



Conséquences Attendues Survenant en Contexte d'Aggravation des Déficits d'Eau Sévères au Québec (CASCADES)

Version finale
Février 2024

Plan pour une
économie
verte



Québec 

Conséquences Attendues Survenant en Contexte d'Aggravation des Déficits d'Eau Sévères au Québec (CASCADES)

Février 2024

ÉQUIPE DE RÉALISATION :

Kristelle Audet, Groupe AGÉCO
Bertrand Montel, Groupe AGÉCO
Diego Crespel, Groupe AGÉCO
Daniel Tarte, T² Environnement
Rachel Parent, T² Environnement
Laurent Da Silva, Nada Conseils
Matthieu Paccard, Nada Conseils
Gabriel Rondeau-Genesse, Ouranos
Jérémy Roques, ROBVQ

Titre du projet Ouranos: Conséquences Attendues Survenant en Contexte d'Aggravation des Déficits d'Eau Sévères au Québec (CASCADES)

Numéro du projet Ouranos: 709040

Citation suggérée : Audet, K., Crespel, D., Da Silva, L., Montel, B., Paccard, M., Parent, R., Rondeau-Genesse, G., Roques, J. & Tarte, D. (2024). *Conséquences Attendues Survenant en Contexte d'Aggravation des Déficits d'Eau Sévères au Québec*. Rapport présenté à Ouranos. Montréal. Groupe AGÉCO, Nada Conseils, T² Environnement. 130 pages plus annexes.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce au financement accordé par Ouranos, via le Plan pour une économie verte du gouvernement du Québec.

Nous tenons à remercier plus particulièrement pour leur collaboration Nathalie Bleau, Anne Blondlot et Gabriel Rondeau-Genesse de Ouranos de même que Richard Turcotte du MELCCFP.

L'équipe de projet tient à souligner la contribution du comité de suivi qui nous ont donné accès à leur expertise, leurs travaux et dans certains cas à des données essentielles à la réalisation de ce travail. Merci à Charlotte Legault-Bélanger (UMQ), Marie Larocque (UQAM), Annick Van Campenhout (CTAQ), Sébastien Ouellet-Proulx (MELCCFP) et Frédéric Lecomte (MELCCFP).

Nous tenons finalement à souligner la contribution exceptionnelle des OBV du Québec et des comité ZIP qui ont pris le temps de répondre au sondage et nous ont partagé leurs connaissances des problématiques inhérentes à leur territoire. Des remerciements vont également à tous les experts, employés municipaux et toute autre personne ayant pris le temps de discuter avec nous afin d'alimenter la cueillette d'information.

RÉSUMÉ

CONTEXTE

Le Québec a connu au cours des dernières années des évènements de déficits en eau de plus en plus sévères avec des conséquences aux quatre coins de la province, notamment lors des étés 2020 et 2021. Les déficits en eau s'aggraveront en durée, en ampleur et en sévérité au cours des prochaines décennies, conséquences des changements climatiques.

Malgré l'importance grandissante de cette problématique, les conséquences documentées demeurent de l'ordre de l'anecdote. Les conséquences d'un déficit en eau sévère au Québec, à la fois sur les écosystèmes et les usages anthropiques, demeurent méconnues, mal comprises et, par le fait même, difficiles à projeter.

OBJECTIFS

La présente étude amorce une réflexion globale sur les conséquences des déficits en eau au Québec. Plus particulièrement, le projet poursuit les trois objectifs suivants :

- Faire ressortir les principales conséquences des épisodes d'étiages sévères sur les écosystèmes, les usages anthropiques, la santé et le bien-être des populations;
- Identifier les régions hydrologiques les plus susceptibles d'être affectées dans le futur;
- Identifier les situations où des conflits d'usage obligerait à partager l'eau ou à prioriser les usages;
- Identifier les lacunes en matière de compréhension des enjeux entourant la disponibilité en eau en période d'étiages sévères afin d'orienter les travaux de recherche futurs.

Le présent rapport propose un état des lieux des connaissances sur les conséquences des manques d'eau sévères afin d'en faire ressortir les enjeux les plus critiques, à l'échelle du territoire de gestion intégrée de l'eau (territoire couvert par les 40 OBV de la province).¹

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie employée comprenait les cinq étapes suivantes :

1. **Une revue de la documentation sur les conséquences des étiages sévères et épisodes de manque d'eau sévères sur les écosystèmes, les usages anthropiques, la santé et le bien-être des populations.** Pour documenter les conséquences sur les écosystèmes, plus de 50 documents, articles scientifiques, monographies, articles de journaux, etc. ont été lus

¹ Le fleuve Saint-Laurent ainsi que le golfe du Saint-Laurent, dont les Îles-de-la-Madeleine et l'île d'Anticosti ont été couverts par la revue de la documentation réalisée dans le cadre du projet. Toutefois, en raison d'un faible taux de réponse de la part des comités ZIP lors de la consultation via le questionnaire sur les épisodes de manque d'eau sévères, il n'a pas été possible d'approfondir l'analyse des conséquences et les projections pour ces territoires.

au cours de cette recherche. De ce nombre, environ 40 sont cités pour décrire l'une ou l'autre des conséquences identifiées au fil de cette revue de littérature. Cette revue de littérature s'est concentrée sur les cours d'eau. Ce sont donc les rivières et le fleuve Saint-Laurent qui sont mis en exergue, certaines informations sont également présentées pour les plans d'eau.

Les conséquences sont décrites de manière qualitative, car les études consultées ne présentent pas de résultats ou de modélisation quantitatifs des effets sur les écosystèmes, ou l'une ou l'autre de leurs composantes, selon des scénarios d'augmentation de température. Par ailleurs, très peu d'études tentent de comprendre l'effet des étiages sur les écosystèmes et leurs composantes.

Pour les usages anthropiques, la santé et le bien-être des populations, cette revue a été réalisée à partir de sources multiples, littérature blanche et grise, bases de données sur les événements passés, revue de presse, etc. Elle a permis de poser les bases de la compréhension actuelle des conséquences recensées et projetés en contexte de manque d'eau sévères.

2. ***Une collecte de données portant sur le recensement des pires événements de manque d'eau survenus sur le territoire québécois sous gestion intégrée de l'eau.*** Un questionnaire a été transmis aux 40 OBV ainsi qu'aux 12 comités ZIP présents au Québec. Ce questionnaire avait pour objectif d'identifier les épisodes de manque d'eau sévères (eaux de surface et eaux souterraines) ayant occasionné des conséquences sur les usages anthropiques, le bien-être des populations et les écosystèmes naturels et de documenter ces conséquences.

Des entrevues individuelles avec des chercheurs, des responsables municipaux, des opérateurs d'usine et des représentants de différents usagers industriels ont également été réalisés en compléments à la collecte de données par sondage. L'identification des pires épisodes ainsi que leurs conséquences servaient d'intrant à la projection des conséquences au sein de trames narratives (étapes 3 et 4).

3. ***Le développement de trames narratives via des scénarisations hydrologiques et socioéconomiques.*** La projection des conséquences lors des événements de manques d'eau sévères s'est faite via une approche de scénarisation de type événementielle qui cherche à développer des scénarios d'événements de manque d'eau sévères en climat futur qui s'inscrivent dans un contexte socioéconomique et hydroclimatique spécifique.

Cette approche permet d'identifier des conséquences que le Québec pourrait subir lors d'événements de manque d'eau très sévères, dont l'amplitude n'a encore jamais été vécue sur le territoire d'étude, en se basant sur les conséquences vécues lors des pires étiages des dernières années. Le but premier de ces trames narratives est de refléter les conditions hydroclimatiques les plus aiguës conduisant à des déficits en eau sévères que pourrait subir le Québec au cours des prochaines décennies au sein du territoire d'étude.

La scénarisation socioéconomique visait essentiellement à anticiper l'évolution des besoins en eaux ainsi que les différents usagers de l'eau au sein des événements de manques d'eau projetés.

4. **La projection des conséquences attendues sur les usages anthropiques.** Pour réaliser une projection des conséquences des étiages, deux scénarios ont été retenus, soient un étiage sévère se produisant sous un climat à +2°C en 2045 et un autre sous un climat à +3°C en 2065.

Les conséquences anticipées sur les écosystèmes selon ces deux scénarios découlent d'hypothèses basées sur les informations recueillies dans la revue de littérature et de la connaissance des écosystèmes aquatiques de l'équipe de travail. Quant aux conséquences sur les usages anthropiques, elles ont pu être modélisées à partir d'un cadre méthodologique de projection des conséquences.

Les conséquences ont été projetées à partir des informations et données disponibles issues de la littérature et des consultations sur les épisodes de manques d'eau passés. La projection utilise une approche par seuils hydroclimatiques, croisés avec les caractéristiques de la région qui est affectée. Ces seuils hydroclimatiques définissent 4 niveaux d'alerte à partir des débits et des précipitations projetés dans le scénario.

Pour ce faire, les données issues du questionnaire ont été croisées avec les données historiques du climat afin de déterminer à quel seuil hydroclimatique, et dans quel contexte socioéconomique, les conséquences répertoriées sur le territoire se manifestent sur les usages.

5. **La caractérisation des conséquences attendues sur les usages anthropiques.** L'aboutissement du travail d'identification et de projection des conséquences au sein des trames narratives a permis de faire ressortir les 5 à 10 conséquences les plus importantes découlant des déficits en eau futurs. Le cadre de caractérisation évalue le niveau de gravité de la conséquence selon un certain nombre de critères pour l'ensemble du territoire québécois à l'étude. La gravité se définit par la nature de la conséquence, le contexte socioéconomique dans lequel elle se produit, les anticipations de conséquences en cascade, etc. Nous appliquons ce cadre d'évaluation au niveau des conséquences sur les usages anthropiques seulement.

La figure A résume les différentes étapes de modélisation permettant de projeter et caractériser les conséquences au sein des deux trames narratives retenues pour le projet.

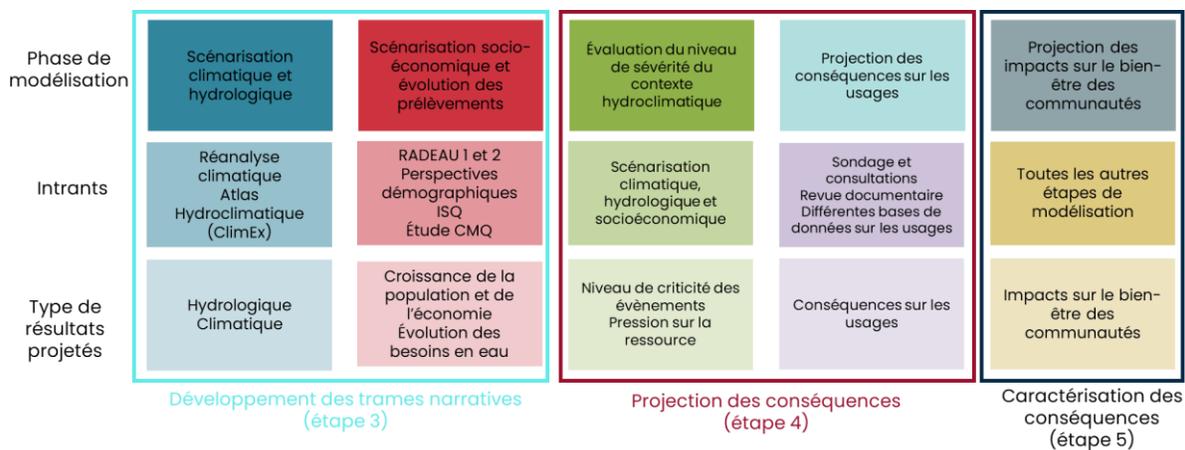


Figure A. Étapes de modélisation pour appuyer la projection et la caractérisation des conséquences

RÉSULTATS

CONSÉQUENCES DES ÉTIAGES SÉVÈRES SUR LES SERVICES DE SUPPORT ET DE RÉGULATION DES ÉCOSYSTÈMES

Les conséquences sont décrites de manière qualitative, car les études consultées ne présentent pas de résultats ou de modélisation quantitatifs des effets sur les écosystèmes, ou l'une ou l'autre de leurs composantes, selon des scénarios d'augmentation de température. Par ailleurs, très peu d'études tentent de comprendre l'effet des étiages sur les écosystèmes et leurs composantes. Les études se concentrent surtout sur la consommation humaine de l'eau et les risques d'inondation.

Les conséquences les plus préoccupantes des étiages sévères sur les écosystèmes identifiées dans la revue de littérature et la mise en commun d'expertises en écologie sont les suivantes :

- une réduction de la qualité de l'eau;
- des modifications des habitats pour le poisson;
- une profonde modification de la richesse biologique des cours d'eau pouvant générer des déséquilibres importants dans les populations des espèces aquatiques.

En effet, la modification des paramètres physico-chimiques de l'eau (réduction de l'O₂, variation du pH naturel des cours d'eau, augmentation des températures, etc.) et l'augmentation des phénomènes d'eutrophisation sont susceptibles d'altérer profondément la qualité de l'eau. Le poisson est certes affecté par la réduction de la qualité de l'eau, mais également, par la modification directe de son habitat : accès limité aux zones de fret, d'alevinage ou d'alimentation ou encore en en réduisant, voir empêchant les déplacements entre ces divers habitats qui sont tous essentiels autant à son succès de reproduction qu'au maintien de populations viables.

La prolifération des espèces floristiques exotiques envahissantes, la baisse de la diversité de la végétation indigène et la dégradation des milieux humides sont aussi des conséquences importantes directement associées à des épisodes d'étiage sévères. (Figure B.)

Toutes ces conséquences conduisent vers des déséquilibres de la chaîne trophique.



Figure B. Épisode d'étiages prolongés et récurrents

Sous le scénario d'un étiage sévère ayant lieu en 2065 dans un climat à +3°C, on anticipe que l'eau des cours et des plans d'eau connaîtra une détérioration sans précédent : baisse généralisée de l'oxygène dissous, hausses ou baisses importantes du pH selon le pouvoir tampon des régions, augmentation des polluants, augmentation des floraisons d'algues toxiques, etc. À l'exception de quelques espèces de poissons tolérantes aux eaux chaudes, on anticipe que les populations des espèces de poissons vont toutes diminuer.

Le présent projet a mis en lumière le manque d'études existantes permettant de mieux comprendre l'effet des étiages sévères sur les écosystèmes aquatiques. Plusieurs pistes de recherches existent afin de mieux se préparer à faire face aux modifications profondes que subiront ces écosystèmes.

Comme il existe un manque de connaissances sur la régionalisation des conséquences des étiages sur la population de poissons au Québec, développer un modèle de régionalisation des

conséquences des périodes d'étiage sur le poisson permettrait de mieux comprendre les impacts potentiels des étiages sur cette importante ressource.

Il apparaît également essentiel de mieux documenter l'effet des étiages sur le pH et l'effet du pH sur le poisson et son habitat afin de mieux se préparer et, si possible, réagir avec efficacité face à cette modification probable de cette importante composante physico-chimique de nos cours d'eau.

En terminant, il serait également très important de mieux comprendre l'effet d'épisodes répétés d'étiage sévères sur les populations de poissons et le succès de reproduction, mais également sur l'ensemble de la chaîne trophique.

CONSÉQUENCES DES ÉTIAGES SÉVÈRES SUR LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT ET LES SERVICES CULTURELS

Les périodes d'étiages sévères et de sécheresse des dernières années ont soulevé de multiples enjeux dans le sud du Québec : difficulté d'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine pour plusieurs municipalités et résidents détenant des puits privés, augmentation des coûts de traitement de l'eau notamment en raison de la diminution des facteurs de dilution, interdictions d'usages extérieurs de l'eau, difficulté d'irrigation pour des producteurs agricoles et diverses conséquences pour le nautisme.

Bien que moins documentées, les épisodes de manque d'eau associés à des étiages sévères et des périodes de sécheresse peuvent également occasionner d'importantes conséquences sur la santé des populations, accroissant les risques de développement de maladies d'origines hydrique, mais aussi du stress et de l'anxiété pour les communautés touchées et des conséquences potentielles à plus long terme sur la santé mentale.

L'eau possède un caractère sacré pour de nombreuses nations autochtones. Elle est ainsi essentielle au bien-être physique, émotionnel, mental et spirituel des Premières Nations et Inuit du Québec. Toutefois, la revue de la documentation, les questionnaires des OBV et les entretiens effectués ne nous ont pas permis d'identifier des conséquences directes reliées à des épisodes de manque d'eau pour le bien-être et la santé des populations autochtones du Québec. Ces enjeux devront faire l'objet d'études approfondies dans le futur.

Les conditions hydroclimatiques projetées au sein des trames narratives sont beaucoup plus critiques que celles ayant été enregistrées dans les pires événements subis au Québec dans les dernières années. Dans le scénario +3 degrés par exemple, on dénombre plus de 12 ZGIEBV (1,2 million d'habitants) qui se retrouvent en niveau d'alerte 3, avec des niveaux de précipitations qui sont inférieurs de plus de 60 % aux moyennes historiques et 70 % des débits historiques durant les mois d'été. (Figure C.) Ces conditions critiques, propices à des manques d'eau sévères, sont exacerbées par une augmentation marquée de la consommation en raison de l'accroissement de la population et de l'impact des températures chaudes et secs durant cet épisode. Dans le scénario +3 degrés, les prélèvements totaux en eaux de surface sont en hausse de 28 % en moyenne, menant à une pression de plus en plus grande sur la ressource, qui elle se tarie.

