	32%	54%
Outaouais	0,0%	19%	9%	14%	22%
Laval	1,0%	1%	-1%	-1%	1%
Mauricie	0,0%	0%	-12%	-6%	0%
Bas-Saint-Laurent	0,0%	nd	nd	nd	nd

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

7. PISTES D'ADAPTATION TECHNOLOGIQUE ET APPROCHES INNOVANTES¹²⁹

Cette section 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 pertinent.

Les sections suivantes décrivent les critères retenus pour qualifier et décrire les technologies recensées. Les résultats sont ensuite succinctement résumés. Le fichier Excel présentant l'inventaire avec ces différents critères est disponible via le lien suivant : [Ajouter le nom du fichier](#).

7.1 GRILLE D'ANALYSE

Pour rapporter les résultats de manière synthétique et éclairante, une grille d'analyse a été élaborée 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 (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 & al, 2018, (Iglesias & Garrote, 2015) : agronomique, hydrologique, ingénierie, socio-économique et physiologique. 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 (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 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 pourquoi, 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.

¹²⁹ 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 identifie 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 à 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 sont à l'échelle de la province.

Le critère suivant est 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-même; le 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 au niveau 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 confié en impartition la gestion de la technologie (ex. l'entretien d'un milieu humide) ou encore 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 principale :

- 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 et sur la ferme, 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'irrigations et l'entreposage de l'eau.
- Physiologique : les améliorations possibles grâce à la sélection des génotypes désirées des cultivars par les généticiens (Chaerle & al., 2005), la compréhension du fonctionnement des organes végétaux et leur contrôle ou 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: conservation, optimisation, récupération sont quelques exemples.

7.1.3 IMPLANTATION ET MISE EN APPLICATION

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

Le critère de la **difficulté technique** se divise en trois gradations : faible; modéré; et élevé (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 nécessite davantage de recherches ou bien une 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'outil technologique 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 investissements effectués pour une utilisation très spécifique et difficilement transposable entre lieu géographique ou entre entreprise.
- Un degré d'adaptabilité modéré représente les infrastructures ou les investissements effectués qui peuvent être transposés entre lieu géographique ou entre entreprise.
- Finalement, un degré d'adaptabilité élevé représente les technologies développées dans un but précis, mais qui pourront continuer d'évoluer dans le temps et transposable entre lieu géographique ou entre entreprise (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 (5-10 ans); et long-terme (plus de 10 ans) :

- Certaines mesures peuvent être effectuées rapidement sans nécessiter de changement majeur 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 impacts de celle-ci sur la gestion de l'eau, la plante et son environnement.

7.1.5 ASPECT ÉCONOMIQUE

Au travers des recherches, 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; élevé¹³⁰. 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 bien 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 de revenus.
- Le bénéfice potentiel élevé entraîne des économies significatives marquées par une variation supérieure à 25 % dans le portrait financier de son utilisateur.
- 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 frais ou les économies récurrentes entraînées 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 comparable à celle-ci ; par exemple l'achat de semence ou de paillis plastique.

¹³⁰ 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 non applicable (N/A) est alors utilisée.

- 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 décision de 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’acquisitions. Un résultat nul représente le niveau de classement N/A.

- 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 effectués à partir de la littérature scientifique au Québec, aux États-Unis et à l’internationale, 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; les approches politiques ou institutionnelles. C’est le domaine agronomique qui présente le plus grand nombre de pistes d’adaptation, suivi de près des technologies d’irrigation et des actions sur les sources d’approvisionnement (cf Tableau 7.1). Nous verrons toutefois qu’au-delà du nombre, des pistes de solution peuvent avoir un impact crucial; c’est le cas pour 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 2 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 de l’informations approfondies 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/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'intérêts identifiés. 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 cultureux, donc 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 semble 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 cultureux 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 approfondissements avant leur application, étant donné qu'elles ne sont pas encore disponibles sur le marché. La totalité de ces technologies possèdent 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 élaborer des cultivars plus résilients en utilisant des marqueurs génomiques et des techniques à la fine pointe de la technologie. 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 relié à l'optimisation de la régie d'irrigation. Utilisation des données recueillies sans contact (drône, GPS, satellite, 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'agent surfactant 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'osmoprotecteur 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 l'impact environnemental de l'agriculture dans son milieu et d'améliorer la capacité de rétention d'eau des sols et de réduire les besoins d'irrigations.
Paillis biodégradables	Paillis biodégradable et compostable à base d'amidon; bioplastique. Peut être installé avec les mêmes équipements qu'un paillis 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 (ex. abreuvement des animaux par l'utilisation de bols économiseurs d'eau.)

7.2.2 TECHNOLOGIES D'IRRIGATION

Plusieurs travaux et études ont été réalisées 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 (cf 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'irrigations 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 pourraient nettement optimiser 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'irrigations possèdent un ratio avantages/coûts supérieurs 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.
Gouttes-à gouttes	Enfouie 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'irrigations 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 pour permettre un meilleur suivi des quantités d'eau d'irrigations 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 informations (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 capteur sans fil	Implantation d'un réseau de capteur 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 tel que 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 (*cf* 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, que ce soit parce qu'elles sont liées aux milieux humides, impliquent 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'infrastructure fixe. 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 à son lieu d'entreposage.
Bassin de décaantation, réutilisation des eaux usées	Permet d'utiliser les eaux grises pour certaines cultures ou usages. La Californie et la Floride utilise 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'approvisionnements d'eaux dans le fleuve. Serait très coûteux à faire de façon privée. Sujet à approbation réglementaire (L.R.Q., c.Q-2)
Retenu d’eau de surface en milieux humides	Dans une approche collective du territoire, faire la reconnexion des cours d'eau et 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
Retenu d’eau de surface par barrage	Retenu d'eau de surface par barrage: aussi à échelle collective. Formation de réservoir à même le cours d'eau pour collecter/maintenir un certain volume d'eau; l'eau pourra être décaantée 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, 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'impact 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 impacts 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 para-gouvernementale 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 au Québec avec 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 proposent peu, voir 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 fait aucun doute que des interventions économiques, qui supportent 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, telle qu'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 tout 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 des nouvelles technologies plus coûteuses. Pour cela, il faut un solide système de service-conseil de première ligne (aux producteurs) solide, qui est lui-même supporté par un service-conseil de 2 ^{ème} 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 (ex. « APEX et EPIC Simulator", 'WEAP-DSSAT" ou « SWAP-RTS "Statewide Agricultural Production Model") qui permettent de voir les impacts 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 multisectoriel 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 est une méthode d'aide à l'évaluation régionale des besoins en eau futur. 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 des nouvelles technologies d'irrigations/nouveaux outils de gestion d'irrigations 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 ou reposant sur des systèmes relativement complexes, ce sont les solutions simples, 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 son utilisation plus efficace. Il en est 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, 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 apparaît toutefois nécessaire pour en assurer un déploiement efficace. L'écosystème agricole québécois n'est pas complètement inactif dans ce domaine. Il faut par exemple 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. Le chapitre 10 du présent rapport en témoigne aussi.
- On constate 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'irrigation¹³¹. 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 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 et universitaires. Sans diplômés formés, il est difficile de venir supporter 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 support 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 formation 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.

¹³¹ 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 rapporte de manière succincte les portraits régionaux de consommation d'eau en climat actuel et futur (selon les 5 scénarios élaborés). L'information détaillée par région se trouve dans des rapports régionaux distincts.

8.1 PORTRAIT GLOBAL ACTUEL

La quantité d'eau totale consommée par région et type de source d'eau est présentée pour chacune des 6 régions dans le Tableau 8.1.

Tableau 8.1
Quantité totale d'eau consommée par année selon la région et le type de source d'eau.

Régions	Total consommations (Mm ³ /an)	Population régionale (habitants)	% eau de surface	% eau souterraine
Capitale-Nationale	124,0 (prélèvements : 150,7)	737 857	78	22
Laurentides	114,4 (prélèvements : 122,1)	601 699	63	37
Outaouais	42,9 (prélèvements : 79,2)	389 100	72	28
Laval	93,4 (prélèvements : 93,5)	429 400	90	10
Mauricie	61,2 (prélèvements : 79,3)	268 200	54	46
Bas-Saint-Laurent	48,0 (prélèvements : 61,9)	199 534	28	72

Source pour populations régionales : ISQ profils régionaux 2017.

CAPITALE-NATIONALE

La Capitale-Nationale est parmi les six régions à l'étude qui consomment la plus grande quantité d'eau par année, soit 124 millions de m³ d'eau (Tableau 8.1). Ceci s'explique en partie par son poids démographique (737 857 habitants en 2017) (ISQ, 2018). En effet, lorsque réparti selon le type d'usage, le secteur résidentiel y représente 56 % de l'eau totale consommée (Tableau 8.2). Les industries, commerces et institutions (ICI) raccordées au réseau d'aqueduc représentent 28 % de la consommation d'eau annuelle et les industries prélevant directement d'une source d'eau, c'est-à-dire hors réseau, comptent pour 10 % de la consommation totale. Enfin, l'eau consommée pour des fins agricoles occupe la plus petite part de la consommation totale, soit 6 %. La région s'alimente principalement à partir d'eau de surface, 78 % (Tableau 8.1) et c'est le cas pour les quatre groupes d'utilisateurs incluant les industries hors réseau (Tableau 8.3).

LAURENTIDES

La région des Laurentides consomme au total 114,4 millions de m³ d'eau par année. Cette région arrive au deuxième rang en termes de taille démographique avec 601 699 habitants en 2017 (ISQ, 2018) et ceux-ci consomment pour 43 % de l'eau totale. Les ICI liées au réseau consomment 44 %, les industries hors réseau 8 % et le secteur agricole 5 % (Tableau 8.2). L'eau de surface est la première source utilisée (63 % des consommations). Les ICI et les industries hors réseau s'alimentent surtout à partir d'eau de surface, contrairement au secteur agricole qui tire son eau à 66 % des nappes souterraines dans cette région (Tableau 8.3).

LAVAL

Laval arrive au 3^{ième} rang avec une consommation de 93,4 millions de m³ d'eau qui provient majoritairement d'eau de surface (90 %). La population lavalloise compte quelque 429 400 habitants selon les statistiques de 2016, constituant avec les ICI les principaux consommateurs d'eau, respectivement 40 % et 52 % (incluant les pertes du réseau) de la quantité annuelle totale. Les industries hors réseau et le secteur agricole représentent quant à eux 7 % et 1 % (Tableau 8.2). La quasi-totalité des résidents et des ICI sont desservis par le réseau alimenté par les rivières environnantes, notamment la rivière des Mille-Îles et la rivière des Prairies. La consommation du secteur agricole sert essentiellement à irriguer la production horticole de la région à partir principalement des eaux de surface (70 %) (Tableau 8.3).

Tableau 8.2
Répartition de l'eau consommée selon le type d'usage.

Régions	Résidentiel	ICI lié au réseau	Industriel hors réseau	Agricole
Capitale-Nationale	56 %	28 %	10 %	6 %
Laurentides	43 %	44 %	8 %	5 %
Outaouais	54 %	30 %	10 %	5 %
Laval	40 %	52 %	7 %	1 %
Mauricie	37 %	43 %	6 %	14 %
Bas-Saint-Laurent	35 %	41 %	3 %	21 %

Tableau 8.3
Répartition des prélèvements selon le type d'usage et la région, % surface/souterraine

Régions	Résidentiel (%)	ICI lié au réseau (%)	Industriel hors réseau (%)	Agricole (%)
Capitale-Nationale	77/23	83/17	93/7	59/41
Laurentides	53/47	73/27	61/39	34/66
Outaouais	74/26	74/26	95/5	7/93
Laval	96/4	96 /4	10/90	69/31
Mauricie	45/55	59/41	80/20	11/89
Bas-Saint-Laurent	27/73	32/68	75/25	7/93

MAURICIE

La consommation totale d'eau de la région de la Mauricie est de 61,2 millions de m³ d'eau. Avec une population de 268 200 habitants, le secteur résidentiel compte pour 37 % de la quantité totale et les ICI liées au réseau en consomment 43 % (Tableau 8.2). Contrairement aux autres régions à l'étude, la part d'eau utilisée pour des fins agricoles (14 %) est supérieure à celle utilisée (6 %) par le secteur industriel hors réseau (Tableau 8.2). Bien que les productions animales (lait, porc, volaille) soient dominantes au plan des revenus générés, la Mauricie se caractérise par un secteur des grandes cultures relativement important. Mais c'est le secteur de la pisciculture qui tire vers le haut la part de la consommation attribuable aux activités agricoles. La région s'approvisionne autant à partir d'eau de surface (54 %) que d'eau souterraine (46 %) (Tableau 8.1). Le secteur des ICI et industriel hors réseau utilisent principalement de l'eau de surface contrairement au secteur agricole qui utilise plutôt les sources d'eau souterraine pour ses activités (Tableau 8.3).

OUTAOUAIS

La quantité d'eau consommée par la région de l'Outaouais est de 42,9 millions de m³ d'eau, où les usages résidentiels (54 %) et des commerces et institutions (30 %) dominant. Avec une population de taille relativement modeste, 389 100 personnes (ISQ, 2018), la région se distingue par une présence plus importante d'institutions. Le secteur agricole compte pour 5 % des besoins en eau (Tableau 8.2). L'agriculture représente une portion plutôt marginale des superficies (10% du territoire en zone agricole) et se démarquait jusqu'ici par la part relativement importante de la production bovine dans le profil agricole comparativement à d'autres régions. La région est principalement desservie à partir d'eau de surface, à 72 % (Tableau 8.1) et c'est le cas pour tous les secteurs à l'exception du secteur agricole qui s'alimente majoritairement (97 %) en eau

souterraine même si essentiellement situé le long des principaux cours d'eau (rivières des Outaouais, Gatineau, du Lièvre et de la Petite Nation) (Tableau 8.3).

BAS ST-LAURENT

La région du Bas-Saint-Laurent consomme au total 48,0 millions de m³ d'eau par année, sa population de 199 534 explique en partie que ce niveau de consommation d'eau soit le plus bas parmi les 6 régions. Le secteur résidentiel représente 35 % de la consommation d'eau alors que celui du secteur ICI compte pour 41 % (Tableau 8.2). Vu le territoire et sa population, la production agricole représente une part relative beaucoup plus importante dans cette région (21 %) (Tableau 8.2). La région compte un important bassin laitier et les activités piscicoles y sont également présentes, comptant pour près de 60% de la consommation du secteur agricole. Le Bas-Saint-Laurent est la seule des régions à l'étude à s'approvisionner principalement dans les eaux souterraines, à hauteur de 72 %. Ceci est le cas pour tous les secteurs sauf pour le secteur industriel hors réseau qui s'alimente à partir d'eau de surface (Tableau 8.3).

8.2 PORTRAIT GLOBAL FUTUR

La section suivante présente la consommation totale d'eau estimée selon les différents scénarios du futur (cf. chapitre 6).

Tableau 8.4
Évolution de la consommation totale d'eau selon les différents scénarios

Région	Situation actuelle	Scénario 1 Statu quo	Scénario 2 Chaleur et soif	Scénario 3 Chaleur et interdits	Scénario 4 Tempéré et dense	Scénario 5 Tempéré et urbain
Capitale-Nationale	124,0 (prélèvements : 150,7)	143,7 (prélèvements : 174,3)	121,9 (prélèvements : 149,8)	126,3 (prélèvements : 151,8)	132,3 (prélèvements : 165,7)	105,3 (prélèvements : 137,5)
Laurentides	114,4 (prélèvements : 122,1)	141,8 (prélèvements : 149,9)	118,7 (prélèvements : 126,0)	121,8 (prélèvements : 130,3)	128,5 (prélèvements : 136,6)	104,4 (prélèvements : 112,3)
Outaouais	42,9 (prélèvements : 79,2)	67,7 (prélèvements : 108,5)	57,6 (prélèvements : 87,0)	58,1 (prélèvements : 88,8)	65,0 (prélèvements : 105,8)	49,0 (prélèvements : 86,5)
Laval	93,4 (prélèvements : 93,5)	109,6 (prélèvements : 109,7)	91,6 (prélèvements : 91,7)	93,3 (prélèvements : 93,4)	101,9 (prélèvements : 102,0)	77,9 (prélèvements : 78,0)
Mauricie	61,2 (prélèvements : 79,3)	60,3 (prélèvements : 80,9)	50,9 (prélèvements : 65,5)	48,9 (prélèvements : 64,8)	54,5 (prélèvements : 75,1)	44,5 (prélèvements : 63,4)
Bas-Saint-Laurent	48,0 (prélèvements : 61,9)	43,6 (prélèvements : 59,1)	37,1 (prélèvements : 48,8)	39,5 (prélèvements : 52,8)	40,9 (prélèvements : 56,4)	34,0 (prélèvements : 48,4)

¹Les chiffres entre parenthèses indiquent les prélèvements.

Ces résultats permettent de constater que pour un même scénario, les effets des changements climatiques sont contrastés selon les régions.

- Par exemple, pour le scénario de statu quo, la Capitale-Nationale, les Laurentides, Laval et l'Outaouais verraient leurs besoins en eau augmenter considérablement, contrairement au Bas-Saint-Laurent et à la Mauricie. Pour 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, seules les régions de l'Outaouais (+14,7 m³) et des Laurentides (+4,3 m³) verraient leurs besoins augmenter. Rappelons que le scénario 2 faisait l'hypothèse d'une forte augmentation démographique et d'une hausse importante des besoins pour l'irrigation, mais en contrepartie une diminution importante de la consommation résidentielle liée à une facturation dissuasive.
- Au scénario 3, seules la Capitale-Nationale et les Laurentides seraient témoin d'une hausse de leur consommation d'eau par rapport à la situation actuelle. 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 diminueraient encore une fois pour le Bas-Saint-Laurent et la Mauricie, régions à l'étude qui comptent les populations et projections démographiques les plus faibles. 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, toutes les régions connaîtraient une baisse de leur consommation.

Globalement, les scénarios futurs proposés ont permis de constater que c'est d'abord le taux de croissance de la population, puis son comportement de consommation qui auront un impact important sur les prélèvements en eau. En effet, dans les régions de Laval, de l'Outaouais, des Laurentides et, dans une moindre mesure, de la Capitale-Nationale, 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. Au Bas-Saint-Laurent et en Mauricie, les perspectives d'évolution de la population sont moins importantes, et la pression sur la ressource est 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 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.

CAPITALE-NATIONALE

- La région de la Capitale-Nationale illustre bien l'importance du facteur démographique dans l'impact des changements climatiques. Malgré les efforts de réduction de consommation en secteur résidentiel et industriel, ou même en contexte de hausse des superficies irriguées en agriculture, c'est la croissance démographique qui met souvent le plus de pression sur la ressource en eau. Ainsi, selon les scénarios les plus pessimistes (réductions des débits d'étiage les plus sévères), certains bassins versants semblent atteindre leurs limites en termes de disponibilité de l'eau de surface, par exemple ceux des rivières la Chevroitière et Saint-Charles.
- Dans tous les scénarios, il y a peu d'évolution des indices de pression sur l'eau souterraine, et cela même dans le scénario faisant l'hypothèse d'une substitution de la source d'approvisionnement en eau de surface par l'eau souterraine pour des besoins agricoles.

- Ce portrait à l'échelle régionale ne doit cependant pas faire l'impasse sur la pression causée par les besoins agricoles dans certaines zones du territoire où les activités sont plus denses et consommatrices d'eau pour l'irrigation. C'est le cas de l'île d'Orléans par exemple. La région de la Capitale-Nationale et l'analyse à différentes échelles (région, bassins versants, etc.) montrent aussi la prudence requise dans l'énoncé de conclusions lorsque les données de bilans hydriques sont imparfaites, et l'analyse influencée par des perceptions plutôt que des données objectives.
- Ainsi, le bilan d'utilisation de l'eau suggérerait que plusieurs territoires semblaient susceptibles d'avoir des conflits liés à l'usage de l'eau de surface, notamment le bassin versant de la rivière Portneuf et le bassin versant de la rivière Sainte-Anne. Des inquiétudes avaient aussi été exprimées lors des rencontres régionales au printemps 2018 quant à l'évolution des besoins en eau pour l'irrigation des cultures, dans un contexte de manque d'information précise à la fois sur les besoins en eau et les ressources disponibles pour combler ceux-ci.
- À cet égard, le travail d'analyse des bilans hydriques à plus petite échelle, réalisé dans le cadre de l'étude de cas dans la MRC de Portneuf (cf. chapitre 9), a permis d'écarter le bassin versant de la rivière Portneuf comme potentiellement conflictuel, étant donné la quasi-absence de prélèvement d'eau dans ce cours d'eau.
- Par ailleurs, l'étude de cas réalisée dans la MRC de Portneuf indique que les prélèvements actuels et potentiels des producteurs de pommes de terre, principaux usagers agricoles pour l'irrigation, entraîneraient globalement une pression relativement faible sur les ressources en eau de surface et souterraine. Les ressources en eau étant relativement abondantes dans la région, l'usage de l'eau pour l'activité agricole ne rentrerait pas, même dans les scénarios de changements climatiques et d'augmentation des besoins en eau les plus pessimistes, en compétition directe avec les autres usages, limitant ainsi le risque de conflit d'usage de l'eau.

LAURENTIDES

- Rappelons que la région des Laurentides consomme au total 114,4 millions de m³ d'eau par année, alors que le secteur agricole compte pour 5 %. L'eau de surface est la première source utilisée, représentant 58 % des volumes consommés. Les ICI (connectés à un réseau et hors réseau) s'alimentent surtout à partir de l'eau de surface, contrairement au secteur agricole qui tire son eau à 66 % des nappes souterraines.
- En ce qui a trait aux eaux de surface, les scénarios les plus pessimistes de réduction des débits d'étiage en climat futur annoncent un enjeu important, alors que la consommation dépasse déjà le seuil de capacité de 20 % du débit d'étiage dans plusieurs sous-bassins au sud de la région. L'accroissement des consommations en lien avec l'essor économique et démographique est particulièrement préoccupant dans le secteur des Basses-Laurentides.
- C'est également dans ce même secteur géographique qu'une part importante des productions horticoles est concentrée. L'évolution du climat et de la demande locale sous l'effet de la démographie pourrait conduire à des besoins en eau en forte hausse. Or, dans plusieurs bassins versants du sud de la région, l'usage de l'eau de surface (privilégié pour l'irrigation des cultures) est déjà très important, entraînant des enjeux de quantité d'eau disponible dans les cours d'eau en période d'étiage.
- Ainsi, les eaux de surface pourront difficilement subvenir aux besoins des producteurs agricoles pour l'irrigation des cultures en climat futur. Il est donc nécessaire de s'interroger

sur les sources d'eau alternatives et d'accompagner les producteurs dans la sécurisation de leur ressource en eau, et surtout dans l'efficacité de l'usage de l'eau.

- En ce qui concerne les eaux souterraines, elles pourraient être davantage mobilisées dans certains secteurs des Basses-Laurentides; cependant, tous les secteurs ne s'y prêtent pas nécessairement. En effet, comme l'étude de cas du bassin versant du ruisseau Rousse le montre (cf. chapitre 9), la recharge et la productivité des aquifères au roc de la région sont très faibles par endroit, entraînant un potentiel d'exploitation très variable d'un bassin versant à l'autre et parfois peu prometteur.
- Finalement, un autre enjeu soulevé dans la région des Laurentides en lien avec l'usage de l'eau pour l'irrigation des cultures est la méconnaissance de la réglementation en vigueur et la conformité des situations de prélèvements à cette réglementation. Force est de constater que plusieurs petits producteurs méconnaissent la réglementation, à la fois en matière d'autorisation et de déclaration de prélèvements. Qui plus est, les prélèvements qu'ils réalisent, souvent dans de petits cours d'eau, pourraient probablement être non conformes à la réglementation. La capacité de mise en conformité de ces producteurs étant limitée, les risques de conflits avec les autorités compétentes pourraient augmenter à l'avenir, lorsque celles-ci veilleront à appliquer la loi.

LAVAL

- Nous l'avons vu, la région de Laval présente déjà actuellement une situation problématique, notamment en termes d'approvisionnement en eau de surface dans l'une de ses principales sources, soit la rivière des Mille-Îles. Or, l'eau de surface est la source d'eau dominante (90 %) de la municipalité. Rappelons que les deux principaux usagers sur le territoire sont le secteur résidentiel (40 % des prélèvements) et les industries, commerces et institutions (52 %). Les usages agricoles y sont proportionnellement marginaux (1 %).
- Bien que des travaux d'écrtage aient été effectués au seuil de la rivière des Mille-Îles au niveau du lac des Deux-Montagnes en 2011, des débits proches du débit minimal visé pour garantir la quantité et la qualité de l'eau ont été observés depuis. Plusieurs des scénarios de la présente étude montrent des situations fragiles. Ainsi, la forte croissance démographique de certains scénarios montre les limites du réseau déjà sous tension. Même les scénarios les plus favorables (plus faible croissance de la population et diminution plus faible des débits d'étiage), qui se traduisent par une baisse de la consommation par rapport à la situation actuelle, ne permettent pas de réduire la pression de l'usage sur la rivière des Mille-Îles où les réseaux d'aqueduc s'approvisionnent, en plus de la rivière des Prairies.
- Par ailleurs, même s'il s'agit d'une source d'eau moins importante dans la région, l'eau souterraine est également déjà fortement sollicitée par rapport à la ressource disponible, révélant là aussi des situations problématiques.
- Dans un contexte de développement résidentiel et commercial, la ville de Laval et sa région doivent prioriser la planification de leurs besoins en eau futurs. Bien que le secteur agricole soit relativement peu important dans ces besoins, l'accès à de l'eau de qualité et en quantité est primordial pour assurer la vision de développement agricole de la ville exprimé dans son Plan de développement de la zone agricole (PDZA) lancé en 2016.

MAURICIE

- Rappelons que l’approvisionnement en eau de la Mauricie repose presque à parts égales sur l’eau de surface (54 %) et l’eau souterraine (46 %). Les secteurs des industries, commerces et institutions (ICI) reliés aux réseaux et industriels hors réseau utilisent principalement de l’eau de surface, contrairement au secteur agricole qui utilise plutôt les sources d’eau souterraine pour ses activités.
- Même dans les pires scénarios, incluant le n° 5 qui simule un recours encore plus important à l’eau souterraine pour l’irrigation en agriculture, les indices de pression sur l’eau souterraine demeurent stables par rapport à la situation actuelle. La faible croissance de la population et la réduction substantielle de la consommation per capita modèrent la pression exercée sur la consommation de l’eau souterraine.
- Ceci témoigne en fait d’une situation globalement peu préoccupante pour la Mauricie. Pour l’ensemble des cinq scénarios narratifs, incluant le statu quo, la consommation d’eau totale serait inférieure à la consommation d’eau actuelle. Les bilans hydriques futurs, même avec des pressions relatives sur les débits d’étiage, demeurent donc globalement stables.
- Néanmoins, la projection cartographique des indices de pression met en relief la vulnérabilité plus locale de cours d’eau mineurs (ruisseau Saint-Charles et rivière aux Sables). Comme pour d’autres régions à l’étude, il ne faut donc pas perdre de vue qu’une situation globalement saine à l’échelle régionale peut toujours masquer, à plus petites échelles, des situations potentiellement et ponctuellement critiques.

OUTAOUAIS

- La région de l’Outaouais se démarque globalement par l’absence d’enjeu, actuel et futur, lié à la disponibilité de l’eau pour répondre aux besoins des différents usagers.
- Pour les besoins du secteur agricole en particulier, les prélèvements d’eau de surface en Outaouais sont modestes ($<50 \text{ m}^3/\text{an}\cdot\text{km}^2$) sur l’ensemble du territoire.
- Rappelons que l’eau de surface est la principale source d’approvisionnement dans la région de l’Outaouais (75 %). Globalement, les débits d’étiage des cours d’eau satisfont les besoins actuels, même en période critique.
- Même dans les scénarios les plus sévères en termes de diminution de débit d’étiage, il n’y aurait pas d’évolution des indices de pression sur l’eau souterraine ni d’eau de surface, traduisant à l’échelle macroscopique l’absence d’enjeux quantitatifs.
- C’est le cas aussi pour les scénarios qui présentent les hausses démographiques les plus importantes.
- La région de l’Outaouais compte parmi les régions à l’étude où l’ensemble des scénarios se traduit par une hausse de la consommation. Malgré tout, les bilans hydriques demeureraient sous contrôle dans chacun des scénarios; autrement dit, l’eau disponible pourrait répondre aux besoins croissants.

BAS-SAINT-LAURENT

- La région du Bas-Saint-Laurent est caractérisée par une croissance démographique faible, où les projections les plus ambitieuses de l’ISQ se traduisent par une croissance de la population de 4 %. Comme le facteur démographique est dominant dans la pression mise sur la ressource

en eau en contexte de changements climatiques, la région est donc globalement peu touchée. Dans tous les scénarios narratifs, même celui du statu quo, la consommation d'eau totale est inférieure à la consommation d'eau actuelle.

- À l'heure actuelle, la pression du secteur résidentiel sur l'eau de surface est faible dans l'ensemble du territoire de la région, et elle le demeure dans tous les scénarios, même celui où la diminution des débits d'étiage est la plus forte (-50 %).
- L'eau souterraine constitue la principale source d'approvisionnement pour l'ensemble des usagers (72 %) et en plus forte proportion encore pour l'agriculture (93 %). Notons qu'en part relative, compte tenu de la faible consommation résidentielle, le secteur agricole représente 21 % de la consommation d'eau de la région.
- Malgré des zones de production situées sur le territoire – le long du fleuve et dans la MRC de Témiscouata (Pohénégamook et Saint-Athanase) pour les productions animales, et autour d'Amqui, de Mont-Joli et de Trois-Pistoles pour les productions végétales – il n'y a pas d'enjeu qui se dessine par rapport à la recharge au roc dans les bilans hydriques effectués à cette échelle régionale.
- Certains problèmes ont toutefois été relevés sur le terrain. Ils s'expliqueraient par le fait que plusieurs municipalités s'approvisionnent dans des aquifères granulaires (de surface) qui sont plus sensibles aux variations annuelles de précipitations et de température (et donc de l'évapotranspiration des plantes). Ceci entraîne des situations de pénuries potentielles lorsque les étés sont peu pluvieux ou particulièrement chauds.

8.3 BILANS HYDRIQUES RÉGIONAUX

Pour chacune des régions à l'étude, à l'aide des prélèvements calculés et basé sur le protocole présenté dans ce rapport, les 19 cartes suivantes ont été générées en climat futur et actuel:

- 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 Prélèvements d'eau de surface du secteur résidentiel
- 5 Prélèvements d'eau de surface des secteurs institutionnel et commercial (CI)
- 6 Prélèvements d'eau de surface du secteur industriel en période estivale
- 7 Prélèvements d'eau de surface des secteurs institutionnel, commercial et industriel (ICI)
- 8 Prélèvements d'eau de surface par la production animale
- 9 Prélèvements d'eau de surface par la production végétale en période estivale
- 10 Prélèvements d'eau de surface du secteur agricole
- 11 Prélèvements d'eau souterraine du secteur résidentiel
- 12 Prélèvements d'eau souterraine des secteurs institutionnel et commercial (CI)
- 13 Prélèvements d'eau souterraine du secteur industriel
- 14 Prélèvements d'eau souterraine des secteurs institutionnel, commercial et industriel (ICI)
- 15 Prélèvements d'eau souterraine par la production animale
- 16 Prélèvements d'eau souterraine par la production végétale
- 17 Prélèvements d'eau souterraine du secteur agricole

18 Prélèvements totaux d'eau de surface

19 Prélèvements totaux d'eau souterraine

Les bilans régionaux avec ces différentes cartes sont disponibles dans les rapports suivants :

- Bilan Laurentides (note : il y aura des liens web qui conduiront directement aux rapport)
- Bilan Capitale-Nationale
- Bilan Laval
- Bilan Mauricie
- Bilan Bas St-Laurent
- Bilan Outaouais

9. ÉTUDES DE CAS

Pour approfondir l'analyse effectuée à l'échelle régionale, des études de cas ont été réalisées : deux à l'échelle d'un plus petit territoire, et les autres à l'échelle d'entreprises agricoles concernant des pratiques d'irrigation alternatives (cf chapitre 10). 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 à l'échelle des territoires s'est d'abord basé sur les suggestions des participants lors des rencontres régionales. De cette liste, un tri préliminaire s'est 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'étude situées 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 (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 cinq 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 le bassin versant du ruisseau Rousse et la MRC de Portneuf.