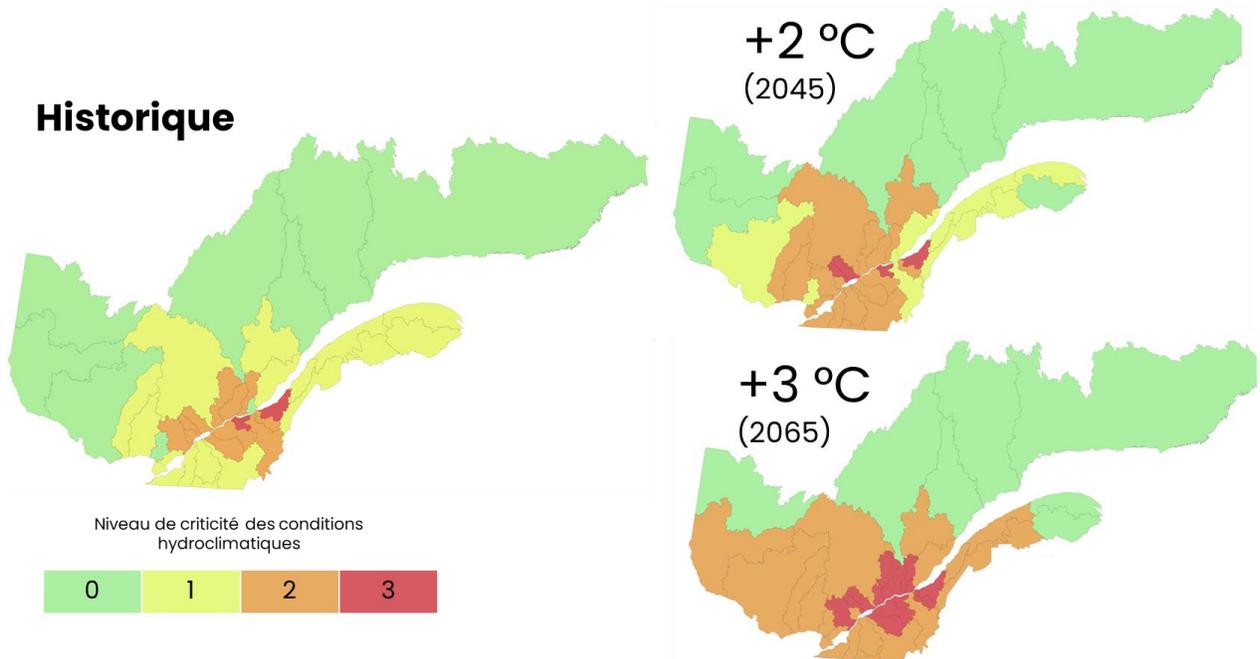


Figure C. Niveau d'alerte hydroclimatique dans le scénario +3 degrés

Sans adaptation et anticipation dans la gestion intégrée de la ressource « eau », l'ensemble des conséquences déjà vécues seront significativement exacerbées en 2045 (scénario +2°C) et en 2065 (scénario +3°C), touchant de plein fouet le sud du Saint-Laurent (Montérégie, Estrie, Centre-du-Québec et Chaudière-Appalaches), mais également l'ouest de la province et le Bas-Saint-Laurent. (Figure D.)

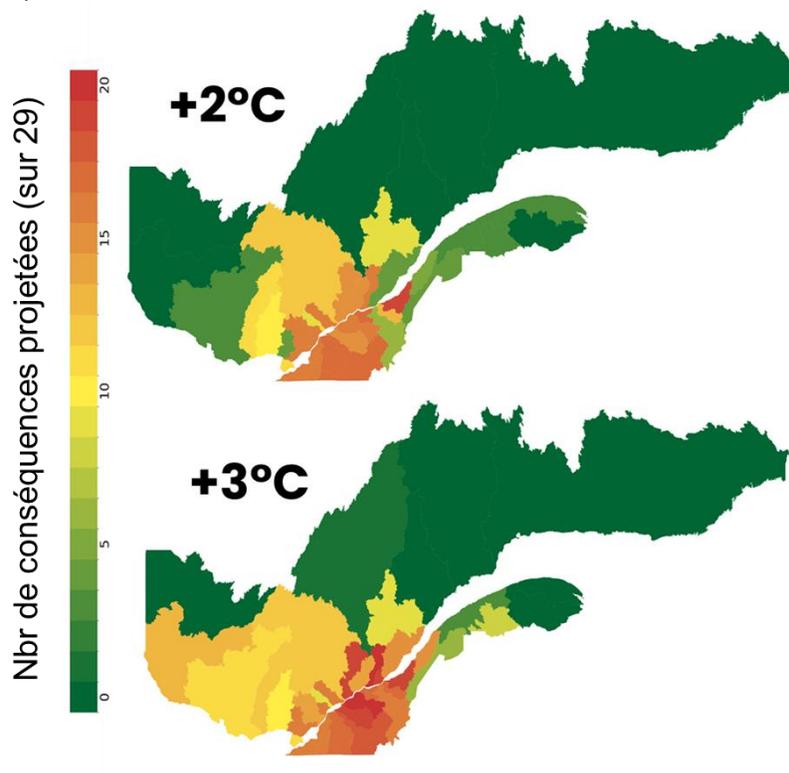


Figure D – Nombre de conséquences attendues selon les scénarios +2 °C (2045) et +3°C (2065)

À la lumière des projections réalisées au sein des scénarios de manques d'eau, sept conséquences sur les usages anthropiques ressortent comme étant les plus prioritaires :

- L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels de la population par les municipalités
- L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels pour les propriétaires de puits privés et coûts additionnels engendrés
- Arrêt des développements résidentiels et commerciaux et remise en cause de la capacité de support du milieu
- Risque d'avis d'ébullition et de non-consommation
- Augmentation des coûts liés à l'irrigation pour le secteur agricole
- Baisse de rendements dans le secteur agricole
- Tension entre usagers de l'eau dans les bassins versants avec réservoirs

La documentation des conséquences des épisodes passés et la projection de celles-ci au sein de trames narratives d'évènement de manque d'eau en climat futur permettent de constater certaines lacunes dans les mécanismes de gestion des manques d'eau au Québec ainsi que des connaissances actuelles sur la problématique.

Entre autres, bien que de nombreuses initiatives de protection de l'eau potable soient mises en place selon le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), il n'existe pas, à notre connaissance, de lentille hydroclimatique portée de manière systématique pour caractériser l'état d'un bassin versant et intégrer l'impact des changements climatiques sur la vulnérabilité des sources. Dans une optique de gestion intégrée de l'eau et des infrastructures, prises d'eau et aqueducs, la connaissance de l'état de sécheresse du territoire permettrait vraisemblablement d'accroître la résilience et la qualité des décisions.

Un autre angle mort des conséquences vécues présentement est celui des usages industriels commercial et institutionnel. La revue des événements passés n'a pas permis de documenter de cas de manque d'eau sur ces usagers. La question se pose alors si ces usagers sont moins vulnérables ou si ces conséquences n'ont simplement jamais été documentées et recensées. Dans le contexte du redéveloppement du secteur manufacturier, notamment autour des technologies vertes, il est crucial de déterminer dans quelle mesure les ressources en eau disponibles sont suffisantes pour soutenir ces nouveaux usagers et les conséquences d'un manque d'eau pour les nouvelles filières (ex. batterie) ainsi que les plus traditionnelles (pâtes et papier, métallurgie, agroalimentaire, etc.)

Aussi, il est important de souligner que notre analyse des travaux caractérisant la vulnérabilité de la recharge des eaux souterraines en contexte de changements climatiques ne nous a pas permis de projeter la variation de la recharge dans des scénarios particuliers. Notre analyse s'est contentée, sous l'hypothèse d'une recharge constante, d'évaluer dans quelle mesure l'augmentation des besoins en eau serait un facteur prépondérant de déficit d'eau. Ainsi, des travaux futurs seront nécessaires pour approfondir l'implication des changements climatiques sur la recharge en eaux souterraines.

En terminant, les épisodes de manque d'eau associés à des étiages sévères et des périodes de sécheresse peuvent occasionner d'importantes conséquences sur la santé des populations. En effet, ces épisodes accroissent les risques de développement de maladies d'origines hydrique et occasionnent également du stress et de l'anxiété pour les communautés touchées. Ils peuvent également donner lieu à des conséquences à plus long terme sur la santé mentale des populations affectées.

Toutefois, les conséquences des épisodes d'étiages sur la santé et le bien-être des populations touchées demeurent très peu étudiées. Pour cette raison, elles n'ont pu être adéquatement intégrées dans les projections des conséquences futures des étiages réalisées dans le cadre de la présente étude. À la lumière des informations colligées dans ce rapport, trois avenues de recherche s'imposent en lien avec les conséquences des étiages sévères et des sécheresses sur la santé et les bien-être des populations :

1. L'évaluation des impacts sur la santé et le bien-être des populations autochtones;
2. L'évaluation des impacts sur la santé mentale des populations touchées par les épisodes de manque d'eau sévères;
3. L'évaluation de la qualité de l'eau des puits privés en période d'étiage/sécheresse et des implications pour la santé publique.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	2
Résumé.....	3
Table des matières.....	12
Liste des figures	16
Liste des tableaux.....	17
Liste des abréviations, sigles et acronymes.....	18
Glossaire	19
1. Introduction.....	22
2. Territoire d'étude	25
3. Contexte hydroclimatique	27
3.1 Les étiages au Québec : définition et concepts de base	27
3.2 Effets des changements climatiques.....	29
3.3 Eaux souterraines.....	31
4. Méthodologie	33
4.1 Cadre conceptuel : une cascade de conséquences	33
4.2 Revue de la documentation	36
4.2.1 Conséquences sur les écosystèmes.....	36
4.2.2 Conséquences sur les usages anthropiques, la santé et le bien-être des populations 36	
4.3 Consultations.....	37
4.3.1 Questionnaire sur les épisodes de manque d'eau sévères	37
4.3.2 Entretiens	37
4.4 Développement de trames narratives et projection des conséquences attendues	38
4.4.1 Scénarisation hydrologique.....	38
4.4.2 Scénarisation socioéconomique	39
4.4.3 Projection des conséquences attendues.....	40
4.5 Caractérisation des conséquences	42
5. Conséquences des étiages sévères sur les services de support et de régulation des écosystèmes	43
5.1 Qualité de l'eau.....	45
5.1.1 Eutrophisation.....	45

5.1.2	Floraisons d'algues toxiques	46
5.2	Végétation et milieux humides	47
5.2.1	Modification du couvert végétal.....	47
5.2.2	Perturbation des milieux humides	48
5.2.3	Propagation d'EFEE	49
5.3	Poissons d'eau douce et habitat du poisson	49
5.3.1	Températures optimales	50
5.3.2	Limitation des déplacements.....	50
5.3.3	Modification de l'habitat	51
5.3.4	Impacts sur la santé des populations et sur la pêche	52
5.4	Saumon Atlantique et son habitat	54
5.4.1	Modification de l'habitat et limitation à la circulation migratoire	54
5.4.2	Impacts sur la santé des populations et sur la pêche	55
5.5	Chaîne trophique	55
6.	Conséquences des étiages sévères sur les services d'approvisionnement et les services culturels.....	60
6.1	Conséquences sur les usages par prélèvement.....	61
6.1.1	Approvisionnement en eau potable des populations	61
6.1.1.1	Approvisionnement en eau de surface (SAEP municipaux)	62
6.1.1.2	Approvisionnement en eau souterraine (SAEP municipaux et SAEP privés)	64
6.1.2	Santé et bien-être des populations.....	66
6.1.2.1	Maladies d'origines hydriques	66
6.1.2.2	Santé mentale.....	67
6.1.2.3	Populations autochtones.....	67
6.1.3	Productions agricoles.....	69
6.1.4	Usages industriel, institutionnel et commercial.....	74
6.1.4.1	Usage industriel.....	74
6.1.4.2	Usages commercial et institutionnel.....	75
6.2	Conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place.....	76
6.2.1	Production hydroélectrique	76
6.2.2	Transport maritime.....	78
6.2.3	Usages récréatifs (dont la navigation de plaisance)	79
6.2.3.1	Navigation de plaisance et régulation des plans d'eau.....	79
6.2.3.2	Autres mentions.....	81
6.2.4	Autres conséquences	83

7. Portraits des étiages sévères passés et futurs et de leurs conséquences.....	84
7.1 Fiche historique : Épisode de 2021	85
7.1.1 Contexte climatique et hydroclimatique.....	85
7.1.2 Contexte socioéconomique.....	88
7.1.3 Conséquences vécues sur le territoire	89
7.1.3.1 Conséquences sur les usages par prélèvement.....	89
7.1.3.2 Conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place	92
7.1.3.3 Conséquence sur les écosystèmes.....	92
7.2 Climat futur : Scénario +2°C (2045)	93
7.2.1 Contexte climatique et hydroclimatique.....	93
7.2.2 Contexte socioéconomique.....	96
7.2.3 Pression sur la ressource.....	96
7.2.4 Conséquences vécues sur le territoire	98
7.2.5 Conséquences sur les écosystèmes.....	102
7.3 Climat futur : Scénario +3°C (2065)	103
7.3.1 Contexte climatique et hydroclimatique.....	103
7.3.2 Contexte socioéconomique.....	106
7.3.3 Pression sur la ressource.....	106
7.3.4 Conséquences vécues sur le territoire	107
8. Caractérisation des conséquences	112
8.1 Types de conséquences évaluées	113
8.2 Grille de caractérisation	113
8.3 Conséquences sur les écosystèmes.....	123
9. Limites de l'analyse et connaissances à développer prioritairement	124
9.1 Limites de l'analyse.....	124
9.1.1 Disponibilité des données	124
9.1.2 Connaissance des eaux souterraines	126
9.2 Connaissances à développer.....	127
9.2.1 Conséquences sur les écosystèmes.....	127
9.2.1.1 Plans d'eau vs cours d'eau	127
9.2.1.2 PH de l'eau	127
9.2.1.3 Régionalisation des conséquences pour les poissons	128
9.2.1.4 Impact à long terme d'épisodes répétés d'étiages sévères sur les populations de poissons et le succès reproducteur	128
9.2.1.5 Qualité de l'eau et floraisons d'algues toxiques.....	128

9.2.1.6	Espèces exotiques envahissantes	129
9.2.1.7	Augmentation des phénomènes d'érosion	129
9.2.2	Conséquences sur les usages anthropiques.....	130
9.2.2.1	Priorisation des usages de l'eau en contexte de sécheresse	130
9.2.2.2	Vulnérabilité opérationnelle des installations de production d'eau potable en climat futur	131
9.2.2.3	Recensement et analyses des conflits d'usage.....	131
9.2.2.4	Impacts des déficits en eau sur les usages industriels et commerciaux	132
9.2.3	Conséquences sur la santé et le bien-être des populations	132
9.2.3.1	Impacts sur la santé et le bien-être des populations autochtones	132
9.2.3.2	Évaluation des impacts sur la santé mentale des populations touchées par les épisodes de manque d'eau sévères	133
9.2.3.3	Évaluation de la qualité de l'eau des puits privés en période d'étiage/sécheresse et implications pour la santé publique.....	133
Annexe A – Production des scénarios hydroclimatiques		134
Annexe B – Autres conséquences sur les écosystèmes – Oiseaux aquatiques		144
Annexe C – Liste des principaux évènements d'étiages et de sécheresses identifiés....		145
Annexe D – Faits saillants tirés de l'analyse des questionnaires transmis aux OBV et comités ZIP		148
Annexe E – Cadre méthodologique de projection et de catégorisation des conséquences selon leur gravité		170
Références		188

LISTE DES FIGURES

Figure 2-1.	Carte du territoire de la zone de gestion intégrée de l'eau au Québec.....	25
Figure 3-1.	Changement médian attendu pour l'indicateur $Q_{2,7}$ estival sous le RCP8.5 à l'horizon 2041-2070, par rapport à la période 1981-2010. Source : Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2022.	31
Figure 4-1.	Représentation conceptuelle de la cascade de conséquences d'un évènement de déficit en eau	35
Figure 5-1.	Altération de la qualité de l'eau.....	47
Figure 5-2.	Crue printanière normale.....	53
Figure 5-3.	Épisode d'étiage ponctuel et non récurrent	53
Figure 5-4.	Épisode d'étiages prolongés et récurrents	54
Figure 6-1.	Évolution des surfaces irriguées au Québec 2011-2021 par régions administratives.....	70
Figure 6-2.	Nombre de marinas par ZGIEBV	80
Figure 7-1	Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021 et l'année 2021.	87
Figure 7-2.	ZGIEBV affichant au moins un tronçon avec une pression supérieur à 15% du débit minimum moyenné sur 7 jours de récurrence 2 ans en 2021	89
Figure 7-3	Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021, les évènements de manque d'eau récents (selon les régions : 1995, 2010, 2018 ou 2021) et les projections pour le scénario à +2°C (2045)..	95
Figure 7-4.	ZGIEBV affichant au moins un tronçon avec une pression supérieur à 15% du débit minimal hebdomadaire dans le scénario +2 degrés	97
Figure 7-5.	Niveau d'alerte hydroclimatique dans le scénario +2 degrés	98
Figure 7-6.	Niveau d'alerte hydroclimatique dans le scénario +3 degrés	103
Figure 7-7.	Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021, les évènements de manque d'eau récents (selon les régions : 1995, 2010, 2018 ou 2021) et les projections pour le scénario à +3°C (2065)..	105
Figure 7-8.	Territoires subissant un indice de pression élevé sur les eaux de surface dans le scénario +3°C et +2°C (indice de pression > 15 %)	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1.	Liste des organismes de bassin versant	25
Tableau 3-1.	Divers exemples de seuils définissant les étiages (adapté de Berthot et al., 2021)	28
Tableau 4-1.	Niveau d’alerte du contexte hydroclimatique des évènements de déficits en eau	41
Tableau 6-1.	Évolution récente des surfaces irriguées par type de production agricole au Québec	70
Tableau 6-2.	Portrait des pratiques d’irrigation agricole au Québec et des raisons de non-irrigation, 2010-2020.....	72
Tableau 6-3.	Classification géographique des marinas au Québec	80
Tableau 7-1.	Niveau d’alerte du contexte hydroclimatique des évènements de déficits en eau	85
Tableau 7-2.	Sommaire des conséquences par usage pour l’évènement +2°C	101
Tableau 7-3.	Comparaison des scénarios +2°C et +3°C ainsi que de l’évènement historique choisi	108
Tableau 7-4.	Variation relative à la période historique 1981-2021 des débits moyens aux 5 plus grandes centrales hydro-électriques à l’étude	109
Tableau 7-5.	Sommaire des conséquences par usage pour l’évènement +3°C	110
Tableau 8-1.	Typologie des conséquences projetées dans l’analyse.....	113
Tableau 8-2.	Grille de caractérisation des conséquences	114
Tableau 8-3.	Sommaire de la caractérisation des conséquences selon leur gravité (Scénario +2°C)	115
Tableau 8-4.	Sommaire de la catégorisation des conséquences selon leur gravité (Scénario +3°C)	117