9.1 BASSIN VERSANT DU RUISSEAU ROUSSE

Lors des rencontres régionales tenues en 2018, les participants ont pointé du doigt le territoire du bassin versant (BV) du ruisseau Rousse comme présentant des risques de conflits d'usage de l'eau en lien avec le secteur agricole. Dans ce bassin, les activités agricoles qui requièrent l'irrigation des cultures sont particulièrement concentrées et les ressources en eau sont limitées. Le comité aviseur a donc donné son aval à l'étude approfondie de ce cas.

9.1.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Situé dans la région des Laurentides, le bassin du ruisseau Rousse se trouve en majeure partie (84 %) dans la municipalité d'Oka, une des sept municipalités qui composent la MRC de Deux-Montagnes (Figure 9.1).

- Le bassin chevauche au sud une portion du territoire du parc national d'Oka, situé aux abords du lac des Deux-Montagnes, et à l'est une petite partie de la municipalité de Saint-Joseph-du-Lac (14 % de la superficie du bassin).
- Le cours d'eau Rousse draine une superficie d'environ 22,1 km².
- En ce qui a trait à l'occupation du territoire, les terres agricoles (46 %) et l'occupation forestière (41 %) dominent largement le paysage du bassin¹³². Une large proportion de superficies cultivées nécessite des apports en eau d'irrigation. Choux, choux-fleurs, tomates, fraises et framboises sont quelques-unes des cultures irriguées largement cultivées sur le territoire.

Figure 9.1
Emplacement du bassin versant Rousse (en blanc)



L'assèchement du cours d'eau régulièrement observé pendant les saisons estivales, en particulier lors des étés secs de 2017 et de 2018, a accru la perception des acteurs locaux d'un manque d'eau dans le bassin. À cela s'ajoute une piètre qualité de la ressource, avec des analyses montrant le

¹³² MFFP, 2015. Carte écoforestière à l'échelle 1:20 000.

dépassement fréquent des seuils de conformité de l'eau d'irrigation pour la bactérie *E. coli* et pour certains pesticides¹³³¹³⁴.

Des conflits entre producteurs ont été rapportés, bien qu'ils seraient maintenant réglés par une organisation informelle entre les agriculteurs pour prélever de l'eau dans le cours d'eau à tour de rôle. Compte tenu de ces conflits passés et des évolutions attendues dans l'usage et la disponibilité de l'eau en climat futur, l'approvisionnement et le partage de la ressource soulèvent des inquiétudes. La question des sources d'eau alternatives se pose, autant pour aujourd'hui que pour demain.

Pour évaluer les besoins en eau pour l'irrigation des cultures et dans le but d'analyser différentes pistes d'approvisionnement, il convenait d'abord de bien répertorier les superficies cultivées, ainsi que la part de celles-ci qui est effectivement irriguée. Or, nous avons rapidement constaté que les données disponibles ne permettaient pas de réaliser une estimation précise de ces besoins.

Les objectifs de l'étude de cas étaient donc les suivants :

1. Raffiner le portrait des besoins en eau;
2. Évaluer les possibilités d'approvisionnement alternatives dans le bassin;
3. Susciter une réflexion sur la gestion de la ressource dans un contexte de changements climatiques.

Les sections suivantes présentent les résultats, en débutant par une description de la zone étudiée.

APPROCHE ET DÉMARCHE DE TRAVAIL

Pour estimer les volumes d'eau nécessaires à l'irrigation des cultures, nous avons d'abord analysé les données disponibles. La base de données des parcelles et productions agricoles déclarées (BDPPAD) de la FADQ sous-estime probablement les superficies irriguées, car beaucoup de superficies potentiellement irriguées ne sont pas assurées. Les données du MAPAQ (fiches Flora) disponibles n'ont pas été actualisées depuis 2010; au moment de réaliser la présente étude, elles étaient mises à jour. De plus, utiliser ces données entraîne un risque de surestimation des superficies, car il n'est pas possible de distinguer, pour une entreprise dont le siège serait dans le bassin versant Rousse, les parcelles situées à l'intérieur ou à l'extérieur du BV. Étant donné le faible nombre d'entreprises présentes sur le territoire (une cinquantaine au total, dont une quinzaine environ pratiquerait l'irrigation), nous avons décidé, en collaboration avec des représentants de la direction régionale du MAPAQ et des clubs conseils Profite-Eau-Sol et AgroPomme, de réaliser une collecte de données à la ferme. Cette démarche, tenue à l'hiver 2020

¹³³ TechnoRem, 2008. 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-Québec, projet CDAQ #5201.

¹³⁴ GIROUX, I. 2017. Présence de pesticides dans l'eau de surface au Québec – Zones de vergers et de cultures maraîchères, 2013 à 2016. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'information sur les milieux aquatiques, 47 p. + 3 annexes. [En ligne] <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/flr/lvac/pesticides.htm>

auprès de la quasi-totalité des producteurs du bassin versant irriguant des cultures, a permis de collecter des informations sur les superficies actuellement irriguées et sur celles projetées à moyen terme. Le formulaire de collecte visait à documenter les cultures et les pratiques d'irrigation pour les saisons 2018 et 2019 : types de cultures, superficies irriguées et potentiellement irriguées, régie d'irrigation (nombre d'apports, volume par apport, type de système), source de l'eau d'irrigation (étang, eau de surface ou eau souterraine), étangs d'irrigation (emplacement, superficie, quantité), recharge des étangs (combien de fois pendant la saison estivale et comment [eau de fonte, pompage des cours d'eau, etc.]). Une entente de confidentialité et un usage non nominatif des données ont été établis avec les producteurs participants.

Sur la base de ces données obtenues, nous avons pu estimer les volumes d'eau.

- Pour les systèmes goutte-à-goutte, nous avons estimé la dose moyenne par apport d'après les superficies irriguées, la durée de l'irrigation, la longueur du champ, le débit du système par 100 pieds et le nombre de goutteurs pour la superficie.
- Pour les systèmes par aspersion, une dose de 20 mm par apport a été utilisée dans les calculs.
- En multipliant la superficie irriguée par le nombre d'apports et par la dose par apport, les volumes d'eau par entreprise rencontrée par culture ont ainsi pu être déterminés.

À partir des données collectées auprès des producteurs, nous avons quantifié les besoins en eau d'irrigation et projeté ces besoins dans un contexte de changements climatiques. En parallèle, les données existantes sur les ressources en eau souterraine ont été analysées. Des échanges avec les spécialistes en hydrogéologie ont aussi permis d'obtenir des avis sur les analyses et les études qu'il conviendrait de réaliser pour approfondir l'étude de cas.

RESSOURCES EN EAU

Le ruisseau Rousse sillonne tout le bassin au relief vallonné et trouve son exutoire dans la Grande Baie, un milieu humide situé dans le parc national d'Oka. Le cours d'eau, d'une largeur moyenne de 3 m, prend sa source dans les hautes terres de la Côte Sainte-Germaine-Côte-Sud¹³⁵.

L'eau souterraine approvisionne un bon nombre d'utilisateurs, de tous les secteurs d'activité. La Figure 9.2 cartographie l'emplacement des puits d'après les rapports de forages du Système d'information hydrogéologique¹³⁶ (SIH).

¹³⁵ TechnoRem, 2008. 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-Québec, projet CDAQ #5201.

¹³⁶ MELCC, 2020. Système d'information hydrogéologique (SIH). Extractions pour Oka et Saint-Joseph-du-Lac.

Figure 9.2
Emplacement des puits en date de mars 2020



Les puits sont principalement situés à proximité de la jonction des rangs de l'Annonciation et Sainte-Sophie et dans la portion nord-est du bassin, à Saint-Joseph-du-Lac. Un peu plus d'une centaine de puits ont été répertoriés sur le territoire du bassin. Presque la totalité des puits sont au roc. Plusieurs équipes ont travaillé à documenter la ressource, notamment TechnoRem en 2008, la Commission géologique du Canada en 2013 et l'INRS en 2018.

9.1.2 PORTRAITS ACTUEL ET FUTUR

ACTIVITÉS ET PRÉLÈVEMENTS D'EAU

Nos estimations montrent que chaque année, 440 767 m³ d'eau sont nécessaires aux différents secteurs d'activités (Tableau 9.1).

Tableau 9.1
Quantité totale d'eau prélevée par secteur dans le bassin Rousse

Secteur	Total des prélèvements (m ³ /an)	Part des prélèvements (%)	% eau souterraine	% eau de surface
Résidentiel	23 589	5	100	0
ICI (réseau et hors réseau)	46 642	11	100	0
Production animale	16 872	4	100	0
Production végétale	353 664	80	14	86

Le portrait des besoins en eau des secteurs résidentiel et industriel, commercial et institutionnel (ICI réseau) a d'abord été raffiné sur la base d'un exercice de géolocalisation des résidences grâce à l'imagerie satellite.

- Un coefficient moyen d'occupation (de 2,3¹³⁷) de chaque résidence a ensuite été appliqué pour évaluer la population résidant dans le bassin versant. Selon nos estimations, près de 300 personnes habitent le territoire et consomment 5 % du total des prélèvements en eau du bassin. À notre connaissance, pour l'ensemble des résidences n'étant pas relié à l'aqueduc d'Oka ou à celui de Saint-Joseph-du-Lac, les prélèvements de la population du bassin versant se font par puits individuels.
- Les ICI (réseau et hors réseau) contribuent à 11 % de la part des prélèvements et l'approvisionnement se fait entièrement par l'eau souterraine. La totalité des prélèvements des ICI hors réseau est dédiée à la transformation agroalimentaire.
- Une cinquantaine d'entreprises agricoles sont enregistrées sur le territoire du bassin versant.
 - La production animale représente seulement 4 % de la part des prélèvements totaux (tous en eau souterraine), dont près de la totalité est dédiée au secteur de la volaille (dindons et poulets).

Dans le bassin, c'est la production végétale qui prélève les plus grands volumes d'eau, avec 353 664 m³/an selon nos estimations; 86 % des prélèvements se font dans l'eau de surface (étangs d'irrigation et cours d'eau Rousse et affluents). Quelques puits privés permettant d'extraire de l'eau souterraine viennent compléter les sources d'approvisionnement.

PRATIQUES D'IRRIGATION

La collecte de données a permis de recenser les pratiques d'irrigation de 14 producteurs, la moitié étant des producteurs maraîchers et de petits fruits, l'autre moitié étant du secteur pomicole. Seuls deux producteurs qui irrigueraient n'ont pu être rencontrés lors de la prise de données, mais nous avons quand même tenté d'estimer leur consommation. Les pratiques d'irrigation recensées ont permis de dresser les constats suivants :

¹³⁷ ISQ, 2018. Ménages privés selon la taille, Québec, 1951-2016. URL : https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/population-demographie/familles-menages/tableau_03.htm.

- 39 étangs d'irrigation ont été répertoriés à partir d'une analyse visuelle d'images satellites et de la base de données hydrographique du MELCC (Tableau 9.4);
- Un peu moins de 30 % du volume d'eau d'irrigation proviendrait d'étangs rechargés uniquement par la fonte des neiges et les précipitations;
- 4 entreprises déclarent remplir leurs étangs à partir de cours d'eau;
- 9 entreprises déclarent utiliser, au moins pour une partie de leurs besoins en eau, de l'eau souterraine;
- 2 entreprises s'approvisionnent uniquement dans l'eau souterraine;
- 7 entreprises, sur les 12 irriguant actuellement, ont manqué d'eau dans le passé;
- 6 entreprises prévoient augmenter les superficies à irriguer à l'avenir.

Les prélèvements d'eau estimés pour chaque production végétale sont présentés au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**; l'estimation des volumes annuels inclut les projets d'irrigation à court terme (3 ans) des entreprises.

- Près de la moitié des superficies irriguées recensées est dédiée aux crucifères choux et choux-fleurs. Elle représente la part la plus importante des apports d'eau, de l'ordre de 167 793 m³/an.
- Dans une perspective à court terme (3 à 5 ans), les producteurs interrogés ont mentionné vouloir accroître leurs superficies irriguées (tableau 9.2) :
 - de près de 9 hectares dans la pomme
 - et d'un hectare en légumes variés tels que la tomate, la courgette, le céleri, le poivron et la laitue (catégorie « autres légumes »).
- Enfin, en termes de volume à l'hectare ou de hauteur d'eau d'irrigation, même si les volumes par unité de superficie pour les serres sont très importants (3 692 m³/ha ou 369 mm), leur part dans les prélèvements en eau du bassin demeure marginale (1 %).

Tableau 9.2
Superficies cultivées et volumes d'eau associés

Productions irriguées	Superficie actuellement irriguée (ha)	Superficie additionnelle potentiellement irriguée (ha)	Volume annuel (m ³ /an)	Part du volume total (%)	Volume unitaire (m ³ /ha – mm)
Choux et choux-fleurs	122,9	-	167 793	47,4	1 365 – 136,5
Fraises et framboises	28,5	-	73 045	20,7	2 563 – 256,3
Autres légumes	52,7	1,0	68 839	19,5	1 282 – 128,2
Pommes	48,0	8,8	40 294	11,4	709 – 70,9
Serre	1,0	-	3 692	1,0	3 692 – 369,2
Total	253,1	9,8	353 664	100,0	-

Figure 9.3
Étangs d'irrigation répertoriés sur le territoire du bassin Rousse



PROJECTION EN CLIMAT FUTUR

Dans l'idée de susciter une réflexion sur la gestion de la ressource eau dans un contexte de changements climatiques, nous avons projeté les besoins en eau d'irrigation selon deux scénarios climatiques de futurs possibles (Tableau 9.3) :

- Le premier scénario (MIROC_rcp85) reflète un futur pessimiste : augmentation marquée des températures moyennes d'avril à octobre (4 °C) et baisse importante des précipitations l'été, de l'ordre de 30 mm, entre les mois de juin et août. Pour pallier le déficit hydrique plus important, nos estimations montrent que les besoins en irrigation augmenteraient de 38 %, passant de 353 664 m³/an à 486 427 m³/an.
- Le second scénario (MRI_CGCM3) reflète un futur plutôt optimiste : augmentation modérée des températures moyennes d'avril à octobre (2 °C) et légère hausse des précipitations l'été

(15 mm). Nos calculs montrent que les volumes nécessaires à l'irrigation subiraient une hausse de 18 % par rapport à la situation actuelle.

Tableau 9.3
Scénarios futurs d'irrigation des producteurs rencontrés

			MIROC_rcp85		MRI_CGCM3	
Productions irriguées	Superficie actuellement irriguée (ha)	Volume annuel actuel (m³/an)	Apport supplémentaire (mm)	Volume annuel futur (m³/an)	Apport supplémentaire (mm)	Volume annuel futur (m³/an)
Choux et choux-fleurs	122,9	167 793	54	233 580	25	198 583
Fraises et framboises	28,5	73 045	53	88 022	31	81 746
Autres légumes	52,7	68 839	42	91 660	22	80 764
Pommes	48,0	40 294	51	69 472	23	53 559
Serre	1,0	3 692	0	3 692	0	3 692
Total	253,1	353 664	-	486 427	-	418 344

Les projections en climat futur démontrent une accentuation certaine de la pression sur la ressource. Les scénarios ci-dessus prennent en compte uniquement la hausse des besoins en eau d'irrigation par unité de superficie irriguée. Cependant, si le déficit hydrique est plus fréquent, certaines parcelles actuellement non irriguées pourraient le devenir. Cette augmentation possible des superficies irriguées viendrait accroître encore davantage les besoins en eau.

BASSINS D'IRRIGATION ET OPTIONS D'APPROVISIONNEMENT

Actuellement, les producteurs s'approvisionnent en premier lieu dans des bassins d'irrigation :

- La superficie cumulée des 39 étangs d'irrigation répertoriés est estimée à 5,3 hectares.
- Moyennant une profondeur de 3 mètres, les étangs d'irrigation seraient en mesure de stocker au total 159 078 m³ par an.
- Ce volume est insuffisant pour combler l'entièreté des besoins des productions horticoles. Pour y parvenir, les producteurs doivent donc recharger en moyenne près de 2,5 fois les bassins pendant l'été.
- Une option envisagée par les producteurs serait d'augmenter le nombre, la superficie ou la profondeur des étangs d'irrigation, de façon à conserver davantage d'eau issue de la fonte des neiges et des précipitations.
- Toutefois, il faudrait, selon le calcul présenté précédemment, presque tripler les superficies en étangs, ce qui semble difficilement faisable considérant les contraintes d'espace, mais aussi d'emplacement sur le territoire.
- En effet, la réglementation prévoit qu'il est possible de creuser un étang sans obtenir au préalable une autorisation, sous réserve que tout le matériel excavé soit laissé sur place et que

l'étang respecte un certain nombre de conditions (voir chapitre 1), notamment être situé à au moins 30 m d'un milieu humide¹³⁸.

La Figure 9.4 présente l'emplacement des milieux humides dans le bassin versant selon la classification de Canards Illimités (réalisée en 2019), et le territoire d'exclusion (contour hachuré blanc) à considérer. Plusieurs des zones où existent actuellement des étangs d'irrigation sont à proximité des milieux humides, ce qui limitera les possibilités de creuser de nouveaux étangs.

Les changements climatiques auront également un impact sur le niveau des étangs.

- En climat futur, malgré une bonne recharge de l'étang due aux précipitations plus nombreuses en hiver et au printemps, il y aura davantage d'évaporation de l'eau des étangs l'été.
- Sommairement, on peut s'attendre à des nappes phréatiques de surface à des niveaux plus faibles en fin de saison estivale. Il conviendrait donc de prendre en compte ce facteur dans la conception de l'étang pour s'assurer de ne pas manquer d'eau.

¹³⁸ Voir le règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection : <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/reglement-prelevement-protection/index.htm>

Figure 9.4
Cartographie des milieux humides¹³⁹



COURS D'EAU ROUSSE

Le ruisseau Rousse et ses tributaires subissent chaque été une baisse importante de leur niveau d'eau, jusqu'à observer un assèchement en fin de saison estivale. Différentes études de suivis hydrométriques réalisées au cours des dernières années ont permis d'amasser quelques données et d'observer ce phénomène (Tableau 9.4).

- L'étude de TechnoRem (2008) rapporte un débit minimum observé de 0,027 m³/s à la station située au niveau des bassins de la mine St. Lawrence Columbium (SLC); ce débit a été mesuré à la mi-août 2007.
- Le débit mesuré de 2012 à 2018 par le COBAMIL pour la MRC de Deux-Montagnes à la station du chemin des Collines dans le cours d'eau Rousse était en moyenne, pour la période de juin à août, de 0,438 m³/s pour les sept années mesurées. Les débits minimums enregistrés entre juin et

¹³⁹ Canards Illimités Canada et le ministère de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MELCC), 2019. Cartographie détaillée des milieux humides des secteurs habités du sud du Québec – Données du projet global.

octobre ont parfois atteint des valeurs beaucoup plus faibles (par exemple, 0,015 m³/s en 2012). Dans les deux cas, il s'agit de débits très faibles.

Tableau 9.4
Débits mesurés dans le cours d'eau Rousse

Source	TechnoRem, 2008	COBAMIL et MRC de Deux-Montagnes, 2012 à 2018						
Année	2007	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Nombre de mesures par année	13	11	8	7	7	3	6	5
Date du débit minimum mesuré	08-13	09-11	09-10	10-15	07-14	06-14	08-15	06-12
Débit minimum en m³/s (m³/sem)	0,027 (16 572)	0,015 (9 072)	0,086 (52 013)	0,062 (37 651)	0,047 (28 244)	0,144 (87 071)	0,143 (86 486)	0,100 (60 480)
Nombre de mesures pour de juin à août	12	5	4	4	2	2	5	2
Débit moyen de juin à août en m³/s (m³/sem)	0,278 (168 024)	0,084 (50 993)	0,515 (311 732)	0,630 (380 822)	0,210 (126 917)	0,269 (162 681)	0,510 (308 448)	0,847 (512 266)

Sources : COBAMIL et MRC de Deux-Montagnes, 2019.

En l'absence de données historiques suffisantes pour calculer un $Q_{2,7}$ et de modélisation du ruisseau Rousse dans l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, nous avons estimé un débit d'étiage théorique à partir de la méthode de l'IRDA (voir chapitre 5).

- Ainsi, selon cette méthode, le débit d'étiage serait de 0,111 m³/s.
- En appliquant le seuil de 15 % correspondant à un usage durable de la ressource, on obtiendrait une superficie pouvant être théoriquement irriguée de 37,0 ha, si on considère des volumes d'irrigation de 27 mm par semaine (Tableau 9.5).

Tableau 9.5
Scénario d'approvisionnement dans le cours d'eau Rousse

Débit d'étiage estimé en m³/s (m³/sem)	0,111 (67 351)
Seuil de 15 % en m³/s (m³/sem)	0,017 (10 103)
Superficies pouvant être irriguées avec un apport total de 27 mm/semaine (ha)	37,0
Superficies à irriguer dans le bassin (ha)	253,1

Le 27 mm est un volume moyen hebdomadaire dérivé des pratiques d'irrigation :

- 67 % des superficies du bassin versant sont actuellement irriguées par goutte-à-goutte et recevraient, en période de pointe et selon notre hypothèse, 14 apports de 1,5 mm par semaine.
- Les superficies restantes le seraient par aspersion à un taux de deux apports de 20 mm par semaine.

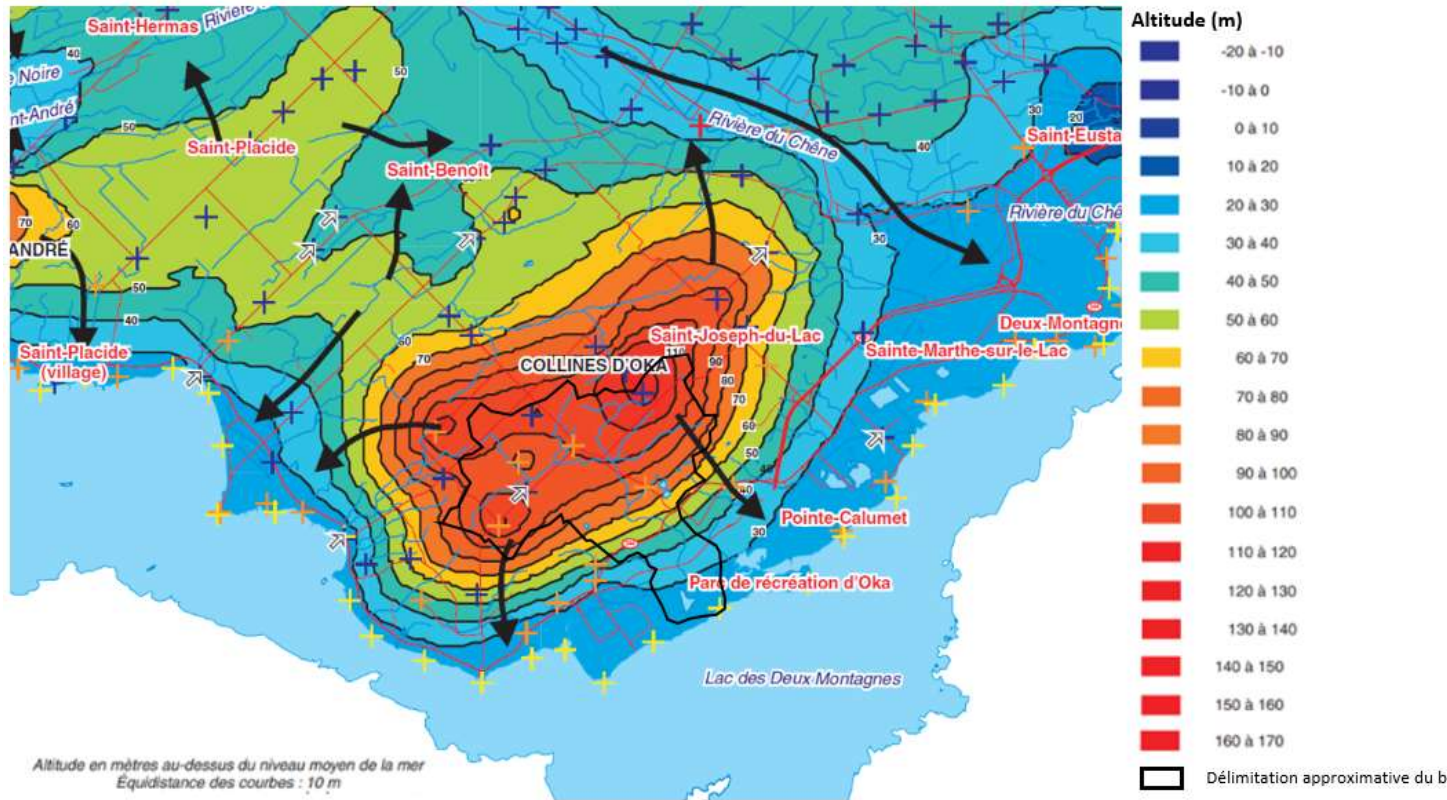
Sachant que la diminution des débits estivaux sera accentuée en contexte de changements climatiques, le constat qui se pose est que l'approvisionnement dans le cours d'eau ne peut pas subvenir à lui seul aux besoins d'irrigation : les superficies à irriguer sont environ 7 fois plus grandes que ce qu'il est possible d'irriguer en considérant un usage durable de la ressource selon nos estimations de débit d'étiage. De plus, la qualité de l'eau en période d'étiage est souvent médiocre, ce qui peut la rendre impropre à l'irrigation de certaines cultures, notamment quand il y a un contact direct entre la partie du végétal qui est consommé et l'eau. Cette source d'eau n'est donc pas complètement satisfaisante.

EAU SOUTERRAINE

Disponibilité en eau

Le bassin versant du ruisseau Rousse est situé dans une zone piézométrique haute, signifiant que l'eau qui s'infiltre dans les sols a tendance à s'écouler latéralement, au moins en partie, vers l'extérieur du bassin, et que peu d'eau provenant de l'extérieur du bassin s'écoule dans le sous-sol vers les aquifères du bassin (Savard, 2013). L'écoulement se fait au sud vers le lac des Deux-Montagnes, à l'ouest vers la rivière des Outaouais et au nord vers la rivière du Chêne, se retirant du système aquifère du ruisseau Rousse (Figure 9.5).

Figure 9.5
Piézométrie et direction d'écoulement



Source : Adapté de Savard, 2013¹⁴⁰

Selon les études, la recharge de la nappe phréatique au roc varierait de 0 à 254¹⁴¹ ou 300¹⁴² mm/an, selon où l'on se situe dans le bassin versant. En moyenne à 179 mm/an (Figure 9.6), elle représenterait 16 % des précipitations annuelles totales (1 106 mm à Oka¹⁴³). Le territoire du bassin versant du ruisseau Rousse semble donc présenter une recharge relativement satisfaisante. L'enjeu rencontré pour un approvisionnement dans les eaux souterraines semble être davantage lié à la productivité de l'aquifère, estimée en termes de débit apparent dans la Figure 9.7 :

¹⁴⁰ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

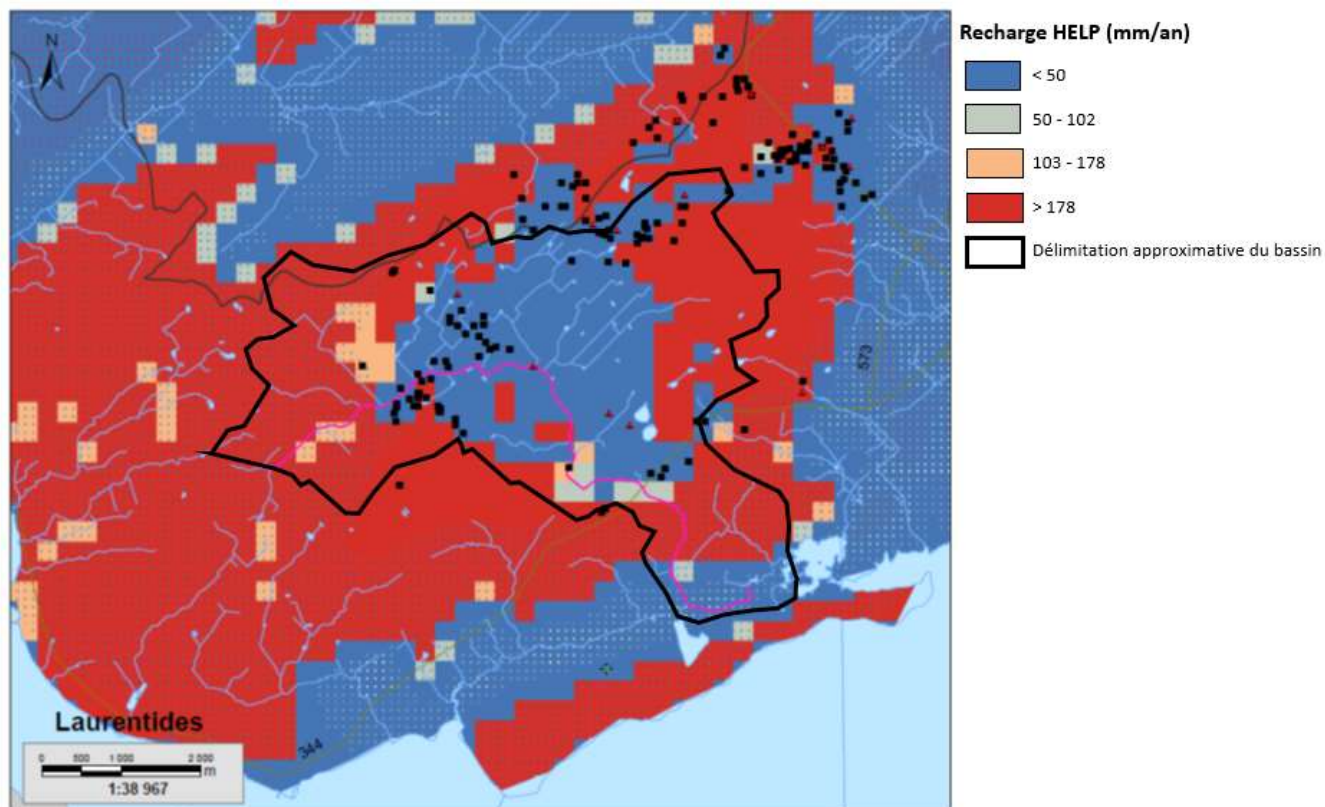
¹⁴¹ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

¹⁴² Raynauld et coll., 2018. Estimation de la recharge avec le modèle d'infiltration HELP pour les régions de Laval et des Laurentides. INRS, Centre Eau, Terre et Environnement. Rapport de recherche R0000

¹⁴³ MELCC, 2020. Précipitation totale annuelle, <http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/normales/index.asp>.

- Dans le bassin, des valeurs inférieures à 20 m³/jour sont observées, ce qui correspond à des débits faibles. Cela limite donc la possibilité pour les producteurs d'utiliser de l'eau souterraine pour approvisionner leur système d'irrigation (un apport de 20 mm d'eau par aspersion sur des choux correspond à un volume de 200 m³/j sur un hectare).
- Plusieurs puits seraient donc nécessaires pour fournir un débit suffisant pour répondre aux besoins des producteurs agricoles, ce qui entraînerait des coûts élevés.