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

BanQ	Bibliothèque et archives nationales du Québec
CHIRPS	Base de données <i>Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station</i>
ECCC	Environnement et changement climatique Canada
EFEE	Espèces floristiques exotiques envahissantes
EEE	Espèce exotique envahissante
FACH	Espèce végétale facultative des milieux humides
FADQ	Financière agricole du Québec
ICI	Institutionnel, commercial et industriel
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, et de Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MGIA	Maladies gastro-intestinales aiguës
MPO	Ministère des Pêches et des Océans Canada
OBL	Espèce végétale obligatoire des milieux humides
OBV	Organisme de bassin versant
PDE	Plan directeur de l'eau
RADEAU	Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte de changement climatique
ROBVQ	Regroupement des organismes de bassins versants du Québec
SAEP	Systèmes d'approvisionnement en eau potable
SÉPAQ	Société des établissements de plein air du Québec
SMRI	Indice normalisé de précipitations et de fonte de la neige (en anglais : Standardized Snowmelt and Rain Index-SMRI)
SPEI	Indice normalisé d'évapotranspiration des précipitations (en anglais : Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI)
ZIP	Zones d'intervention prioritaire
ZGIEBV	Zone de gestion intégrée de l'eau par bassin versant

GLOSSAIRE

Anoxie	Absence d'oxygène dans un milieu donné
Chaîne trophique	Ensemble des relations liées au transfert d'énergie et de nutriments entre les organismes des différents niveaux de la chaîne alimentaire dans un écosystème
Compétition interspécifique	Compétition entre deux ou plusieurs espèces pour l'accès aux ressources dans un écosystème
Crue	Période de montée du débit et du niveau des eaux, souvent au printemps après la fonte des neiges et de la glace, ou à la suite de précipitations importantes
Dessiccation	Élimination de l'eau contenue dans un organisme, déshydratation
Ecoanxiété	Sentiment d'anxiété ou préoccupation ressentis par une personne devant les bouleversements causés par les changements climatiques et l'appréhension de leurs conséquences
Espèce exotique envahissante	Espèce généralement introduite par l'humain, qui s'établit et se propage à l'extérieur de son aire de distribution indigène, au détriment des espèces indigènes
Espèce végétale émergente	Plante enracinée au fond d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau dont les tiges, les feuilles et les fleurs se trouvent à la surface de l'eau
Espèce végétale facultative des milieux humides	Espèces végétales dont la répartition est généralement restreinte aux milieux humides
Espèce végétale obligatoire des milieux humides (OBL)	Espèces végétales dont la répartition est presque exclusivement restreinte aux milieux humides
Espèce végétale submergée	Plante dont le système racinaire et aérien croît sous la surface de l'eau
Évapotranspiration	Processus de perte d'eau des plantes sous forme de vapeur, via les pores des feuilles
Eutrophisation	Processus par lequel les eaux deviennent riches en matières nutritives, ce qui cause entre autres une augmentation de la

	production primaire et des processus de décomposition, ainsi qu'une diminution de la concentration d'oxygène dissout dans l'eau
Floraison d'algues	Prolifération rapide et abondante dans le milieu aquatique d'algues et/ou de cyanobactéries faisant partie du phytoplancton. Ces proliférations sont souvent dues à une augmentation de la concentration de nutriments ou à la modification de certains paramètres physico-chimiques dans l'eau. Dans certains cas, des toxines peuvent être sécrétées par les organismes responsables de la floraison.
Frayère, Fraie	Habitat de reproduction des poissons (fraie), qui sert également de lieu d'incubation des œufs
Furonculose	Maladie rencontrée dans la majorité des piscicultures d'eau douce à travers le monde causée par la bactérie <i>Aeromonas salmonicida</i> sp. <i>Salmonicida</i>
Hypoxie	Faible présence d'oxygène dans un milieu donné
Littoral	Partie d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau qui s'étend à partir de la ligne qui la sépare de la rive vers le centre du plan d'eau ou du cours d'eau
Macrophytes	Végétation aquatique visible à l'oeil nu
Plaine inondable	Étendue de terre couverte d'eau lorsqu'un cours d'eau déborde de son lit habituel.
Plasticité phénotypique	Variation du phénotype (caractères observables) des organismes en réponse aux variations de l'environnement
Pouvoir tampon	Capacité de l'eau à limiter ses variations de pH sous l'effet d'acides ou de bases
Production primaire	Production de matière organique végétale découlant de la photosynthèse
Q_{2,7}	Période de retour de deux ans du minimum des débits moyennés sur sept jours
Q_{5,30}	Période de retour de cinq ans du minimum des débits moyennés sur trente jours
Q_{10,7}	Période de retour de 10 ans du minimum des débits moyennés sur sept jours
Q₇_{min}	Débit minimum moyenné sur 7 jours (m ³ /s)

Stratification thermique des plans d'eau	Formation de couches d'eau distinctes superposées les unes sur les autres
Succès reproducteur	Capacité d'un organisme à se reproduire et à transmettre son bagage génétique à un nombre de descendants viables et fertiles. Le succès reproducteur se mesure par le nombre de descendant fertiles produits par une espèce ou une population d'espèce donnée
Végétation indigène	Espèces végétales qui se trouvent dans un écosystème donné de façon naturelle et sans intervention humaine
Zone pélagique	Partie du milieu aquatique comprenant la colonne d'eau située entre le fond et la surface de l'eau, excluant les rives

1. INTRODUCTION

Le Québec a connu au cours des dernières années des événements de déficits en eau de plus en plus sévères avec des conséquences aux quatre coins de la province, notamment lors des étés 2020 et 2021. Ces événements sont précurseurs d'une aggravation des déficits en eau et des conséquences qui leur sont associées.

En effet, l'évolution du contexte hydroclimatique accroîtra le risque de sécheresse en été menant à des épisodes d'étiages plus importants dans le sud du Québec (Direction de l'Expertise hydrique, 2018). De plus, en parallèle à la diminution de la disponibilité de la ressource, l'évolution des conditions climatiques influenceront (et influencent déjà) également les besoins en eau pour plusieurs secteurs (agricole, industriel, municipal, etc.), laissant présager une augmentation des pénuries d'eau et avec elles de potentiels conflits d'usage dans plusieurs régions du Québec. Ainsi, au cours des prochaines décennies, les déficits en eau s'aggraveront en durée, en ampleur et en sévérité en réponse aux changements climatiques.

Les épisodes d'étiages récents au Québec ont permis de mettre en lumière des conséquences très concrètes pour les écosystèmes et les communautés. À l'échelle locale, ces épisodes d'étiages ont généré dans certaines régions des enjeux d'approvisionnement pour les différents usagers de l'eau. Certaines municipalités ont peiné à approvisionner leurs citoyens en eau potable tout au long de l'été, particulièrement dans le sud du Québec, d'autres ont décidé de limiter le développement futur en anticipation de manque d'eau. Dans le secteur agricole, les conséquences du manque d'eau ont été multiples : des pertes de rendements importantes, des puits qui se sont asséchés et dans certains cas des conflits d'utilisation de la ressource servant à l'irrigation ont émergé. Des propriétaires ont dû faire recreuser leurs puits privés avec les frais que cela implique.

Malgré l'évolution de cette problématique au cours des dernières années, les conséquences documentées demeurent de l'ordre de l'anecdote. Les conséquences d'un déficit en eau sévère au Québec demeurent très peu documentées, mal comprises et, par le fait même, difficiles à projeter.

Les travaux des dernières années ont permis de commencer à bâtir les connaissances sur l'évolution de la disponibilité en eau en contexte de changements climatiques. Les travaux notamment du projet RADEAU 1 et 2 ont servi de base quant à l'évolution des besoins pour plusieurs régions au Québec et pour de nombreux secteurs. Cependant, malgré ces avancées, il n'est toujours pas possible de connaître quelles seront les conséquences attendues de ces potentiels déficits en eau. Quel(s) usage(s) et quel(s) usager(s) seront affectés? Dans quelles régions? À quel niveau? Quelles sont les conséquences en cascades sur l'économie, la cohésion sociale, la santé et le bien-être des populations? Autant de questions pour lesquelles les réponses demeurent inconnues.

La présente étude se veut une tentative de combler ce manque de connaissances et d'amorcer une réflexion globale sur les conséquences des déficits en eau au Québec. Plus particulièrement, le projet vise à répondre aux objectifs suivants :

- Faire ressortir les principales conséquences des épisodes d'étiages sévères de même que les régions hydrologiques les plus susceptibles d'être affectées dans le futur;
- Évaluer les conséquences des étiages sévères sur la santé des écosystèmes aquatiques;
- Évaluer les conséquences des épisodes d'étiages sur la santé et le bien-être des populations incluant les composantes reliées aux activités économiques de même qu'aux composantes sociales (sécurité, santé, cohésion sociale, etc.);
- Identifier les situations où des conflits d'usage obligerait à partager l'eau ou à prioriser les usages de telle sorte que certains ressentiraient davantage la pénurie que d'autres en précisant quels usages et quels groupes sont affectés;
- Identifier les lacunes en matière de compréhension des enjeux entourant la disponibilité en eau en période d'étiages sévères afin d'orienter les travaux de recherche futurs;
- Répertoire des mesures d'adaptation utilisées dans le passé ou disponibles face aux conséquences identifiées.

Ce rapport présente un état des lieux des connaissances sur les conséquences des manques d'eau sévères afin d'en faire ressortir les enjeux les plus critiques, à l'échelle du territoire de gestion intégrée de l'eau (territoire couvert par les 40 OBV de la province)². Il s'appuie également sur un exercice de prospective permettant de se projeter dans des événements de déficits en eau en extrapolant les connaissances sur l'évolution attendue du contexte hydroclimatique, socioéconomique et des conséquences en cascades pouvant se répercuter sur les écosystèmes, les usages anthropiques et ultimement le bien-être des communautés.

Le présent rapport présente les résultats du projet et est structuré en neuf chapitres. Après cette introduction les deux chapitres suivants présentent respectivement le territoire à l'étude et le contexte hydroclimatique québécois et son évolution en matière de manque d'eau. Ensuite, le chapitre 4 présente le cadre conceptuel retenu pour l'étude ainsi que la méthodologie employée pour documenter les conséquences sur les écosystèmes et les usages anthropiques.

Le chapitre 5 présente une revue des conséquences sur les écosystèmes en contexte de déficits en eau. Ensuite, le chapitre 6 présente une revue des conséquences des épisodes de manques d'eau sévères sur les usages anthropiques en s'appuyant sur une revue de la littérature et les réponses à un questionnaire transmis aux OBV et aux comités ZIP. **Il est important de noter que les réponses des OBV présentées dans ce rapport ne constituent pas des faits scientifiques prouvés et vérifiés.** Ce sont des réponses fournies de bonne foi et qui, à travers le filtre de l'expertise de l'OBV, traduisent des observations faites par différents acteurs de l'eau.

Le chapitre 7 présente le portrait des conséquences sur les usages anthropiques de trois épisodes de manque d'eau sévères : un épisode antérieur (2021) et deux épisodes projetés (2045 à +2.0 degrés et 2065 à +3.0 degrés) alors que la province ferait face à des événements de déficits en eau exceptionnels par leur ampleur et leur durée.

² Le tronçon du Fleuve Saint-Laurent ainsi que les territoires des Îles-de-la-Madeleine et de l'Île d'Anticosti ont fait l'objet de la revue de la documentation des épisodes de manque d'eau sévères et de leurs conséquences mais n'ont pu faire l'objet de projections des conséquences. Cela s'explique par un manque d'information et un manque de données historiques pour ces territoires en lien avec les déficits en eau. À noter qu'un questionnaire de recensement des épisodes de manque d'eau a été envoyé au comité ZIP des îles-de-la-Madeleine et a été retourné en spécifiant qu'un seul événement avait été répertorié et était lié à la capacité de pompage des installations municipales plutôt qu'à une baisse des nappes.

En terminant, le chapitre 8 catégorise les conséquences projetées sur le Québec en fonction de leur gravité. Finalement, le chapitre 9 pose les bases des connaissances et des outils à développer au Québec afin de mieux comprendre les conséquences attendues en contexte de déficits en eau.

2. TERRITOIRE D'ÉTUDE

Le présent projet concerne le territoire de gestion intégrée de l'eau au Québec, auquel s'ajoute le tronçon du Saint-Laurent avec des eaux douces, les Îles-de-la-Madeleine et l'Île d'Anticosti. Mentionnons que les résultats produits dans le cadre de la revue des conséquences (Section 5 et 6) couvrent ce territoire d'étude.

Pour les résultats issus de la projection et de la caractérisation des conséquences (Sections 7 et 8), par manque d'information et de données, les travaux se sont concentrés sur le territoire sous gestion intégrée de l'eau par bassin versant au Québec (figure 2-1). Cette zone regroupe les 40 OBV du Québec. La liste des 40 OBV ainsi que leur sigle se trouvent dans le tableau 2-1.

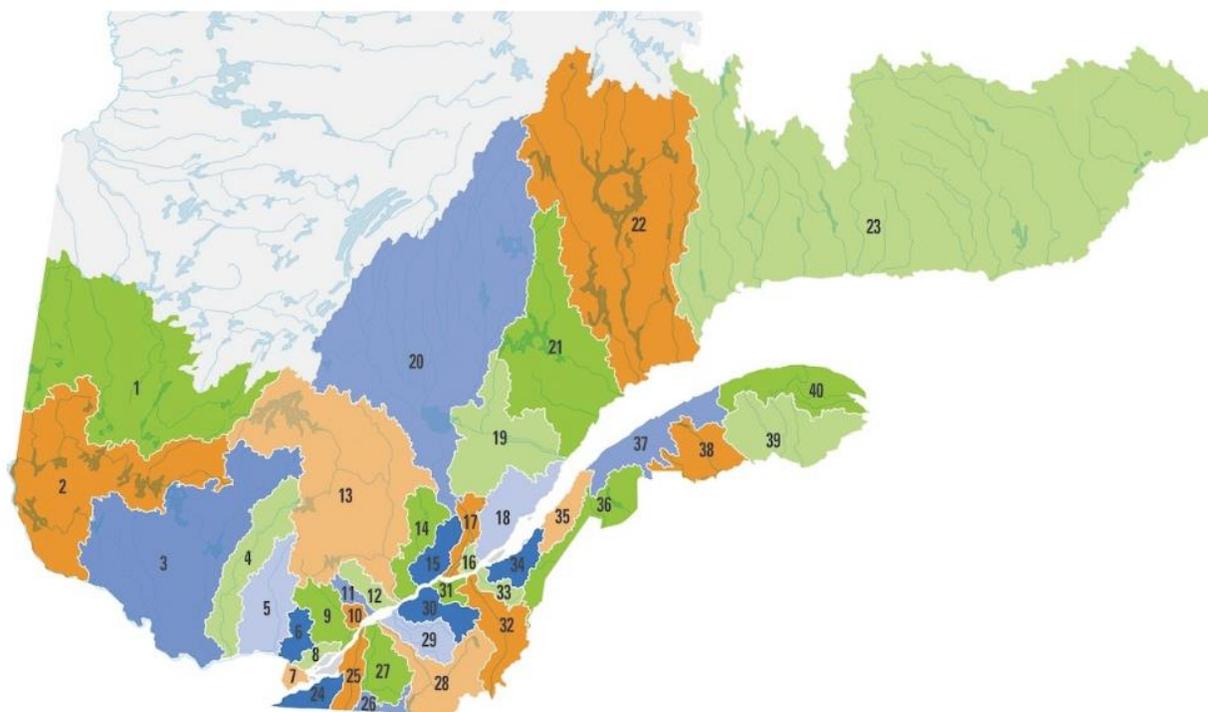


Figure 2-1. Carte du territoire de la zone de gestion intégrée de l'eau au Québec

Tableau 2-1. Liste des organismes de bassin versant

Organisme de bassin versant	Sigle	Organisme de bassin versant	Sigle
1. Organisme de bassin versant Abitibi-Jamésie	OBVAJ	21. Organisme des bassins versants de la Haute-Côte-Nord	OBVHCN
2. Organisme de bassin versant du Témiscamingue	OBVT	22. Organisme de bassins versants Manicouagan	OBVM
3. Agence de bassin versant des 7	ABV des 7	23. Organisme de bassins versants Duplessis	OBVD
4. Comité du bassin versant de la rivière du Lièvre	COBALI	24. Société de conservation et d'aménagement du bassin de la rivière Châteauguay	SCABRIC

5. Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon	OBVRPNS	25. Comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu	COVABAR
6. Organisme de bassin versant de la rivière du Nord	ABRINORD	26. Organisme de bassin versant de la baie Missisquoi	OBVBM
7. Conseil du bassin versant de la région de Vaudreuil-Soulanges	COBAVER-VS	27. Organisme de bassin versant de la Yamaska	OBV Yamaska
8. Conseil des bassins versants des Mille-Îles	COBAMIL	28. Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-François	COGESAF
9. Corporation de l'Aménagement de la Rivière L'Assomption	CARA	29. Organisme de concertation pour l'eau des bassins versants de la rivière Nicolet	COPERNIC
10. Organisme des Bassins Versants de la Zone Bayonne	OBVZB	30. Groupe de concertation des bassins versants de la zone Bécancour	GROBEC
11. Association de la gestion intégrée de la rivière Maskinongé	AGIR Maskinongé	31. Organisme de bassins versants de la zone du Chêne	OBV du Chêne
12. Organisme de bassins versants des rivières du Loup et des Yamachiche	OBVRLY	32. Comité de bassin de la rivière Chaudière	COBARIC
13. Bassin versant Saint-Maurice	BVSM	33. Conseil de bassin de la rivière Etchemin	CBE
14. Société d'aménagement et de mise en valeur du bassin de la Batiscan	SAMBBA	34. Organisme des bassins versants de la Côte-du-Sud	OBV Côte-du-Sud
15. CAPSA Organisme de bassin versant : Rivières Sainte-Anne, Portneuf et secteur La Chevrotière	OBV CAPSA	35. Organisme de bassins versants de Kamouraska, L'Islet et Rivière-du-Loup	OBAKIR
16. Organisme des bassins versants de la Capitale	OBV-Capitale	36. Organisme de bassin versant du Fleuve Saint-Jean	OBVFSJ
17. Corporation du bassin de la Jacques-Cartier	CBJC	37. Organisme des bassins versants du nord-est du Bas-Saint-Laurent	OBVNEBSL
18. Organisme de bassins versants Charlevoix-Montmorency	OBV-CM	38. Organisme de bassin versant Matapédia-Restigouche	OBVMR
19. Organisme de bassin versant du Saguenay	OBVS	39. Conseil de l'Eau Gaspésie Sud	CEGS
20. Organisme de bassin versant Lac-Saint-Jean	OBVLSJ	40. Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie	CENG

3. CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE

EN BREF

- Comme les crues, les étiages sont typiquement définis en fonction de leur période de retour.
- L'absence de pluie en été et en automne est la cause principale des étiages sévères pour les eaux de surface (rivières et lacs), suivi par une évapotranspiration élevée. Pour certains bassins versants, les quantités de neige reçues en hiver, ainsi que le moment et la vitesse de la fonte printanière, peuvent également jouer un rôle important sur les débits en été.
- Pour les eaux souterraines, le meilleur prédicteur quant à la sévérité du manque d'eau est la quantité totale de précipitations.

3.1 LES ÉTIAGES AU QUÉBEC : DÉFINITION ET CONCEPTS DE BASE

L'étiage est défini par l'Office québécois de la langue française comme le « niveau minimal atteint par un cours d'eau en période sèche » (Office québécois de la langue française, 2023). Cette période sèche est souvent associée aux périodes sans pluie en été et en automne, mais pour de nombreux cours d'eau québécois, le pire étiage survient plutôt en hiver, lorsque les précipitations tombent sous la forme de neige et que les rivières et les ruisseaux sont couverts par la glace (Berthot et al., 2020).

Les étiages ne sont pas nouveaux au Québec et de nombreux événements ont été recensés dans le cadre de ce projet. À titre d'exemple, un étiage très sévère a touché la rivière Saint-Charles et la Ville de Québec en 2002, ce qui a forcé la Ville à repenser son réseau d'approvisionnement en eau potable dans la décennie suivante afin de pouvoir tirer parti de l'eau provenant de son usine à Sainte-Foy, alimentée par le Saint-Laurent, pour aider le reste du réseau en cas de risque de pénurie d'eau (Da Silva et al., 2020). Les événements les plus intenses répertoriés dans les dernières décennies, selon une analyse des données de débit produites par le MELCCFP, se trouve à la section A2.2, en Annexe. Il faut aussi mentionner que bien qu'ils soient très rarement construits dans ce but au Québec, les barrages peuvent jouer un rôle dominant pour réduire l'intensité des étiages et réguler les débits d'une rivière.

D'une manière similaire aux **crues** et aux inondations, les étiages sont principalement définis et catégorisés en fonction de leur période de retour ou de divers seuils statistiques. Il n'existe d'ailleurs pas de seuil unique; différentes institutions sont arrivées à des choix différents (Tableau 3-1. Divers exemples de seuils définissant les étiages (adapté de Berthot et al., 2021)-1). Au Québec, sauf lorsqu'une étude ponctuelle existe, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) définit généralement le « débit réservé écologique » à l'aide du $Q_{2,7}$ et limite les prélèvements d'eau à un maximum de 15% de cette valeur. Le débit réservé écologique a pour rôle de définir le débit minimal dont un écosystème a besoin pour éviter des enjeux liés à la quantité ou à la qualité de l'eau. Ce seuil

basé sur le $Q_{2,7}$ a ses propres enjeux, notamment pour les plus petits cours d'eau où il ne procurerait pas une assez grande protection pour la santé et l'intégrité des écosystèmes aquatiques et de la biodiversité. Des travaux sont d'ailleurs en cours au MELCCFP pour tenter de moderniser les limites de prélèvement et introduire des seuils mieux adaptés à chaque type de rivière, plutôt qu'un seuil unique appliqué à l'ensemble de la province (Berthot et al., 2020).

D'autres seuils sont communément produits par le MELCCFP sont le $Q_{10,7}$ (période de retour de 10 ans du minimum des débits moyennés sur sept jours), le $Q_{5,30}$ (période de retour de cinq ans du minimum des débits moyennés sur trente jours), ainsi que le débit minimal historique ou particulier pour une année donnée (MELCCFP, 2023e). Outre les limites de prélèvement établies par le MELCCFP, des débits réservés écologiques peuvent également être établis pour des territoires et des périodes de l'année prédéterminées, tel que pour protéger la **fraie** des poissons. La Montérégie, par exemple, utilise un seuil de 50 % du débit médian de la période entre le 1^{er} avril et le 15 juillet pour protéger la fraie et l'incubation des œufs du doré et de l'achigan (Zeestraten, 2012).

Bien qu'il n'existe actuellement aucun seuil d'alerte officiel au Québec pour les étiages, ce concept a été exploré dans la littérature scientifique et dans d'autres provinces tel qu'en Ontario (voir Section 4.4.3 pour plus de détails). Zeestraten (2012), par exemple, a exploré l'utilisation de plusieurs seuils de sévérité pour élaborer un système d'alerte aux étiages. Dans ce système (théorique), l'alerte était lancée lorsque les débits passaient sous le 10^e centile de la courbe des débits classés. L'alerte renforcée survenait au 5^e centile, au $Q_{5,30}$ ou au $Q_{2,7}$ (ou à une moyenne des trois), tandis que la « crise » était définie comme un débit inférieur au $Q_{10,7}$.

Tableau 3-1. Divers exemples de seuils définissant les étiages (adapté de Berthot et al., 2021)

Indicateur d'étiage	Définition	Usages	Références
Q95	95 ^e centile de la courbe des débits classés	Débit environnemental au Royaume-Uni	Acreman & Ferguson (2010)
Q90	90 ^e centile de la courbe des débits classés	Testé au Nouveau-Brunswick	Caissie et al. (2007)
$Q_{10,7}$	Période de retour de 10 ans du minimum des débits moyennés sur 7 jours	<ul style="list-style-type: none"> Pour atteindre les objectifs environnementaux dans le sud du Québec Capacité de dilution des rivières en Nouvelle-Angleterre 	DEFACC (2007) Linnansaari et al. (2013)
$Q_{2,7}$	Période de retour de 2 ans du minimum des débits moyennés sur 7 jours	<ul style="list-style-type: none"> Limites de prélèvement dans le sud du Québec Indicateur d'étiage dans l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 	DEFACC (2015) DEFACC (2018)
AQ50	Débit médian du mois d'août	<i>Aquatic Base Flow</i> en Nouvelle-Angleterre	USFWS (1981)
70 % AQ50	70 % du débit médian du mois d'août	Débit environnemental à l'Île-du-Prince-Édouard	Caissie et al. (2014)
LQ50	Débit médian du mois possédant les plus faibles débits	Testé au Nouveau-Brunswick	Caissie et al. (2014)

70 % LQ50	70% du débit médian du mois possédant les plus faibles débits	Testé au Nouveau-Brunswick	Caissie et al. (2014)
--------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------	-----------------------

Les étiages estivaux les plus sévères et exceptionnels sont généralement associés à des périodes de sécheresse météorologique. Même s'il n'existe pas de définition unique d'une sécheresse, Ressources naturelles Canada définit ce phénomène comme « un manque de précipitations sur une période prolongée, généralement durant une saison ou plus, entraînant une pénurie d'eau qui a des effets néfastes sur la végétation, les animaux et les personnes » (Ressources naturelles Canada, 2021). La somme des précipitations estivales, cumulées depuis la fonte du manteau neigeux, a d'ailleurs été déterminée comme étant souvent le prédicteur principal de la sévérité d'un étiage donné dans le Québec méridional (Kinnard et al., 2022). Après le manque de précipitations, l'évapotranspiration est le second grand prédicteur pour la sévérité des étiages estivaux.

Finalement, spécifiquement pour les bassins versants situés en régions froides comme au Québec, il est important de souligner le rôle potentiel du manteau neigeux en hiver. Pour certains bassins versants, le maximum d'équivalent en eau de la neige (ÉEN_{max}), la date de l'amorce de la fonte, ainsi que la durée de la fonte du manteau neigeux peuvent tous trois avoir un impact aussi important que l'évapotranspiration (Kinnard et al., 2022). Cela s'explique par le fait que l'eau présente dans les rivières pendant les étiages estivaux provient en grande partie de l'écoulement souterrain et que la fonte printanière, notamment une fonte prolongée et substantielle, aide à recharger davantage la nappe phréatique.

Plusieurs indicateurs ont été créés dans le but de caractériser les sécheresses de manière plus standardisée. L'outil *Aperçu des sécheresses au Canada* (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2023) utilise par exemple l'indice normalisé de précipitations (SPI – McKee et al., 1993), l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (PDSI), ainsi que l'indice normalisé d'évapotranspiration des précipitations (Standardized precipitation evapotranspiration index - **SPEI**, Vicente-Serrano et al., 2010). Plus récemment, l'indice normalisé de précipitations et de fonte de la neige (**SMRI** - Staudinger et al., 2014) a été proposé comme une alternative au SPI permettant de mieux prendre en compte la relation mentionnée précédemment entre le stock de neige et les étiages estivaux en régions froides.

Malheureusement, il demeure encore très difficile d'avoir accès à des données spatialisées pour la neige, autant en climat historique que futur, ce qui limite l'utilité du SMRI. En contrepartie, les données nécessaires au calcul du SPEI sont beaucoup plus facilement disponibles. Cet indicateur a d'ailleurs été utilisé dans plusieurs études, autant internationalement qu'au Canada et au Québec, en plus d'être le principal indicateur de sécheresse choisi pour le portail *DonneesClimatiques.ca* (Stagge et al., 2015; Tam et al., 2019, 2023). Pour toutes ces raisons, le SPEI est l'indicateur de sécheresse qui a été choisi pour cette étude.

3.2 EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Au Québec, selon les projections CMIP6 disponibles sur les Portraits Climatiques d'Ouranos, on s'attend généralement à une hausse des précipitations totales annuelles, mais qui ne sera pas

répartie de manière homogène pendant toute l'année (Consortium Ouranos, 2023). La hausse la plus marquée sera en hiver et au printemps, tandis que peu de changements sont attendus en été ou en automne. En Montérégie, par exemple, on prévoit une augmentation d'environ 7.5 % (SSP3-7.0) des précipitations annuelles totales au milieu du siècle par rapport à 1991-2020, mais qui seront divisées en une augmentation de plus de 12 % en hiver et au printemps, mais de seulement 3 % en été et en automne. Toutefois, il est probable que le régime de précipitation lui-même change en été et en automne, car les températures plus élevées favorisent les événements convectifs orageux et l'intensité de ces précipitations. Ainsi, même si on s'attend à peu de changements au niveau des quantités totales, on pourrait observer des changements en termes de ruissellement et d'infiltration. De plus, la hausse des températures va affecter l'évapotranspiration, qui devrait augmenter de manière significative tout le long de l'année.

La hausse des températures en hiver signifie également que l'on s'attend à une baisse des précipitations neigeuses et du maximum d'équivalent en eau de la neige (ÉEN_{max}) dans le sud de la province, contrebalancé par une hausse marquée de la pluie hivernale. Plus au nord, il pourrait encore faire assez froid en hiver pour plutôt voir une hausse nette de l' ÉEN_{max} , car les précipitations continueront à tomber majoritairement sous la forme de neige. La ligne démarquant ces deux zones est complexe et dépend, entre autres, de l'horizon temporel regardé et du scénario d'émissions de gaz à effet de serre (Alberti-Dufort, Bourduas Crouhen, et al., 2022).

Ainsi, pour les rivières, on s'attend à une hausse marquée des débits moyens et des débits d'étiage l'hiver, causée par davantage de pluie hivernale et par des redoux plus fréquents. La crue printanière sera également devancée de 1 à 3 semaines au milieu du siècle par rapport à aujourd'hui, selon la rivière étudiée. L'impact des changements climatiques sur l'ampleur de la pointe de crue printanière demeure toutefois plus variable, spatialement et temporellement (Alberti-Dufort, Desjardins, et al., 2022; MELCCFP, 2022a).

En été, on s'attend plutôt à une baisse des débits moyens à l'échelle de la province, à l'exception potentiellement de l'est du Québec (Bas-Saint-Laurent, Gaspésie et Côte-Nord). De plus, la faible augmentation dans les précipitations estivales, la hausse des températures et de l'évapotranspiration, la baisse de l' ÉEN_{max} dans le sud de la province et la précocité de la crue printanière pointent tous vers des étiages estivaux plus longs et plus sévères (Alberti-Dufort, Desjardins, et al., 2022). Cela est confirmé par l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, qui indique une diminution marquée des débits pour l'ensemble des indicateurs d'étiage estivaux ($Q_{2,7}$, $Q_{5,7}$, $Q_{10,7}$, $Q_{2,30}$, $Q_{5,30}$, $Q_{10,30}$), dont les valeurs diminuent de l'ordre de 5 à 40 % d'ici le milieu du siècle par rapport à la période 1981-2010, selon la rivière et l'indicateur étudié (MELCCFP, 2022a). La Figure 3-1 illustre par exemple le changement médian pour le $Q_{2,7}$ estival à l'horizon 2041-2070, pour le RCP8.5.

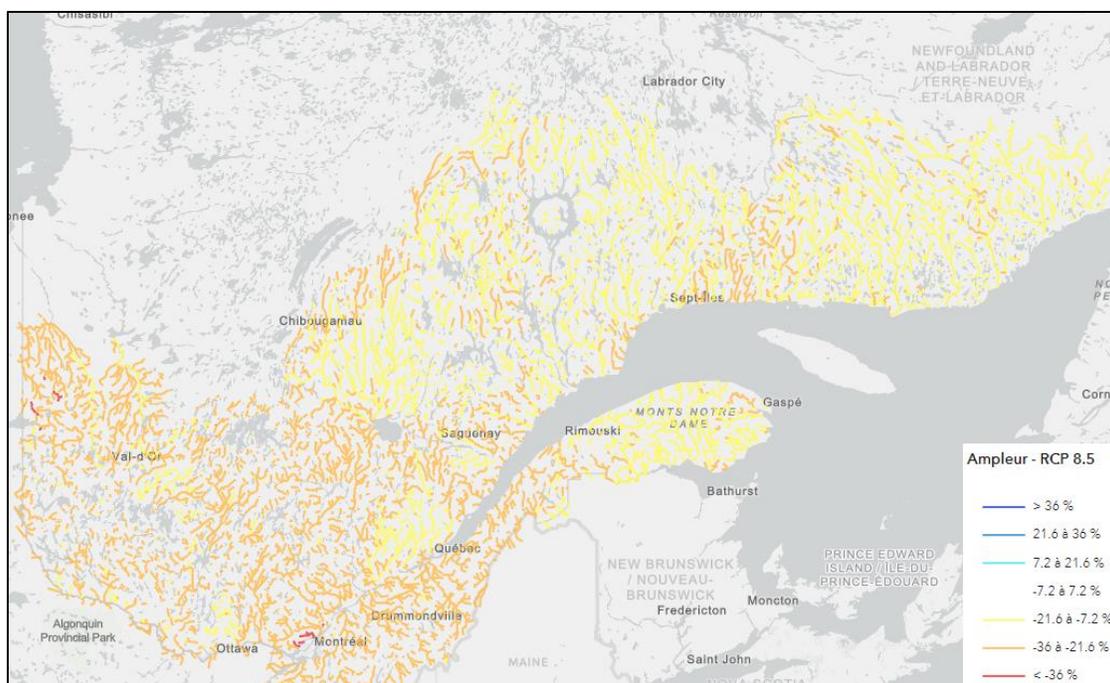


Figure 3-1. Changement médian attendu pour l'indicateur $Q_{2,7}$ estival sous le RCP8.5 à l'horizon 2041-2070, par rapport à la période 1981-2010. Source : Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2022.

3.3 EAUX SOUTERRAINES

Étant donné leur nature, les eaux souterraines sont moins directement connectées aux conditions météorologiques en surface et ne possèdent pas nécessairement les mêmes délimitations géographiques. En effet, la nappe phréatique n'est pas limitée par la ligne de partage des eaux de surface pour un bassin versant donné. Un même aquifère peut être associé à plusieurs bassins versants adjacents. Le niveau de complexité et d'incertitude est donc bien supérieur, et ce d'autant plus que les aquifères peuvent être connectés entre eux et possèdent une géométrie et des caractéristiques propres.