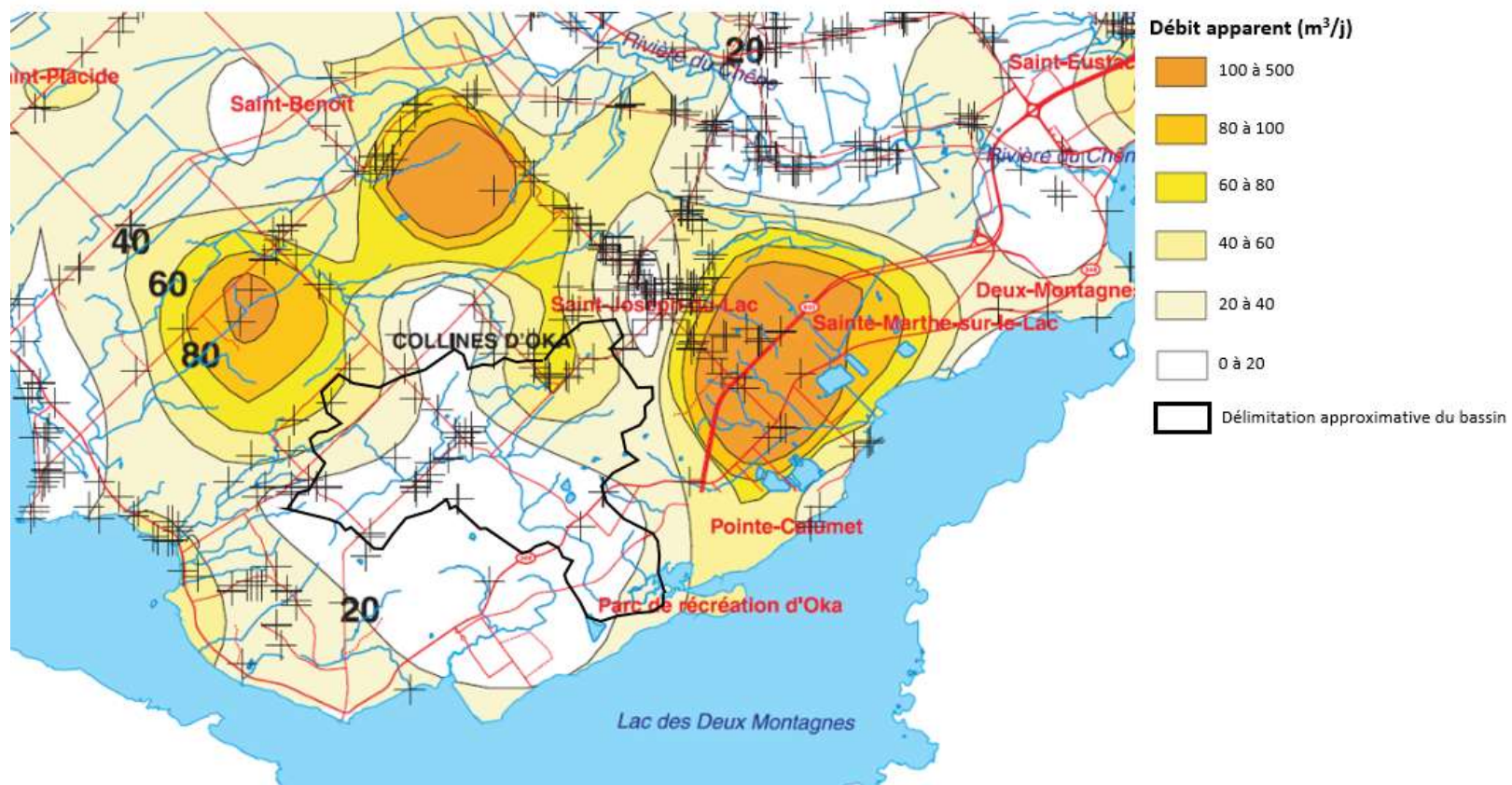
Figure 9.6
Recharge au roc



Source : Adapté de l'INRS, 2018¹⁴⁴

¹⁴⁴ Raynauld et coll., 2018. Estimation de la recharge avec le modèle d'infiltration HELP pour les régions de Laval et des Laurentides. INRS, Centre Eau, Terre et Environnement. Rapport de recherche R0000

Figure 9.7
Productivité de l'aquifère



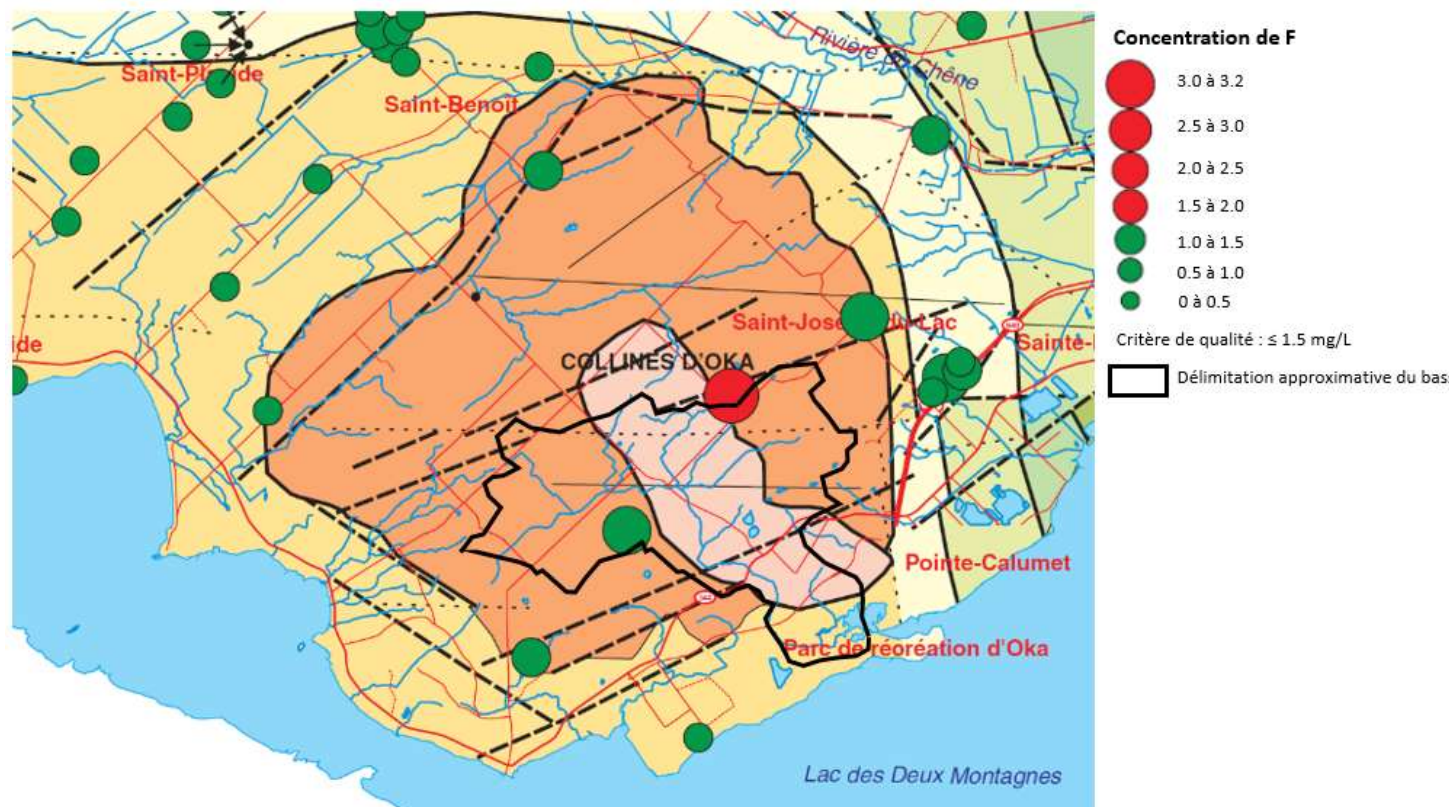
Source : Adapté de Savard, 2013¹⁴⁵

¹⁴⁵ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

Qualité de l'eau

À ce portrait quantitatif de la ressource s'ajoute le volet qualitatif. Plusieurs paramètres jouent sur les critères de qualité de l'eau souterraine et sa contamination. Parmi ceux-ci, le fluorure a montré, dans le nord du bassin, un dépassement des critères de qualité pour l'irrigation (1,0 mg/L) et l'abreuvement des animaux (1,0 à 2,0 mg/L) (Figure 9.8).

Figure 9.8
Qualité de l'eau – fluorure



Source : Adapté de Savard, 2013¹⁴⁶

Les excès de fluorure peuvent nuire à la croissance des plantes en créant des lésions génétiques au niveau des racines ou provoquer une maladie appelée fluorose (squelettique ou dentaire) chez les animaux. Les résultats observés par TechnoRem (2008) suggèrent toutefois que les concentrations en fluorure ont très peu varié entre 1998 et 2008.

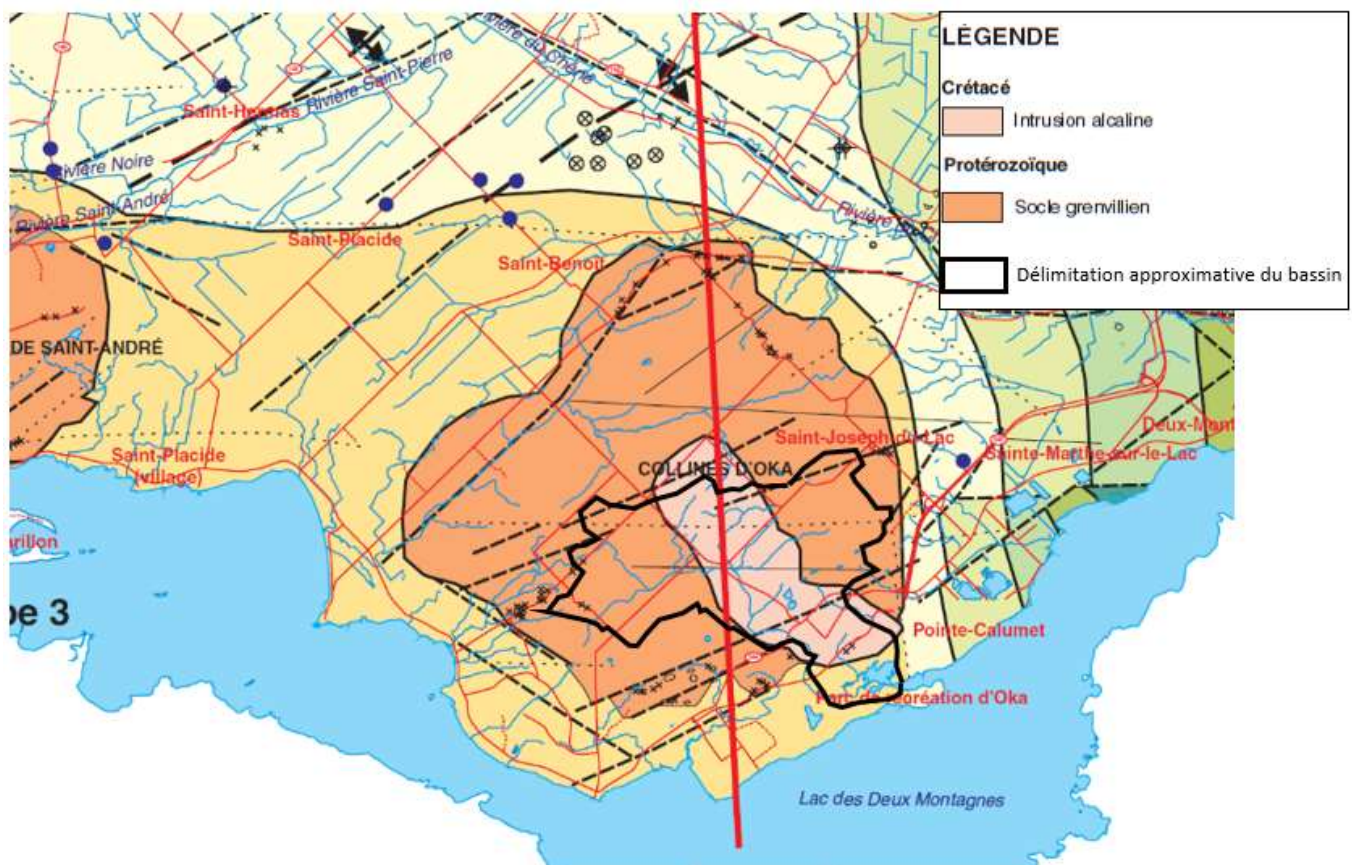
Par ailleurs, la présence d'uranium, associée à l'intrusion de la carbonatite telle que celle localisée en plein cœur du bassin (Figure 9.9), et l'exposition domiciliaire au radon ont été documentées dans le bassin.

¹⁴⁶ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

- Le radon est généré lors de la désintégration de l'uranium 238, un constituant des roches de l'intrusion alcaline. Historiquement, des analyses d'uranium réalisées dans les eaux souterraines de cette zone avaient confirmé des dépassements des critères de qualité¹⁴⁷.
- Cependant, dans l'étude de Savard¹⁴⁸, aucune analyse d'uranium n'a été directement effectuée dans l'intrusion alcaline. Des doutes persistent quant à la problématique du radon (et de l'uranium par le fait même), car bien qu'observées sur le territoire, la gravité de la contamination et son évolution dans le temps dans un contexte d'approvisionnement en eau semblent avoir été peu étudiées. Peu d'information existe sur les risques associés aux cultures destinées à l'alimentation humaine qui seraient irriguées en utilisant une eau contaminée au radon.

Figure 9.9

Emplacement de l'intrusion alcaline responsable de la problématique d'uranium et de radon



Source : Adapté de Savard, 2013¹⁴⁹

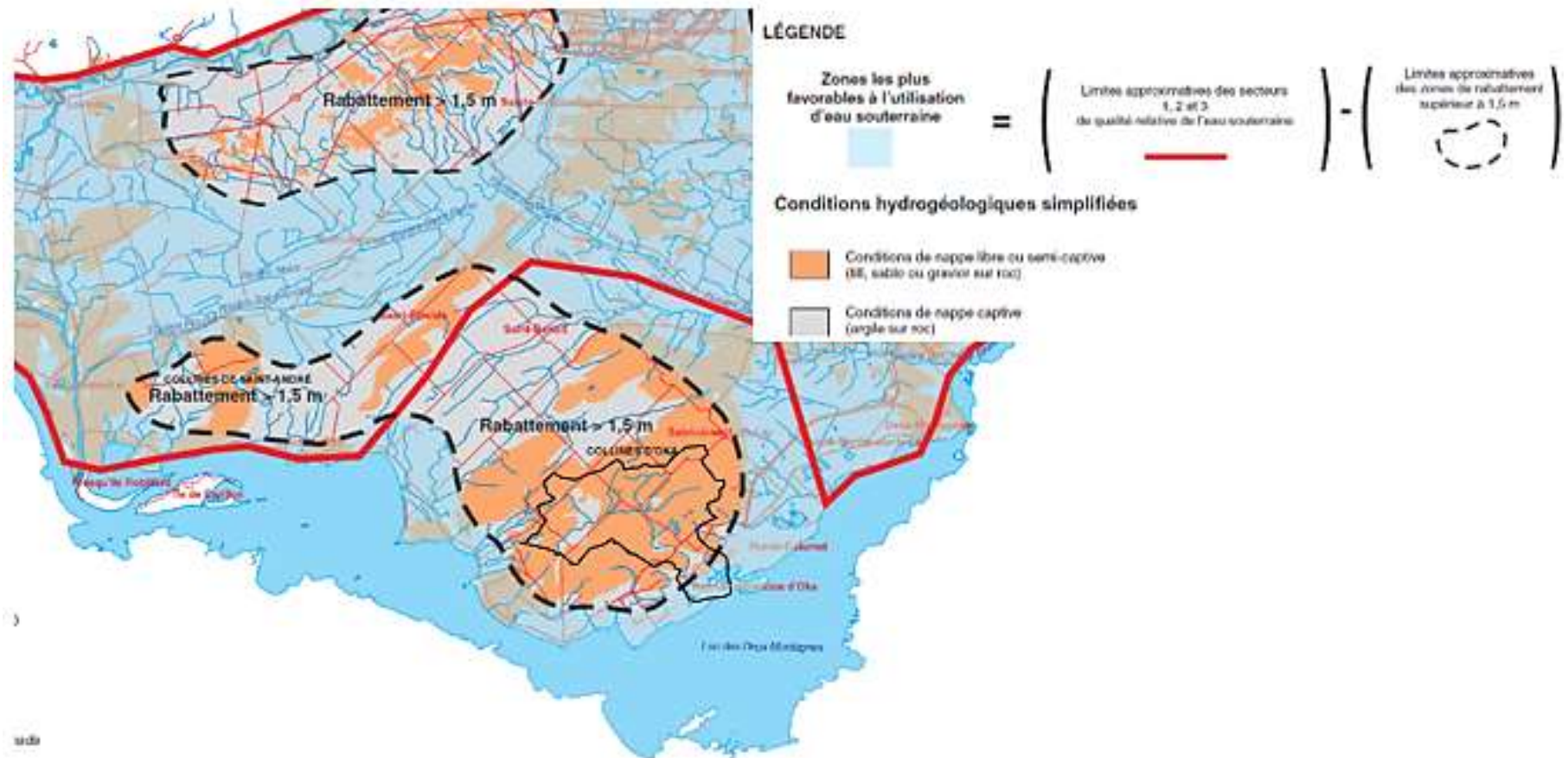
¹⁴⁷ TechnoRem, 2008. Cartographie hydrogéologique régionale dans la zone de production horticole et fruitière de la MRC de Deux-Montagnes. Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada-Québec, projet CDAQ #5201.

¹⁴⁸ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

¹⁴⁹ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

Finalement, le bassin du cours d'eau Rousse est situé dans une zone de nappe libre ou semi-confinée (Figure 9.10). L'aquifère est donc vulnérable à la contamination anthropique. Le bassin Rousse a donc été exclu, dans l'étude de Savard (2013), pour les raisons de disponibilité de l'eau et pour les enjeux de qualité, des secteurs favorables à l'utilisation de l'eau souterraine. Néanmoins, sur le terrain, les producteurs qui utilisent de l'eau souterraine ne semblent pas rencontrer d'enjeux de qualité particuliers. Cependant, ils ne réalisent peut-être pas d'analyse des éléments potentiellement problématiques. L'enjeu souvent rencontré pour un usage de l'eau pour l'irrigation est la productivité des puits, relativement faible et ne permettant pas d'irriguer une grande superficie de manière simultanée. Les producteurs utilisent donc souvent l'eau du puits pour remplir un étang, le puits fonctionnant en continu. Les producteurs repompent ensuite l'eau de l'étang pour irriguer leurs champs à intervalle plus ou moins régulier.

Figure 9.10
Zones favorables à l'utilisation de l'eau souterraine



Source : Adapté de Savard, 2013¹⁵⁰

¹⁵⁰ Savard, M.M (coord.), 2013. Inventaire canadien des ressources en eau souterraine : Caractérisation hydrogéologique régionale et intégrée du système aquifère fracturé du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Bulletin 587, 106 p.

9.1.3 PISTES DE SOLUTIONS ENVISAGÉES

OPTIMISER L'USAGE DE L'EAU

Une meilleure utilisation de l'eau, notamment dans les pratiques d'irrigation, serait une avenue pour réduire les volumes d'eau nécessaires pour l'irrigation des cultures. Les informations recueillies auprès des producteurs du bassin versant laissent à penser que la gestion de l'irrigation n'est pas toujours optimale dans les entreprises. En effet, les volumes apportés lors d'un apport d'eau sont parfois trop importants par rapport à la capacité de rétention en eau du sol. Cette problématique est souvent liée à la main-d'œuvre requise pour manuellement démarrer et arrêter l'irrigation. Il ne serait pas rare que la personne responsable de l'irrigation n'ait pas toujours une formation adéquate ni les outils nécessaires pour réaliser une gestion optimale de l'irrigation. Cette personne doit souvent aussi gérer d'autres tâches simultanément à l'irrigation, entraînant de fait des pratiques non optimales, et des pertes en eau préjudiciables dans un contexte de rareté. Il y a donc très probablement des gains intéressants à réaliser. Cependant, comme cela a été montré dans d'autres études (Vallée et coll., 2016; Boivin et coll., 2016), une meilleure gestion de l'eau d'irrigation ne se traduit pas systématiquement par une réduction des besoins en eau. En effet, si l'eau est mieux gérée, cela peut permettre d'être plus efficace, et donc d'obtenir de meilleurs rendements. Le producteur pourrait alors adopter deux stratégies différentes : diminuer sa superficie cultivée et irriguée pour maintenir le même volume de production, ou augmenter son volume produit sur la même superficie, s'il dispose des marchés pour écouler sa production.

La mise en œuvre de pratiques d'irrigation plus optimales nécessiterait que les entreprises investissent du temps pour offrir une meilleure formation aux personnes responsables de l'irrigation, mais aussi pour qu'elles puissent y consacrer plus de temps. Cela nécessiterait également un investissement dans des équipements et technologies pour optimiser la gestion de l'irrigation, comme ceux présentés à la section 7.2.2. Par exemple, des sondes pour mesurer l'état hydrique du sol, des compteurs pour évaluer les volumes, éventuellement des systèmes pour automatiser l'irrigation. Ces investissements peuvent représenter des freins importants, notamment pour les entreprises à la santé financière plus fragile.

De plus, ces différentes technologies et les bonnes pratiques mises de l'avant ces dernières années (voir le chapitre 10) devraient faire l'objet d'un plus grand travail d'expérimentation et de sensibilisation auprès des producteurs du bassin versant, afin qu'elles soient plus connues et accessibles.

AUGMENTER LA SUPERFICIE DES ÉTANGS D'IRRIGATION, LEUR PROFONDEUR ET LEUR NOMBRE

Comme on le mentionne précédemment, approfondir les étangs d'irrigation, augmenter leur superficie ou en creuser un plus grand nombre permettrait de stocker davantage l'eau issue de la fonte des neiges et des précipitations, sans venir accroître la pression sur la ressource du ruisseau en période estivale.

- En supposant une profondeur moyenne de 3 mètres et aucune recharge de l'étang, il faudrait l'équivalent de 11,8 ha (6,5 ha de plus qu'à l'heure actuelle) en étangs pour irriguer les superficies actuelles.

- Ces superficies deviennent encore plus importantes en scénario futur et augmenteraient jusqu'à 13,9 ha (scénario optimiste MRI_CGCM3) et 16,2 ha (scénario pessimiste MIROC_rcp85).

Ce scénario d'approvisionnement apparaît peu crédible pour combler l'ensemble des besoins en eau du bassin versant. Cependant, cela permettrait probablement de combler les besoins particuliers de certains producteurs, et donc une partie des besoins du territoire. Plusieurs éléments doivent être pris en considération dans l'étude de cette solution :

- La réglementation impose plusieurs contraintes pour la réalisation des étangs d'irrigation non assujettis à une demande d'autorisation au MELCC (voir chapitre 1 pour les détails), notamment : le respect d'une distance de 30 m d'un milieu humide, la nécessité de disposer du matériel excavé à proximité (interdiction de l'évacuer), une profondeur maximale de 6 m. Ces éléments limitent les possibilités d'emplacement des étangs sur le territoire. L'emprise des étangs est également impactée par la nécessité de disposer sur place du matériel excavé, entraînant un quasi-doublement de l'emprise sur les terres agricoles par rapport à la superficie de l'étang lui-même. Le prix élevé des terres agricoles et la non-disponibilité de superficies cultivables additionnelles dans le territoire sont également un frein important au développement des étangs, les producteurs souhaitant préserver la ressource non renouvelable qu'est le sol.
- Le territoire du bassin versant présente un relief important, de sorte que l'eau s'écoule rapidement vers l'aval du bassin. Il n'est pas garanti qu'en tout point du territoire, un étang creusé se remplira d'eau, et surtout que celle-ci ne s'infiltre pas dans le sous-sol. Dans certains cas, des travaux d'étanchéification pourraient être à prévoir.
- En termes de coût, le CRAAQ¹⁵¹ évalue le coût moyen de l'excavation d'un volume inférieur à 5000 m³ à 3,39 \$ par m³ pour une profondeur de 2 à 3 mètres. À l'échelle du BV, sous réserve de faisabilité technique, cela représenterait un coût total de près d'un million de \$ (pour excaver 11,8 ha dans le scénario le plus pessimiste sur 3 m de profondeur en moyenne). À ce coût théorique, il faudrait ajouter la perte de superficie liée à l'emprise des étangs.

Cette solution s'avère donc potentiellement faisable, mais ne semble pas pouvoir être l'unique solution à proposer aux producteurs, du fait des contraintes de coûts et de faisabilité technique. De plus, il faut prévoir la possibilité de remplir les étangs en cas d'épisode de sécheresse.

UTILISER DAVANTAGE L'EAU SOUTERRAINE

Comme on le mentionne précédemment, le bassin versant bénéficie d'une bonne recharge de la nappe phréatique au roc. Cependant, la productivité de l'aquifère est plutôt faible, ce qui signifie qu'il n'est pas possible de forer des puits présentant des débits importants. Des doutes persistent également quant à la qualité de la ressource qui est vulnérable à la contamination par les activités humaines en surface, étant donné la nature des sols et le caractère non confiné des nappes phréatiques au roc. En ce qui concerne la possibilité de combler les besoins en eau du BV par les ressources en eau souterraine, il est nécessaire de réaliser une étude hydrogéologique plus poussée et spécifique au bassin versant, afin d'évaluer la faisabilité des possibilités

¹⁵¹ AGDEX 754_Etangs et Puits-Cout du matériel et de l'excavation, Fevrier_2012

d'approvisionnement suivantes : forer plusieurs puits qui présenteront un débit limité à l'intérieur du bassin versant, ou forer quelques puits à l'extérieur du bassin et acheminer l'eau via jusqu'aux champs via des aqueducs pour recharger les étangs ou pour irriguer directement¹⁵². Cette étude permettrait d'évaluer la faisabilité technique et de chiffrer ces deux scénarios en termes de coût, pour déterminer notamment la rentabilité d'un tel scénario, et la possibilité d'entreprendre un projet d'approvisionnement collectif. Ce type d'étude peut être réalisé par des firmes d'ingénierie spécialisées.

AUTRES SOURCES POSSIBLES

Les deux étangs, anciennement des carrières à ciel ouvert de la mine SLC, pourraient peut-être servir de réservoirs pour l'eau d'irrigation. Il faudrait au préalable s'assurer de la qualité de l'eau, mais de prime abord, les volumes seraient amplement suffisants pour subvenir aux besoins saisonniers. Notons que des travaux de réhabilitation seraient d'ailleurs en cours dans le secteur¹⁵³.

- Les superficies des fosses sont semblables; elles ont été estimées par traitement spatial à 2,9 et 2,8 ha. En supposant une profondeur de 35 mètres pour la première fosse et de 60 mètres¹⁵⁴ pour la seconde, le volume total stocké correspond à 2,67 Mm³.

Finalement, une dernière piste à envisager consisterait en un approvisionnement au lac des Deux-Montagnes. Cependant, cela nécessiterait de construire un aqueduc et de faire remonter l'eau dans le bassin versant, ce qui d'emblée signifierait des coûts importants et des dépenses énergétiques élevées. Une autre contrainte majeure est que cet aqueduc devrait traverser le territoire du parc national d'Oka, situé directement à l'embouchure du bassin sur le lac.

L'étude poussée des scénarios d'approvisionnement évoquée ci-dessus pourrait également considérer ces deux scénarios et, à titre comparatif, les chiffrer en termes de finances.

9.1.4 RETOMBÉES DE L'ÉTUDE DE CAS

Cette analyse a permis de déterminer que l'eau de surface manque dans le bassin : les étangs d'irrigation ne sont pas suffisamment nombreux pour subvenir aux besoins d'irrigation, et le cours d'eau, ayant tendance à s'assécher pendant la saison estivale, ne permet ni la recharge des étangs d'irrigation, ni des prélèvements directs au cours d'eau pour l'irrigation des cultures. À moins de tripler la superficie des étangs pour profiter davantage de la fonte des neiges et des précipitations, ce qui semble peu réaliste compte tenu des contraintes posées par les étangs d'irrigation, il convient de considérer d'autres scénarios d'approvisionnement en complément de l'usage de l'eau de surface des étangs.

¹⁵² René Lefebvre, INRS, communication personnelle

¹⁵³ Jean-François Gendron, conseiller en aménagement du territoire, MRC de Deux-Montagnes

¹⁵⁴ BAPE, 2015. Les effets potentiels du projet d'exploitation d'une mine et d'une usine de niobium à Oka sur les eaux de surface et les eaux souterraines ainsi que sur leurs utilisations. Rapport d'enquête #208. 93 p.

Du côté de l'eau souterraine, le niveau de recharge semble plutôt élevé (180 mm/an en moyenne), mais la productivité de l'aquifère semble limitée dans le bassin versant, se traduisant par des débits plutôt faibles dans les puits creusés dans l'aquifère. De plus, la situation de nappe libre et semi-confinée constitue un point d'entrée pour les contaminants vers l'aquifère. Néanmoins, puisque plusieurs puits résidentiels et agricoles sont actuellement exploités, il semble que les producteurs auraient tout à gagner à s'approvisionner davantage par l'eau souterraine. Une étude hydrogéologique plus poussée et particulière à la problématique de l'approvisionnement en eau dans le BV permettrait de broser des scénarios d'usage de l'eau souterraine, et de confirmer le portrait de la qualité de l'eau. Poursuivre dans cette voie permettra de s'assurer à long terme de ne pas créer de conflits d'usage avec la population s'approvisionnant déjà en eau souterraine.

En ce qui concerne l'objectif de sensibiliser les producteurs à la problématique de la gestion de l'eau et aux pistes de solutions possibles avec eux, les résultats leur ont été présentés lors d'un atelier (Figure 9.11) tenu en mars 2020 dans le cadre des Causeries du ruisseau Rousse, un événement organisé par l'organisme de bassins versants local le COBAMIL (le matériel d'animation utilisé se trouve à l'annexe 8).

Figure 9.11
Causeries du ruisseau Rousse, 12 mars 2020



Nous ne pouvons que regretter la faible participation des producteurs à l'atelier. Le contexte dans lequel il s'est tenu (temps des sucres et premiers avis de confinement de la santé publique concernant la pandémie de COVID-19) explique probablement en partie cette faible participation.

L'atelier a donc eu un impact limité auprès des producteurs, mais d'autres acteurs locaux ont pu être sensibilisés davantage à l'impact des changements climatiques sur le ruisseau Rousse et ses tributaires, de même que sur la capacité future des producteurs du bassin à s'approvisionner en eau. Ils pourront certainement devenir des ambassadeurs et diffuser l'information, car nous les avons sentis engagés à faire progresser le dossier de la gestion de l'eau.

Par ailleurs, le COBAMIL souhaite coordonner dans les années à venir une étude sur le potentiel d'utilisation de l'eau souterraine sur le territoire. Cette étude permettra de poursuivre les réflexions initiées dans la présente étude de cas, et d'approfondir l'étude de la faisabilité technique d'utiliser davantage les ressources en eau souterraine dans le territoire.

Finalement, le cas du ruisseau Rousse n'est pas unique en son genre, puisque plusieurs autres petits bassins à vocation agricole de la région des Laurentides (et probablement aussi d'autres régions agricoles du Québec) connaissent le même genre de problématique d'assèchement du cours d'eau observé durant la saison estivale ou de piètre qualité de l'eau de surface. Dans ces bassins, il peut ne pas y avoir de solutions d'approvisionnement durables évidentes, et les producteurs ne sont pas toujours bien au fait des impacts de leurs prélèvements sur les ressources et de la législation entourant ces prélèvements. Un travail important d'analyse et de sensibilisation serait donc à réaliser dans cette région.

9.2 MUNICIPALITÉ RÉGIONALE DE COMTÉ DE PORTNEUF

Dans la région de la Capitale-Nationale, le bilan d'utilisation de l'eau suggérait que plusieurs territoires semblaient susceptibles d'avoir des conflits liés à l'usage de l'eau de surface, notamment le bassin versant de la rivière Portneuf et le bassin versant de la rivière Sainte-Anne. De plus, les échanges avec les participants aux rencontres régionales tenues en 2018 ont permis de relever des inquiétudes quant à l'évolution des besoins en eau pour l'irrigation des cultures, dans un contexte de manque d'information précise à la fois sur les besoins en eau et les ressources disponibles pour combler ceux-ci.