L'indicateur le plus pertinent des quantités d'eau disponibles est la « recharge annuelle », qui représente l'infiltration totale pour un aquifère et qui dépend essentiellement des précipitations reçues dans l'année. Toutefois, la recharge réelle varie localement en fonction de multiples facteurs tels que le type de sol et sa conductivité hydraulique, l'occupation du territoire, le pourcentage de surfaces imperméables, le type d'aquifère, sa profondeur, son confinement, etc.³

Le concept « d'étiage », et plus généralement de vulnérabilité, pour les eaux souterraines diffère également des eaux de surface. En effet, un puits très profond sera généralement peu ou pas sensible aux variations saisonnières, voire annuelles ou décennales, car il va s'approvisionner dans des eaux de plus en plus anciennes (cas des aquifères captifs). Ces aquifères peuvent potentiellement être influencés par la recharge, mais leur amont hydraulique peut être

³ Pour plus d'information, consulter le site web du [Réseau québécois sur les eaux souterraines](#) (Réseau québécois sur les eaux souterraines, 2023b).

particulièrement difficile à déterminer. Plus près de la surface, toutefois, les sécheresses peuvent avoir un impact sur la recharge et donc sur la quantité d'eau disponible (cas des aquifères libres). Toutefois, encore ici, la durée et la sévérité requises pour qu'une sécheresse ait un impact sur les eaux souterraines dépendent des caractéristiques de l'aquifère (homogénéité, granulométrie, transmissivité, épaisseur, ...) et du réservoir considéré.

Tel que mentionné précédemment, on s'attend à une hausse des précipitations annuelles totales et, donc, à une hausse significative de la recharge annuelle des eaux souterraines dans le futur (E. Dubois et al., 2022). Cette hausse aura principalement lieu en hiver et au printemps, en raison de l'apparition de davantage de pluie hivernale et de redoux. En contrepartie, on pourrait observer une baisse de la recharge entre les mois de mai et de novembre. Dubois et al. (2022) ont également identifié des seuils de hausses de températures et de précipitations qui pourraient éventuellement réduire la recharge totale annuelle, mais ceux-ci n'ont pas été atteints dans le cadre des scénarios utilisés pour ce projet. D'ailleurs, pour le Québec, l'impact des changements climatiques sur les sécheresses extrêmes, qui pourraient momentanément affecter négativement la recharge malgré les tendances moyennes à la hausse, demeure incertain (Naumann et al., 2018; Zhao et al., 2019).

4. MÉTHODOLOGIE

EN BREF

- Ce chapitre présente la méthodologie employée pour documenter les conséquences des épisodes d'étiages sévères et de manque d'eau au Québec sur les écosystèmes et les usages anthropiques.
- Pour identifier les conséquences sur les écosystèmes, une revue de la documentation a été réalisée en plus de quelques entretiens avec des spécialistes.
- Les conséquences sur les usages anthropiques des épisodes passés ont été documentées via une revue de la documentation, des entretiens avec des intervenants et experts ainsi qu'un questionnaire transmis aux OBV et comités ZIP.
- Afin de projeter dans le futur les conséquences des épisodes d'étiages, des scénarios hydrologiques et socioéconomiques ainsi qu'un cadre méthodologique de projection et de priorisation des conséquences ont été développés.

Le projet CASCADES a été réalisée via diverses activités menées par l'équipe de projet et ses collaborateurs et résumées dans cette section. Des informations additionnelles sur les aspects techniques reliés à la méthodologie sont également présentées dans les annexes.

D'abord, une revue de la documentation en lien avec les conséquences des épisodes de manque d'eau sévères sur les écosystèmes, les usages anthropiques et le bien-être des populations a été réalisée à l'automne 2022, pour la période entre 1965 et 2022. Cette revue de littérature s'est principalement concentrée sur les cours d'eau et le fleuve Saint-Laurent. Cette approche ne sous-estime pas l'importance des plans d'eau, mais vise à s'arrimer avec les balises inhérentes du projet qui se concentrent sur les périodes d'étiage qui affectent les cours d'eau du Québec.

Par la suite, des consultations auprès des organismes de bassins versants, sous forme d'un questionnaire, ainsi que des entretiens auprès d'intervenants ciblés ont eu lieu à l'hiver et au printemps 2023. En parallèle, des modélisations hydrologiques et socioéconomiques ont été réalisées à l'hiver et au printemps 2023 afin de projeter les conséquences futures d'un épisode d'étiage sévère en contexte de changements climatiques. En terminant, une méthode a également été développée afin de caractériser les conséquences de ces épisodes.

4.1 CADRE CONCEPTUEL : UNE CASCADE DE CONSÉQUENCES

Le projet CASCADES se veut un exercice d'exploration des conséquences attendues en contexte de manques d'eau sévères au Québec. Il s'appuie principalement sur la recherche, la mise en commun et la réinterprétation de données, d'analyses et d'études qui se sont intéressées à la problématique. À ces informations s'ajoute une analyse rétrospective des événements de déficits ayant touché le Québec au cours des dernières années. En combinant ces sources d'informations, le projet vise à poser un diagnostic sur les principales conséquences pouvant

affecter le Québec en contexte de manque d'eau sévère en vertu d'une approche par trames narratives. Au sein de ces trames narratives se produisent des événements de manque d'eau très sévères.

L'effet 'cascades' sous-entend que l'impact des changements climatiques sur la disponibilité en eau se répercutera progressivement à long terme sur le bien-être des populations et des communautés. Il suggère ainsi qu'une conséquence donnée devient la cause de la conséquence suivante, mais surtout que les conséquences sur les écosystèmes naturels sont étroitement liées aux conséquences sur les usages anthropiques. À titre d'exemple, un déficit de précipitations génère une diminution du débit d'étiage qui affecte la qualité de l'eau, réduit la qualité de l'habitat pour la faune et la flore aquatiques, mais également remet en cause la capacité d'approvisionnement des citoyens et ultimement le bien-être de la population.

Or si les conséquences des déficits en eau peuvent à la fois affecter les écosystèmes et les usages anthropiques, il arrive fréquemment qu'une concurrence se mette en place pour l'utilisation de la ressource. Émerge alors des conflits d'usage qui mettent en opposition un usage contre un autre, qu'il soit anthropique ou qu'il vise à répondre aux besoins des écosystèmes.

Dans le cadre du projet CASCADES, l'analyse se porte à la fois sur les conséquences sur les écosystèmes et les usages anthropiques. Afin de faciliter la prise en compte des interrelations entre la nature et les humains, la lentille d'analyse privilégiée est celle des services écosystémiques. Cette approche offre une perspective d'analyse permettant de réconcilier les interdépendances entre les usages anthropiques et la santé des écosystèmes.

Nous définissons les services écosystémiques comme les avantages que les populations humaines tirent, directement ou indirectement, des fonctions des écosystèmes (Dupras, 2014). Cette définition renvoie implicitement au fait que pour assurer le maintien des services écosystémiques, les fonctions écologiques des écosystèmes doivent être préservées. En d'autres termes, les services écosystémiques et les fonctions écologiques sont liés, mais résultent de deux visions différentes : les fonctions écologiques répondent à une vision écocentrée, alors que les services écosystémiques renvoient à une vision anthropocentrée (directe ou indirecte) des écosystèmes et de leur fonctionnement (Goulwen et al., 2018).

La figure 4-1 renvoie à une représentation théorique de la cascade de conséquences qui survient lors d'évènement de déficits en eau. La transformation de l'environnement hydroclimatique, de l'environnement biophysique et ultimement de l'environnement socioéconomique représente à haut niveau la cascade de conséquences. Cette étude s'intéresse particulièrement aux conséquences en aval de la cascade, soit les conséquences sur les écosystèmes et les usages anthropiques. Ceux-ci seront catégorisés et analysés sous l'angle des services écosystémiques. Les chapitres 5 et 6 discutent des conséquences attendues sur les écosystèmes et sur les usages anthropiques en utilisant la classification des services écosystémiques, soit les services de régulation et de support des écosystèmes.

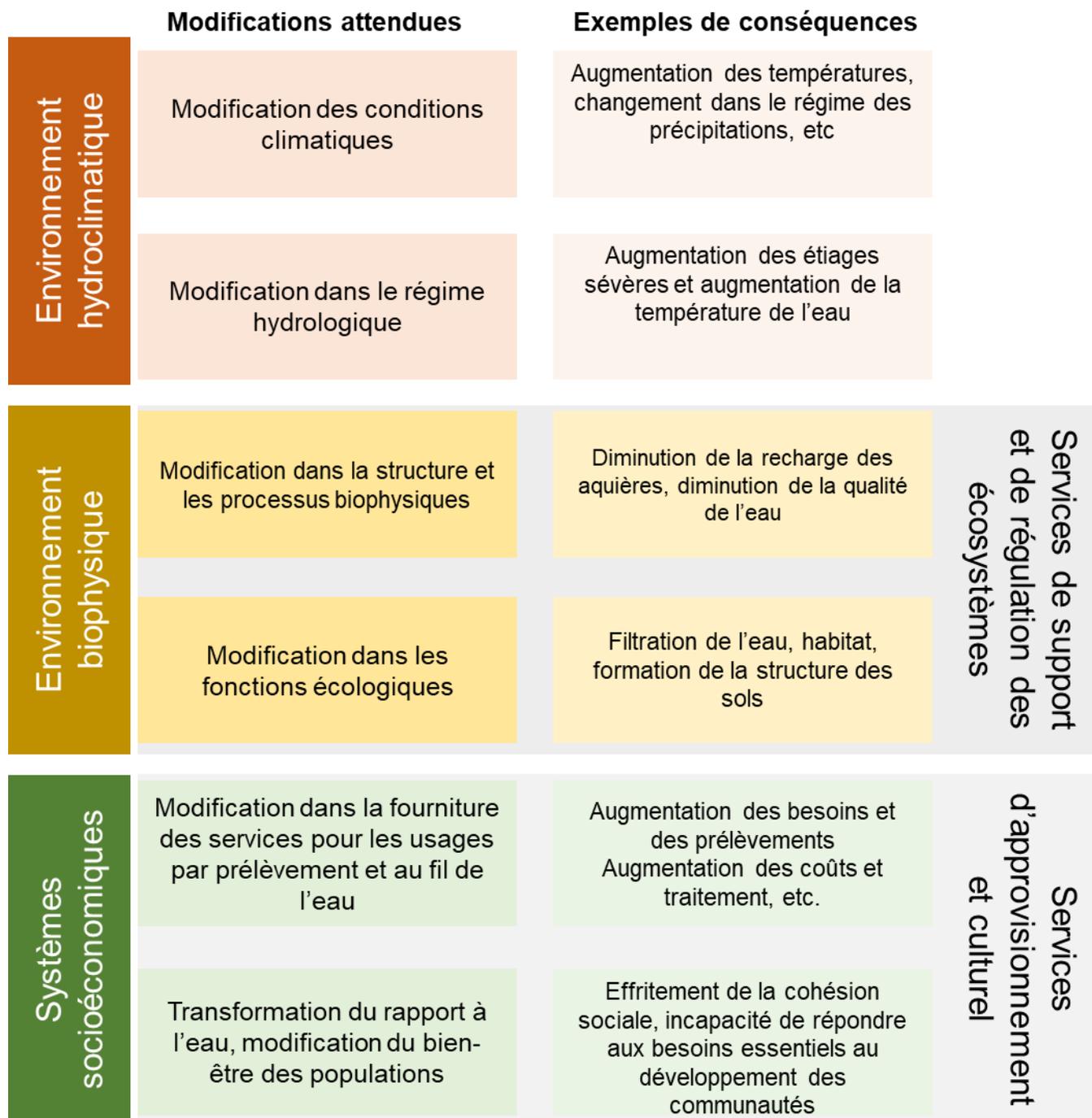


Figure 4-1. Représentation conceptuelle de la cascade de conséquences d'un évènement de déficit en eau

4.2 REVUE DE LA DOCUMENTATION

4.2.1 Conséquences sur les écosystèmes

Le choix des composantes retenues pour traiter des conséquences sur les écosystèmes repose sur l'expertise des ressources affectées à cette analyse, et sur la revue de littérature effectuée.

Plus de 50 documents, articles scientifiques, monographies, articles de journaux, etc. ont été lus au cours de cette recherche. De ce nombre, environ 40 sont cités pour décrire l'une ou l'autre des conséquences identifiées au fil de cette revue de littérature. Les résultats issus de cette recherche sont présentés à la section 5. Cette revue de littérature s'est concentrée sur les cours d'eau. Ce sont donc les rivières et le fleuve Saint-Laurent qui sont mis en exergue, certaines informations sont également présentées pour les plans d'eau.

Les conséquences sont décrites de manière qualitative, car les études consultées ne présentent pas de résultats ou de modélisation quantitatifs des effets sur les écosystèmes, ou l'une ou l'autre de leurs composantes, selon des scénarios d'augmentation de température. Par ailleurs, très peu d'études tentent de comprendre l'effet des étiages sur les écosystèmes et leurs composantes. Les études se concentrent surtout sur la consommation humaine de l'eau et les risques d'inondation (Kovach et al., 2019).

4.2.2 Conséquences sur les usages anthropiques, la santé et le bien-être des populations

Afin de documenter les épisodes de manque d'eau sévères et leurs conséquences sur les usages anthropiques et les populations affectées, une revue de la documentation pertinente a été effectuée. Cette revue avait pour objectif d'identifier les événements passés ayant déjà été documentés, et les conséquences recensées. Les sources et documents suivants ont été consultés dans le cadre de cette revue documentaire :

- 1) Les fiches d'évènements issus de la base de données AQUARISC (pour les évènements ayant eu lieu entre 1965 et 2018.⁴(Consortium Ouranos, 2015)
- 2) Pour la période 2012-2022, des articles de presse provenant des principaux médias québécois (La Presse, Le Devoir, Radio-Canada, Le Soleil, La Tribune, La Voix de l'Est) ainsi que le service d'archives de la Bibliothèque et Archives nationales du Québec (BanQ).
- 3) Les plans directeurs de l'eau (PDE) des 40 OBV et l'information contenue dans la plateforme AGIRE du ROBVQ. La plateforme AGIRE est une base de données en développement (beta) contenant, sous forme hiérarchisée, l'ensemble des informations stratégiques des PDE (Diagnostic/plan d'action)

⁴ AQUARISC rassemble des documents et des informations relatives aux sinistres d'inondations et épisodes d'étiages au Québec. Le territoire couvert est compris entre Montréal et Lévis, dans les bassins versants de la rive sud du fleuve Saint-Laurent. La base de données AQUARISC s'est terminée en 2018, mais aucun étiage n'y a été recensé après 2012. De plus, puisque les recherches pour AQUARISC étaient concentrées sur les inondations, des événements d'étiages sont possiblement passés sous le radar durant la période couverte par cette base de données.

- 4) La démarche de *Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte climatique* (RADEAU 1 et 2) (Groupe AGÉCO, 2020)
- 5) Autres études et rapports pertinents, incluant la documentation partagée par Ouranos et les membres du comité de suivi du projet.

La synthèse des informations recueillies dans la revue de la documentation est présentée dans les chapitres 5, 6 et 7 du présent rapport. Une liste des principaux événements d'étiages identifiés est également présentée à l'annexe C.

4.3 CONSULTATIONS

4.3.1 Questionnaire sur les épisodes de manque d'eau sévères

Afin de compléter l'information recueillie dans la documentation sur les épisodes de manque d'eau sévères et leurs conséquences, un questionnaire a été transmis aux 40 OBV et aux 12 comités ZIP présents au Québec. Ce questionnaire avait pour objectif d'identifier les épisodes de manque d'eau sévères (eaux de surface et eaux souterraines) ayant occasionné des conséquences sur les usages anthropiques, le bien-être des populations et les écosystèmes naturels et de documenter ces conséquences.

Le ROBVQ a transmis les questionnaires aux OBV et Stratégies Saint-Laurent a pris en charge l'envoi aux comités ZIP. Au total, 20 questionnaires provenant de 19 OBV, et d'un comité ZIP ont été remplis et transmis à l'équipe de projet. Il ne nous a pas été possible de déterminer si le faible retour de questionnaires des comités ZIP est dû à un manque de ressources ou l'absence d'épisodes répertoriés.

Neuf (9) OBV n'ont pas retourné le questionnaire rempli en raison de l'absence d'évènement documenté associé à un manque d'eau sévère identifié sur leur territoire et neuf (9) OBV n'ont pas été en mesure de retourner un questionnaire complété en raison d'un manque de temps ou de ressources au sein de leur organisation (5) ou pour d'autres raisons liées à leur contexte particulier (4). Finalement, les échanges avec trois (3) OBV sont demeurés sans réponses.

Les faits saillants tirés de l'analyse des questionnaires reçus sont présentés dans les chapitres 5, 6 et 7 ainsi qu'à l'annexe D.

4.3.2 Entretiens

Plus d'une dizaine d'entretiens avec des intervenants et experts ont également été réalisés au printemps 2023 afin de compléter l'information recueillie dans la revue de la documentation et les questionnaires. L'équipe de projet s'est notamment entretenue avec des professionnels du MAPAQ, des chercheurs en hydrologie et spécialistes du secteur privé, des chercheurs en santé publique, des agronomes, et des représentants de MRC. Ces entretiens ont permis d'approfondir certains thèmes en particulier, dont la description des impacts des épisodes d'étiages et de sécheresse sur le secteur agricole et la santé publique, ainsi que sur les effets potentiels sur la qualité de l'eau et la distribution des espèces de poisson. Ils ont aussi permis de faire des ponts avec d'autres projets de recherche similaires en cours ou à venir.

4.4 DÉVELOPPEMENT DE TRAMES NARRATIVES ET PROJECTION DES CONSÉQUENCES ATTENDUES

L'approche de scénarisation adoptée est une approche de type événementielle qui cherche à développer des scénarios d'événements de manque d'eau sévères en climat futur qui s'inscrivent dans un contexte socioéconomique et hydroclimatique spécifique. Au contraire des approches probabilistes souvent utilisées pour ce genre d'étude, nous cherchons plutôt à bâtir des trames narratives d'événements extrêmes de déficits sévères qui sont crédibles et basées sur l'information terrain et sur les données des modèles hydroclimatiques, mais qui font fi de la probabilité d'occurrence de ces événements. Ainsi, le travail de scénarisation ne vise pas à explorer l'impact des changements climatiques futurs à l'aide d'ensembles multimodèles et à travers la probabilité que certains changements aient lieu (« augmentation probable », « peu probable », etc.), mais à se positionner dans un événement bien précis et en explorer les conséquences. Ainsi, le but premier de ces trames narratives est de refléter les conditions hydroclimatiques les plus aiguës conduisant à des déficits en eau sévères que pourrait subir le Québec au cours des prochaines décennies au sein du territoire d'étude (voir section 2).