9.2.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Avec quelques participants régionaux¹⁵⁵, la réflexion a été approfondie pour mieux cerner la problématique. Deux rencontres ont ainsi été tenues à l'été et à l'automne 2019 pour présenter les résultats d'analyse de la littérature, ainsi que l'analyse détaillée des bilans hydriques à plus petites échelles – MRC et bassins versants (prélèvements et ressources en eau disponibles). Ces rencontres ont permis d'écarter le bassin versant de la rivière Portneuf, étant donné la quasi-absence de prélèvement d'eau dans ce cours d'eau. La situation dépeinte par l'analyse régionale provenait d'incertitudes concernant l'emplacement des prélèvements, en lien avec les données utilisées pour produire les bilans régionaux.

Cependant, ces analyses ont également permis de constater le manque de données fiables sur les prélèvements en eau réalisés par les producteurs horticoles pour l'irrigation des cultures. L'analyse des superficies cultivées dans la région a permis de dresser quelques constats préliminaires :

- La culture potentiellement irriguée qui représente le plus de superficies est la pomme de terre. Si l'ensemble des superficies en pommes de terre était irrigué, cela représenterait potentiellement des volumes d'eau très importants.
- Les autres productions potentiellement irriguées représentent de très petites superficies, des volumes faibles, et sont dispersées dans le territoire, représentant donc un facteur de risque négligeable de conflit d'usage de l'eau (à une échelle macroscopique au moins).

De plus, les échanges avec les participants ont permis de comprendre que certaines entreprises qui produisent des pommes de terre dans la région projettent de développer l'irrigation des pommes de terre, en partie en réaction aux étés secs vécus ces dernières années.

Constatant qu'il n'existe pas de base de données qui permette d'estimer les superficies réellement irriguées par les producteurs agricoles, il était impossible de réaliser une évaluation précise des besoins en eau actuels et futurs pour l'irrigation de la pomme de terre, ainsi que l'analyse de la pression de ces prélèvements sur les ressources.

¹⁵⁵ Représentants de la direction régionale de la Capitale-Nationale du MAPAQ, de l'IRDA, de la CAPSA (OBV).

Nous avons donc, en accord avec le comité aviseur du projet, décidé de focaliser nos efforts sur l'acquisition de données précises sur les pratiques actuelles et futures d'irrigation des pommes de terre dans la MRC de Portneuf. Les objectifs de cette étude de cas étaient donc les suivants :

- Documenter de façon détaillée et précise la situation actuelle des prélèvements en eau effectués dans le territoire, et estimer les ressources en eau.
- Quantifier l'évolution des besoins en eau en contexte de changements climatiques : hausse des superficies irriguées, hausse des besoins en eau par unité de superficie.
- Scénariser les évolutions des superficies cultivées en pommes de terre dans la région.
- Réaliser un bilan hydrique futur en utilisant les projections de superficies irriguées et les impacts des changements climatiques sur les ressources et les besoins en eau.
- Relever d'éventuels risques de conflit d'usage de l'eau en lien avec l'irrigation des pommes de terre.
- Déterminer des pistes de solution pour atténuer l'occurrence et l'intensité de ces conflits, le cas échéant.

En partenariat avec l'analyste du MAPAQ de la région Capitale-Nationale, les principaux producteurs de pommes de terre de la région (en termes de superficie) ont été contactés et rencontrés afin de (1) recueillir de l'information sur les superficies, emplacements et régimes de production de pommes de terre (incluant l'irrigation éventuelle) et (2) les perspectives d'évolution de leurs pratiques qu'ils envisageaient. Les producteurs de pommes de terre qui ont accepté de participer à la démarche ont pu bénéficier d'un accompagnement individualisé et recevoir un portrait propre à leur entreprise des ressources en eau disponibles et des risques de conflit éventuel.

À noter que pour des fins de confidentialité, compte tenu du petit nombre de producteurs de pommes de terre sur le territoire, l'information n'est pas représentée visuellement (géolocalisation) et doit parfois être agrégée dans le cadre de la présente divulgation publique. Cependant, une carte montrerait sans équivoque qu'à l'exception de la pomme de terre, où d'importantes superficies sont concentrées dans l'espace (Figure 9.12), les autres cultures sont dispersées dans le territoire, et donc peu susceptibles de représenter une pression importante sur les ressources en eau.

Dans les sections suivantes, nous présentons les résultats de ces analyses et des échanges qui ont été réalisés avec les acteurs régionaux.

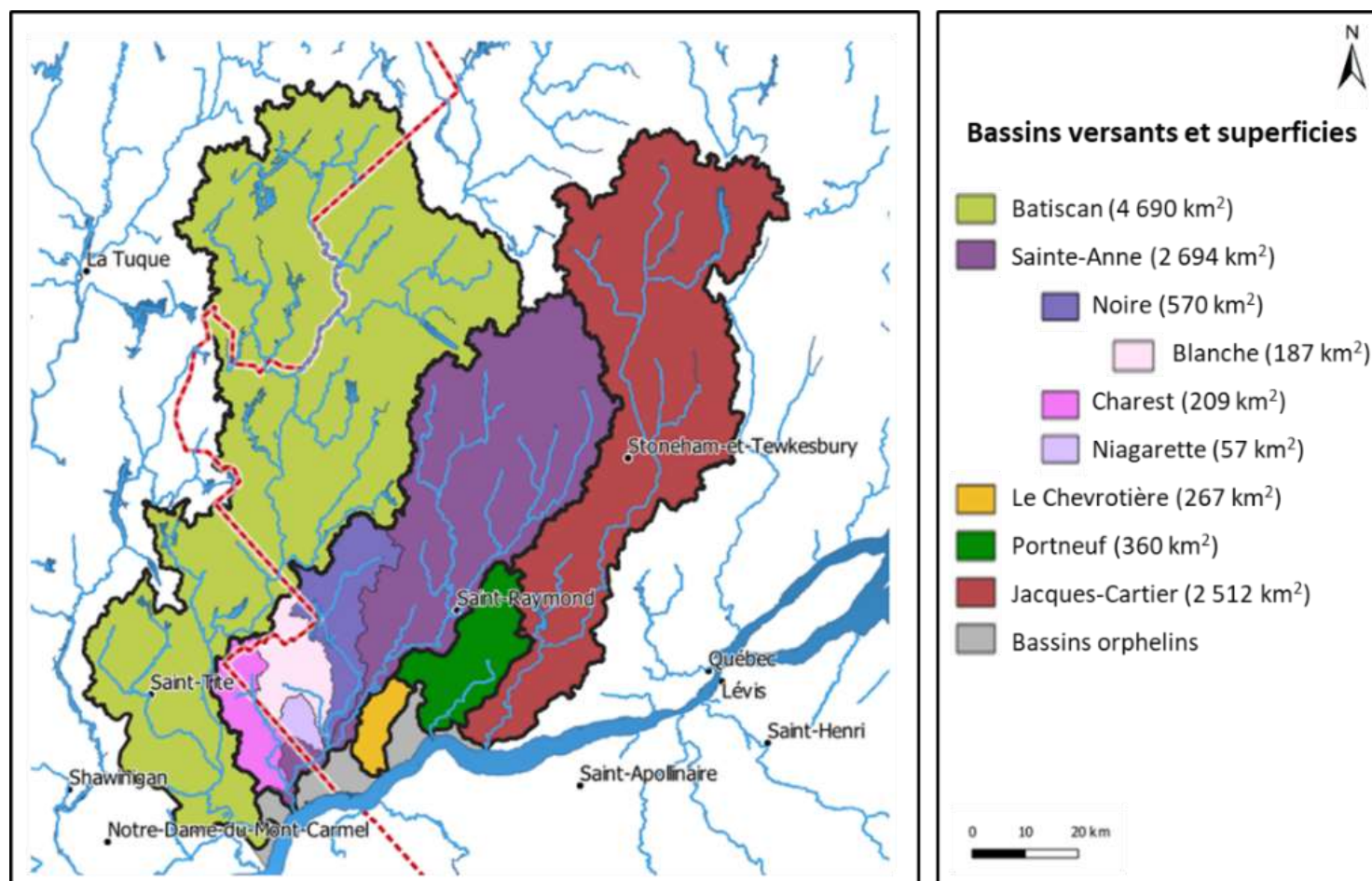
EMPLACEMENT

Le territoire de la MRC de Portneuf est situé au sud-ouest de la région de Capitale-Nationale. Le territoire est bordé au sud par le fleuve, et comprend cinq principaux bassins versants (voir Figure 9.12) : le bassin versant de la rivière Batiscan, celui de la rivière Saint-Anne, celui de la rivière Chevroitière, celui de la rivière Portneuf, et enfin celui de la rivière Jacques-Cartier à l'est. Le territoire agricole de la MRC de Portneuf et la production de pommes de terre en particulier sont principalement concentrés dans les bassins versants de la rivière Saint-Anne et de la rivière

Jacques-Cartier¹⁵⁶ (Figure 9.12). Le bassin versant de la rivière Sainte-Anne est en mauve sur la carte ci-dessus.

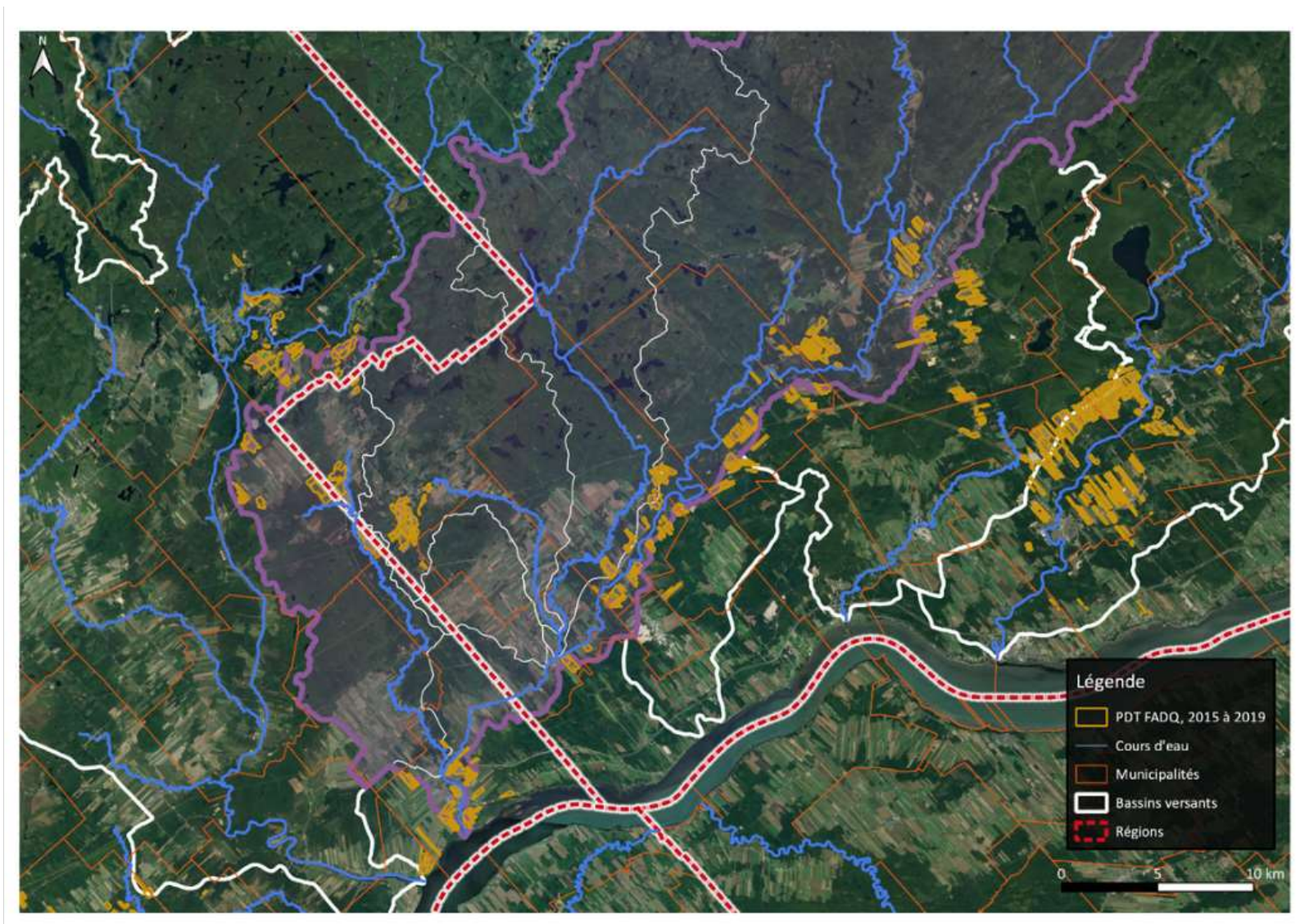
¹⁵⁶ À noter qu'une petite superficie en pommes de terre est également cultivée dans la MRC de la Jacques-Cartier et a été incluse dans les analyses présentées ici. Cependant, à des fins de simplification pour la lecture de ce document, nous ne mentionnons que le territoire de la MRC de Portneuf. De même, des entreprises de la région ont également des terres à la frontière administrative de la MRC, en Mauricie, qui ont été incluses dans cette analyse. Il s'agit donc d'une vision « élargie » de la MRC de Portneuf.

Figure 9.12
Carte des bassins versants de la MRC de Portneuf



Note : Les rivières Noire, Charest et Niagarette sont des sous-bassins versants de la Sainte-Anne. La rivière Blanche est elle-même un sous-bassin de la Noire.

Figure 9.13
Carte des champs de pommes de terre assurés à la FADQ entre 2015 et 2019



ACTIVITÉS ET PRÉLÈVEMENTS D'EAU

Nous présentons ici une synthèse des prélèvements en eau basée sur les données décrites aux chapitres 5 et 6 de ce rapport, analysées à l'échelle de la MRC de Portneuf. Les industries, commerces et institutions (ICI) hors réseaux d'aqueduc municipaux (disposant de leur propre système d'adduction d'eau) représentent le premier prélèvement d'eau (59 %) dans la région en termes de volume. Ce secteur s'approvisionne dans les cours d'eau, les nappes phréatiques et le fleuve. Sont inclus dans cette catégorie les prélèvements pour des carrières et cimenteries, une aluminerie, la production de pâtes et papiers et des activités récréotouristiques, comme le golf (Tableau 9.6). La plupart des ICI hors réseaux prélèvent de l'eau de surface (98 % des prélèvements totaux de cette catégorie), incluant un prélèvement au fleuve.

Le secteur résidentiel représente le second prélèvement (21 %) en eau dans la région. La plupart des municipalités (sauf Saint-Thuribe) disposent d'un réseau d'aqueduc qui dessert la majorité de la population. Pour les habitations non desservies, ce sont des puits prélevant de l'eau souterraine qui fournissent l'eau aux résidents. Les ICI reliés aux réseaux d'aqueduc municipaux représentent le troisième poste (13 %) de prélèvement dans la MRC. La principale source d'eau potable pour les aqueducs municipaux est l'eau souterraine : sur les 18 municipalités de la MRC, seules deux utilisent de l'eau de surface (Donnacoona et Saint-Casimir).

En termes de volume, les prélèvements agricoles arrivent en quatrième position (8 %), avec les prélèvements pour l'irrigation des cultures et l'abreuvement des animaux. En ce qui concerne l'irrigation des cultures, la culture de la pomme de terre représente de loin la principale culture potentiellement irriguée, avec une superficie avoisinant les 4000 ha (Tableau 9.7). Les volumes associés à l'irrigation de la pomme de terre (par unité de superficie) sont également plus importants que ceux de la plupart des autres cultures potentiellement irriguées, sauf pour les plantes en conteneurs (voir annexe 4).

Tableau 9.6
Sommaire des volumes d'eau prélevés pour différents usages dans la MRC de Portneuf

Destination du prélèvement	MRC de Portneuf (Mm ³ /an)	Pourcentage relatif
Résidentiel	4,2	21 %
ICI réseau	2,6	13 %
ICI hors réseau	11,8	59 %
Animal	0,5	2 %
Végétal	1,0	5 %
Total	20,0	100 %

Tableau 9.7
Superficies cultivées des principales cultures potentiellement irriguées dans la MRC de Portneuf (périmètre élargi)

	Superficie (ha)
Pommes de terre	3 989,3
Autres petits fruits	88,3
Fraises	77,6
Pommes	22,2
Maraîcher	16,7
Plantes en conteneur	16,7
Total	4 210,8

9.2.2 PRATIQUES ACTUELLES ET PERSPECTIVES D'ÉVOLUTION DES BESOINS EN EAU POUR L'IRRIGATION DES POMMES DE TERRE À PORTNEUF

PRATIQUES ACTUELLES D'IRRIGATION DE LA POMME DE TERRE

Selon les données du MAPAQ, les producteurs rencontrés cultivent 88 % (3 544 ha) des près de 4000 ha cultivés annuellement en pommes de terre dans la région. Il s'agit de six entreprises de taille importante qui tirent leur principal revenu de la pomme de terre.

- Parmi ces six entreprises, seules trois irriguent actuellement leurs pommes de terre dans la région de Portneuf. Au total, environ 650 hectares de pommes de terre seraient actuellement irrigués chaque année par ces entreprises.
- Trois autres entreprises n'irriguent pas en ce moment, mais prévoient le faire; elles ont accepté de nous rencontrer.
- Au total, les projets de développement de l'irrigation de ces six entreprises représentent une superficie additionnelle irriguée de près de 1000 ha dans les années à venir.

Les quelques autres entreprises (nous en avons recensé trois) qui produisent des pommes de terre, mais n'envisagent pas d'irriguer à court et moyen terme, cultivent des petites superficies, et la pomme de terre ne représente pas leur première source de revenus.

Les trois entreprises qui pratiquent actuellement l'irrigation sont toutes situées sur un même plateau, entre Pont-Rouge et Sainte-Catherine-de-la-Jacques-Cartier.

- Elles ont investi en 2006 dans un système d’aqueduc privé qui leur permet de prélever de l’eau dans la rivière Jacques-Cartier et de l’acheminer sous-pression, via un réseau d’aqueduc enterré de 12 km, jusqu’aux champs, où des systèmes d’irrigation (canons, rampes et pivots) sont directement branchés.
- Cet équipement est, à notre connaissance, unique au Québec et très performant en termes d’efficacité d’irrigation et de main-d’œuvre nécessaire pour la gestion de l’irrigation. Cependant, il a nécessité un investissement important et a été favorisé par une concentration importante de champs de pommes de terre dans l’espace, rendant la rentabilité d’un tel système accessible. Cet équipement et son fonctionnement sont décrits dans le chapitre 9 du rapport du projet RADEAU 1¹⁵⁷. Bien que l’investissement ait été réalisé il y a plusieurs années, les producteurs supportent encore des obligations financières, et envisagent donc peu d’évolution (hormis à la marge) dans leur système, ce qui conduirait à de faibles augmentations des superficies irriguées.

ÉVOLUTIONS DES SUPERFICIES ET PRATIQUES D’IRRIGATION DE LA POMME DE TERRE

Les trois producteurs rencontrés qui ne pratiquent pas actuellement l’irrigation ont des projets à court et moyen terme de développement de l’irrigation.

- Les projets d’irrigation à court et moyen terme représentent de nouvelles superficies irriguées proches de 1000 ha au total dans la région, ce qui reviendrait à plus que doubler les superficies en pommes de terre irriguées.
- Leur principale motivation consiste en une assurance contre les mauvaises années climatiques, certains ayant connu des pertes importantes de rendement ces dernières années en raison des stress hydriques.
- Cependant, la plupart des producteurs n’envisagent pas de développer davantage **leur superficie cultivée** en pommes de terre, du fait de la stabilité des marchés de la pomme de terre, dont la consommation au Québec et au Canada reste plutôt stable. Certains producteurs mentionnaient même que s’ils sont capables d’augmenter leur rendement en pratiquant l’irrigation, ils seront amenés à réduire leurs superficies cultivées en pommes de terre. Pour ces raisons, nous n’avons pas considéré d’augmentation des superficies cultivées dans nos projections des besoins en eau pour l’irrigation de la pomme de terre.

Parmi les producteurs rencontrés, différentes stratégies d’irrigation sont envisagées.

- Certains producteurs souhaitent irriguer par aspersion (pivot et rampe mobile d’irrigation), alors que d’autres envisagent d’irriguer sans savoir quel système ils utiliseront (goutte à goutte, canon, pivot ou rampe).

¹⁵⁷ https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/101346/recherche-participative-d_alternativesdurables-pour-la-gestion-de-l_eau-en-milieu-agricole-dans-un-contexte-de-changement-climatique-radeau-1

- Si l'irrigation par goutte-à-goutte peut effectivement permettre de réduire les volumes d'eau nécessaire¹⁵⁸, le coût et la logistique de mise en œuvre (ouverture et fermeture des valves manuelles, à faire plusieurs fois par jour lors des journées d'été ensoleillées) ainsi que la grande quantité de déchets plastiques peuvent être des freins pour certains producteurs.

Pour estimer les besoins en eau supplémentaires représentés par ces nouvelles superficies irriguées, nous avons recueilli auprès des producteurs les informations suivantes :

- Emplacement précis des superficies à irriguer
- Type de sol dominant du lot de parcelles à irriguer
- Fréquence du retour en culture de la pomme de terre sur le lot
- Régie d'irrigation envisagée
- Source d'eau envisagée

Différents cas de figure se sont présentés :

- Prélèvement dans un cours d'eau : nous avons déterminé un débit minimum à prélever pour pouvoir réaliser un apport d'irrigation de 20 mm sur l'ensemble de la superficie tous les trois jours, considérant qu'en période de sécheresse, ce délai de retour serait l'idéal.
- Prélèvements dans des étangs : en fonction de la capacité de recharge des étangs (ou non) et du type de sol, nous avons supposé un besoin en eau maximum de dix apports de 20 mm par année, à combler par l'étang s'il ne se recharge pas naturellement par la nappe de surface.
- Prélèvements dans les eaux souterraines (un cas) : nous avons supposé la réalisation des dix apports de 20 mm afin de comparer le volume total prélevé dans la nappe à la capacité de recharge de la nappe phréatique telle qu'estimée dans les études hydrogéologiques.

Dans les sections suivantes, nous présentons les résultats des analyses produites pour les différentes entreprises agricoles, de manière anonymisée. Des cas types sont proposés, soit des cas susceptibles de se répéter dans le temps ou dans l'espace : du fait de l'évolution du climat qui aura un impact sur les débits d'étiages, ou dans d'autres régions qui présentent parfois des ressources en eaux limitées.

CAS 1 : PRÉLÈVEMENTS DANS UN COURS D'EAU MAJEUR

Trois cours d'eau majeurs sont envisagés dans la région de Portneuf comme source d'eau où effectuer des prélèvements pour l'irrigation. Il s'agit des rivières Sainte-Anne, Jacques-Cartier et, dans une moindre mesure, Batiscan.

¹⁵⁸ Vallée, J., D. Bergeron et C. Boivin, 2017. Irrigation goutte à goutte de la pomme de terre, Rapport final présenté dans le cadre du Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'agroalimentaire en région, 25 p.

Du côté de la **rivière Jacques-Cartier** (bassin versant de 2512 km²), comme on l'indique précédemment, les superficies irriguées représentent environ 650 ha par an (soit 0,26 % du BV), soit la majorité des superficies irriguées sur le territoire de Portneuf.

- Ces superficies pourraient augmenter pour atteindre environ 800 ha par an, selon les projections que nous avons établies avec les producteurs. Le débit qu'ils prélèvent représente un très faible pourcentage du débit d'étiage de la rivière (2 % environ, voir Tableau 9.8).
- Compte tenu du fait des faibles prélèvements en amont et en aval pour d'autres usages que ceux agricoles, le prélèvement pour l'irrigation ne semble pas représenter de menace pour l'écosystème : il est largement en dessous du seuil de 15 % du débit d'étiage, seuil non absolu, mais utilisé aux fins de repère et comparaison.

Dans le cas de la **rivière Sainte-Anne** (bassin versant de 2694 km²), à notre connaissance, il n'y a actuellement pas de prélèvement d'eau aux fins d'irrigation des pommes de terre.

- Cependant, plusieurs producteurs envisagent de prélever de l'eau dans le bassin versant de cette rivière, à la fois dans le cours d'eau principal ou dans des affluents de celui-ci.
- Certains producteurs envisagent également de prélever de l'eau dans des étangs afin d'irriguer des pommes de terre.
- Au total, ce sont près de 450 ha de superficies irriguées qui sont en projets dans ce bassin versant à partir d'eau de surface, dont 351 ha qui seraient irrigués directement à partir du cours d'eau principal, 57 ha à partir d'un cours d'eau secondaire et 38 ha à partir d'étangs d'irrigation. Le débit de la rivière Sainte-Anne permettrait d'irriguer, selon la règle où l'ensemble des prélèvements (incluant ceux non agricoles) n'excéderaient pas 15 % du débit d'étiage, près de 5000 ha (Tableau 9.16).
- Les projets d'irrigation devraient donc avoir un impact très faible sur l'hydrologie du cours d'eau, puisque le débit cumulé de ces prélèvements en période de pointe représenterait moins de 1 % du débit d'étiage du cours d'eau en climat actuel.

Finalement, des prélèvements sont également envisagés dans la **rivière Batiscan (4690 km²)**, qui présente le débit d'étiage le plus important des trois rivières considérées (Tableau 9.8).

- Les superficies irriguées envisagées cumulent 208 ha, ce qui aurait encore une fois potentiellement un impact très faible en termes de quantité d'eau prélevée.

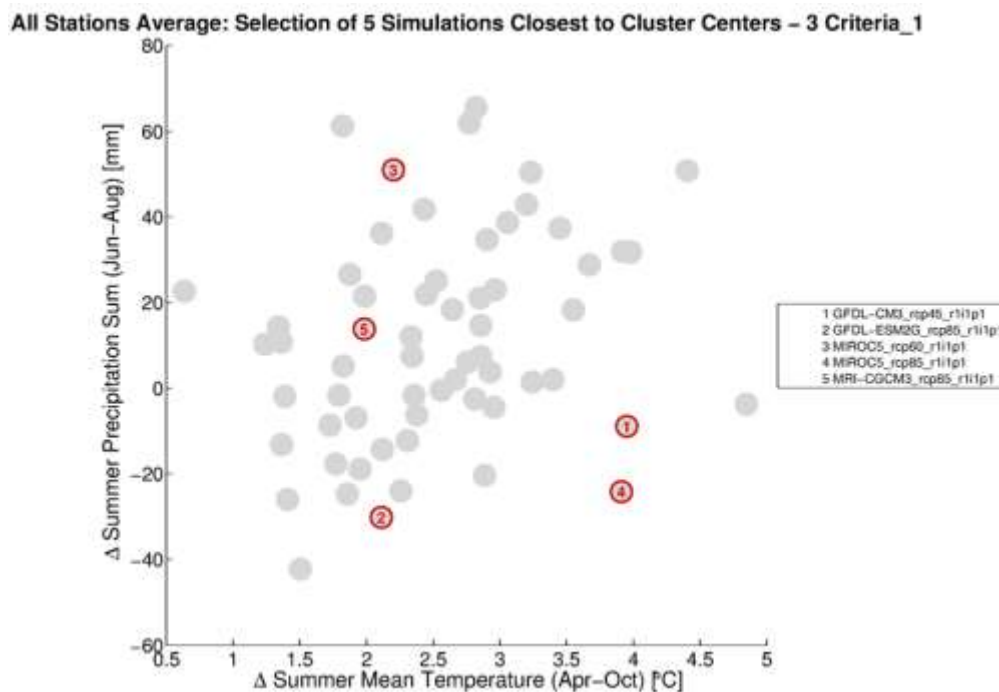
Pour cette raison, dans l'analyse qui suit, nous nous sommes focalisés sur les deux premiers cours d'eau où la majorité des prélèvements seront réalisés.

Tableau 9.8
Débits d'étiage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits

Bassin versant des rivières	Jacques-Cartier	Sainte-Anne	Batiscan
Débit $Q_{2,7}$ (m ³ /sem)	14 352 940	13 158 229	18 780 083
Seuil 15 % du $Q_{2,7}$ (m ³ /sem)	2 152 941	1 973 734	2 817 012
Débit disponible pour irrigation après les autres prélèvements (résidentiels, industries, commerces et institutions) (m ³ /sem)	1 940 054	1 968 885	2 799 621
Superficies (ha) pouvant être irriguées sur une base de deux apports de 20 mm/semaine	4 850	4 922	6 999
Superficies (ha) potentiellement irriguées dans le futur d'après nos estimations	800	408	208

Ces constats semblent indiquer que les prélèvements envisagés par les producteurs ne devraient pas entraîner, au moins à court terme, de conflits d'usage de l'eau en lien avec ces trois cours d'eau. En effet, les besoins semblent être comblés par les ressources en eau disponibles dans les cours d'eau considérés. Cependant, nous avons documenté dans les chapitres précédents que les changements climatiques vont avoir des répercussions à la fois sur les besoins en eau des plantes du fait de la hausse de l'évapotranspiration, et sur les ressources en eau de surface. En effet, les cours d'eau devraient subir des baisses plus ou moins marquées des débits d'étiage, selon les scénarios climatiques. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les cinq scénarios climatiques retenus dans le cadre du projet RADEAU, desquels nous avons tiré les deux scénarios extrêmes en termes d'impact sur les débits d'étiage des cours d'eau : les scénarios MRI-CGCM3_RCP 8.5 et MIROC5_RCP 8.5.

Figure 9.14
Scénarios climatiques retenus pour le projet RADEAU



- Le premier scénario (MRI-CGCM3_RCP 8.5) est caractérisé par une hausse des précipitations estivales et une hausse limitée de la température d’avril à octobre. Il se traduit par une diminution moyenne des débits d’été de 17 %, variable selon les cours d’eau (Tableau 9.9).
- Le second (MIROC5_RCP 8.5) entraîne une diminution des précipitations estivales et une hausse importante des températures d’avril à octobre. Il se traduit par une diminution moyenne des débits d’été de 64 % (Tableau 9.10).

Pour rendre compte de l’impact des changements climatiques sur les besoins en eau, nous avons également simulé une augmentation de 20 % des besoins en eau en période de pointe, considérant un demi-apport de plus sur une période d’une semaine en période de pointe.

- Dans le scénario optimiste (Tableau 9.9), la diminution du débit d’été et l’augmentation des besoins en eau ne devraient pas entraîner plus de risques de conflits d’usage, puisque dans chaque bassin versant, environ 3000 ha pourraient être irrigués, alors que 408 ha et 800 ha sont envisagés dans les rivières Sainte-Anne et Jacques-Cartier respectivement.
- Dans le cas du scénario pessimiste (Tableau 9.10), les risques de conflits d’usage devraient rester faibles, mais possiblement plus importants, car la superficie potentiellement irrigable diminue fortement et se rapproche des superficies que les producteurs envisagent d’irriguer dans un futur proche, en particulier dans le cas de la rivière Jacques-Cartier. Ce bassin versant serait donc à surveiller dans l’avenir, en fonction de l’évolution du climat.

Tableau 9.9

Débits d'étéage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits

Scénario futur horizon 2050 (2041-2070) MRI-CGCM3_RCP 8.5	Sainte-Anne	Jacques-Cartier
Débit $Q_{2,7}$ (m ³ /sem) : -17 %	10 918 838	11 644 171
Seuil 15 % du $Q_{2,7}$ (m ³ /sem)	1 637 826	1 746 626
Débit disponible pour irrigation après les autres prélèvements (résidentiels, ICI) (m ³ /sem)	1 633 391	1 539 327
Superficies (ha) pouvant être irriguées si 2,5 apports de 20 mm/semaine	3 267	3 079
Superficies potentiellement irriguées d'après nos estimations	408	800

Tableau 9.10

Débits d'étéage des principaux cours d'eau de la MRC de Portneuf et comparaison des besoins en eau estimés pour l'irrigation des pommes de terre à ces débits

Scénario futur horizon 2050 (2041-2070) MIROC5_RCP 8.5	Sainte-Anne	Jacques-Cartier
Débit $Q_{2,7}$ (m ³ /sem) : -64 %	4 723 329	5 158 046
Seuil 15 % du $Q_{2,7}$ (m ³ /sem)	708 499	773 707
Débit disponible pour irrigation après les autres prélèvements (résidentiels, ICI) (m ³ /sem)	704 065	566 409
Superficies (ha) pouvant être irriguées si 2,5 apports de 20 mm/semaine	1 408	1 133
Superficies potentiellement irriguées d'après nos estimations	408	800

CAS 2 : PRÉLÈVEMENTS D'EAU SOUTERRAINE

Un producteur souhaite irriguer des pommes de terre dans un secteur où l'eau de surface n'est pas facilement disponible : il n'y a pas de cours d'eau majeur à proximité de ses champs. Il envisage donc de creuser un puits pour pouvoir alimenter son système d'irrigation avec de l'eau souterraine. Afin de conserver la confidentialité de ce producteur, nous ne pouvons pas exposer sa situation particulière en détail, mais présentons les principes de la réflexion tenue avec le producteur concernant son projet d'irrigation.

Dans un premier temps, nous avons caractérisé ses besoins en eau :

- Supposons que le producteur veut irriguer une superficie de 100 ha chaque année, à raison de sept apports de 20 mm par an. Il souhaite pouvoir brancher des systèmes d'irrigation directement sur son puits, sans passer par une étape d'entreposage dans un étang, comme cela est observé dans les autres régions du Québec (en Montérégie notamment) où de l'eau souterraine est utilisée pour irriguer de grandes superficies.
- Nous avons estimé que pour réaliser un apport d'eau de 20 mm tous les trois jours sur l'ensemble de ses superficies, il aura besoin d'un débit de 0,08 m³/s, ce qui représente un débit très important pour un puits.
- Nous avons ainsi identifié que seuls 15 puits, répertoriés dans le registre des grands préleveurs au Québec du MELCC, présentent un débit supérieur à celui nécessaire pour ce projet d'irrigation (sur les plus de 1750 puits répertoriés dans ce registre).

L'exercice impliquait ensuite d'évaluer l'eau disponible :

- Au-delà de l'enjeu de la productivité de l'aquifère, qui dépend des conditions locales, il convient aussi de s'assurer que le prélèvement n'affecterait pas le niveau de la nappe à long terme. Pour ce faire, il faut vérifier que la recharge de l'aquifère serait suffisante là où le prélèvement serait effectué. Comme mentionné auparavant dans ce rapport, la valeur seuil de 20 % de la recharge est retenue par les hydrogéologues pour évaluer la durabilité des prélèvements cumulés dans un aquifère. Dans le cas du prélèvement envisagé, nous avons consulté les études hydrogéologiques disponibles dans la région de Portneuf. Plusieurs ont été réalisées depuis la fin des années 2000, notamment dans l'aquifère à proximité de la municipalité de Portneuf¹⁵⁹¹⁶⁰ où des enjeux de qualité de l'eau ont également été relevés¹⁶¹. Une vague d'études de la Commission géologique du Canada a également documenté plus largement le sous-sol de la région de Portneuf. Ces études concluent qu'en général, la recharge des aquifères est plutôt élevée dans la région de Portneuf,

¹⁵⁹ Fagnan, Nathalie (1998). [*Cartographie hydrogéologique régionale et vulnérabilité des aquifères de la MRC de Portneuf*](#). Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de la terre, 298 p.

¹⁶⁰ Gosselin, Jean-Sébastien (2016). Estimation de la recharge à partir de séries temporelles de la température du sol, des niveaux d'eau dans les puits et de données météorologiques : développement méthodologique et évaluation de l'incertitude. Thèse. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Doctorat en sciences de la terre, 216 p.

¹⁶¹ Bonton, Alexandre (2010). Étude spatiotemporelle de la qualité de l'eau souterraine sur l'aire d'alimentation d'un captage municipal en milieu agricole. Thèse de doctorat, Université Laval. 226 p.

en particulier la recharge des nappes de surface. Plusieurs formations géologiques constituées de sables deltaïques sont propices à la recharge. Dans la région, ce sont d'ailleurs principalement des aquifères granulaires qui sont exploités par les municipalités ¹⁴⁸.

Des pistes d'intervention se sont ainsi dégagées dans le contexte du cas type à l'étude :

- Dans le cas de notre producteur, il souhaite réaliser des prélèvements d'eau dans un territoire où le sous-sol est constitué de sables deltaïques. Il pourrait donc creuser un ou plusieurs puits de surface, en fonction de la capacité de l'aquifère à fournir le débit souhaité. Paradis et coll. (1999)¹⁶² ont estimé que dans la région de Portneuf, la recharge d'un tel aquifère se situe à environ 260 mm par an. Dans ces conditions, le prélèvement que le producteur souhaite effectuer, rapporté en unité de superficie, correspond à 20 % de la recharge d'un espace de 270 ha (ses besoins sont de 140 mm par an sur 100 ha, soit 140 000 m³; pour fournir ce 140 000 m³ avec une recharge de 2 600 m³ par ha dont on prélève 20 %, cela correspond à une superficie de 270 ha).
- Dans ces conditions de recharge et compte tenu du fait que les champs du producteur sont isolés au cœur d'un territoire majoritairement forestier et à bonne distance des résidences et centres urbains (et donc des lieux de prélèvements d'eau souterraine), il semble que, dans ce cas-ci, le prélèvement souhaité par le producteur ne soit que peu ou pas problématique en termes d'impact sur la ressource. Dans ce scénario, l'enjeu principal semble donc être la capacité de l'aquifère à fournir un débit suffisant. Il est probablement souhaitable de faire appel, dans ce cas, à une firme spécialisée qui pourra assister le producteur dans l'exploration des différentes zones de forage, lui permettant d'obtenir le débit souhaité.

9.2.3 QUELQUES SITUATIONS POTENTIELLEMENT PROBLÉMATIQUES RENCONTRÉES DANS LA RÉGION DE PORTNEUF

La plupart des pistes envisagées pour l'approvisionnement en eau ne semblent pas présenter de problématiques particulières. Cependant, nous avons relevé deux situations potentiellement plus à risque à long terme, dont l'issue à court terme est incertaine.

Nous les présentons succinctement dans les sections suivantes. Notons qu'elles ont été observées dans la région Capitale-Nationale sans toutefois être propres à ce territoire; elles pourraient se répéter dans d'autres régions.

SITUATION 1 : PRÉLÈVEMENT DANS UN ÉTANG SITUÉ À PROXIMITÉ DE MILIEUX HUMIDES

Parmi les lieux de prélèvements examinés par les producteurs, plusieurs envisagent de creuser des étangs d'irrigation dans des zones de dépression sur leurs terres, parfois même dans des espaces actuellement boisés (plusieurs municipalités de la MRC de Portneuf sont en dehors de la zone du moratoire sur le développement des terres du REA¹⁶³). L'avantage de ce type de

¹⁶² Paradis, D., Martel, R., Michaud, Y., Lefebvre, R. (2000). Étude comparative des méthodes de détermination des périmètres de protection en milieu granulaire : exemples du piémont Laurentien. 1st Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, 53rd Canadian Geotechnical Conference, Montréal. 8 p.

¹⁶³ Règlement sur les exploitations agricoles : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2026>

prélèvements pour ces producteurs (par rapport à un approvisionnement autre) est qu'il ne requiert pas de certificat d'autorisation selon la réglementation en vigueur.

En effet, selon le RPEP¹⁶⁴, un producteur agricole peut prélever de l'eau dans un étang sans demander de certificat d'autorisation s'il respecte plusieurs conditions (voir chapitre 1). Un seul critère peut apparemment devenir problématique dans la région de Portneuf¹⁶⁵ : la distance au milieu humide. En effet, pour minimiser la taille de l'étang à creuser, les producteurs le localisent souvent dans une dépression immergée. L'étang se rechargerait ainsi naturellement par la nappe de surface. Cependant, avec la révision de la cartographie des milieux humides réalisée dans le cadre de la Loi sur les milieux humides et hydriques, beaucoup des espaces envisagés par les producteurs se révèlent être cartographiés comme des milieux humides. Ce constat suscite plusieurs questionnements :

- Quel pourrait être l'impact du prélèvement que le producteur souhaite réaliser sur le milieu humide? Le producteur risque-t-il d'assécher temporairement le milieu humide l'été, et donc de manquer d'eau pour irriguer? Comment le producteur peut-il appréhender ce risque?
- Le prélèvement dans l'étang, puisqu'à proximité ou dans le milieu humide, nécessite un certificat d'autorisation. Réaliser cette demande de certificat représente un coût substantiel pour le producteur, car il doit souvent avoir recours à des services externes pour remplir les formulaires et produire les études (notamment biologiques) requises par cette procédure. Dans le cas d'une demande de certificat d'autorisation dans un cours d'eau ou dans la nappe phréatique, le producteur peut estimer ses chances d'obtenir l'autorisation de prélever de l'eau puisqu'il existe des repères (non écrits dans la loi, mais communiqués par les analystes régionaux) quant aux critères d'analyses de la demande (par exemple, la valeur de 15 % du débit d'étiage de récurrence deux ans du cours d'eau). Dans le cas d'un prélèvement dans un étang situé dans un milieu humide ou à proximité, quels seront les critères utilisés pour accorder ou refuser une autorisation?

Les projets de ces producteurs nous ont donc permis de réaliser que les impacts de ces prélèvements sur le milieu local et le traitement réglementaire qui pourrait en être fait sont emplis d'incertitudes. Pourtant, les producteurs ont souvent la perception que l'approvisionnement dans un étang représente la voie la plus simple et souvent privilégiée pour avoir accès à l'eau, notamment du point de vue des démarches administratives à réaliser.

Dans plusieurs régions du Québec, des producteurs prélèvent actuellement dans des étangs qui se révèlent, selon les nouvelles cartographies des milieux humides, être à proximité ou dans des milieux humides. Selon la compréhension des producteurs, ils n'ont pas besoin de certificat d'autorisation. Cependant, la nouvelle cartographie de ces milieux pourrait changer la donne, sans qu'ils ne soient mis au courant. De l'ensemble des producteurs rencontrés, aucun ne connaissait cette réglementation ni sa récente évolution, et aucun n'avait eu accès à la carte des milieux humides du territoire de son entreprise agricole. L'application du RPEP dans les années à venir et la redéfinition des milieux humides et hydriques nécessiteront donc un effort

¹⁶⁴ Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/q-2,%20r.%2035.2>

¹⁶⁵ La région de Portneuf est à l'extérieur du territoire couvert par l'entente des Grands Lacs, voir les critères présentés au chapitre 1.

considérable d'information et de sensibilisation, afin que les producteurs puissent prélever de l'eau de manière durable en minimisant les impacts sur les ressources, et se conformer aux règlements en vigueur.

SITUATION 2 : PRÉLÈVEMENT DANS UN PETIT COURS D'EAU

Nous avons également rencontré plusieurs producteurs qui réalisent ou souhaitent réaliser des prélèvements dans de petits cours d'eau. Cette source d'eau est également privilégiée, car elle est la moins coûteuse à utiliser : pas d'étang à creuser, pas de puits à forer, et souvent une eau de qualité suffisante pour l'irrigation. L'analyse de leurs prélèvements a permis de constater que dans plusieurs cas, les volumes qu'ils prélèvent ou souhaitent prélever sont proches, égaux ou supérieurs à 15 % des débits d'étiage des cours d'eau dans lesquels ils prélèvent (ou prélèveraient). Ces prélèvements sont donc potentiellement problématiques pour l'écosystème. À moyen terme, ils pourraient être considérés non conformes à l'encadrement réglementaire du RPEP. De plus, dans une perspective de changements climatiques, où la plupart des cours d'eau au Québec vont connaître une diminution des débits d'étiage simultanément à une augmentation des besoins en eau d'irrigation pour les producteurs, le risque de tension entre le volume d'eau souhaité par les producteurs et ce qu'ils peuvent prélever sans affecter l'écosystème sera très probablement accentué.

Les échanges avec les producteurs ont permis de constater qu'ils basent leur décision de prélèvement sur la perception d'un choix meilleur pour l'environnement; ils ont l'impression que les volumes prélevés sont minimes par rapport à toute l'eau qui est disponible et circule dans le cours d'eau. La plupart de ces producteurs n'avaient pas connaissance de la réglementation en vigueur, et plusieurs considéraient qu'ils avaient un droit acquis. Après leur avoir exposé la réglementation et le principe selon lequel ils devront obtenir un certificat d'autorisation au plus tard en 2029, leurs questions sont nombreuses :

- Est-ce que l'on pourrait en venir à interdire à un producteur de prélever de l'eau là où il en prend depuis plusieurs années?
- Si un autre producteur veut prélever de l'eau dans le même cours d'eau, le débit autorisé pourrait-il être réduit, voire nul?
- Est-il possible qu'un volume d'eau réduit soit autorisé, entraînant l'impossibilité d'irriguer toutes les superficies ou de combler les besoins en eau des plantes?
- Dans un cas où le producteur souhaite creuser un étang, comment s'assurer qu'il n'est pas dans un milieu humide ou à proximité? Existe-t-il une cartographie des milieux humides qui fait office de référence?
- Comment un producteur peut-il savoir si un prélèvement d'eau présente un risque de ne pas être autorisé lors de la révision des autorisations à la fin des années 2020?
- Comment planifier et amortir des investissements dans ces conditions d'incertitudes?

Si certaines réponses ont pu être apportées à leurs questionnements, d'autres, portant notamment sur l'application future de la loi, restent aujourd'hui évidemment sans réponse, ce qui n'est pas de nature à rassurer les producteurs. À l'extrême, certains sont même tentés de

précipiter des travaux d'aménagement de nouveaux lieux de prélèvements de crainte qu'ils deviennent illégaux dans le futur.

Ces exemples traduisent principalement, au-delà des situations individuelles, une grande méconnaissance de la loi et des répercussions individuelles de son application. Une difficulté pour les producteurs est également d'identifier des interlocuteurs à qui poser leurs questions, peu de communication ayant été réalisée sur ce sujet au cours des dernières années.

RETOMBÉES DE L'ÉTUDE DE CAS

L'analyse des prélèvements actuels et des projets de développement de l'irrigation des producteurs de pommes de terre de la MRC de Portneuf semble indiquer que globalement, la pression sur les ressources en eau de surface et souterraine resterait faible. Les ressources en eau étant relativement abondantes dans la région, l'usage de l'eau pour l'activité agricole ne rentrerait pas, même dans les scénarios de changements climatiques et d'augmentation des besoins en eau les plus pessimistes, en compétition directe avec les autres usages, limitant ainsi le risque de conflit d'usage de l'eau.

Cependant, en travaillant individuellement avec chaque producteur, nous avons relevé des situations locales qui pourraient s'avérer problématiques dans le futur. Les producteurs ont apprécié cette approche individuelle qui leur a permis, en quelque sorte, d'obtenir un diagnostic rapide de leur pratique actuelle ou en projet, et de leur vulnérabilité face aux changements climatiques en termes de sécurisation de la ressource en eau.

Cette étude de cas nous a également permis de poser plusieurs autres constats qui sont probablement généralisables aux autres régions du Québec :

- Pour déterminer les risques de conflit d'usage locaux, une approche au cas par cas avec l'ensemble des entreprises qui réalisent potentiellement des prélèvements importants dans une région est nécessaire.
- Les entreprises agricoles, bien que très souvent bien entourées et conseillées pour les aspects agronomiques et de gestion, ont parfois des difficultés à savoir où obtenir une information précise sur la conception des systèmes d'irrigation, et en particulier sur la sécurisation d'une ressource en eau durable. Cette difficulté inclut la connaissance des aspects réglementaires et conduit parfois à des situations où les équipements d'irrigation sont achetés et livrés avant que l'entreprise n'ait obtenu le certificat d'autorisation nécessaire à l'installation et à la mise en œuvre du système.
- Certains aspects de la réglementation restent aujourd'hui flous dans l'application; cela concerne notamment les règles d'autorisation de volumes d'eau quand plusieurs usagers souhaitent prélever dans une ressource limitée, ou encore, par exemple, la possibilité ou non de prélever de l'eau dans des étangs eux-mêmes en lien avec des milieux humides, comme cela se fait actuellement dans plusieurs régions au Québec.

10. ÉTUDE DE CAS À LA FERME — FRAISES ET POMMES DE TERRE

Le présent chapitre présente les résultats des études de cas à la ferme réalisées dans le cadre du mandat. Il s'agit d'une démarche de suivi et d'accompagnement de sept producteurs agricoles qui mettent en œuvre des innovations techniques et organisationnelles pour la gestion de l'eau. Ces producteurs ont été choisis parmi les 55 ayant fait (Vallée et coll., 2016; Boivin et coll., 2016) ou qui font actuellement l'objet d'un suivi en ce qui a trait à l'usage de l'eau d'irrigation (Boivin et coll., Non publié[1]; Boivin et coll., Non publié[2]) et qui sont situés dans des territoires où des conflits liés à l'usage de l'eau existent déjà.

10.1 MISE EN CONTEXTE

Parmi les stratégies d'adaptation qui ont le potentiel d'atténuer les conflits d'usage de l'eau, certaines impliquent de s'intéresser de près à l'éventail de cultivars sur le marché, à l'architecture des systèmes cultureux, à la régie d'irrigation et à une source alternative d'approvisionnement en eau.

Du point de vue de l'efficacité d'utilisation de l'eau, le système cultural actuel de la fraise à jours neutres et celui de la pomme de terre peuvent certainement être améliorés. En intervenant sur l'architecture de ces systèmes de manière à augmenter la proportion des précipitations qui a le potentiel d'être valorisée par la culture et en choisissant le « bon » cultivar, est-ce possible de diminuer la dépendance à l'irrigation? Aussi, comment est-il possible d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau en adoptant une régie raisonnée de l'irrigation? Enfin, est-ce que le captage de l'eau provenant des précipitations et sa valorisation dans différents usages agricoles ont un potentiel?

Pour y arriver, une analyse a porté sur les interactions entre les éléments qui forment l'agroécosystème et qui peuvent avoir un impact sur la disponibilité de l'eau à la culture. Cette analyse mène à la proposition de pratiques innovantes qui, ultimement, auront le potentiel d'être adoptées par un grand nombre d'utilisateurs.

Le tableau suivant présente les cas d'étude retenus. Le suivi a débuté à l'été 2018.

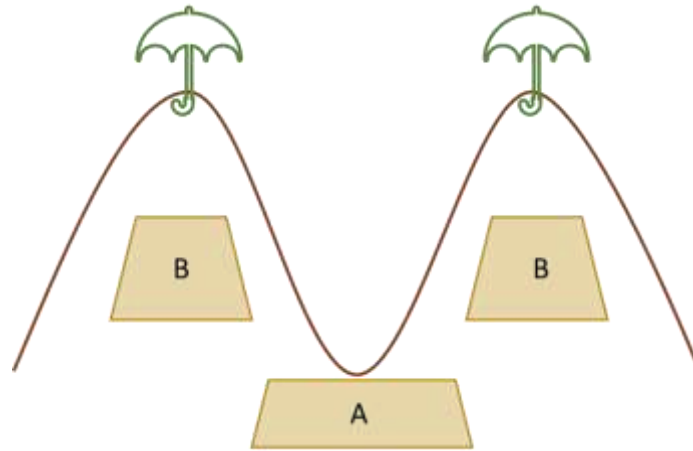
Table 10.1
Profil des études de cas à la ferme retenues pour RADEAU 2

Secteur de production	Système cultural	Système d'irrigation et caractéristiques
• Pomme de terre – 2 entreprises à Portneuf – 2 entreprises à l'île d'Orléans	• Sol façonné en buttes étroites au cours de la saison • Butte et plante sont de type « parapluie »	• Par aspersion – Apports en eau par les précipitations ou l'irrigation grandement détournés dans l'entre-rang.
• Fraises à jours neutres – 2 entreprises à l'île d'Orléans	• Sol façonné en butte, surface recouverte d'un paillis de polyéthylène (imperméable) • Butte « parapluie », mais plante « entonnoir »	• Par goutte-à-goutte – Assèchement du sol en périphérie du tube de goutte-à-goutte généralement observé au courant de la saison – Réhumectation butte avec la pluie

Les entreprises impliquées sont situées dans les régions de Portneuf et de l'île d'Orléans. Elles ont été sélectionnées principalement pour le type de système cultural, mais aussi pour la source d'approvisionnement en eau d'irrigation et pour leur proximité de la ville de Québec où réside le professionnel qui les accompagne.

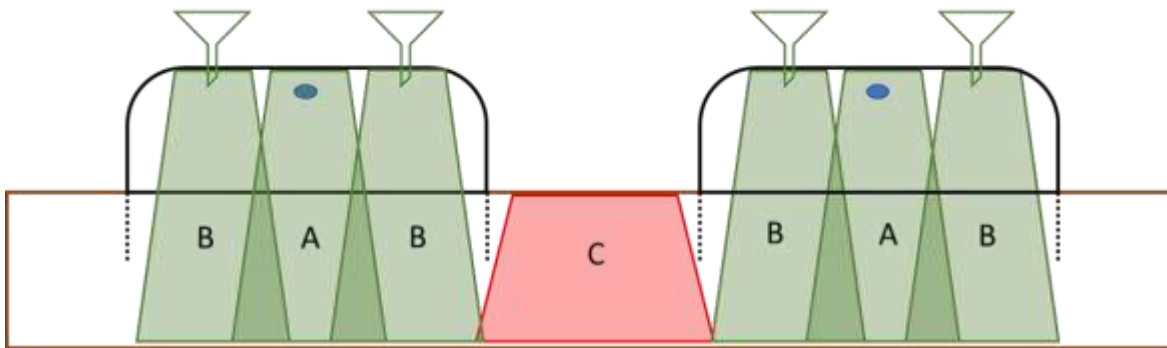
Le premier système cultural retenu est celui de la pomme de terre. Le sol, dans ce système, est façonné en buttes étroites au cours de la saison. S'il y a des apports en eau par l'irrigation, ils sont généralement faits avec un système par aspersion. Ce système est de type « parapluie » (cf. Figure 10.1) : les apports en eau par les précipitations ou l'irrigation par aspersion sont grandement détournés dans l'entre-rang par la plante et la configuration du sol. Ce système cultural est relativement homogène d'une entreprise à l'autre. Par ailleurs, il se produit des pommes de terre dans plusieurs régions du Québec. Les résultats obtenus pourront donc être transposés à certains égards.

Figure 10.1
Système cultural de type « parapluie »



Source : Tiré de Boivin et coll. (2018).

Figure 10.2
Système cultural de type « entonnoir »



Source : Tiré de Boivin et coll. (2018).

Le deuxième système cultural est celui où le sol est façonné en butte et la surface est recouverte d'un paillis de polyéthylène (imperméable). Les apports en eau par l'irrigation y sont faits avec un système par goutte-à-goutte. La fraise à jours neutres a été retenue, mais plusieurs autres cultures sont produites sur un tel système. Un assèchement du sol en périphérie du tube de goutte-à-goutte est généralement observé au courant de la saison, lorsque le système racinaire de la culture atteint ces zones. L'ancrage du paillis dans le sol, au pied de la butte, accentue la problématique en formant un « barrage ». En effet, en plus de détourner l'eau dans l'entre-rang,

le paillis limite la réhumectation du sol de la butte grâce à l'eau récupérée dans l'entre rangs. Enfin, environ 40 % de la superficie du champ est constitué d'entre rangs.

Deux des quatre entreprises spécialisées dans la production de pommes de terre sont situées à l'île d'Orléans. Ces deux entreprises s'approvisionnent en eau via des étangs alimentés par la fonte de la neige. Ces dernières ont des contraintes d'approvisionnement qui affectent leur productivité. Les deux autres entreprises sont situées à Portneuf. L'une s'approvisionne en eau avec un système « d'aqueduc » privé de plusieurs kilomètres dont profitent trois entreprises. Le prélèvement est réalisé dans la rivière Jacques-Cartier. La seconde entreprise souhaite faire l'acquisition d'un système d'irrigation, mais l'approvisionnement en eau est une contrainte importante.

Les deux entreprises spécialisées dans la production de fraises à jours neutres sont situées à l'île d'Orléans. Ces dernières s'approvisionnent en eau d'irrigation grâce à des étangs dont le volume d'eau disponible peut devenir problématique. Cette dernière est accentuée par le type de sol qui contient une proportion importante de gravier. À ce sujet, l'une d'entre elles a décidé de s'approvisionner avec l'eau du fleuve Saint-Laurent, avec les défis que cela représente.

10.2 FACTEURS OU SOURCES DE RISQUES CONSIDÉRÉS POUR LES ÉTUDES DE CAS À LA FERME

10.2.1 CONTRÔLABLES

Il s'agit des facteurs de risques sur lesquelles il est possible d'intervenir.

EXIGENCE EN EAU DU CULTIVAR

Hormis pour le bleuet sauvage cultivé où le matériel végétal est composé de populations indigènes, avec la diversité génétique que cela implique, les productions végétales commerciales sont semées ou implantées avec des individus au profil génétique homogène. Pour certaines productions comme la pomme de terre et le pommier, l'éventail de cultivars ou de variétés disponibles est grand, alors que pour d'autres productions comme la fraise à jours neutres, le catalogue est plus limité. Bien sûr, le choix d'un cultivar repose sur plusieurs aspects ayant trait au marché visé, au rendement, etc., mais en contexte d'approvisionnement en eau limité, il devrait aussi reposer sur l'exigence en eau du cultivar, lorsque celle-ci est connue.

CONFIGURATION DU SOL

Les systèmes culturaux où le sol est façonné en buttes ou en billons sont répandus en cultures fruitières et maraîchères, ou encore de pommes de terre. Les bénéfices recherchés sont, par exemple, de faciliter le réchauffement du sol et la récolte, d'augmenter la qualité des produits, de faciliter le ressuyage du sol. Ces configurations peuvent toutefois détourner du système racinaire une proportion des apports en eau provenant de l'irrigation et des précipitations. Avant d'amorcer une réflexion à propos des interventions possibles pour atténuer ce « détournement »,

il est primordial de s'intéresser à l'architecture des parties aériennes de la culture en présence; il faudra inévitablement composer avec ce facteur incontrôlable. Cet exercice permet de constater la direction prise par l'eau, qui est interceptée par les parties aériennes d'une plante.

UTILISATION D'UN PAILLIS DE PLASTIQUE

L'utilisation du paillis de plastique est répandue dans les cultures maraîchères et fruitières. En contexte irrigué, le type de système utilisé est généralement par goutte-à-goutte. Ce paillis permet entre autres un réchauffement du sol au printemps (selon la couleur), un contrôle des mauvaises herbes (s'il est opaque) et de limiter les pertes en eau du sol par évaporation. Ce type de paillis favorise le détournement de l'eau provenant des précipitations vers les entre-rangs où elle est plus difficilement valorisable par la culture. Aussi, lorsque l'approche retenue pour maintenir le paillis en place implique de l'insérer verticalement dans le sol lors de l'installation, cela crée une barrière physique pour les racines et l'eau.

SOL COMPACTÉ

La compaction des sols est une problématique de dégradation commune pour les sols cultivés. Dans les systèmes culturaux buttés et billonnés, le type de culture est généralement annuel et le sol est travaillé dans les 20 à 30 premiers cm de sol. Par conséquent, le sol entre les rangs subit une compaction attribuable aux passages de la machinerie pour le façonnement et les traitements phytosanitaires, et les passages répétés des cueilleurs. La compaction influence négativement la capacité de rétention en eau des sols. De plus, elle influence la capacité d'infiltration de l'eau.

Le processus de compaction des sols implique une diminution de la porosité, c'est-à-dire le rapport entre l'air et les particules solides du sol. Ce faisant, le développement racinaire peut être limité et réduit. Les cultures ont donc accès à un volume de sol limité par la compaction, ce qui diminue proportionnellement la quantité d'eau accessible aux végétaux. La compaction diminue aussi la capacité de rétention en eau des sols en diminuant la surface spécifique du sol où l'eau peut être retenue par les particules de sols (Boivin et coll., 2018a). Ainsi, le système devient moins résilient face aux périodes de stress hydrique. Les besoins en irrigation augmentent et la hauteur d'eau provenant des précipitations pouvant être valorisée par la culture (HEPPVC) diminue.

SOUS PERFORMANCE DU SYSTÈME D'IRRIGATION ET TYPES DE SYSTÈMES

Comme on le résume dans le chapitre 7, il existe à ce jour de nombreux types de systèmes d'irrigation sur le marché. Les gicleurs, canons, rampes, pivots et tubes de goutte-à-goutte sont des exemples qui illustrent cette diversité. Le choix d'un système d'irrigation repose sur de nombreux facteurs, tels que les objectifs de l'irrigation, la culture, la dimension et la topographie des champs, les ressources en eau, la disponibilité de main-d'œuvre, la capacité financière de l'entreprise, etc.

En termes d'efficacité, ils ne sont pas tous équivalents. En effet, une proportion de l'eau utilisée pour l'irrigation sera perdue et ne pourra servir à la culture. De plus, l'efficacité des systèmes

d'irrigation par aspersion sera variable selon le contexte d'utilisation, par exemple lorsque la vitesse du vent est élevée. Aussi, le statut hydrique du sol, le stade phénologique de la culture lors du déclenchement de l'irrigation, ainsi que la hauteur d'eau appliquée sont également des aspects de la régie d'irrigation ayant un impact sur l'efficacité des systèmes. L'avènement des systèmes d'irrigation par aspersion à basse pression a permis d'augmenter significativement l'efficacité et la performance globale de l'irrigation par aspersion. Des systèmes par aspersion à hautes pressions sont néanmoins encore vendus aujourd'hui.

MAUVAISE RÉGIE D'IRRIGATION

Comme on le mentionne au chapitre 7, ce n'est pas tout de posséder l'équipement adéquat; une bonne régie d'irrigation implique d'intervenir, tout en considérant l'objectif poursuivi et les ressources disponibles (humaines, matérielles, financières et en eau), au bon moment, au bon endroit et avec le bon volume d'eau.

SOURCE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU

Comme le démontre le cœur de la présente étude sur la gestion de l'eau en contexte de changements climatiques, les sources d'approvisionnement en eau peuvent être des facteurs de risques concernant les possibles conflits d'usages avec les différents usagers. L'approvisionnement en eau pour l'irrigation provient généralement de l'eau de surface, mais elle peut aussi provenir de sources souterraines (cf. section 6 pour le profil des 6 régions à l'étude quant à leurs sources d'approvisionnement en eau) selon le contexte de prélèvement et les quantités d'eau impliquées, les conflits peuvent représenter un frein à l'irrigation.

10.2.2 INCONTRÔLABLES

Ces facteurs sont impossibles ou difficiles à contrôler. Le constat d'une situation problématique est souvent la combinaison des impacts des facteurs contrôlables et incontrôlables.

ARCHITECTURE DES PARTIES AÉRIENNES DES VÉGÉTAUX

L'architecture des parties aériennes des plantes et leur arrangement peuvent influencer la trajectoire d'un apport en eau et sa destination finale (pluie ou irrigation par aspersion) lorsqu'il entre en contact avec la culture. Ces apports peuvent alors aboutir en tout ou en partie vers le système racinaire et/ou être détournés en son pourtour, alors que pour d'autres cultures, la partie aérienne ne privilégie aucune des deux possibilités. Il devient alors possible d'assigner un type d'architecture aux plantes. Comme on le mentionne ci-haut, pour les présentes études de cas à la ferme, les types d'architecture qui ont été étudiés sont soit : « parapluie » où l'apport en eau est éloigné du système racinaire (cf. Figure 10.1), « entonnoir » (cf. Figure 10.2) où l'apport en eau est dirigé vers le système racinaire ou « neutre » (Boivin et coll., 2018a).