Cette approche a été retenue afin d'offrir un cadre de projection et de caractérisation des conséquences que le Québec pourrait subir lors d'événements de manque d'eau très sévères, dont l'amplitude n'a encore jamais été vécue sur le territoire d'étude, en se basant sur les conséquences vécues lors des pires étages des dernières années. Le travail de scénarisation a été construit en suivant trois grandes étapes : la scénarisation hydroclimatique, la scénarisation socioéconomique et la projection des conséquences attendues.

4.4.1 Scénarisation hydrologique

Les détails pour la scénarisation hydrologique et la caractérisation des étages sont présentés dans le chapitre 3 et à l'annexe A.

L'approche de type événementielle utilisée pour ce projet demande d'identifier des événements historiques extrêmes, de les caractériser, puis de les projeter dans un climat futur. Pour ce projet, les « étages historiques extrêmes » ont été établis sur la base de l'année hydrologique (décembre à novembre), mais avec une emphase sur l'été et l'automne. Les impacts cumulés provenant d'une succession d'années de sécheresse n'ont pas été considérés dans le projet, puisqu'ils auraient amené une trop grande complexité par rapport à ce qui était possible d'accomplir dans le projet.

La recherche des événements historiques et futurs d'intérêt pour le projet a été réalisée en grande partie grâce à la réanalyse ERA5-Land (climat historique), à ClimEx (climat futur), au Portrait hydrologique (débits historiques) et aux simulations de l'édition 2022 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (débits simulés), au travers d'indicateurs tels que le **SPEI** permettant de caractériser les épisodes de sécheresse. La nature normalisée de cet indicateur a permis d'identifier une liste d'années où des événements simulés similaires aux étages d'intérêt (tel que l'année 2021) ont eu lieu, autant en période historique qu'en période future, selon une comparaison des SPEI produits. Ces événements simulés ont été nommés « analogues ». Les analogues futurs ayant lieu dans un climat encore plus chaud et sec, il devient possible d'utiliser

les changements projetés par rapport aux analogues historiques pour extrapoler comment l'étiage réel pourrait changer s'il se reproduisait dans le futur.

Concrètement, plusieurs indicateurs hydroclimatiques pertinents ont été calculés par Ouranos sur les données réelles et sur les analogues, puis la différence entre les analogues futurs et historique a été utilisé pour modifier et extrapoler l'évènement réel dans un climat futur. Les indicateurs retenus pour décrire les étiages historiques et futurs sont :

1. Le nombre de jours sous le débit réservé écologique ($Q_{2,7}$), qui a été utilisé à la fois pour tenter d'extrapoler les impacts de l'étiage sur les systèmes écologiques, mais également sur les prélèvements en eau. À quelques occasions, le nombre de jours sous le $Q_{10,7}$ a également été utilisé pour quantifier la sévérité des étiages, puisque cet indicateur a été identifié comme décrivant une situation de crise par Zeestraten (2012).
2. Le débit minimal moyenné sur 7 jours ($Q_{min,7}$), pour tenter de qualifier la sévérité maximale de l'étiage et la pression sur la ressource en eau. Cela a également été utilisé pour adapter la méthodologie du projet RADEAU pour l'analyse d'évènements spécifiques dans ce projet (voir Annexe E pour plus de détails).
3. Le pourcentage des précipitations et des débits moyens mensuels par rapport à la climatologie 1992-2021, pour le calcul des seuils d'alerte selon la méthodologie ontarienne (voir Annexe E pour plus de détails).
4. La durée de la saison estivale. Il n'existe à notre connaissance aucun indicateur standard pour ce concept, surtout puisqu'on le voulait relatif à l'hydrologie plutôt qu'au climat. Pour les fins du projet, cela a été défini comme la période de l'année pendant laquelle les débits se trouvent pendant au moins 7 jours consécutifs sous 15 % des débits moyens annuels, mais bornés par le $Q_{2,7}$. En pratique, cela représente la longueur de la période entre la fin de la crue printanière et la hausse des débits qui survient typiquement vers le milieu de l'automne :

$$Q_{seuil} = \bar{Q}_{AN} - 0.85 (\bar{Q}_{AN} - Q_{2,7})$$

4.4.2 Scénarisation socioéconomique

La scénarisation socioéconomique vise un double objectif. D'une part, elle sert à projeter les paramètres socioéconomiques exerçant une influence sur les besoins en eau (essentiellement projeter la demande en eau selon différents horizons de projection). D'autre part, la scénarisation socioéconomique permet de comprendre et d'imaginer le contexte socioéconomique dans lequel adviendront les évènements de manques d'eau sévères dans le futur, ce qui vient poser un éclairage sur les conséquences en cascade découlant des impacts sur les usages et les écosystèmes.

D'un point de vue méthodologique, certaines études (pensons notamment à RADEAU) ont déjà conduit un exercice de scénarisation similaire. Nous avons ainsi essentiellement récupéré ces données et reconstitué un scénario socioéconomique plausible pour les horizons de projection de nos scénarios. Des ajustements ont été faits afin de recalculer l'évolution de la population pour tenir compte des nouvelles projections démographiques de l'ISQ (Institut de la statistique, 2022), et pour ramener les horizons de projection à des années cohérentes avec les scénarios hydroclimatiques. Les différents scénarios développés dans RADEAU pour chacun des grands secteurs d'usagers ont également été sélectionné stratégiquement afin de bâtir une scénarisation

socioéconomique plausible qui influencent ensuite les paramètres liés aux usages de l'eau, comme le nombre de consommateurs, les consommations unitaires, etc.

Le croisement des scénarios hydroclimatiques et du scénario socioéconomique permet de définir quatre « trames narratives » qui racontent essentiellement une histoire plausible d'un événement de manque d'eau dans son contexte hydroclimatique et socioéconomique. Ces trames narratives servent ensuite à projeter les conséquences attendues lors d'un événement de manque d'eau sur le territoire québécois. Ces quatre trames sont les suivantes :

- 1) Scénario +1,5°C (2035)
- 2) Scénario +2°C (2045)
- 3) Scénario + 3°C (2065)
- 4) Scénario + 4°C (après 2080)

Les degrés de réchauffement font référence à l'augmentation globale des températures depuis l'ère préindustrielle (période de référence 1850-1900) et sont centré sur l'année médiane à laquelle on peut s'attendre à ce que le climat se soit réchauffé à ce niveau.

Afin de garder des scénarios suffisamment différents entre eux, plausibles et à des horizons de projection pertinents pour la planification de l'adaptation, 2 scénarios ont été retenus : +2°C (2045) et + 3°C (2065). Le scénario +1,5°C a été évacué puisqu'il est très similaire à ce qui a été vécu en 2021, alors que le scénario + 4°C impose un horizon de projection très lointain (au-delà de 2080), où la cohérence des hypothèses de projections des conséquences est difficile à garantir.

4.4.3 Projection des conséquences attendues

Le travail d'identification, de projection et de caractérisation des conséquences sur les usages anthropiques s'appuie sur une approche sectorielle qui comprend trois étapes. La première étape consiste à bâtir une « demande en eau » théorique qui s'appuie sur une extrapolation des besoins actuels ajustés pour 1) l'évolution attendue dans le contexte socioéconomique et 2) le contexte hydroclimatique dans lequel les trames narratives s'inscrivent.

La seconde étape vise à comparer la quantité d'eau demandée à la quantité d'eau disponible pour les eaux de surface (débits de prélèvement versus débits d'étiage) et pour les eaux souterraines (débits de prélèvements versus capacité de recharge). Ce travail permet de mesurer un indice de pression sur la ressource lors d'évènements vécus, une analyse qui n'a jamais été réalisée dans le passé et qui offre une appréciation du rôle primordial de l'accès à la ressource en période de déficit sévère. Le calcul de l'indice de pression ne permet toutefois pas de connaître quelles conséquences se matérialiseront.

Ainsi, à cet exercice s'ajoute la possibilité que même si les prélèvements anticipés ne sont pas à priori un enjeu quant à la disponibilité à la source, il peut exister d'autres facteurs pouvant mener à des manques d'eau, comme les enjeux opérationnels liés aux infrastructures (par exemple une prise d'eau émergée en raison d'un niveau trop bas du cours d'eau). Les étiages sévères peuvent également soulever divers enjeux en provoquant une diminution de la qualité de l'eau ou une variation de la température de l'eau sur des usages avec ou sans prélèvement.

Lors de la troisième étape, les conséquences sont projetées à partir des informations et données disponibles issues de la littérature et des consultations sur les épisodes de manques d'eau passés. Cet exercice utilise une approche par seuils hydroclimatiques, croisés avec les caractéristiques de la région qui est affectée. Ces seuils hydroclimatiques définissent 4 niveaux d'alerte à partir des débits et des précipitations projetés dans le scénario.

Pour ce faire, les données issues du questionnaire ont été croisées avec les données historiques du climat afin de déterminer à quel seuil hydroclimatique, et dans quel contexte socioéconomique, les conséquences répertoriées sur le territoire se manifestent sur les usages. À titre d'exemple, l'augmentation des coûts de traitement de l'eau potable a été documentée à partir du niveau d'alerte 1, et seulement dans des municipalités s'approvisionnant à partir des eaux de surface.

L'intérêt de cette approche est de nous permettre d'extrapoler des conséquences vécues dans certaines régions ayant été particulièrement affectées dans le passé à l'ensemble du territoire d'étude, sous la condition que ces régions se retrouvent dans un contexte hydroclimatique et socioéconomique équivalent. Malgré l'absence d'une couverture globale et d'une compréhension des contextes opérationnels particuliers, cette approche informe sur les conséquences potentielles pouvant se matérialiser dans les trames narratives explorées. L'essence de cette approche est d'anticiper comment, lors d'un événement de manque d'eau sévère et de large amplitude, les usages pourraient être restreints en raison du contexte hydroclimatique, et comment cela alimenterait la cascade de conséquences qui en découlerait.

Nous considérons 4 niveaux d'alerte du contexte hydroclimatique définis en fonction des conditions de précipitations et de débits en rivière (tableau 4-1). Les deux critères (précipitations et débits) doivent être atteints afin de déclencher un niveau d'alerte. Cette approche est calquée sur le système d'alerte Ontarien (voir Gouvernement of Ontario, 2010).

Tableau 4-1. Niveau d'alerte du contexte hydroclimatique des événements de déficits en eau

Niveau d'alerte	Contexte hydroclimatique	
	Précipitations	Débits
Niveau 0	Au-delà de 80 % de la moyenne historique en été	Débit mensuel supérieur à 70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 1	Moyenne des 3 derniers mois < 80 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 2	Moyenne des 3 derniers mois < 60 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 40 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 3	Moyenne des 3 derniers mois < 40 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 30 % du plus faible débit mensuel en été

La présente étude a démontré à maintes reprises l'absence de données permettant de bien documenter les conséquences des périodes d'étiage sur les écosystèmes et leurs composantes comme expliquées aux sections 5 et 9.1.1. Ce manque de données rendrait hasardeux de développer une grille d'analyse objective pour hiérarchiser les conséquences sur les écosystèmes.

La section 8.3 identifie tout de même les groupes de conséquences les plus préoccupantes pour les écosystèmes.

À chacun de ces niveaux d'alerte, nous avons associé les conséquences vécues sur le territoire lors des événements passés. Ainsi, nous sommes en mesure d'associer un niveau d'alerte à une série de conséquences vécues et d'extrapoler cette association sur les autres régions n'ayant pas connu de contexte hydroclimatique aussi sévère. À partir des données passées, nous avons pu identifier 29 conséquences sur les différents usages qui se concrétisent ou non en fonction du niveau d'alerte et des caractéristiques de la région. Voir l'annexe E pour le détail de la méthodologie d'extrapolation des conséquences.

4.5 CARACTÉRISATION DES CONSÉQUENCES

L'aboutissement du travail d'identification et de projection des conséquences au sein des trames narratives vise à faire ressortir les 5 à 10 conséquences les plus importantes découlant des déficits en eau futurs. Pour ce faire, un cadre de caractérisation permet de poser un jugement sur le niveau de « gravité de la conséquence » et ainsi identifier celles qui s'avèrent les plus graves selon un certain nombre de critères pour l'ensemble du territoire québécois à l'étude.

La gravité se définit en fonction d'une combinaison de paramètres qui traduisent à la fois la nature de la conséquence, le contexte socioéconomique dans lequel elles se produisent, les anticipations de conséquences en cascade, etc. Nous appliquons ce cadre d'évaluation au niveau des conséquences sur les usages anthropiques seulement. La lentille d'analyse permet toutefois de considérer les conséquences sur le bien-être des populations à court et moyen terme.

La gravité de la conséquence sur les usages étudiés se définit de la manière suivante :

1. Gravité de la conséquence = Intensité de la conséquence X Contexte socioéconomique

L'intensité de la conséquence est définie comme la combinaison de la persistance de la conséquence, le niveau de confiance dans la projection, le risque de matérialisation de l'impact, le niveau de priorité de l'usage concerné et le potentiel d'effet en cascade (sur la santé, le bien-être, l'emploi, la cohésion sociale).

Le contexte socioéconomique est défini comme le % de la population touchée, le nombre de zones de gestion intégrée de l'eau par bassin versant (ZGIEBV) touchées, l'indice de vitalité économique de la région (moyenne sur le territoire). Voir le chapitre 8 pour le détail de la grille d'évaluation.

5. CONSÉQUENCES DES ÉTIAGES SÉVÈRES SUR LES SERVICES DE SUPPORT ET DE RÉGULATION DES ÉCOSYSTÈMES

Cette section intègre des informations issues de la revue de littérature, des réponses au questionnaire transmis aux OBV et des échanges avec des experts.

EN BREF

- La compréhension des conséquences des épisodes d'étiage sur l'ensemble des écosystèmes ne fait pas encore l'objet d'études quantitatives.
- Les épisodes d'étiages peuvent entraîner des modifications des paramètres physico-chimiques de l'eau, tels qu'une réduction de l'O₂, une variation du pH naturel des cours d'eau, une augmentation des températures, de l'**eutrophisation**, etc.
- Ces perturbations ont comme principale conséquence de réduire la qualité de l'eau et de modifier l'habitat du poisson.
- Les modifications de l'habitat des poissons fragilisent plusieurs étapes clés de leur cycle de vie, dont la reproduction, l'**alevinage**, l'alimentation et les déplacements.
- Outre la baisse de la qualité de l'eau et les conséquences sur l'habitat du poisson, les étiages contribuent notamment à la propagation d'espèces floristiques exotiques envahissantes (**EFEE**), la baisse de diversité de la **végétation indigène** et à la dégradation des milieux humides.
- La dégradation des milieux humides et hydriques mène à une perte de la valeur des services de support et de régulation de ces écosystèmes.

Les manques d'eau sévères qui affectent les plans d'eau et les rivières du Québec ainsi que le fleuve Saint-Laurent sont susceptibles de toucher à une multitude de composantes écosystémiques. Une même composante peut être affectée de bien des manières et subir des conséquences diverses et croisées découlant d'une période de manque d'eau sévère. Par ailleurs, l'impact d'un épisode de manque d'eau sévère sur la santé d'un écosystème varie selon la période de l'année durant laquelle l'étiage se produit, en plus de sa sévérité, sa durée, sa récurrence intra et interannuelle, pour ne citer que ces exemples.

Comme expliqué à la section 2, la recherche d'information sur les conséquences qui affectent les écosystèmes et leurs composantes s'est concentrée sur les cours d'eau et sur le fleuve afin de s'arrimer avec les objectifs du projet. Les éléments d'information présentés dans les sections suivantes visent donc principalement à documenter les conséquences qui affectent ces deux grandes composantes du milieu hydrique. Dans certains cas, les conséquences sur les plans d'eau sont toutefois décrites, mais avec un niveau de détails moindre.

Les études consultées ne présentent pas de mesures quantitatives ou de modélisation permettant de documenter précisément les conséquences de l'augmentation de la température selon des scénarios +1.5°C, +2°C ou +3°C, à l'exception d'un seul article (Desgranges et al., 2006), qui met

en relation la hauteur d'eau et la reproduction de quelques espèces d'oiseaux aquatiques. Les autres études décrivent de manière qualitative les conséquences des périodes d'étiage.

Le manque de données sur les conséquences des périodes d'étiage découle notamment du fait que les études réalisées visent, avant tout, à documenter les conséquences des étiages sur l'utilisation anthropique ou encore la compréhension des impacts associés aux risques d'inondations (Kovach et al., 2019). Par ailleurs, toujours selon cette source, il y a souvent une non-concordance géographique entre les données géographiques et les données disponibles sur le milieu biologique et le milieu physique. Les composantes du milieu physique sont bien décrites pour certains cours d'eau, mais insuffisamment pour le milieu biologique, ou vice-versa. Ceci est causé, encore une fois, par des divergences sur les objectifs à atteindre lors de ces études. Finalement, lorsque les données sur les milieux physiques et biologiques sont récoltées pour un même cours d'eau, elles documentent rarement le milieu avant et après les périodes de sécheresse qui conduisent aux étiages. Le calcul des débits réservés n'a pas été utilisé, ceux-ci nécessitant une mise à jour dans le contexte des changements climatiques.

Au total, des conséquences pour six grandes composantes des écosystèmes ont été documentées de manière qualitative :

- La qualité de l'eau et l'eutrophisation ;
- La végétation et les milieux humides ;
- Les poissons d'eau douce et leur habitat ;
- Le saumon atlantique et son habitat ;
- La **chaîne trophique** ;
- Les oiseaux aquatiques.

Comme les oiseaux aquatiques semblent, de manière générale, peu affectés par les périodes d'étiage sévères, les éléments d'information relatifs à cette composante sont présentés à l'annexe B. Les sections suivantes présentent les cinq composantes retenues en intégrant les informations issues de la revue de littérature ainsi que les réponses au questionnaire transmis aux OBV.