CARACTÉRISTIQUES DU SOL

La capacité de rétention en eau du sol est influencée par plusieurs facteurs qui sont de nature incontrôlable, telle que la texture et les détritiques du sol (particules ayant un diamètre > 2 mm). La texture du sol est la caractérisation d'un sol selon la taille granulométrique des particules qui le compose. La taille et la structure des particules de sol influenceront la capacité de rétention en eau intrinsèque du sol. De la même manière, les détritiques, généralement exclus d'une analyse granulométrique standard, influencent à la baisse la capacité de rétention en eau d'un sol et en augmentent la macroporosité. Ainsi, le taux d'infiltration de l'eau dans le sol est accéléré et le transport de l'eau par capillarité diminue.

10.3 PROPOSER DES STRATÉGIES INNOVANTES

En complément du chapitre 7 qui présente de manière globale des pistes d'adaptation technologique et des approches innovantes en matière de gestion de l'eau en agriculture, la présente section expose des stratégies innovantes particulières aux cultures des fraises et des pommes de terre, et dont le potentiel d'applicabilité a fait l'objet d'études de cas à la ferme. Comme on le mentionne précédemment, au-delà des technologies liées aux équipements, les connaissances hydrologiques et les bonnes pratiques culturales et d'irrigation sont celles sur lesquelles il faut d'abord travailler et où des améliorations, souvent peu coûteuses à mettre en œuvre, sont accessibles.

CONSIDÉRER LE BESOIN EN EAU, DANS LE CHOIX D'UN CULTIVAR

Les besoins en eau de la culture et le développement de cette dernière (phénologie, croissance végétative et racinaire) gagnent à être connus et suivis au courant de la saison. Selon la culture et le stade de développement, les besoins en eau peuvent être plus ou moins importants. De plus, les besoins en eau pour une même culture peuvent être variables selon les cultivars. Certains cultivars sont réputés comme étant tolérants au stress hydrique, tandis que d'autres y sont sensibles. Cependant, l'information concernant la tolérance au stress hydrique des cultivars n'est pas toujours accessible ou connue. Aussi, le nombre de cultivars est parfois limité (ex. : fraise à jours neutres) et parfois assez vaste (ex. : pommes de terre, pommiers). Néanmoins, le choix d'un cultivar tolérant au stress hydrique peut, d'une certaine manière, devenir une stratégie innovante pour optimiser l'usage de l'eau en irrigation.

FAVORISER LES CARREFOURS DE PRÉLÈVEMENT EN EAU ET EN NUTRIMENTS

Le carrefour de prélèvement en eau et en nutriments, tel que décrit par Boivin et coll. (2018a), fait référence à la confluence, au même endroit et au même moment, d'éléments clés au développement de la culture, soit le sol, les racines, les éléments nutritifs et l'eau. Un système cultural efficace s'appuie sur ces carrefours de prélèvement en eau et en nutriments. Il devient impossible d'optimiser l'usage de l'eau, sans favoriser ces carrefours.

Si les dés sont jetés en ce qui a trait à certaines caractéristiques du sol ainsi qu'à l'architecture des plantes, il est possible d'intervenir sur plusieurs facteurs ou sources de risques mentionnés

préalablement en s'intéressant aux carrefours. En effet, la configuration du sol, le paillis, la compaction et le système d'irrigation peuvent être considérés de pair dans le but bien précis d'augmenter l'efficacité des agroécosystèmes. Cette stratégie fait notamment l'objet de l'étude de cas dans la fraise à jours neutres et celle dans la pomme de terre.

ADOPTER UNE RÉGIE RAISONNÉE DE L'IRRIGATION

L'irrigation est une pratique culturale dont la gestion est complexe. Elle doit, entre autres, considérer la culture, le sol, les ressources disponibles (eau, système d'irrigation, financier, etc.), les objectifs poursuivis avec l'irrigation, les conditions météorologiques, ou encore la cohabitation avec les autres usagers de l'eau. Plusieurs de ces facteurs sont de nature évolutive et surtout imprévisible à moyen et long terme. Cette situation augmente le nombre de combinaisons possibles de situations dont la prise de chaque décision doit tenir compte.

Par ailleurs, la décision de se doter d'un système d'irrigation doit s'appuyer sur l'évidence de pouvoir rentabiliser cet investissement important. Dans les dernières années, l'équipe de régie de l'eau de l'IRDA, de même que des conseillers agroenvironnementaux publics ou privés, ont pu constater que des entreprises ont investi des sommes importantes pour acquérir des systèmes d'irrigation, alors que le niveau de risque de stress hydrique auquel les cultures sont confrontées ne justifie pas toujours l'ampleur de ces investissements. La première étape doit être d'évaluer ce niveau de risque. Encore faut-il savoir le faire.

L'étape qui suit la justification et l'adoption de cette pratique culturale devra se répéter autant de fois que nécessaire, soit de prendre la décision de déclencher ou non un épisode d'irrigation. Le soutien que les entreprises peuvent obtenir à ce sujet est encore déficient et le nombre d'intervenants habilités à accompagner les entreprises dans leur gestion de l'irrigation est insuffisant. La mise sur pied d'un Réseau d'avertissement hydrique (RAH) pourrait, par exemple, être envisagée. Comme on le mentionne précédemment, la formation de conseillers sur le thème de l'irrigation apparaît également une piste d'intervention structurante pour appuyer les producteurs agricoles dans le déploiement d'une régie d'irrigation efficace.

CAPTER ET VALORISER L'EAU PROVENANT DES PRÉCIPITATIONS

Outre les sources d'approvisionnement en eau traditionnel, il existe des sources dites « alternatives » dont le potentiel n'a pas encore été estimé à grande échelle au Québec. Certains types d'ouvrages pourraient être installés sur les entreprises afin de capter et de stocker l'eau de la pluie en vue de la valoriser dans différents usages. Bien qu'il existe une certaine offre de service en matière de gestion et de récupération de l'eau de pluie, leur implantation au Québec est plutôt limitée, surtout en contexte agricole. Il est possible d'imaginer différentes solutions intégrées selon les spécificités des entreprises, telles que la récupération de l'eau de pluie provenant des toitures de bâtiments, le captage passif en rivière lors des forts débits, des membranes imperméables stratégiquement installées pour récupérer l'eau de pluie, des étangs épurateurs et régulateurs de l'eau (EERE) destinés à l'usage de l'irrigation, etc. À l'instar des systèmes culturels bonifiés, ces mesures visent à augmenter la résilience des entreprises pouvant être confrontées

à un contexte d'approvisionnement en eau limité ou à diminuer les conflits potentiels avec d'autres usagers.

10.4 RÉSULTATS

Comme on le mentionne dans la mise en contexte, pour les études de cas à la ferme, des projets ont été réalisés à l'île d'Orléans et dans la région de Portneuf ou sont en cours de réalisation.

10.4.1 ESSAIS RÉALISÉS DANS LA POMME DE TERRE

Hormis quelques exceptions, la pomme de terre est produite dans des sols légers. Les apports d'engrais sont habituellement fractionnés en deux ou même trois apports. Le premier apport d'engrais se fait lors de la plantation des tubercules à l'endroit où le sol est légèrement billonné. Quelques semaines plus tard, un sarclage mécanique se fait là où un deuxième apport d'engrais peut être fait, à l'endroit où le billon est accentué. Une dizaine de jours après, il y a le renchaussage des plants et le billon prend sa forme finale. Un apport d'engrais qui cible le billon est généralement fait en même temps. Les surfaces pouvant recevoir un apport en eau par irrigation (environ 40 % des superficies au Québec) en reçoivent principalement grâce à des systèmes par aspersion. Il y a plusieurs cultivars qui peuvent être produits au Québec.

LE CHOIX DES CULTIVARS

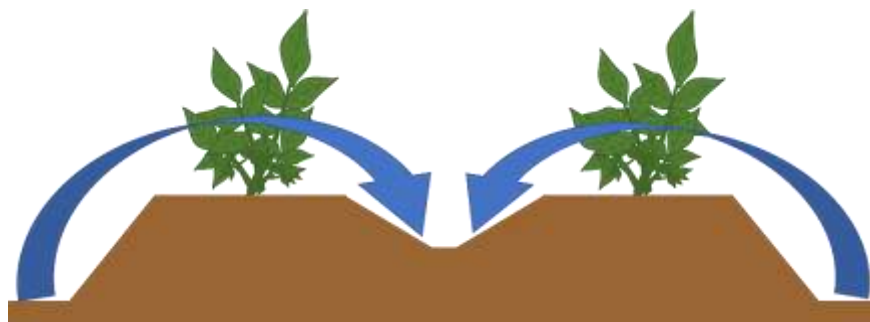
Des essais réalisés par Boivin et coll. (2018b), dans la culture de la pomme de terre ont permis de comparer la réponse de huit cultivars de pommes de terre à trois régimes hydriques. En 2016, sept cultivars ont mieux performé en conditions irriguées, avec des augmentations de rendement vendable qui ont varié entre 12 et 40 %. Seul le cultivar Umatilla Russet a été indifférent à l'apport ou non d'eau par irrigation, ce qui pourrait être une caractéristique recherchée en contexte non irrigué ou avec des contraintes d'approvisionnement en eau. De plus, seul le cultivar CalWhite a bénéficié d'une régie d'irrigation plus humide (15-20 kPa) en comparaison avec une régie plus « sèche » (30-35 kPa). Ainsi, dans un contexte irrigué, six des huit cultivars à l'étude ont démontré une plus grande efficacité de l'utilisation de l'eau avec la régie 30-35 kPa, qu'avec celle où on déclenche l'irrigation à 15-20 kPa. Ainsi, l'ensemble des ressources investies à maintenir le sol plus humide ont été gaspillées. **Ces résultats démontrent donc qu'avec une bonne connaissance des besoins en eau de la culture et un choix de cultivars adaptés, il est possible d'optimiser l'usage de l'eau.**

FAVORISER LES CARREFOURS DE PRÉLÈVEMENTS EN EAU ET EN NUTRIMENTS

L'idée de favoriser les carrefours de prélèvement dans le système cultural de la pomme de terre repose en partie sur des interventions qui vont garnir de sol un entre-rang sur deux en déportant du sol des entre-rangs qui y sont adjacents (Figure 10.3). Il y a donc des entre-rangs « donneurs » et « receveurs ». Cette zone de sol offre des conditions favorables à l'enracinement et profite de l'effet parapluie du plant de pommes de terre qui y détourne les apports en eau. Ces opérations sont réalisées lors du sarclage ou d'un renchaussage hâtif. En y détournant une proportion de

l'apport d'engrais qui cible la butte, un nouveau carrefour de prélèvement en eau et nutriments est formé.

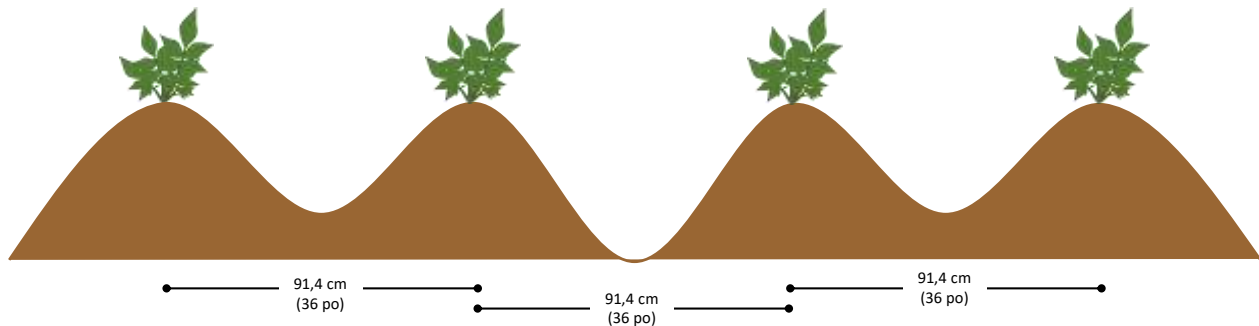
Figure 10.3
Déplacement du sol effectué pour l'architecture améliorée :
garnir de sol un entre-rang sur deux en déportant du sol des entre-rangs adjacents



Source : Tiré de Boivin et coll., non publié b

Le déplacement du sol vers le nouveau carrefour permet théoriquement d'augmenter le volume de sol utile à la culture. En émettant l'hypothèse que le sol provenant des entre-rangs « donneurs » ne constitue pas un carrefour dû à l'absence de racines, il est possible de quantifier le gain obtenu. En théorie, si le système cultural de la pomme de terre n'était pas butté, il serait possible de représenter la surface de sol pouvant être colonisée par le système racinaire comme étant un rectangle, dont la hauteur représente la profondeur racinaire et la longueur comme étant la distance centre-centre. En transposant une profondeur racinaire de 30 cm et une distance centre-centre des buttes à 91,4 cm, l'aire obtenue s'élèverait à 2743 cm² (cf. Figure 10.4). Dans le cas d'un sol butté de manière conventionnelle, l'aire représentant le sol pouvant être à la portée du système racinaire (vue de face de la butte) atteint 2171 cm². Dans le cas des architectures modifiées selon une faisabilité d'un entre-rang sur deux, le gain de sol s'élève entre 94 et 148 cm² (Boivin et coll., projet en cours [a]; Boivin et coll., projet en cours [b]). En considérant une largeur de butte à 91,4 cm, le carrefour pourrait s'accroître de 102 à 162 m³/ha, soit une augmentation de l'ordre de 4 à 7 %.

Figure 10.4
Hypothèses de réserve en eau facilement utilisable (RFU) communément rencontrées en contextes de pommes de terre



Source : Tiré de Boivin et coll., projet en cours (a)

Pour traduire le volume de sol supplémentaire en quantité d'eau disponible à la culture, il faut être en mesure d'attribuer une réserve en eau facilement utilisable (RFU) aux sols étudiés. Selon des hypothèses de RFU entre 21 et 36 mm pour 30 cm de profondeur, ces volumes de sols représentent une augmentation de la RFU de l'ordre de 0,7 à 1,9 mm (Boivin et coll., projet en cours [a]; Boivin et coll., projet en cours [b]). Considérant qu'un champ de pommes de terre à plein développement lors d'une journée d'été nécessite entre 4 et 6 mm d'eau/ha quotidiennement, le nouveau système cultural ne permet pas d'augmenter significativement l'autonomie entre deux apports en eau. Néanmoins, l'apport supplémentaire de sol dans le nouveau carrefour aurait permis d'augmenter la hauteur d'eau provenant des précipitations pouvant être valorisée par la culture entre 23 et 98 m³/ha (simulations effectuées de 2015 à 2019) (Boivin et coll., projet en cours [b]).

HEAPVC SELON LE TYPE DE SYSTÈME D'IRRIGATION

La hauteur d'eau apportée qui a le potentiel d'être valorisée par la culture (ou HEAPVC) devrait idéalement être de 100 %. Toutefois, tant l'architecture du système cultural que le système d'irrigation affecteront la hauteur qui pourra être valorisée.

Pour évaluer la quantité totale d'eau utilisée pour l'irrigation par aspersion et par goutte-à-goutte pour maintenir le statut hydrique du sol dans des conditions optimales, une simulation à l'aide du bilan hydrique a été réalisée avec les conditions de 2015 à 2019. Pour ce faire, les précipitations et l'évapotranspiration potentielle de la station de Saint-Laurent-de-l'Île-d'Orléans ont été utilisées (Agrométéo, 2019). Les coefficients culturaux utilisés sont ceux proposés dans Boivin et coll. (2018a) pour une variété de 130 jours de croissance. La date de plantation a été fixée au 25 mai de chaque année. La réserve en eau du sol facilement utilisable (RFU) par la culture a été établie à 20 mm pour une profondeur d'enracinement de 30 cm de sol. Pour démarrer la simulation, la RFU du sol au 25 mai a été fixée au maximum de sa capacité (20 mm).

Les irrigations ont été comptabilisées lorsque la RFU en fin de journée était épuisée. Les irrigations ont été simulées du 1^{er} juillet au 15 septembre, soit les dates approximatives du renchauffage et du défanage. La hauteur d'eau appliquée pour un épisode d'irrigation a été établie à 20 mm pour l'aspersion et à 1,8 m pour le goutte-à-goutte. En ce qui a trait au goutte-à-goutte, plus d'un épisode peut être nécessaire pour combler le besoin quotidien. La hauteur d'eau appliquée est réputée efficace à 100 %, ce qui n'est pas le cas en pratique. Le Tableau 10.1 présente le nombre d'irrigations nécessaires pour combler les besoins en eau et la quantité d'eau utilisée pour chaque système.

Tableau 10.1
Nombre d'épisodes d'irrigation, volume total (m³/ha) et hauteur d'eau totale (mm) selon le
système d'irrigation de la pomme de terre pour une simulation de bilan hydrique
(Capitale-Nationale) 2015-2019

Année	Système d'irrigation	Nombre d'épisodes	Volume total (m ³ /ha)	Hauteur d'eau totale (mm)
2015	Aspersion	6	1200	120
	Goutte-à-goutte	28	1080	108
	écart			-10 %
2016	Aspersion	8	1600	160
	Goutte-à-goutte	27	1189	119
	écart			-26 %
2017	Aspersion	9	1800	180
	Goutte-à-goutte	32	1404	140
	écart			-22 %
2018	Aspersion	8	1600	160
	Goutte-à-goutte	29	1152	115
	écart			-28 %
2019	Aspersion	10	2000	200
	Goutte-à-goutte	31	1530	153
	écart			-24 %

Les résultats démontrent une diminution allant de 10 à 28 % de la quantité d'eau d'irrigation utilisée avec un système d'irrigation par goutte-à-goutte en comparaison avec celui par aspersion. Par aspersion, la hauteur d'eau appliquée vise normalement à rétablir la RFU du sol (ex. 20 mm). À la suite d'une irrigation de 20 mm (100 % efficace), le sol devrait alors se retrouver à la capacité au champ. Advenant la situation où une pluie surviendrait avant que le statut hydrique du sol atteigne à nouveau la consigne d'irrigation, une proportion de l'eau apportée par l'irrigation sera réputée non efficace. Par exemple, si la culture a utilisé 10 des 20 mm apportés

dans les deux jours suivant l'apport et que la pluie apporte 20 mm, le sol ne pourra que retenir 10 mm de cette pluie.

Par goutte-à-goutte il est difficile, voire impossible, de viser à rétablir la RFU, entraînant le fait qu'il faut souvent plus d'un apport dans une journée pour répondre au besoin de la culture sans perdre de l'eau en profondeur. Comme une partie du système cultural est hors de portée du tube de goutte-à-goutte et que l'apport en eau vise à combler le prélèvement quotidien, le sol est en mesure de retenir une plus grande proportion d'un épisode de pluie qui surviendrait peu de temps après une irrigation. Ainsi, l'impact sur la HEAPVC est non négligeable.

10.4.2 ESSAIS RÉALISÉS EN CULTURE DE FRAISES À JOURS NEUTRES

Le système cultural typique de la fraise à jours neutres implique de façonner le sol en butte aplatie et d'en recouvrir la surface avec un paillis de plastique noir. Il est généralement irrigué à l'aide d'un tube de goutte-à-goutte qui est placé à la surface ou légèrement enfouis entre les deux rangées de fraisiers plantés en quinconces. Un apport d'engrais granulaire est apporté à la volée avant le buttage, et cet engrais se retrouve dispersé dans la butte lors du travail du sol. Des apports réguliers d'engrais solubles via le système d'irrigation (fertigation) débutent quelques semaines après la plantation. Variable d'une entreprise à l'autre, la densité de plantation peut atteindre plus de 50 000 fraisiers/ha et l'espace occupé par les entre-rangs peut représenter 40 % de la superficie totale. L'essentiel des superficies est implanté avec le cultivar *Seascape*.

La gestion de l'irrigation avec un système d'irrigation par goutte-à-goutte est différente de celle effectuée avec un système par aspersion. L'irrigation par goutte-à-goutte procure des apports en eau très localisés. C'est pourquoi le tube est placé à proximité du système racinaire de la culture pour maximiser son efficacité. Néanmoins, il est difficile d'atteindre l'ensemble du volume de sol colonisé par le système racinaire de la culture, ce qui amène inévitablement des zones d'assèchement. Il a été démontré que dans des sols « drainants », comme ceux présents lors des essais (loam argileux avec une forte proportion de détritiques), le mouvement de l'eau distribuée par les systèmes de goutte-à-goutte était principalement vertical, et qu'en moyenne, 50 % du volume de sol sous le paillis de plastique était hors de portée du système d'irrigation (Boivin et Deschênes, 2011). Toutefois, lors d'apport d'eau par la pluie, la disposition des fraisiers et leur effet entonnoir dirigent l'eau vers le trou de plantation et permettent une réhumectation du sol lors d'épisode de pluie important. Ainsi, les essais de Boivin et Deschênes (2011) ont permis de mettre en lumière que ni l'augmentation du débit par gouteur, ni l'espacement entre ceux-ci ou le volume d'eau appliqué par épisode se sont avérés efficaces pour favoriser un écoulement latéral. Pour éviter de perdre l'eau en profondeur, la micro-irrigation (diminution de la durée et augmentation de la fréquence) est une solution qui permet de diminuer les risques de lessivage en profondeur, mais qui ne permet pas de régler le problème d'assèchement de la butte (Bergeron, 2010; Boivin et Deschênes, 2011; Landry et Boivin 2014).

La problématique d'assèchement du sol en périphérie du tube de goutte-à-goutte a aussi été mise en lumière par Landry et Boivin (2014) qui, au terme de la saison, ont mis en évidence que

l'engrais appliqué au printemps, qui s'est retrouvé dans les épaules, était toujours présent au moment de détruire le système cultural à l'automne. La présence de racines, mais la quasi-absence d'eau n'a pas permis à la culture de prélever cet engrais.

Dans le système cultural actuel de la fraise à jours neutres, une superficie importante reste plus ou moins optimisée. Parmi les solutions à privilégier, l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation demeure incontournable. Pour y parvenir, l'élaboration de nouvelles méthodes culturales (ratio buttes/entre-rangs, densité de plantation, largeur de butte et nombre de rangs de fraisiers par butte) pourrait favoriser une meilleure exploration du sol (enracinement) et de la réserve en eau et des nutriments (carrefours de prélèvements) afin d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

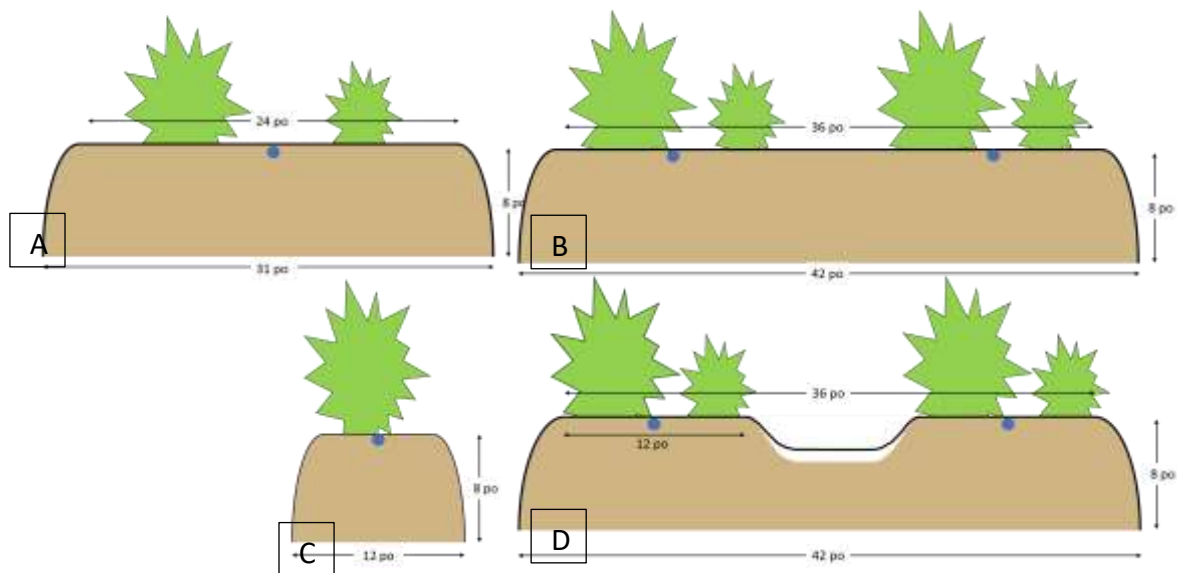
FAVORISER LES CARREFOURS DE PRÉLÈVEMENT EN EAU ET EN NUTRIMENTS

Selon la méthode d'installation du paillis, 40 % du système cultural, soit les entre-rangs, se disqualifie d'emblée de la définition d'un carrefour de prélèvement. En considérant que l'autre 60 % (sol butté) sera ultimement colonisé par les racines, la proportion de cette butte qui peut devenir un carrefour de prélèvement dépend grandement de la portée du système d'irrigation et aussi de la fréquence et de la hauteur des épisodes de pluie.

Des essais visant à favoriser ces carrefours ont été réalisés par Vallée et coll. (2019). Ils ont montré qu'il était possible d'augmenter la proportion de sols utilisés par la culture (cf. Figure 10.5). Par exemple, dans un système cultural bonifié, où les buttes sont plus larges et où il y a quatre rangs de fraisiers, la superficie du champ couverte a été augmentée de 7 %. De plus, le volume de sol pouvant être à la portée des plants augmenterait de 211 m³/ha. En émettant l'hypothèse que la réserve facilement utilisable en eau du sol est de 15 mm pour 30 cm de sol, le nouveau système pourrait bénéficier d'une réserve en eau supplémentaire d'environ 10 m³/ha ou 1 mm.

Figure 10.5

Favoriser les carrefours de prélèvement en augmentant la proportion de sols utilisés par la culture



Notes : A. Butte témoin, B. Butte large, C. Butte étroite selon portée du système par goutte-à-goutte et D. Butte large avec zone de récupération de la pluie.

La modification de l'architecture de la butte a pour but d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation et de la pluie, et de maximiser la productivité par surface. En utilisant et en valorisant une plus grande proportion du sol par ha, la densité de plantation pourrait être accrue, tout comme le rendement par unité de surface et la vitesse de récolte. Cependant, la modification du système cultural pour atténuer ces problématiques ne se fait pas si facilement. La construction du système cultural nécessite une machinerie spécialisée et, une fois achevée, il doit permettre l'accès aux autres opérations culturales mécanisées, et aussi faciliter la récolte et protéger les fruits.

10.5 À RETENIR DES ÉTUDES DE CAS À LA FERME

Le tableau suivant résume les principaux apprentissages tirés des études de cas réalisées en production de pommes de terre et de fraises dans les régions de Portneuf et de l'île d'Orléans. Pour la pomme de terre, favoriser les carrefours de prélèvement et encadrer la prise de décision du cultivar sont les stratégies les plus porteuses. Pour la fraise, les carrefours de prélèvement ressortent aussi. Dans les deux productions, il y a encore toutefois des activités de R&D nécessaires pour peaufiner la stratégie. S'il y a un potentiel pour le goutte-à-goutte dans la fraise pour le captage dans le système cultural, c'est une avenue sans potentiel dans la pomme de terre.

Tableau 10.2
Résumé des enseignements tirés des études de cas à la ferme

Stratégies	Pomme de terre	Fraise à jours neutres
Favoriser les carrefours de prélèvement	-Barrières pour essais et adoption -R&D nécessaires	-Barrières pour essais et adoption -R&D nécessaires
Type de système d'irrigation	-Conditions gagnantes à respecter -Adoption par les producteurs	-Se concentrer sur la performance
Choix du cultivar	-Potentiel élevé -Acquisition de connaissances	-Peu de cultivars
Captage pluie dans le système cultural pour l'irrigation	-Aucun potentiel	-Potentiel pour le goutte à goutte

10.6 AUTRES STRATÉGIES

MISE À L'ESSAI D'UN RÉSEAU D'AVERTISSEMENT HYDRIQUE

En complément des travaux sur les systèmes architecturaux réalisés à l'île d'Orléans et Portneuf aux été 2018 et 2019, il est utile de rappeler d'autres accompagnements effectués auprès de producteurs maraîchers sur le sujet de la gestion de l'eau. À l'été 2015 et 2016, cinq entreprises agricoles spécialisées dans la production de pommes de terre ont été accompagnées dans leur régie d'irrigation (Boivin et coll., 2017). Ces dernières étaient situées dans les régions suivantes : Bas-Saint-Laurent, Capitale-Nationale, Centre-du-Québec et Lanaudière. Tout en considérant les particularités de chacun des systèmes culturaux, un seuil de déclenchement de l'irrigation et une durée ont été déterminés pour chacun des champs suivis. Une approche de type « hybride » (bilan hydrique et tensiométrie) a été l'outil d'aide à la décision utilisé pour anticiper et valider le moment où le seuil de déclenchement est atteint. De plus, des coefficients culturaux (K_{C-TDR}), indispensables avec le bilan hydrique, ont été déterminés pour chacun des sites et chacune des saisons. La performance des systèmes d'irrigation utilisés a aussi été évaluée. Enfin, cet accompagnement et les échanges entre les intervenants ont permis d'identifier les principaux besoins de ces entreprises au regard d'un appui pour une régie raisonnée de l'irrigation.

Aussi, des projets réalisés à l'IRDA dans les dernières années, comme celui de la Caravane de l'irrigation ou celui sur la caractérisation de l'usage de l'eau dans 75 systèmes culturaux différents, ont certes permis d'accompagner et de former des intervenants, mais aussi de réaliser que les outils d'aide à la prise de décision (ex. : tensiomètre) sont encore peu présents ou mal utilisés sur les entreprises (Deschênes et coll., 2018; Boivin et coll., 2016). Il en ressort aussi que la plupart du temps, l'irrigation devrait être déclenchée plus tôt, que la durée moyenne d'un épisode est trop longue et que la fréquence des apports est insuffisante (Boivin et coll., 2016).

Dans la dernière année, la mesure 4304 du Programme Prime-Vert et la publication du Guide technique de Gestion raisonnée de l'irrigation ont certes été favorables au développement d'une offre-conseil en irrigation et continueront de l'être. Cependant, une problématique demeure, soit

l'abondance de facteurs à considérer pour prendre une décision qui s'appuie sur un environnement spécifique à un système cultural et qui est constamment en évolution.

Deux projets pilotes ont d'ailleurs été réalisés dans les dernières années avec un groupe de producteurs et de conseillers afin de cerner les besoins en regard d'un réseau d'appui pour la gestion de l'irrigation (Vallée et coll., 2016; Vallée et coll., 2018). Toutefois, l'ensemble des facteurs à considérer étaient récupérés et analysés manuellement par l'équipe de régie de l'eau de l'IRDA, avant d'être communiqués aux producteurs et conseillers sur une base hebdomadaire. Quoiqu'un tel service serait très apprécié par les producteurs, il est impensable de le proposer sur une base « manuelle » à un grand nombre d'entreprises.

Il s'agit maintenant de développer un outil d'aide à la prise de décision en gestion raisonnée de l'irrigation qui serait performant, accessible et complémentaire à l'offre actuelle, et qui servirait à : 1) évaluer le niveau du risque de stress hydrique auquel est confronté chacun des systèmes culturaux présents sur une entreprise agricole en vue d'adopter ou non la pratique de l'irrigation; 2) anticiper le moment où la consigne de déclenchement de l'irrigation sera atteinte afin de déployer efficacement les ressources impliquées; 3) connaître le moment où la consigne d'irrigation sera atteinte selon l'objectif poursuivi avec l'irrigation; et 4) générer de l'information à portée collective en irrigation comme celles du Réseau d'avertissements phytosanitaires.

Un tel outil devrait donc être utile à partir du moment où l'entreprise se questionne sur la pertinence d'adopter l'irrigation, jusqu'à celle de déclencher, ou non, un épisode d'irrigation.

CAPTER L'EAU DE PLUIE ET LA VALORISER DANS DIFFÉRENTS USAGES AGRICOLES

La récupération des eaux pluviales fait partie des stratégies identifiées à la section 7.2.4, encore peu appliquée au Québec, pour tirer profit d'une source d'approvisionnement « naturelle ».

Afin d'évaluer le potentiel d'adoption de certaines mesures de captage et de valorisation de l'eau de pluie, un projet exploratoire a été mené à l'été 2019 (Bovin et coll., non publié b). Ce projet avait comme objectif d'évaluer des solutions qui ont le potentiel de diminuer, voire éliminer, le déficit hydrique tant à l'échelle de l'entreprise qu'à celle de l'île d'Orléans. Pour ce faire, des solutions qui ont le potentiel d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau et/ou la proportion des précipitations qui peuvent être valorisées ont été évaluées dans des contextes de production réels. Le Tableau 10.3 présente certains des constats réalisés.

La simple utilisation de gouttières existantes ou, le cas échéant, l'installation de tels dispositifs sur des bâtiments agricole et/ou d'habitation permet de récupérer l'eau provenant des précipitations. Le volume récupérable et potentiellement valorisable dépend certainement de la surface de toit exploitable, mais aussi d'un réservoir et du volume de ce dernier. Par exemple, pour une étable (production laitière) où 2096 m² de toiture peuvent être utilisés pour récupérer les précipitations (du 1^{er} au 31 octobre), de 1158 à 1356 m³ d'eau auraient pu être récupérés, selon l'année (2015 à 2019). Toutefois, pour combler le besoin quotidien 25 % du temps, soit durant 46 des 184 jours de la période considérée, il faudrait une surface de captage de 2276 à 2795 m², selon l'année.

Tableau 10.3
Description des moyens techniques utilisés pour récupérer l'eau provenant des précipitations
et le potentiel d'approvisionnement qu'ils représentent selon un usage donné

Stratégie évaluée	Moyen technique de captage/transport/stockage	Usage de l'eau provenant des précipitations	Potentiel de captage selon les précipitations (2015-2019) ^a	Superficie de captage (m ²) pour combler le besoin quotidien 25 % du temps ^b	Capacité de stockage (m ³) pour combler le besoin quotidien 25 % du temps ^b
Capter et valoriser l'eau provenant des précipitations	Gouttière sur bâtiment agricole et/ou d'habitation en combinaison avec un réservoir.	Lavage des produits agricoles.	309 à 373 m ³ (1315 m ² de captage) – P1	683 à 1270 (réservoir de 15 m ³)	9 à 15
		Abreuvement des animaux (production laitière).	1158 à 1356 m ³ (2096 m ² de captage) – P2	2276 à 2795 (réservoir de 45 m ³)	55 à 175
		Abreuvement des animaux (production porcine).	2068 à 2421 m ³ (3744 m ² de captage) – P2	2033 à 2698 (réservoir de 40 m ³)	23 à 27
		Abreuvement des animaux (production avicole).	808 à 946 m ³ (1462 m ² de captage) – P2	1883 à 2266 (réservoir de 40 m ³)	116 à 126
		Traitements phytosanitaires.	n.d.		
		Utilisation par la main-d'œuvre hébergée (hormis eau potable).	80 à 93 m ³ (130 m ² de captage) – P2	387 à 478 (réservoir de 15 m ³)	116 à 126
	Gouttière sur structures de types parapluies ou grands tunnels et/ou système de drainage adapté en combinaison avec un réservoir et/ou un étang d'irrigation.	Irrigation	120 à 158 m ³ (268 m ² de captage) – P3	n.d.	1,5 à 1,7 (25 %) 3 à 3 (50 %) 5 à 9 (75 %) 15 à 27 (100 %)
	Imperméabilisation d'un certain nombre d'entre-rangs (système butté).	Irrigation	614 à 1437 m ³ /ha	n.d.	Ne s'applique pas
	Imperméabilisation de surface à l'aide de bâches (ponctuel ou permanent). En combinaison avec un étang d'irrigation.		n.d.		
Favoriser les carrefours de prélèvement	Augmentation du volume de sol à la portée de la culture.	Prélèvement par la culture.	Augmentation de la RFU du sol de 0,7 à 1,1 mm.	Ne s'applique pas	
	Paillis perméable à l'eau.	Prélèvement par la culture.	n.d.		

^a Le potentiel de captage fait référence à des cas de figure évalués dans le cadre du projet (Boivin et coll., projet en cours [b]). La période annuelle considérée est variable d'un usage à l'autre.

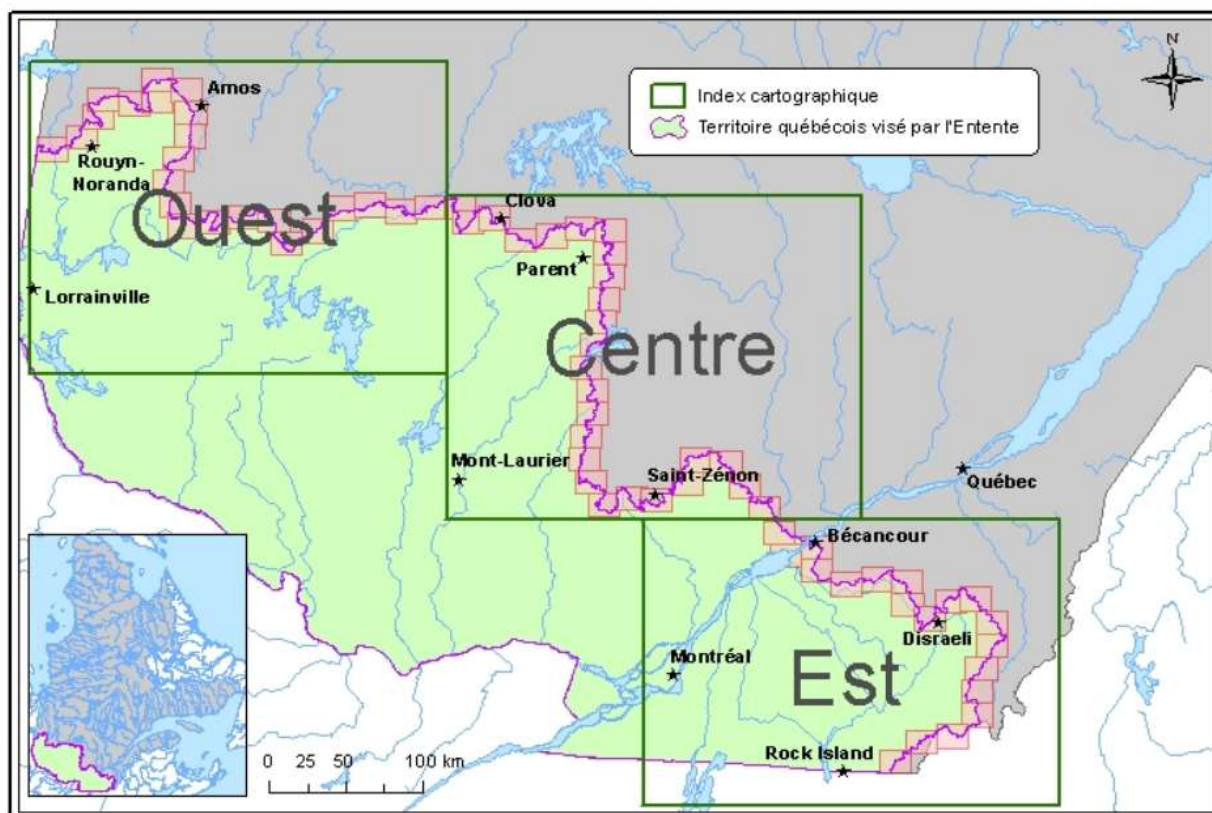
^b La superficie de captage et la capacité de stockage nécessaire ont été établies selon les scénarios de besoins en eau des entreprises et de la pluviométrie enregistrée entre 2015 et 2019.

P1 : 1^{er} juillet au 15 septembre. P2 : 1^{er} mai au 31 octobre. P3 : 10 mai au 15 octobre.

ANNEXE 1

DÉLIMITATION DU BASSIN DU FLEUVE SAINT-LAURENT ÉTABLI DANS LE CADRE DE L'ENTENTE DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT

DÉLIMITATION DU BASSIN DU FLEUVE SAINT-LAURENT ÉTABLI DANS LE CADRE DE L'ENTENTE SUR LES RESSOURCES EN EAUX DURABLES DU BASSIN DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT



Source : 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 10.4 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 sont 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 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 prélèvements visés 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 MELCC).

Tableau 10.4
Catégories de prélèvement telles que définies par le RPEP.

1	Prélèvement d'eau effectué pour desservir : a) le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant plus de 500 personnes et au moins une résidence
2	Prélèvement d'eau effectué pour desservir : a) le système d'aqueduc d'une municipalité alimentant de 21 à 500 personnes et au moins une résidence; b) tout autre système d'aqueduc alimentant 21 personnes et plus et au moins une résidence; 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.
3	Prélèvement d'eau effectué pour desservir : a) le système indépendant d'un système d'aqueduc alimentant exclusivement un ou des établissements utilisés à des fins de transformation alimentaire; 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 touristiques saisonniers au sens du Règlement sur la qualité de l'eau potable; c) tout autre système alimentant 20 personnes et moins (inclut les puits individuels)

Source : RPEP.

Mesures de protection des eaux

Le RPEP comprend également des mesures afin de protéger les sites de prélèvements 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 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 (cf. Tableau 10.5). Les 7 lettres de l'acronyme DRASTIC représentent les facteurs déterminant l'indice de vulnérabilité¹⁶⁶.

¹⁶⁶ 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.

Tableau 10.5
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;

A : 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'aire de protection : immédiate, intermédiaire et éloignée. Seule l'aire de protection immédiate des prélèvements de catégories 1 et 2 sont contraignantes 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).

ANNEXE 3

CHARTES DE CONSOMMATION POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

11. 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 informations recueillies dans chaque région sur les cultures irriguées sont donc présentées 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 l'emplacement (région) et des règles utilisées par le producteur pour décider de recourir à l'irrigation. Les données disponibles concernant souvent un nombre restreint d'entreprise et de situation, 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.

11.1 CULTURES EN SERRES

Les cultures en serre nécessitent des pratiques d'irrigation particulières et ont des besoins importants en eau puisque les précipitations ne bénéficient pas aux cultures abritées. Les besoins en eau des cultures sous serres peuvent être modélisés en se basant sur le rayonnement global (Bellouch et al. 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 informations utilisées par TechnoRem (2008-e) concernant le type de culture, le coefficient cultural et le pourcentage de croissance par mois, les volumes d'eau nécessaire pour chaque culture, par mois, puis via une sommation, par an. Ces données sont présentées dans les Tableau 11.1 et Tableau 11.2.

Tableau 11.1
Total mensuel de la radiation incidente en J par mois.

Chaque colonne comporte le nom de la région / de la station météorologique d'Environnement Canada dont les données historiques ont été utilisées pour l'analyse.

MOIS	NBR JOUR PAR MOIS	CAPITALE NATIONALE / QUÉBEC	BAS-SAINT LAURENT / MONT-JOLI	MAURICIE / NICOLET	OUTAOUAIS / OTTAWA	LAURENTIDES, LAVAL / ST- HUBERT
JANVIER	31	176216	147438	171380	185858	18443
FÉVRIER	28	265399	238153	232618	272151	26382
MARS	31	439459	407821	364382	440087	42363
AVRIL	30	524064	507247	489195	507817	51199
MAI	31	601240	598629	651539	620837	63617
JUIN	30	621121	654352	657849	644516	65634
JUILLET	31	622064	640127	653999	665581	66517
AOÛT	31	536298	556249	562132	572570	57821
SEPTEMBRE	30	375648	387542	416422	412530	42979
OCTOBRE	31	252632	244667	274026	276571	28701
NOVEMBRE	30	149298	137709	156707	151230	16428
DÉCEMBRE	31	134170	109407	134794	140110	14223

Dans le rapport TechnoRem (2008-a), nous trouvons les valeurs de référence présentées dans le Tableau 11.2 qui permettent de convertir la radiation en ETP (mm).

Tableau 11.2
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 11.3 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 calculé pour chaque région. Les Tableau 11.3 à Tableau 11.8 présentent les estimations des besoins en eau pour chaque culture dans chaque région.

Tableau 11.3
Produit du coefficient cultural et du taux d'occupation.

	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre piment tomate	Concombre piment tomate longue	Laitue
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

Note 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 11.4
Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre dans la Capitale-Nationale.

CAPITALE- NATIONALE	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre, piment, tomate	Concombre, piment, tomate longue	Laitue
JANVIER	0	0	0	0	21	6	6	0	22	18
FÉVRIER	0	0	0	0	43	31	29	27	44	42
MARS	5	58	15	5	78	78	71	82	81	76
AVRIL	73	84	86	73	82	82	77	104	104	97
MAI	95	101	121	95	120	119	108	124	124	116
JUIN	46	106	63	46	125	125	114	130	130	122
JUILLET	0	106	0	94	103	0	97	113	131	123
AOÛT	0	38	0	83	105	27	97	109	109	102
SEPTEMBRE	0	0	0	25	67	61	61	71	71	66
OCTOBRE	0	0	0	0	33	41	31	42	42	39
NOVEMBRE	0	0	0	0	19	19	18	0	21	18
DÉCEMBRE	0	0	0	0	17	13	15	0	17	16
TOTAL	219	492	285	421	813	603	722	803	895	835

Tableau 11.5
Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre au Bas-Saint-Laurent.

BAS-SAINT-LAURENT	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre, piment, tomate	Concombre, piment, tomate longue	Laitue
JANVIER	0	0	0	0	17	5	5	0	18	15
FÉVRIER	0	0	0	0	38	28	26	25	39	37
MARS	4	54	14	4	72	72	66	76	75	71
AVRIL	71	81	83	71	79	79	74	101	101	94
MAI	95	100	120	95	119	118	107	123	123	115
JUIN	48	111	66	48	132	132	120	137	137	129
JUILLET	0	109	0	96	106	0	99	116	135	126
AOÛT	0	39	0	86	109	28	101	113	113	106
SEPTEMBRE	0	0	0	25	70	63	63	73	73	69
OCTOBRE	0	0	0	0	32	39	30	40	40	37
NOVEMBRE	0	0	0	0	18	18	17	0	19	17
DÉCEMBRE	0	0	0	0	14	11	12	0	14	13
TOTAL	219	495	284	427	806	594	719	805	889	829

Tableau 11.6
Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre en Mauricie.

MAURICIE	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre, piment, tomate	Concombre, piment, tomate longue	Laitue
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 11.7
Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre en Outaouais.

OUTAOUAIS	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre, piment, tomate	Concombre, piment, tomate longue	Laitue
JANVIER	0	0	0	0	22	7	7	0	23	19
FÉVRIER	0	0	0	0	44	32	29	28	45	43
MARS	5	58	15	5	78	78	71	82	81	77
AVRIL	71	81	84	71	79	79	74	101	101	94
MAI	99	104	125	99	124	123	111	128	128	120
JUIN	48	110	65	48	130	130	118	135	135	127
JUILLET	0	114	0	100	111	0	103	121	140	131
AOÛT	0	40	0	89	112	29	103	116	116	109
SEPTEMBRE	0	0	0	27	74	67	67	78	78	73
OCTOBRE	0	0	0	0	36	44	34	46	46	42
NOVEMBRE	0	0	0	0	20	20	19	0	21	19
DÉCEMBRE	0	0	0	0	18	14	15	0	18	16
TOTAL	222	507	288	438	846	622	751	835	932	869

Tableau 11.8
Estimation des besoins en eau (mm) des cultures sous serre dans les Laurentides et à Laval.

LAURENTIDES ET LAVAL	Légume caissette jardin	Légume caissette champ	Fleur annuelle caissette et jardinière	Plantes vivaces	Roses et fleurs coupées	Potées fleuries	Plantes vertes	Concombre, piment, tomate	Concombre, piment, tomate longue	Laitue
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

11.2 BLEUETS DE CORYMBES OU GÉANTS

Dans les 6 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 le pratiquent pas, et que les volumes soient très variables, mais généralement faibles (Boivin, 2008, Boivin et al., 2008, Boivin et Landry, 2011) (Tableau 11.9).

Tableau 11.9
Informations recueillies sur l'irrigation des bleuets de corymbes.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	75	75	75	100	50	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	25	10	20	6	20	70
Dose moyenne par apport (mm)	3	3	2	3	3	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	9	9	6	9	12	14
Aspersion contre le gel	-	-	-	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	40 mm (1 nuit)

Légende : GAG= goutte-à-goutte.

11.3 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)¹⁶⁷, 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 al. (2015)¹⁶⁸ ont mesuré des volumes variants entre 24 et 168 mm par été dans différentes parcelles de producteur faisant l'objet d'un contrôle de la nappe. Enfin, le CEHQ¹⁶⁹ 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 le producteur, les réservoirs puissent ne pas toujours satisfaire les 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 prélèvement 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'étiages.

Sur la base des informations recueillies ci-dessus, nous avons donc estimé le volume d'irrigation estival à 350 mm (Tableau 11.10). 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 utilisée au cours de l'année pouvait être drainée, pompée de nouveau et ré-utilisée.

¹⁶⁷ T. Jabet, 2014. Étude des retombées économiques liées à l'utilisation de tensiomètres. Mémoire de fin d'étude. INP Toulouse Purpan / Université Laval. 112 p.

¹⁶⁸ Pelletier et al. (2015), Water table control for increasing yield and saving water in cranberry production. Sustainability 7, p. 10602-10619.

¹⁶⁹ 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 11.10
Informations recueillies sur l'irrigation des canneberges.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	- (pas cultivé)	- (pas cultivé)	100	100	- (pas cultivé)	- (pas cultivé)
Période d'apport	-	-	Juin à août	Juin à août	-	-
Type de système d'irrigation dominant	-	-	Aspersion	Aspersion	-	-
Nombre moyen d'apports	-	-	39	39	-	-
Dose moyenne par apport (mm)	-	-	9	9	-	-

Légende : GAG= goutte-à-goutte.

11.4 FRAISES D'AUTOMNE (OU FRAISES À JOURS NEUTRES)

Les fraises d'automne ou fraises à jours neutres sont toutes irriguées au GAG, quelles que soient les régions, car cultivées en plasticulture. Ce type de fraise, souvent de variété Seascape, est planté en juin, et fertilisé durant l'été jusqu'en septembre. Cette variété d'automne est produite jusqu'au premier gel, et est souvent conservée pour produire l'année suivante.

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 al. (2015) rapportent des volumes compris entre environ 100 et 160 mm par saison. Boivin et al. (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 11.11).

Tableau 11.11
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'automne.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	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	Mi-juin à fin septembre
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	50	25	60	70	70	70
Dose moyenne par apport (mm)	2	2	2	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	8	14	20	14	14

11.5 FRAISES CONVENTIONNELLES ET HAUTES DENSITÉS

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 cultivé sur des buttes ou des planches, et des systèmes de fraises d'été planté en 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 11.12)

Tableau 11.12
Superficie estimée de chaque type de fraises.

Superficie de chaque type estimée (ha)	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Fraises conventionnelles et haute densité (fiches FLORA)	461	77	85	27	136	26
Fraises hautes densités	277	26	5	5	7	13
Fraises conventionnelles	184	51	80	22	129	13

11.5.1 FRAISE 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 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 11.13). Boivin et al. (2017) rapportent environ une dizaine d'épisodes d'irrigation par an, seulement pour la période de production.

Tableau 11.13
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été plantées en haute densité.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des surfaces irriguées (%)	100	100	100	100	100	100
Période d'apport	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	Aspersion	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	35	25	30	3	70	35
Dose moyenne par apport (mm)	2	2	2	20	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	8	14	20	14	14
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	-	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)

11.5.2 FRAISE EN RANG NATTÉ

Les fraises en rang natté est le système encore dominant au Québec. Il s'agit de fraises qui produisent 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 via un système d'asperseurs le plus souvent, pour éviter les stress hydriques pendant la période de production s'étalant de juin à juillet. A noter que ce type de fraises est également protégé contre le gel en utilisant une aspersion des plantes pendant les nuits trop fraîches de mai/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 11.14
Informations recueillies sur l'irrigation des fraises d'été en rang natté.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	75	100	90	100	66	100
Période d'apport	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet	Juin / juillet
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	2	2	3	2	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	20	20	20	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	20	20	20	20	20
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	-	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)	80 mm (2 nuits à 40 mm)

11.6 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 ». Les framboisiers sont irrigués la plupart du temps au goutte-à-goutte (Bergeron, 2008). Les producteurs qui cultivent 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).

A noter que pour Capitale-Nationale pour les framboises d'été, il y a 13 ha de superficie cultivée sous abris où nous avons estimé que 150 apports de 4 mm étaient réalisés. Sur les 35 ha de plein champ irrigués, 75 % des superficies sont irriguées avec 10 apports de 2 mm. La régie moyenne utilisée pour l'estimation des volumes d'eau considère donc un apport total de 174 mm (moyenne des volumes pondérés par les superficies), soit 87 apports de 2mm.

A noter également qu'en Mauricie, sur les 21 ha de framboises conventionnelles, 1.5 ha sont cultivées sous abris. Nous avons donc considéré que 1.5 ha recevaient 150 apports de 4 mm et 19,5 ha 10 apports de 2mm, soit 60 mm en moyenne. Sur les 4 ha en framboises d'automne, 0.5 ha est

également cultivé sous abris, ce qui correspond à 0.5 ha à 150 apports de 4 mm et 3.5 ha à 25 apports de 2 mm, soit 120 mm en moyenne (60 apports de 2 mm).

Tableau 11.15
Informations recueillies sur l'irrigation des framboises conventionnelles.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des surfaces irriguées (%)	100	40	80	75	20	100
Période d'apport	Juin à août	Juin-juillet	Juin-juillet	Juin-juillet	Juin-juillet	Juin-juillet
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	87	15	30	5	20	15
Dose moyenne par apport (mm)	2	2	2	3	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	8	14	6	10	8

Tableau 11.16
Informations recueillies sur l'irrigation des framboises d'automne.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	-	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à août	-	Juin-septembre	Juin-septembre	Juin-septembre	Juin-septembre
Type de système d'irrigation dominant	GAG	-	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	25	-	60	5	15	15
Dose moyenne par apport (mm)	2	-	2	3	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	6	-	14	6	8	8

11.7 MELONS ET CANTALOUPS

Les melons et cantaloups sont irrigués en Outaouais et à Laval. 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 al., 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 11.17
Informations recueillies sur l'irrigation des melons et cantaloups.

	Outaouais	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	100
Période d'apport	Juin-août	Juin-août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	6	15
Dose moyenne par apport (mm)	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	6	10

11.8 VIGNE

La plupart des vignobles ne seraient pas irrigués. Cependant, il semble que les vignobles plus récemment plantés soient irrigués au goutte-à-goutte, notamment en Outaouais. En Mauricie, certains vignobles seraient protégés du gel par aspersion.

Tableau 11.18
Informations recueillies sur l'irrigation de la vigne.

	Mauricie	Outaouais
Part des superficies irriguées (%)	80	100
Période d'apport	Mai	Juin-août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	GAG
Nombre moyen d'apports	-	15
Dose moyenne par apport (mm)	-	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	-	10
Aspersion contre le gel	80 mm (2 nuits à 40 mm)	

11.9 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 irrigués dans Capitale-Nationale, en Outaouais, dans les Laurentides et à Laval. Dans les autres régions, les superficies cultivées sont très faibles et ils ne semblent pas être irrigués. Les vergers sont la plupart du temps équipés de systèmes goutte-à-goutte (Harnois, 2002) (Tableau 11.19). Les pommiers semi-nains sont moins systématiquement irrigués, 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 4448 goutteurs par ha¹⁷⁰, d'un débit de 0,53 gallon US par heure. Un épisode d'irrigation durant en moyenne 2 heures, cela correspond à 17789 litres, soit 18m³ pour un épisode d'irrigation. Pour les pommiers semi-nains, nous avons procédé au même calcul, ce qui nous a amenés, compte tenu des densités d'arbres différentes¹⁷¹, à un volume de 1,1m³. Nous avons utilisé ces références pour 3 des 4 régions où les pommiers sont irrigués, car dans le cas de Capitale-Nationale, des suivis ont été réalisés par le MAPAQ et nous avons donc utilisé des valeurs de consommation localement adaptées.

¹⁷⁰ 1 ha = 100m * 100m = 38 pi * 328 pi. Une ligne tous les 12 pieds = 27 lignes par ha. 1 goutteur tous les 24 pouces = 164 goutteurs par lignes, --> 4428 goutteurs de 0.53gph. 1 gallon = 3.79 litres. Pour deux heures d'irrigation, cela fait 17789 litres (4428 * 0.53gph * 3.79l/g * 2h), soit 18 m3 (arrondi), soit 1,8mm.

¹⁷¹ Une ligne tous les 20 pieds = 16 lignes. 1 goutteur tous les 24 pouces = 164 goutteurs par lignes --> 2624 goutteurs de 0.53gph. Pour deux heures d'irrigation, cela fait 10542 litres (2624 * 0.53gph * 3.79l/g * 2h), soit 10.5 m3 (arrondi), soit 1.1mm.

Tableau 11.19
Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers nains.

	Capitale- Nationale	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	10	100	100	50
Période d'apport	Juin-août	Juin-août	Juin-août	Juin-août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	10	30	30	30
Dose moyenne par apport (mm)	2	1.8	1.8	1.8
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	4	5.4	12.6	12.6

Tableau 11.20
Informations recueillies sur l'irrigation des pommiers semi-nains.

	Capitale- Nationale	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	10	50	50	20
Période d'apport	Juin-août	Juin-août	Juin-août	Juin-août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	10	30	30	30
Dose moyenne par apport (mm)	2	1.1	1.1	1.1
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	4	7.7	7.7	7.7

11.10 ASPERGES

La plupart des asperges cultivées dans les 6 régions à l'étude le sont en Mauricie. Cependant, les asperges ne seraient pas irriguées, sauf éventuellement à l'implantation. Il n'y a qu'au Bas-Saint-Laurent où nous avons considéré des apports par aspersion sur 50 % des superficies (qui sont très limitées : 4ha). Pour les autres régions, nous avons considéré que les asperges n'étaient pas irriguées.

Tableau 11.21
Informations recueillies sur l'irrigation des asperges.

	Mauricie
Part des superficies irriguées (%)	50
Période d'apport	Juillet-août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	3
Dose moyenne par apport (mm)	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25

11.11 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. Dans Capitale-Nationale et au Bas-Saint-Laurent cependant, elles recevraient un à trois apports d'un pouce d'eau au cours du cycle, en cas de sécheresse (Tableau 11.22).

Tableau 11.22
Informations recueillies sur l'irrigation des betteraves potagères.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent
Part des superficies irriguées (%)	100	50
Période d'apport	Juillet-août	Juillet -août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	3
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

11.12 BROCOLIS

Les brocolis sont cultivés dans les 6 régions, avec néanmoins des superficies plus importantes dans les Laurentides et à Laval, où des producteurs se sont spécialisés dans cette production. Dans le cas des Laurentides, il s'agit de systèmes d'irrigation au goutte-à-goutte, alors que dans le cas des autres régions, nous avons considéré qu'ils étaient cultivés par des producteurs diversifiés qui sont principalement équipés de système d'irrigation par aspersion.

Tableau 11.23
Informations recueillies sur l'irrigation des brocolis.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	100	100	50
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	GAG	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	3	1	1	20	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	25	25	3	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	25	25	15	25

11.13 CHOUX

Il existe différentes variétés de choux (choux verts pommés à des choux chinois, choux nappa et autres légumes asiatiques). La plupart du temps, ceux-ci sont irrigués par aspersion. Il semble qu'ils ne soient pas irrigués à Laval.

Tableau 11.24
Informations recueillies sur l'irrigation des choux.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides
Part des superficies irriguées (%)	50	50	100	100	50
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	3	1	2	2
Dose moyenne par apport (mm)	25	25	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25	25	25	25

11.14 CHOU-FLEUR

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 al., 2016), aussi nous avons appliqué les mêmes nombres d'apports.

Tableau 11.25
Informations recueillies sur l'irrigation des choux fleurs.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	100	100	50
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	3	1	2	2	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	25	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	25	25	25	25

11.15 CITROUILLES, COURGES ET ZUCCHINIS

Cette catégorie des fiches Flora regroupe des cultures qui n'ont pas la même régie. La plupart du temps, les citrouilles et les courges ne sont pas irriguées, par contre les zucchinis le sont, souvent en goutte-à-goutte (Boivin et al., 2016). Les pourcentages de superficie irriguée représentent l'estimation réalisée des superficies en zucchinis pour chaque région. À noter, qu'il n'y aurait aucune superficie de ces cultures irriguées en Mauricie.

Tableau 11.26
Informations recueillies sur l'irrigation des courges, citrouilles et zucchinis.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	20	50	12	25	100
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	Aspersion	GAG	GAG	Aspersion
Nombre moyen d'apports	10	3	10	40	3
Dose moyenne par apport (mm)	2	25	2	2	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	6	25	6	24	20

11.16 CONCOMBRE 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 11.27
Informations recueillies sur l'irrigation des concombres.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des surfaces irriguées (%)	100	50	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	Aspersion	Aspersion	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	10	3	2	10	40	10
Dose moyenne par apport (mm)	2	25	20	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	6	25	20	6	24	6

11.17 ÉCHALOTE FRANÇAISE

Les échalotes françaises sont surtout cultivées dans Capitale-Nationale, les superficies étant cependant faibles. C'est 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 11.28
Informations recueillies sur l'irrigation des échalotes françaises.

Capitale-Nationale	
Part des superficies irriguées (%)	100
Période d'apport	Juillet
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1
Dose moyenne par apport (mm)	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20

11.18 ÉPINARDS

Les épinards représentent de faibles superficies dans 4 régions. Néanmoins, elles sont irriguées une à trois fois au cours du cycle si nécessaire, par aspersion.

Tableau 11.29
Informations recueillies sur l'irrigation des épinards.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Outaouais	Laurentides
Part des superficies irriguées (%)	100	50	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	1	3	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	25	25

11.19 FINES HERBES

Les fines herbes seraient irriguées éventuellement une fois au cours du cycle si besoin. La culture recevrait d'un à trois apports d'eau, par aspersion.

Tableau 11.30
Informations recueillies sur l'irrigation des fines herbes.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	100	50
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	3	1	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	25	25	25

11.20 LAITUES

Les laitues cultivées dans les six régions sont destinées au marché frais. Les salades 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 transplantation).

Les laitues reçoivent souvent une première irrigation au semis ou à la plantation pour assurer un départ uniforme des transplants. Les apports sont d'environ $\frac{3}{4}$ de pouce par épisode d'irrigation. Une laitue recevrait par la suite de 1 à 2 apports (soit 40 à 60 mm en tout) par la suite, afin d'éviter l'apparition de brûlures (tâches noires) sur les pointes des feuilles (Caron et Gumiere, 2016).

Tableau 11.31
Informations recueillies sur l'irrigation des laitues.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Maurice	Outaouais	Laurentid es	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	3	3	3	3	3
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	20	20	20	23
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	20	20	20	20

11.21 MAÏS SUCRÉ

Il existe plusieurs types de maïs sucré. Le maïs sucré primeur est réalisé avec un semis hâtif sur plastique transparent début mai. Il a des épis plus petits et est récolté début juillet. Les maïs hâtifs sont semés sur des loam sableux en général.

Le maïs sucré a deux destinations, le marché frais et la transformation. Dans les 6 régions à l'étude, sa destination principale est le marché frais. Une faible part des superficies serait irriguée, et selon chaque région, soit par goutte-à-goutte, soit par aspersion.

Tableau 11.32
Informations recueillies sur l'irrigation du maïs sucré.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	2	50	25	25	15
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juin à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	GAG	GAG	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2	3	10	15	2
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	5	5	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	20	10	25

11.22 NAVETS ET RUTABAGAS

La plupart du temps, ces cultures ne seraient pas irriguées, car cultivées en sols plus lourds avec de bonnes réserves en eau. Cependant, au Bas-Saint-Laurent et en Mauricie, nous avons considéré qu'ils étaient parfois irrigués.

Tableau 11.33
Informations recueillies sur l'irrigation des navets et rutabagas.

	Bas-Saint-Laurent	Mauricie
Part des superficies irriguées (%)	50	100
Période d'apport	Juillet -août	Juillet-août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	3	1
Dose moyenne par apport (mm)	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	25

11.23 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. L'oignon espagnol est cultivé pour le marché frais. Ce type d'oignon peut être irrigué par aspersion à la plantation pour favoriser la reprise. Il est cependant rarement irrigué par la suite.