Deux tableaux synthèse, l'un présentant les conséquences observées par les OBV (tableau D-11) et l'autre présentant une synthèse des principales conséquences (listées ci-dessous) par composantes des écosystèmes (tableau 5-1) sont disponibles à la fin de cette section et à l'annexe D.

5.1 QUALITÉ DE L'EAU

Les épisodes d'étiages sévères contribuent indirectement à diminuer la qualité de l'eau en augmentant la concentration de certains polluants et en amplifiant les processus d'eutrophisation et les déséquilibres dans la chaîne trophique (Jeppesen et al., 2015; Zohary & Ostrovsky, 2011). Tous ces facteurs sont interreliés et peuvent être accentués par un faible niveau d'eau. Par exemple, l'eutrophisation causée par les activités humaines et les changements climatiques peut être exacerbée par les épisodes d'étiage, ce qui contribue davantage à créer des déséquilibres au sein de la chaîne trophique. La diminution du niveau de l'eau et l'augmentation de l'évaporation des cours d'eau peuvent également augmenter les concentrations de contaminants dans le milieu hydrique (Dormoy-Boulanger, 2021; Zohary & Ostrovsky, 2011). L'interaction entre ces facteurs peut également contribuer à augmenter la contamination microbiologique des cours d'eau.

Neuf OBV ont noté des conséquences sur les écosystèmes ou leurs composantes. De ce nombre, sept traitent de la baisse de la qualité de l'eau dans leurs réponses au questionnaire (voir tableau D-11). Parmi ces conséquences, on retrouve la pollution accentuée des cours d'eau, la contamination microbiologique et/ou la contamination chimique des cours d'eau.

5.1.1 Eutrophisation

L'eutrophisation est un processus naturel déclenché par une augmentation de la concentration en nutriments (principalement le phosphore et l'azote) dans l'eau à travers le temps, donnant lieu à une modification des paramètres physico-chimiques du milieu aquatique et à des déséquilibres dans la chaîne trophique (MELCCFP, 2023d). Ce phénomène est accéléré par les activités humaines, les changements climatiques et l'augmentation de la température de l'eau qui peuvent découler d'une augmentation de la température de l'air et d'une diminution des volumes d'eau qui circulent dans les cours d'eau en période d'étiage. Les fluctuations importantes du niveau de l'eau, entre autres, liées aux changements climatiques peuvent générer ou amplifier les processus d'eutrophisation, via la remise en circulation des sédiments lors d'épisodes de précipitations importantes, et via l'augmentation de la concentration des nutriments (azote et phosphore) dans l'eau lors d'épisodes d'étiages subséquents (Dormoy-Boulanger, 2021; Zohary & Ostrovsky, 2011).

Une charge trop élevée en nutriments dans un milieu aquatique entraîne une augmentation de la production primaire. Il s'ensuit alors une accumulation de sédiments et de matière organique en suspension (provenant de la décomposition de l'importante biomasse d'algues et de plantes aquatiques), ce qui accroît le niveau de turbidité de l'eau, la rendant plus opaque. La diminution du niveau de transparence de l'eau sert d'indicateur du niveau d'eutrophisation et a comme conséquence de limiter la pénétration de la lumière à travers la colonne d'eau (MELCCFP, 2023d). L'accumulation de matière organique dans l'eau amplifie également les processus de décomposition par les microorganismes, qui nécessitent l'utilisation de l'oxygène dissout, créant des conditions d'**hypoxie** ou d'**anoxie** dans l'eau (MELCCFP, 2023d).

L'eutrophisation est un processus largement documenté dans les lacs, contrairement aux rivières. Cependant, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'une augmentation de cas d'eutrophisation dans les lacs pourrait affecter la qualité de l'eau des rivières. En effet, les **floraisons d'algues**

toxiques, un phénomène souvent déclenché par l'eutrophisation des plans d'eau, peuvent être transportées vers les cours d'eau.

Deux des OBV ayant répondu au questionnaire (COBAVER-VS et ONBNEBSL) indiquent avoir observé de l'eutrophisation dans les lacs de leur territoire, dans le cadre de quatre épisodes (tableau D-11).

5.1.2 Floraisons d'algues toxiques

La prolifération de certaines cyanobactéries toxiques, telle que *Lyngbya wollei*, a tendance à être inversement corrélée à l'abondance de plantes aquatiques et d'algues (C. Hudon et al., 2016). Ceci s'explique par le fait que les herbiers de plantes aquatiques sont des habitats essentiels aux communautés de zooplancton, principaux prédateurs du phytoplancton (Bertrand, 2016). Les variations du niveau de l'eau, entre autres, liées aux changements climatiques peuvent nuire aux plantes aquatiques, entraînant un déséquilibre dans la chaîne trophique via un déclin des populations de zooplancton. En leur absence, on observe une plus grande proportion d'algues microscopiques (phytoplancton), ce qui peut mener à des floraisons d'algues toxiques telles que des cyanobactéries et diminuer ainsi la qualité de l'eau (Jeppesen et al., 2015; Zohary & Ostrovsky, 2011). De plus, les conditions d'**anoxie** dans l'eau liées aux changements climatiques et à l'eutrophisation favorisent l'apparition d'efflorescences d'algues (Zohary & Ostrovsky, 2011).

Tout comme le phénomène d'eutrophisation, les efflorescences d'algues toxiques dans les rivières sont très peu documentées comparativement aux efflorescences en milieu lacustre. Outre le transport de floraisons d'algues des lacs vers les cours d'eau mentionné plus tôt, des floraisons d'algues dans les cours d'eau pourraient être favorisées par un faible débit (I. Lavoie et al., 2007). Selon le mémoire de Dormoy-Boulanger (2021), les floraisons d'algues toxiques dans les rivières sont généralement déclenchées par des épisodes de fortes pluies (remise en circulation des sédiments et apport élevé de nutriments) suivis d'épisodes d'étiages sévères et de températures élevées de l'eau (Figure 5-1). Certains polluants (pesticides tel que le glyphosate) peuvent également déclencher ou amplifier ces floraisons (Dormoy-Boulanger, 2021).

Les cyanobactéries responsables de la plupart des efflorescences d'algues au Québec ont la capacité de produire une grande variété de toxines, dont des neurotoxines et des hépatotoxines. La quantité de toxines produites varie selon certaines variables environnementales comme la lumière, la température et la concentration en nutriments dans l'eau. Une biomasse élevée de la population de cyanobactéries planctoniques (donc en présence de peu de prédateurs), ainsi qu'un faible débit dans les rivières combiné à une hausse des températures, favorisent la production de toxines (C. Hudon et al., 2016; Lévesque et al., 2015). Ces toxines peuvent poser un risque pour la santé humaine et pour la faune et peuvent rendre l'eau impropre à la consommation (C. Hudon et al., 2016).

Tel que mentionné précédemment, deux des OBV ayant répondu au sondage indiquent l'observation d'eutrophisation (voir tableau D-11).

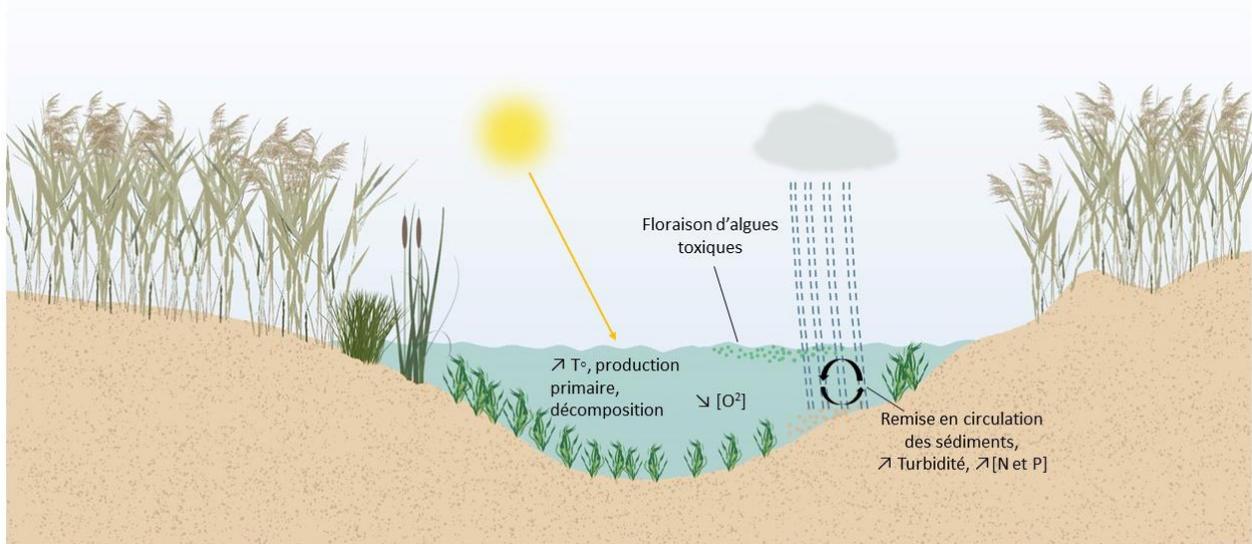


Figure 5-1. Altération de la qualité de l'eau

La figure 5-1 illustre de manière générale les effets des changements climatiques et de la baisse du niveau de l'eau sur la qualité de l'eau des cours d'eau et des plans d'eau. L'augmentation de la température de l'air causée par les changements climatiques mène à une augmentation de la température de l'eau, qui est elle-même amplifiée par la baisse du niveau de l'eau. Un bas niveau d'eau dans les cours d'eau favorise également la remise en circulation des sédiments dans la colonne d'eau lors d'épisodes de fortes précipitations, ce qui augmente le niveau de turbidité de l'eau. La concentration de certains contaminants ou nutriments peut également augmenter, ce qui favorise l'eutrophisation. La modification de tous ces paramètres physico-chimiques favorise les floraisons d'algues toxiques, telles que les cyanobactéries et accélère le phénomène d'eutrophisation.

5.2 VÉGÉTATION ET MILIEUX HUMIDES

5.2.1 Modification du couvert végétal

Les variations hydrologiques liées aux changements climatiques exercent une influence considérable sur la distribution, la richesse et l'abondance des communautés végétales indigènes associées à certains types de milieux humides (Desgranges et al., 2006). Ces contraintes peuvent modifier l'emplacement, la présence ou l'absence d'espèces végétales indigènes dans un écosystème donné en augmentant la compétition entre les espèces (**compétition interspécifique**) (Tougas-Tellier, 2013). À la suite d'une perturbation hydrique, des espèces mieux adaptées aux variations hydrologiques ont un meilleur succès et colonisent plus facilement le milieu (Christiane Hudon, 2004). Par exemple, lors d'épisodes prolongés de bas niveau d'eau, les **espèces végétales émergentes** prolifèrent au détriment des **espèces végétales submergées** (Boyer et al., 2010; C. Dubois, 2019).

La **plasticité phénotypique**, ou la capacité d'adapter l'expression de sa croissance ou de sa morphologie selon les contraintes environnementales, est une des caractéristiques présentes chez certaines espèces végétales permettant l'adaptation à différentes conditions hydrologiques. La sagittaire à larges feuilles (*Sagittaria latifolia*) est un exemple de plante dont le phénotype (caractères observables) exprimé lors de la croissance varie en fonction du niveau de l'eau, car elle possède trois formes de feuilles spécialisées (submergée, flottante et érigée) (C. Dubois, 2019). Ainsi, les plantes avec une plus grande plasticité pourront mieux s'adapter et survivre, au détriment des autres.

Deux OBV ont constaté une baisse de diversité des espèces indigènes (voir tableau D-11). L'un deux (COBAMIL) précise que plusieurs zones auparavant recouvertes de plantes aquatiques ont été exondées lors de l'étiage du Lac des Deux-Montagnes en 2021, conduisant ainsi à la mortalité de plants.

5.2.2 Perturbation des milieux humides

Au Québec, la réduction du niveau d'eau des cours d'eau, le raccourcissement ou le décalage des périodes de crues, l'augmentation des températures moyennes et de l'**évapotranspiration**, la plus grande variabilité des précipitations et la réduction de la période de gel sont tous des facteurs contribuant à l'assèchement des milieux humides, rendant ces derniers plus vulnérables au cours des prochaines décennies (Lambert, 2011). La baisse du niveau de la nappe, le drainage de surface et souterrain ainsi que le pompage contribuent également à l'assèchement de ces milieux. Dans les milieux humides du lac Saint-Pierre, des fluctuations (inondations et étiages sévères en été) de plus en plus importantes du niveau de l'eau sont déjà observées régulièrement, menant à des modifications de l'abondance et de la richesse de la faune et la flore (Gentès, 2009). Par exemple, d'anciennes plaines inondables maintenant asséchées voient les végétaux aquatiques ou obligatoires (OBL) des milieux humides qui y sont présents être remplacés par des **espèces végétales facultatives** (FACH) des milieux humides (Gentès, 2009).

L'assèchement des milieux humides a plusieurs conséquences puisque ces écosystèmes contribuent à notre résilience face aux changements climatiques et procurent de nombreux services écosystémiques, dont la filtration de l'eau, l'atténuation des inondations, la régularisation des débits des rivières, l'absorption du CO₂ de l'atmosphère par les plantes et la diminution du niveau d'érosion des rives (Lambert, 2011; MELCCFP, 2023a). Par exemple, la capacité de rétention d'eau des tourbières peut être réduite lors de périodes de sécheresse, puisqu'en devenant plus hydrophobe, la tourbe perd son rôle de filtration de l'eau et d'atténuation des inondations (Acreman & Holden, 2013). Pour ce qui est de l'absorption du CO₂, une augmentation du rythme de décomposition de la matière organique dans les milieux humides pourrait être causée par une baisse de la nappe phréatique et de la quantité d'eau dans le milieu. L'assèchement de ces milieux mènerait donc à une augmentation de la libération de CO₂ dans l'atmosphère (Garneau & Van Bellen, 2016).

Quatre OBV rapportent la dégradation de milieux humides (voir tableau D-11) lors des épisodes d'étiage sévères recensés. Peu d'information est cependant fournie pour comprendre comment cette dégradation s'est manifestée.

5.2.3 Propagation d'EFEE

Les milieux humides perturbés par les variations hydrologiques sont également plus sensibles à l'invasion et à la propagation d'espèces floristiques exotiques envahissantes (EFEE). Il a d'ailleurs été démontré que dans les milieux humides du lac Saint-Pierre, la proportion d'espèces introduites est plus importante sur les sites présentant un bas niveau d'eau (Boyer et al., 2010; C. Dubois, 2019). Certaines EFEE comme le roseau commun amplifient ce phénomène en contribuant à l'assèchement des sols. L'augmentation des températures liées aux changements climatiques risque également de contribuer à l'expansion de l'habitat des populations d'EFEE vers le nord et en altitude (Tardif, 2019).

À long terme, les périodes de manque d'eau sévères, la modification du couvert végétal indigène et la propagation d'EFEE peuvent transformer les milieux humides en modifiant la composition des communautés de plantes qui y sont présentes, ainsi que la superficie et la distribution de ces écosystèmes (figures 5-2, 5-3 et 5-4) (Boyer et al., 2010; Desgranges et al., 2006).

Deux OBV mentionnent cette conséquence (voir Tableau D-11). Dans un cas, l'apparition d'une EFEE aurait été causée par la baisse du niveau de l'eau et le remplacement d'une espèce facultative des milieux humides, le foin d'odeur (*Hierochloa odorata*), par une espèce non indicatrice des milieux humides, mais, qui dans les faits, ne constitue pas une EFEE, la carotte sauvage (*Daucus carota*).

5.3 POISSONS D'EAU DOUCE ET HABITAT DU POISSON

La diminution du débit des rivières, la baisse du niveau de l'eau, le décalage des crues dans le temps et la hausse des températures de l'air, de l'eau de surface et souterraine sont tous des facteurs pouvant affecter l'habitat et le **succès reproducteur** des populations de poissons d'eau douce (Christiane Hudon et al., 2010; Mejia et al., 2023; Plourde-Lavoie et al., 2017). Ces variables sont en constante interaction avec plusieurs caractéristiques de l'habitat et de la physiologie des poissons (métabolisme, besoins en oxygène, compétition entre les espèces, pathogènes, stratification thermique des plans d'eau, évapotranspiration, etc.). La grande quantité de variables et d'interactions à prendre en compte rend l'extrapolation quantitative des réponses des poissons aux changements climatiques très complexe (Ficke et al., 2007; Reist et al., 2006).

Plusieurs OBV rapportent des événements ayant entraîné des conséquences sur la santé des populations des poissons d'eau douce et sur son habitat (voir Tableau D-11). L'OBV Yamaska rapporte notamment un événement d'étiage en 2016 à l'origine d'une diminution très sévère de taille de la population de poissons et une limitation importante à leurs déplacements : « *Des milliers de poissons retrouvés morts, probablement par déficit d'oxygène ou contamination microorganique. L'enquête qui a suivi la catastrophe écologique montre que 80 % des poissons qui ont survécu présentent des anomalies causées par la dégradation de la rivière.* » Les réponses au sondage réalisé par cet OBV n'indiquent cependant pas de quelle façon l'enquête s'est déroulée. Toujours selon cet OBV, un déversement d'eau usée contenant entre autres des graisses, huiles, matières organiques et des microorganismes, serait à l'origine de la dégradation de la qualité de l'eau ayant possiblement causé cet épisode de mortalité de poissons.