L'oignon jaune est cultivé sur des sols légers/sableux. L'irrigation est souvent réalisée à l'aide d'enrouleurs ou de gicleur. 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 al., 2016). Le nombre d'apports et les quantités par apports dépendent donc des types de sol et du climat de chaque région.

Tableau 11.34
Informations recueillies sur l'irrigation des oignons.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Mauricie	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	66	50	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juillet	Juin à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	5	3	1	1	1	8
Dose moyenne par apport (mm)	15	25	25	25	25	15
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	15	25	25	25	25	15

11.24 OIGNONS VERTS

L'oignon vert est une culture de 60/70 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 dus au chancre (brulure). Ce type d'oignon est cultivé dans quatre des six régions.

Tableau 11.35
Informations recueillies sur l'irrigation des oignons verts.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Outaouais	Laurentides
Part des superficies irriguées (%)	100	50	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	1	3	1	1
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20	25	25	25

11.25 POIVRONS

Les poivrons sont cultivés en plasticulture et irrigués au goutte-à-goutte, principalement à Laval et dans les Laurentides. Beaucoup de mesures ont été réalisées sur cette culture par Boivin et al. (2016) qui ont montré des pertes d'eau dues à des doses trop importantes. Une dose moyenne raisonnée serait d'environ 2 mm, correspondant à 60 apports en moyenne par été. Dans les autres régions, de faibles superficies en poivrons sont rapportées, probablement cultivées par des producteurs diversifiés qui disposent souvent d'un système d'irrigation par aspersion.

Tableau 11.36
Informations recueillies sur l'irrigation des poivrons.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Mauricie	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juillet	Juin à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	Aspersion	Aspersion	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	50	3	1	60	45	60
Dose moyenne par apport (mm)	2	25	25	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	25	25	14	18	14

11.26 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 croustille.

Dans la région Capitale-Nationale, les pommes de terre (PDT) sont cultivées dans la zone de La Jacques-Cartier et de Portneuf, et sur l'Île d'Orléans. Dans la première zone, 15 % des superficies seraient irriguées, alors qu'à l'Île d'Orléans, ce serait un peu plus de 30 % des superficies qui le seraient. Par contre, les pommes de terre irriguées recevraient en moyenne 8 apports de 20 mm dans le premier cas contre 2 apports de 25 mm par an dans le second cas, du fait de différence importante de type de sol. Ces informations détaillées ont été prises en compte pour l'estimation des volumes d'eau dans la région Capitale-Nationale.

Au Bas-Saint-Laurent, les pommes de terre sont essentiellement cultivées le long du littoral. Les superficies irriguées sont variables d'une zone à l'autre, en fonction notamment du type de sol et de l'accès à l'eau. Environ 20 % des superficies recevraient en moyenne 5 apports de $\frac{3}{4}$ de pouce d'eau.

En Mauricie, la majorité des pommes de terre sont cultivées sur sol sableux. Un tiers des superficies recevraient en moyenne 8 apports de $\frac{3}{4}$ de pouce d'eau.

En Outaouais et dans les Laurentides, les pommes de terre ne seraient pas irriguées.

Tableau 11.37
Informations recueillies sur l'irrigation des pommes de terre.

	Capitale-Nationale /Portneuf et la Jacques Cartier	Capitale-Nationale / Île d'Orléans	Bas-Saint-Laurent	Mauricie
Part des superficies irriguées (%)	15	30	20	33
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	8	2	5	8
Dose moyenne par apport (mm)	20	25	20	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	40	25	20	40

11.27 TOMATE DE CHAMPS

Les tomates sont cultivées en plasticulture et irriguées en goutte-à-goutte.

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, fréquent lorsque la plante vit un stress hydrique. Les suivis de Boivin et al. (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. Aussi, nous avons donc retenu une dose par apport faible (2mm) mais un nombre d'apports légèrement plus importants que ce qui a été observé afin de refléter ce que serait une régie raisonnée de l'irrigation (Tableau 11.38).

Dans Capitale-Nationale, environ 75 % des superficies seraient irriguées au GAG (en moyenne 50 apports de 2mm), et 25 % des superficies seraient irriguées par aspersion (en moyenne 1 apport de 25), ce qui représenterait sur l'ensemble des superficies un apport moyen de 80 mm par en moyenne (valeur que nous avons considérée).

Tableau 11.38
Informations recueillies sur l'irrigation des tomates de champs.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent	Mauricie	Outaouais	Laurentides	Laval
Part des superficies irriguées (%)	100	50	100	75	75	100
Période d'apport	Juin à août	Juin à août	Juin à août	Juillet	Juin à août	Juillet à août
Type de système d'irrigation dominant	GAG	Aspersion	GAG	GAG	GAG	GAG
Nombre moyen d'apports	40	3	50	60	60	60
Dose moyenne par apport (mm)	2	25	2	2	2	2
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	14	25	14	14	14	14

11.28 AUTRES LÉGUMES

Cette classe des fiches FLORA ne nous permet pas de décrire les pratiques d'irrigations éventuelles des légumes concernés, étant donné le manque d'information sur le type exact de culture. Nous n'avons donc pas décrit de type de système d'irrigation pour cette classe.

11.29 HARICOTS

Dans les régions à l'étude, il s'agit essentiellement de haricots pour le marché frais. Les haricots, s'ils sont irrigués, le sont par aspersion. Dans les Laurentides, il peut y avoir un apport au semis puis 2 apports de ¾ de po environ au cours du cycle. Dans la Capitale-Nationale, il n'y aurait qu'un apport au semis pour favoriser la levée.

Tableau 11.39
Informations recueillies sur l'irrigation des haricots.

	Capitale-Nationale	Laurentides
Part des superficies irriguées (%)	100	50
Période d'apport	Juin	Juin – août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	3
Dose moyenne par apport (mm)	25	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	25	20

11.30 CAROTTES

Dans Capitale-Nationale et au Bas-Saint-Laurent, les carottes seraient irriguées au semis pour assurer une levée homogène. Ce serait essentiellement les carottes destinées au marché frais (carottes bottelées) qui seraient irriguées.

Tableau 11.40
Informations recueillies sur l'irrigation des carottes.

	Capitale-Nationale	Bas-Saint-Laurent
Part des superficies irriguées (%)	100	50
Période d'apport	Juillet – août	Juillet - août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	1	3
Dose moyenne par apport (mm)	20	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	40	25

11.31 GAZON

Le gazon est peu irrigué dans les régions à l'étude, sauf à Laval. Il le serait éventuellement juste avant la récolte, car cela facilite la coupe des plaques et abime moins les couteaux. 10 % des superficies seraient irriguées à Laval (Tableau 11.41).

Tableau 11.41
Informations recueillies sur l'irrigation du gazon.

	Laval
Part des superficies irriguées (%)	10
Période d'apport	Juillet - août
Type de système d'irrigation dominant	Aspersion
Nombre moyen d'apports	2
Dose moyenne par apport (mm)	20
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	20

11.32 ARBRES, ARBUSTES, CONIFÈRES AU CHAMP

D'après les informations que nous avons recueillies, il semble que ces cultures ne sont pas irriguées dans les 6 régions à l'étude.

11.33 ARBRES, ARBUSTES, CONIFÈRES ET VIVACES EN CONTENEURS

Dans cette catégorie, nous avons regroupé les catégories suivantes des fiches Flora : arbres feuillus en conteneur, arbustes en conteneur, conifères en conteneur, plantes vivaces et rosiers en conteneur, autres horticultures en conteneur.

En pot, il y a également beaucoup d'irrigation, 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'eau¹⁷². Cela se traduit donc par des besoins très importants en eau.

¹⁷² 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 11.42
Informations recueillies sur l'irrigation des arbres, arbustes et vivaces en conteneurs.

	Capitale- Nationale	Bas-Saint- Laurent	Mauricie	Outaouais	Laurentide s	Laval
Part des surfaces irriguées (%)	100	100	100	100	100	100
Période d'apport	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre	Juin à septembre
Type de système d'irrigatio n dominant	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Nombre moyen d'apports	140	140	140	140	140	140
Dose moyenne par apport (mm)	25	25	25	25	25	25
Quantité maximale apportée en 1 semaine (mm)	175	175	175	175	175	175

ANNEXE 4

CHARTES DE CONSOMMATION POUR LES PRODUCTIONS ANIMALES

Intitulé fiche Flora	m ³ /tête/an	Source
Agneaux	2,92	PACES Montérégie
Agnelles_de_remplacement	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_a_engraissement	5,792	PACES Montérégie
Chèvres_de_boucherie	5,792	PACES Montérégie
Chèvres_laitières	5,792	PACES Montérégie
Cochettes	6,205	PACES Nicolet
Dindons_a_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	Absent 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_oeufs_de_consommation	0,073	PACES Montérégie
Poules_pour_oeufs_incubation	0,073	PACES Montérégie
Poulets_a_griller	0,073	PACES Montérégie

Intitulé fiche Flora	m³/tête/an	Source
Poulettes_pour_oeufs_de_consommation	0,073	PACES Montérégie
Poulettes_pour_oeufs_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_boucheries	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 5

SIMULATIONS DES BESOINS EN EAU DE LA POMME DE TERRE EN CLIMAT ACTUEL

12. SIMULATION DES BESOINS EN EAU AVEC LE MODELE STICS

Cette annexe vise à présenter la méthode utilisée pour la simulation des besoins en eau pour la pomme de terre avec l'usage du modèle STICS. Dans les sections suivantes, nous détaillerons le fonctionnement du modèle, puis les informations utilisées pour son paramétrage, et enfin présentons les résultats des simulations effectuées.

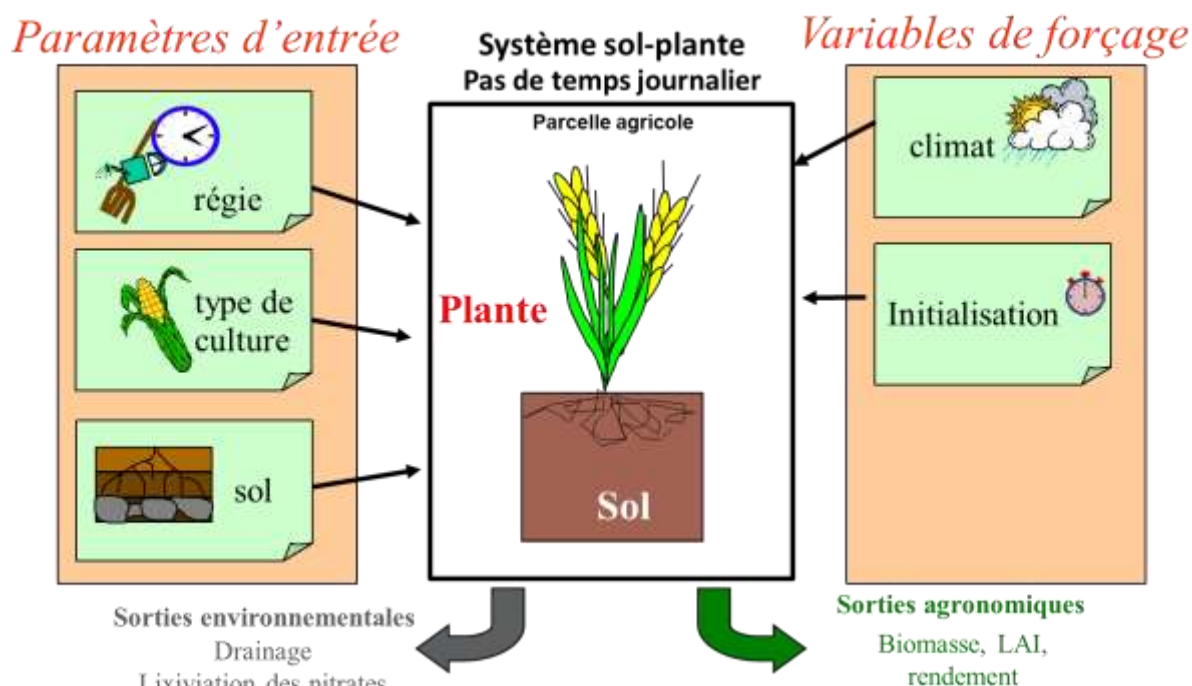
12.1 FONCTIONNEMENT DES MODELES STICS

STICS est un modèle de fonctionnement des cultures à pas de temps journalier (Brisson et al., 2002)¹⁷³. Il simule des situations culturales déterminées par le milieu physique et les techniques culturales, en reproduisant les principaux processus cultureux, soit la croissance et le développement de la culture, conditionnés notamment par les bilans hydriques et azotés.

Ses variables d'entrée sont relatives au climat, au sol et à la régie de la culture. Les variables de sortie concernent la production, l'environnement et l'évolution des caractéristiques du sol sous l'effet de la culture (Figure 12.1).

¹⁷³ 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 12.1
Structure des modèles de culture STICS (adaptée de Jégo G., com pers.).



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 que sont humidité volumique (ou massique) à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent, qui 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, le modèle estime la croissance potentielle à partir du rayonnement intercepté (lié à la surface foliaire). Puis, il estime 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 de la croissance potentielle. 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 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.

Le modèle peut également, en suivant le même principe, prendre en compte les stress azotés. Nous avons cependant fait le choix, dans les simulations réalisées dans le cadre du projet RADEAU 2, de ne pas considérer ce stress, car cela ajoutait de la complexité pour l'interprétation des résultats, du fait des interactions possibles entre stress hydrique et azoté. En conséquence, les rendements

simulés par le modèle sont souvent légèrement supérieurs aux rendements réels des producteurs, du fait 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 ou les maladies.

12.1.1 SIMULATION DE LA POMME DE TERRE AVEC LE MODELE STICS

a. Résumé des hypothèses de modélisation pour la pomme de terre

Les simulations tests ont été réalisées pour les 6 régions couvertes dans le projet RADEAU 2 où les pommes de terre sont cultivées : l'Outaouais, les Laurentides (incluant Laval), la Mauricie, la Capitale-Nationale, et le Bas-Saint-Laurent.

Sol : Pour chaque région, nous avons croisé les données d'utilisation du sol 2017 de la FADQ avec les séries de sol de l'IRDA¹⁷⁴. Nous avons retenu les types de sols dominant dans la culture de la pomme de terre pour chaque région. A noter qu'il ne s'agit pas toujours de sols dont la granulométrie présente de fortes proportions de sables. Il s'agit des séries décrites dans le tableau 1 par leurs principales propriétés.

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 de :

- La température minimale et maximale
- La pluviométrie
- Le rayonnement global
- Le vent
- L'humidité relative

Pour la région Outaouais, nous avons utilisé les données enregistrées à la station météorologique d'Environnement Canada de Ottawa, pour les Laurentides et Laval, il s'agit de la station de Mirabel, pour la Mauricie, nous avons retenu la station de Nicolet au Centre -du-Québec (car elle présentait davantage de données que la station de Trois-Rivières et car la distance entre les deux stations est très faible), pour Capitale-Nationale, il s'agit de la station météorologique de Québec (aéroport), et finalement pour le Bas-Saint-Laurent, il s'agit de la station de Mont-Joli.

Régie de la culture :

Le semis des pommes de terre est effectué le jour 130 (autour du 10 mai) et la récolte est effectuée quand la plante a atteint une somme de 2000 degrés jours au minimum ou au plus tard à la fin septembre. La variété simulée est la Russet Burbank.

Ces simulations ont été réalisées en conditions d'azote non limitant.

Le modèle simule des apports d'irrigation de manière automatique quand le rapport entre la transpiration réelle (limitée par l'eau disponible et extractible en une journée) et la transpiration

¹⁷⁴ <https://www.irda.qc.ca/fr/outils-et-services/informations-sur-les-sols/etudes-pedologiques/>

maximale est inférieure à 0.8. Ce choix avait été validé par la comparaison avec des valeurs observées dans la publication de Morissette et al., (2016)¹⁷⁵. 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).

Autres paramètres de simulations :

- Coefficient cultural de la pomme de terre : 1.15
- Indice de récolte : 0.65
- Profondeur maximale d'enracinement : 50cm

¹⁷⁵ 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 12.1
Propriétés des sols utilisés pour les simulations pomme 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
Bas-Saint-Laurent	Mont-Joli	L-S	SDR	59	29	12	3.2	5.2	24.6	11.8	1.24
Bas-Saint-Laurent	Mont-Joli	S-L	SCO	72	20	8	4.0	4.8	20.5	10.3	1.09
Bas-Saint-Laurent	Mont-Joli	L-S	RVO	42	53	5	4.2	5.1	32.1	10.4	0.9
Bas-Saint-Laurent	Mont-Joli	L-A	DLS	11	56	33	9.2	4.7	42.9	23.5	0.93
Capitale-Nationale	Québec	L-A	ORS	40	30	30	0.6	5.1	21.5	12.8	1.45
Capitale-Nationale	Québec	L	SCS	62	26	12	1.5	5.0	12.3	5.7	1.48
Capitale-Nationale	Québec	S-L	SNS	84	11	5	1.9	5.4	9.3	4.4	1.33
Capitale-Nationale	Québec	S-L	MOI	76	19	5	14.3	4.8	41.8	12.7	0.78
Laurentides	Mirabel	A	RDU	20	34	46	2.6	5.8	33.6	23.0	1.21
Laurentides	Mirabel	A-S	SSL	4	40	56	2.6	6.7	38.0	28.7	1.12
Laurentides	Mirabel	L-S	SBE	46	35	19	3.9	7.5	28.3	14.4	1.11
Laurentides	Mirabel	L-Li	DHU	28	50	22	7.5	5.7	38.9	18.7	0.94
Laval	Mirabel	L-S	FAR	70	21	9	2.9	7.5	20.7	8.2	1.18
Laval	Mirabel	L-S	CHC	61	27	12	3.6	6.5	22.1	10.9	1.14
Laval	Mirabel	L-A	CEG	18	55	27	7.2	7.1	42.1	21.2	0.92
Mauricie	Nicolet	S-L	SNS	84	11	5	1.9	5.4	9.3	4.4	1.33
Mauricie	Nicolet	L	DUP	28	46	26	3.2	5.6	0.0	0.0	-0.05
Mauricie	Nicolet	L	COP	23	68	9	3.3	5.2	28.8	8.7	1.09
Outaouais	Ottawa	S	RIP	82	15	3	1.7	5.6	8.4	3.3	1.33
Outaouais	Ottawa	L-S	SGB	91	6	3	2.9	5.8	10.4	5.6	1.2

b. Synthèse des résultats obtenus

Les rendements obtenus se situent dans une gamme de valeur plus élevée (45t/ha en comptant 80 % d'eau dans les tubercules) que la moyenne observée au Québec (autour de 30 à 33t/ha, selon les statistiques de l'ISQ) (voir Tableau 12.2), mais proche des rendements maximaux obtenus par les producteurs les bonnes années. Cette différence peut probablement être imputée à la non-prise en compte dans les simulations d'un potentiel manque de certains nutriments pour la plante, par exemple en azote, ainsi qu'aux pertes liées aux ravageurs et maladies.

Les apports d'eau semblent quant à eux plus faibles que ce qui est communément observé, notamment lorsque l'on considère les sols sableux : pour Capitale-Nationale par exemple (secteur de Portneuf), ou encore pour la Mauricie, les valeurs de référence utilisées considèrent 8 apports de $\frac{3}{4}$ de pouces, ce qui représenterait 160 mm par an. Les apports médians simulés sont inférieurs à ces références : 108 mm dans Capitale-Nationale et 127 mm pour la Mauricie, dans les cas des sols les plus sableux. Par contre, pour Capitale-Nationale, les valeurs simulées semblent cohérentes avec les valeurs observées dans le secteur de l'Île d'Orléans, sur des sols plus lourds. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence : une erreur du modèle, une surestimation des experts du volume effectivement apporté par les producteurs, ou encore le fait que les producteurs apportent des volumes d'eau parfois supérieurs aux besoins des pommes de terre. Néanmoins, ces estimations restent dans la gamme de valeur des apports observés par l'équipe de l'IRDA, soit de 5 à 8 apports de 20mm par année (Boivin, 2018)¹⁷⁶.

En ce qui concerne les apports simulés pour les autres régions, le gradient de volume entre l'Outaouais, les Laurentides, et le Bas-Saint-Laurent notamment semble être cohérent avec le déficit hydrique calculé sur la base des données météorologiques, et même le cas échéant, avec ce qui est observé chez les producteurs (cas du Bas-Saint-Laurent).

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 le rapport final du projet.

¹⁷⁶ Boivin, C. 2018. Au moins 5 choses à savoir avant d'irriguer. Colloque Pommes de Terre, 23 novembre 2018, 42 diapositives.

Tableau 12.2
Rendement obtenu (en t/ha de matière sèche) pour les différents types de sols et différentes régions.

	SÉRIE DE SOL	TEXTURE	RENDEMENT MÉDIAN OBTENU (T/HA À 0 % D'HUMIDITÉ)	BESOIN EN EAU D'IRRIGATION MÉDIAN SIMULÉ (MM)
CAPITALE NATIONALE	MOI	S-L	9.5	50
	ORS	L-A	9.7	42
	SCS	L	9.3	76
	SNS	S-L	8.6	108
LAURENTIDES	DHU	L-Li	10.1	20
	RDU	A	9.8	45
	SBE	L-S	10.0	25
	SSL	A	9.6	94
LAVAL	CEG	L-A	10.1	20
	CHC	L-S	9.9	50
	FAR	L-S	9.9	44
MAURICIE	COP	L	9.9	19
	DUP	L	9.8	20
	SNS	S-L	8.4	127
OUTAOUAIS	RIP	S-L	8.3	147
	SGB	S	7.6	168
BAS-SAINT- LAURENT	DLS	L-A	9.9	32
	RVO	L-S	10.0	25
	SCO	S-L	9.6	70
	SDR	L-S	9.5	110

12.1.2 CONCLUSIONS

Les simulations réalisées avec le modèle STICS 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'irrigation, qui sont dans l'ensemble proches des pratiques moyennes des producteurs identifiées dans la littérature ou auprès d'experts. Le modèle représente également correctement les différences entre les régions, liées aux types de sols et au climat.

Cependant, le modèle a tendance, principalement dans le cas de Capitale-Nationale et de la Mauricie, 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 pas tout à fait optimale dans certains cas. Néanmoins, avec 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 utilisé pour ajuster les pratiques de références des producteurs, les résultats de ces simulations nous semblent satisfaisants et, à défaut de modèles plus performants, STICS a donc été utilisé pour simuler les besoins en eau de ces cultures en contexte de changement climatique.

ANNEXE 6

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE POUR L'ESTIMATION DE LA RECHARGE AVEC LE MODÈLE HELP- RAPPORT DE L'INRS

ANNEXE 7

LES SCÉNARIOS NARRATIFS

SCÉNARIO 1 : STATU QUO

→ Changement climatique moyen 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

→ Changement climatique important 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. Du fait 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 l'usage de la neige artificielle.

De plus, notamment du fait du changement climatique, l'eau a eu tendance à se raréfier. Face à des 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 aux consommations de 2015. En ce qui concerne l'agriculture, du fait 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 de précipitations constantes. Les bâtiments d'élevage font aussi l'objet de nouvelles infrastructures de brumisation et d'aspersion, nécessaire pour rafraîchir l'atmosphère et garantir le bien-être des animaux d'élevage.

SCÉNARIO 3 : CHALEUR ET INTERDITS**➔ Changement climatique important et croissance faible de la population**

Il était une fois le Québec en 2050 : du fait du changement climatique, 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, commerces et 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 tels le lavage des voitures, mais aussi du fait d'un changement de comportement des citoyens suite à 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 suite à 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 connus 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 (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 fermée.

SCÉNARIO 4 : TEMPÉRÉ ET DENSE**→ Changement climatique faible et augmentation forte de la population**

Il était une fois le Québec en 2050 : du fait d'un effort global, les changements climatiques ont pu être contenus et leurs impacts au Québec, bien que ressentis, sont inférieurs aux scénarios les plus pessimistes. Néanmoins, des changements importants sont survenus dans les dernières décennies, notamment du fait de la forte croissance de la population : un flux immigratoire important s'observe au Canada comme le pays est relativement épargné des impacts négatifs des changements climatiques. À cette forte augmentation de population s'est combinée une forte augmentation des industries manufacturières du fait de la disponibilité de main-d'œuvre, ainsi que le développement des parcs commerciaux et 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 l'impact des besoins en eau pour le secteur résidentiel, en croissance du fait de l'augmentation de la population, des compteurs d'eau ont été installés dans chaque domicile afin de sensibiliser sur une base individuelle et encourager une limite de consommation.

Les cultures irriguées ont connu des augmentations importantes de superficie, notamment les produits maraîchers et 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**➔ Changement climatique faible 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 efficace (ex. pompe de douche à débit réduit). Les municipalités ont aussi limité des usages tels 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 suite à une forte croissance des centres de villégiatures. Les hivers étant plus doux, les centres de ski ont augmenté l'usage de la neige artificielle.

En ce qui concerne l'agriculture, elle a subi des mutations importantes : l'élevage porcin, du fait 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 de serres de petites tailles et à l'autre extrême l'expansion de 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

ANIMATION POUR L'ÉTUDE DE CAS DU RUISSEAU ROUSSE

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. 148p.

BAPE. (2000). *L'eau, ressource à protéger, à partager et à mettre en valeur*. Tome II. Québec, Canada, 286p.

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, 68p. 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. 409p.

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. 117p.

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, 70p.

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, 73p.

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, 64p.

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, 92p.

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, 2p.

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, 191p.

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, 32p.

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, 45p.

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*. 112p.

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, 71p.

Littérature consultée pour les chartes de consommation et les bilans

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. Etudes 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. 44p.

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. 45p.

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, 61p.

Buffin-Bélanger, T., Chaillou, G., Cloutier, C-A., Touchette, M., Héту, B. et McCormack, R., 2015, Programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines du nord-est du Bas-Saint-Laurent (PACES-NEBSL) : Rapport final, 199p.

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/Espaceconference/s/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 St-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, 81p.

CERM-PACES, 2015, Résultats du programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines des territoires municipalisés de Charlevoix, de Charlevoix-Est et de La Haute-Côte-Nord, Centre d'études sur les ressources minérales, Université du Québec à Chicoutimi, 294p.

Comeau, G., Talbot Poulin, M.C., Tremblay, Y., Ayotte, S., Molson, J., Lemieux, J.M., Montcoudiol, N., Therrien, R., Fortier, R., Therrien, P., Fabien-Ouellet, G., 2013, Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines en Outaouais, Rapport final. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, juillet 2013, 148p, 24 annexes, 25 cartes.

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. 36p.

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 powepoint. Réseau Agriconseils, 44p.

https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/SaguenayLacStJean/Irrigationpommedeterre_gestionimpactsferme.pdf

Fagnan, Nathalie, 1998, Cartographie hydrogéologique régionale et vulnérabilité des aquifères de la MRC de Portneuf, Mémoire de maîtrise, 298p.

- 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., Barnetche, 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, 202p.
- Larocque, M., Gagné, S., Barnetche, D., Meyzonnat, G, Graveline, M, H, et Ouellet, M, A, 2015b, 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, 258p.
- 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, 213p.
- Leblanc, Y., Légaré, G., Lacasse, K., Parent, M. et Campeau, S., 2013, Caractérisation hydrogéologique du sud-ouest de la Mauricie. Rapport déposé au ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs dans le cadre du Programme d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du Québec. Département des sciences de l'environnement, Université du Québec à Trois-Rivières, 134 p., 15 annexes et 30 documents cartographiques (1:100 000).
- 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/Journeesagricoles2017/AmeliorationdelagestiondeleauirrigationtourbierLanoraie.PDF>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), 2017b, Décret de population pour l'année 2016, Gouvernement du Québec, URL: <https://www.mamh.gouv.qc.ca/organisation-municipale/decret-de-population/>
- Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH), 2017a, Répertoire des municipalités, Gouvernement du Québec, URL: <https://www.mamh.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), 2014b, 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, URL: <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, URL: <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), 2015b, 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.

Raynauld, M., Lefebvre, R. et Gosselin, J-S, 2018, Estimation de la recharge avec le modèle d'infiltration HELP pour les régions de Laval et des Laurentides, INRS, Centre Eau, Terre et Environnement, Rapport de recherche R0000.

Talbot Poulin, M.C., Comeau, G., Tremblay, Y., Therrien, R., Nadeau, M.M., Lemieux, J.M., Molson, J., Fortier, R., Therrien, P., Lamarche, L., Donati-Daoust, F., Bérubé, S., 2013, Projet d'acquisition de connaissances sur les eaux souterraines du territoire de la Communauté métropolitaine de Québec, Rapport final, Département de géologie et de génie géologique, Université Laval, mars 2013, 172 pages, 19 annexes, 28 cartes.

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-Québec, Projet CDAQ.

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, 339p.

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, 137p.

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, 451p.

TechnoRem, 2008-e, CARTOGRAPHIE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONALE DANS LA ZONE DE PRODUCTION MARAÎCHÈRE DES BASSINS VERSANTS DES RIVIÈRES L'ACADIE ET DE LA TORTUE - MONTEREGIE, Rapport final avec l'appui financier du Programme d'approvisionnement en eau Canada- projet CDAQ #5073, 1009p.

Littérature consultée pour les études de cas à la ferme (section 9.1)

Agrométéo. 2019. Indice hydrique – Sommaire P-ETP, Station météorologique de Saint-Laurent, [En ligne], <http://www.agrometeo.org/indices/category/general>, page consultée le 18 novembre 2019.

Bergeron, D., 2010. Régie de l'irrigation goutte à goutte dans la production de fraises à jour neutres au Québec. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Département des Sols et Environnement, Université Laval, Québec. 58p.

Boivin et coll. Projet en cours (a). Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre en intervenant dans l'architecture du système cultural. IRDA.

Boivin, C., J. Vallée, P.-A. Taillon et D. Bergeron. Projet en cours (b). Le défi de l'eau : l'Île d'Orléans se mobilise. MRC de l'Île d'Orléans. IRDA.

Boivin, C et P. Deschênes. 2011. Stratégies d'irrigation dans la fraise à jours neutres. Rapport final déposé au CDAQ. IRDA. 80p.

Boivin C, Vallée J, Deschênes P, Guillou M, Bergeron D. 2016. Caractérisation de l'usage de l'eau en irrigation. Rapport final déposé au MAPAQ. IRDA. 229p.

Boivin, C., J. Vallée, P. Deschênes, M. Guillou, D. Bergeron. 2016. Caractérisation de l'usage de l'eau en irrigation. Rapport synthèse déposé au MAPAQ. IRDA. 38p.

Boivin, C., J. Vallée, D. Bergeron et P. Deschênes. 2017. Outils d'aide à la décision en gestion de l'irrigation : l'assise d'un réseau d'appui pour les producteurs de pommes de terre. Rapport final déposé au MAPAQ. IRDA. 11p.

Boivin et coll. 2018a. Gestion raisonnée de l'irrigation – Guide technique, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 312p.

Boivin, C., J. Vallée, D. Bergeron. 2018b. Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la pomme de terre : investiguer du côté des cultivars. Rapport final déposé au MAPAQ. ». IRDA. 31p.

Deschênes, P., C. Boivin, J. Vallée et D. Bergeron. 2018. Une caravane de l'irrigation : caractériser, diagnostiquer, optimiser et sensibiliser. Rapport final déposé au MAPAQ. IRDA. 48p.

Landry, C. et C. Boivin. 2014. Développement de nouvelles stratégies de fertilisation de la fraise à jours neutres. Rapport final déposé au CDAQ. IRDA. 47p.

Vallée, J., D. Bergeron et C. Boivin. 2016. Optimisation de l'irrigation par une caractérisation physique précise des sols-II, Rapport final - Synthèse des résultats. IRDA. 47p.

Vallée, J., C. Boivin, P. Deschênes et D. Bergeron. 2018. L'HebdEau : Un projet pilote qui propose des outils d'aide à la décision pour la gestion de l'irrigation. Rapport final déposé à la DRCN du MAPAQ. IRDA. 43p.

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. Rapport final déposé à la DRCN du MAPAQ. IRDA. 40p.