Quelques OBV fournissent des exemples concrets de conflits entre les usages anthropiques et les impacts sur les écosystèmes ou leurs composantes. En 2016, afin de permettre d'augmenter le niveau du bassin utilisé pour la navigation de plaisance, bien que cette pratique ne soit pas légale, l'eau a été retenue pendant quelques jours au barrage de la chute Hemmins à Drummondville, dans le Centre-du-Québec (Selon l'OBV COPERNIC). Pendant cette retenue, la portion aval de la rivière Saint-François a été asséchée, et ce, durant la période de reproduction de diverses espèces de poissons, dont l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) qui fraie au pied du barrage. L'impact réel de cette retenue sur le succès reproducteur de l'esturgeon n'est pas documenté. En 2021, le long de la rivière Chaloupe dans Lanaudière, des agriculteurs ont installé huit pompes et détourné un ruisseau pour créer un bassin de rétention, selon l'OBV Zone Bayonne. Cet événement a causé la disparition de l'écrevisse, de grenouilles et de **frayère** de meunier noir. La réponse fournie par cet OBV ne précise pas l'étendue géographique où ces impacts se sont manifestés.

5.3.1 Températures optimales

Les espèces de poissons d'eau douce au Québec peuvent être classées en trois catégories: les poissons d'eau chaude, d'eau fraîche et d'eau froide. Les seuils limites de températures, ainsi que les intervalles de températures optimales sont spécifiques à chaque espèce. Toutefois, on peut caractériser de manière générale les intervalles de températures pour chaque groupe de poisson.

D'abord, les poissons d'eau froide, comme le saumon atlantique (*Salmo salar*), l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) et l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) préfèrent généralement des températures se situant de 10,0 à 15,5°C.

Ensuite, les poissons d'eau fraîche, tels que le grand brochet (*Esox lucius*), la perchaude (*Perca flavescens*), le doré jaune (*Sander vitreus*), le doré noir (*Sander canadensis*) et le bar rayé (*Morone saxatilis*), préfèrent des intervalles de températures entre 15,5 à 21,0°C.

Finalement, les intervalles de températures optimales des espèces d'eau chaude comme le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), la barbotte brune (*Ameiurus nebulosus*) et l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) sont de 21,0 à 26,6 °C, respectivement (Ficke et al., 2007; Scott & Crossman, 1985).

Les impacts des changements climatiques et des épisodes d'étiages sévères varient notamment selon ces catégories, les poissons d'eau froide regroupant les espèces les plus vulnérables aux modifications anticipées de leur habitat en contexte de changements climatiques, suivis des espèces d'eau fraîche (Ficke et al., 2007; Scott & Crossman, 1985).

5.3.2 Limitation des déplacements

Lors des crues printanières, l'augmentation du niveau de l'eau permet à certaines espèces de poissons d'eau chaude et d'eau fraîche de se déplacer et d'accéder à la plaine inondable, où les plantes submergées servent d'habitat de fraie et d'alimentation (Jeppesen et al., 2015; Larochelle, 2011; Mingelbier et al., 2004). Une crue de courte durée suivie d'une période d'étiage importante peut faire en sorte de nuire à la fraie en diminuant la survie des juvéniles et en

asséchant les œufs (Plourde-Lavoie et al., 2017). De plus, des épisodes de manque d'eau sévères peuvent limiter l'accès aux frayères (figures 5-3 et 5-4). Des épisodes d'étiage ou un décalage de la période de crue printanière affecteront davantage les espèces dont la fraie se déroule au printemps, tels que la perchaude et le grand brochet (P. Brodeur et al., 2004; Mingelbier et al., 2004). La baisse du niveau de l'eau des rivières limite également les déplacements d'espèces d'eau froide en créant un obstacle à la migration, ce qui affectera notamment la progression migratoire du Saumon atlantique dans les rivières (Aas et al., 2011).

Quatre OBV rapportent comme conséquence la circulation limitée des espèces aquatiques (voir Tableau D-11). Les causes seraient notamment une réduction de la colonne d'eau qui contribuerait à augmenter la densité des **macrophytes** et ainsi limiter la capacité de déplacement de la faune aquatique ainsi qu'un niveau d'eau trop bas qui empêcherait la circulation des espèces ou des poissons isolés dans des fosses. Des citoyens ont également rapporté à l'OBV RPNS la disparition de la loutre de rivière et du castor en lien avec la baisse du niveau de l'eau.

5.3.3 Modification de l'habitat

En plus de participer à la fragmentation des habitats, la baisse du niveau de l'eau occasionnée, entre autres, par les changements climatiques peut modifier l'étendue d'habitat disponible aux poissons, modifier les communautés végétales utilisées par les poissons, diminuer la qualité de l'eau, modifier la stratification thermique des plans d'eau, etc. (figures 5-2, 5-3 et 5-4) Des habitats de moins bonne qualité peuvent rendre les populations de poissons plus vulnérables aux prédateurs, en plus de réduire la disponibilité des ressources alimentaires (Paukert et al., 2021; Roy et al., 2021).

Une augmentation rapide du débit des rivières peut également nuire à la santé des populations de certaines espèces de poissons d'eau douce. La fraie et le succès reproducteur grand brochet, par exemple, dépend d'un niveau et d'un débit d'eau stable lors des cinq semaines nécessaires à la fraie au début du printemps. Alors qu'un débit trop bas limite l'accès aux zones de fraie, un débit trop élevé peut entraîner les larves hors des sites de fraie à un stade trop hâtif de leur cycle de vie, augmentant ainsi le taux de mortalité (Foubert et al., 2019).

Les variations du cycle hydrologique associées aux changements climatiques ont comme principale conséquence d'augmenter la température de l'eau, une variable essentielle à la croissance et à la survie des poissons. L'augmentation des températures réduit l'étendue de l'habitat des espèces d'eau froide, favorise le déplacement des espèces d'eau fraîche et d'eau chaude vers le nord et augmente la **compétition interspécifique** (Collingsworth et al., 2017; Ficke et al., 2007; Poesch et al., 2016). L'augmentation des températures dans les rivières et les lacs diminue la concentration d'oxygène dissout dans l'eau, ce qui limite l'activité métabolique des poissons (Ficke et al., 2007). Dans les lacs plus profonds et stratifiés, la hausse de la température de l'eau à la surface et la baisse du taux d'oxygène dissout en profondeur restreint l'habitat des espèces de poissons adaptés à la **zone pélagique** (Ficke et al., 2007).

Finalement, l'augmentation des températures et les variations hydrologiques associées aux changements climatiques devraient favoriser la propagation de certaines espèces, notamment des espèces de poissons migrant vers le nord ou des espèces floristiques (Paukert et al., 2021).

L'augmentation du nombre et de la superficie des colonies de roseau commun (*Phragmites australis*) ou de quenouille glauque (*Typha x glauca*), espèces envahissantes, pourraient entraîner des conséquences sur la santé des populations de plusieurs espèces de poissons d'eau fraîche et d'eau chaude en modifiant l'écosystème (Figures 5-2, 5-3, 5-4). À titre d'exemple, le grand brochet serait particulièrement sensible aux impacts du roseau commun, qui réduit la disponibilité et l'accessibilité de certaines proies, en plus de limiter leur circulation et de constituer des habitats moins optimaux pour la fraie (Farrell et al., 2006; Foubert et al., 2019; C. Lavoie, 2019; Tougas-Tellier, 2013).

5.3.4 Impacts sur la santé des populations et sur la pêche

Les variations du niveau de l'eau occasionnées, entre autres, par les changements climatiques entraînent des conséquences sur la physiologie, la survie, le cycle de vie et la distribution des populations de poissons d'eau douce (Paukert et al., 2021). Alors que certaines espèces d'eau chaude et d'eau fraîche, tel que l'achigan à petite bouche, le doré jaune et la perchaude verront les limites de leur habitat s'élargir vers le nord, les espèces d'eau froide comme l'omble fontaine devront composer avec un rétrécissement de leur habitat et plus de compétition avec la montée des espèces d'eau fraîche et chaude vers le nord et vers les zones d'eau plus fraîche. Les espèces d'eau froide seront donc les espèces les plus affectées par les changements climatiques, ce qui risque d'entraîner des conséquences importantes sur la pêche (Collingsworth et al., 2017; Poesch et al., 2016). Malgré l'expansion de l'habitat des espèces d'eau chaude et d'eau fraîche, la baisse du niveau de l'eau ne garantit pas leur déplacement vers le nord, en plus de nuire à la survie des larves et des juvéniles (Collingsworth et al., 2017; Reist et al., 2006).

Un seul OBV rapporte une conséquence directe sur la pêche. Selon l'OBV RPNS, en 2020, la baisse de population de poissons était telle sur la rivière Petite Rouge en Outaouais que la pêche n'était plus possible.

Les figures 5-2, 5-3 et 5-4 illustrent les conséquences des changements climatiques et des étiages sévères sur l'habitat du poisson et sur les communautés végétales indigènes et envahissantes.

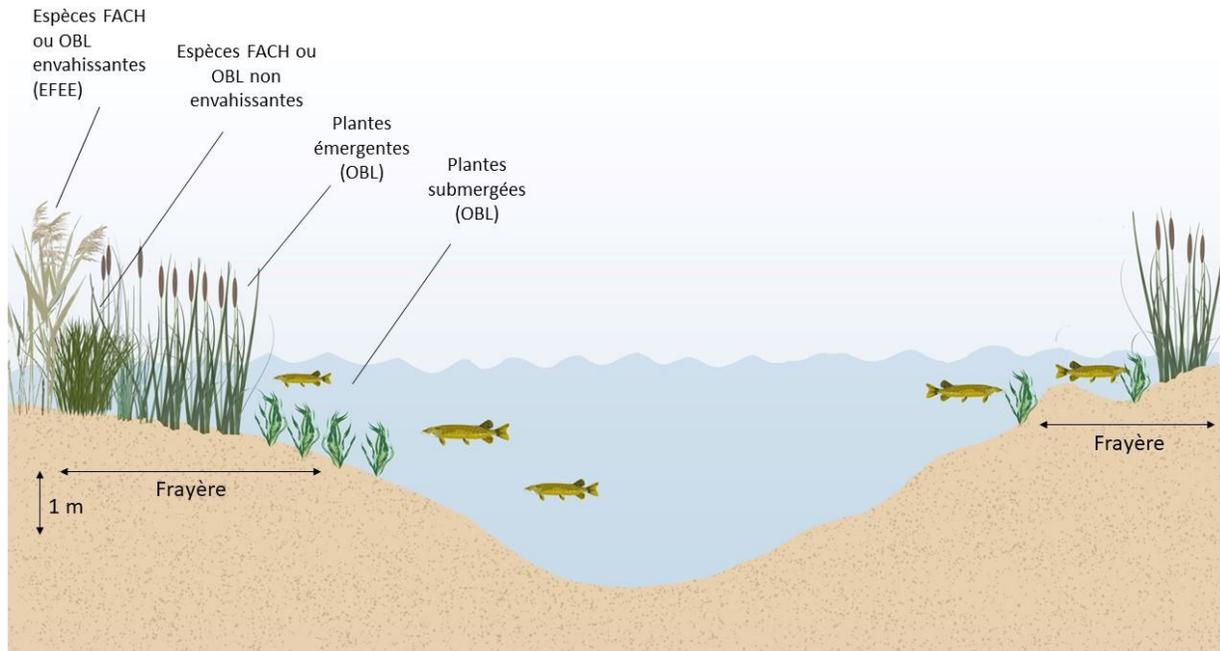


Figure 5-2. Crue printanière normale

Signification des abréviations, idem pour les figures 5-3 et 5-4:

- OBL - Obligées des milieux humides
- FACH - Facultatifs des milieux humides
- EFEE - Espèces floristiques exotiques envahissantes

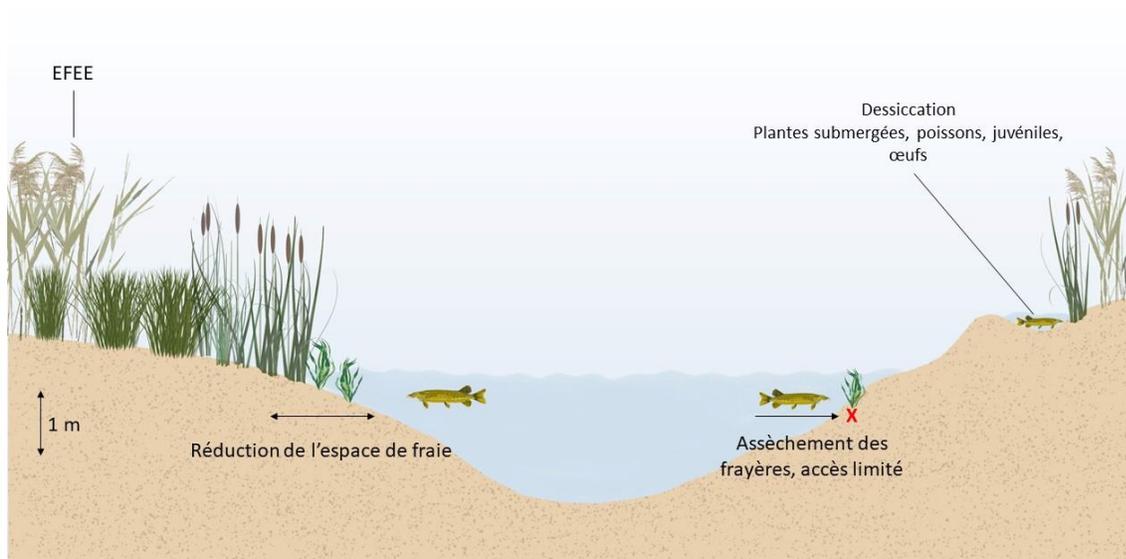


Figure 5-3. Épisode d'étiage ponctuel et non récurrent

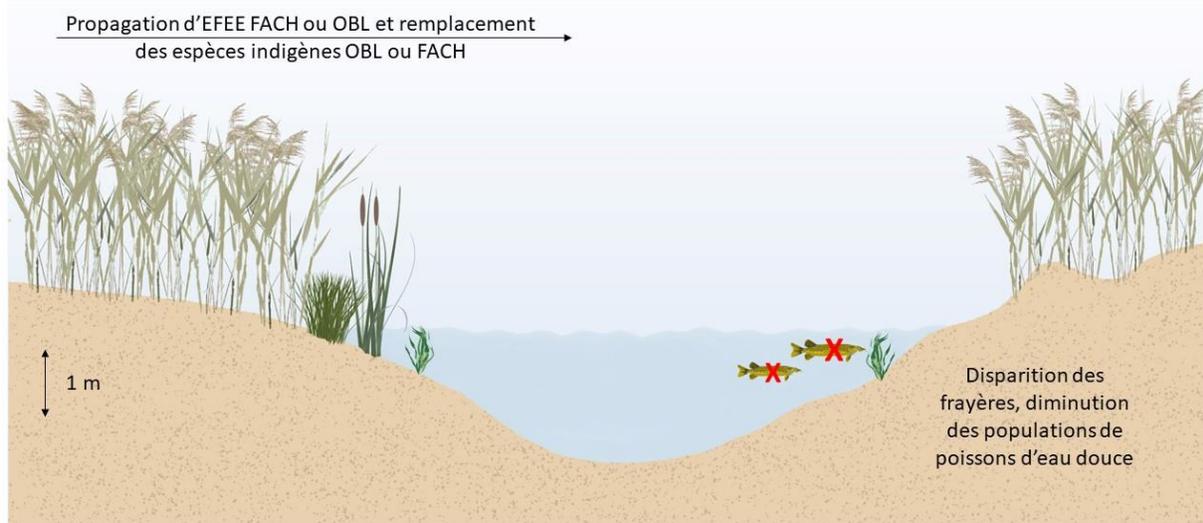


Figure 5-4. Épisode d'étiages prolongés et récurrents

5.4 SAUMON ATLANTIQUE ET SON HABITAT

5.4.1 Modification de l'habitat et limitation à la circulation migratoire

Les populations de saumon atlantique sont affectées par la fragmentation des habitats, la hausse des températures et la baisse de la concentration d'oxygène dissout. Les stades du cycle de vie des salmonidés les plus affectés par la hausse des températures de l'eau attribuable aux changements climatiques sont ceux qui se déroulent en eau douce (Jonsson & Jonsson, 2011). Les épisodes de crues et d'étiages sévères, combinés à l'augmentation des températures de l'eau, entraînent des conséquences sur le cycle de vie des saumons de différentes façons (M. Bergeron & Déry, 2022). La réduction des débits dans les rivières peut ralentir ou empêcher la montaison des saumons vers les rivières en provenance de l'océan en limitant leur circulation (Jonsson & Jonsson, 2011). La circulation est également limitée au sein de la rivière lorsque le niveau d'eau est trop bas. Les saumons peuvent dans certains cas être piégés dans des fosses ou confinés dans des espaces restreints, ce qui augmente le risque de transmission de maladies, une conséquence qui est aussi liée à l'augmentation de la compétition intraspécifique et à la dégradation de la qualité de l'eau (Jonsson & Jonsson, 2011). Des épisodes de mortalité importante de saumons peuvent survenir lorsque ces événements perdurent dans le temps (M. Bergeron & Déry, 2022).

5.4.2 Impacts sur la santé des populations et sur la pêche

Les espèces d'eau froide comme le saumon atlantique sont particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques, comparativement aux espèces d'eau chaude et d'eau fraîche (Poesch et al., 2016). La réduction de la superficie d'habitat disponible, la compétition avec les espèces d'eau chaude et d'eau fraîche qui migrent vers les zones d'eau froide, la transmission de maladies, le manque d'oxygène dissout et la baisse de survie des larves et des juvéniles sont tous des facteurs pouvant mener à la baisse des populations de cette espèce (Collingsworth et al., 2017; Paukert et al., 2021).

Au printemps et à l'été, la diminution du débit et du niveau d'eau des rivières augmente les risques de **dessiccation**, la vulnérabilité à la prédation, ainsi que le taux de mortalité des œufs et des stades juvéniles. À l'automne et à l'hiver, les débits plus élevés dans les rivières nuisent également à la survie des œufs, qui se font emporter par le courant (Schoen et al., 2017). De plus, la hausse des températures de l'eau, combinée à la baisse du taux d'oxygène dans l'eau, fait en sorte de ralentir le métabolisme et la croissance de ces organismes, ce qui entraîne une sélection vers des individus de plus petite taille (Reist et al., 2006). Les populations de saumons situées au sud sont celles qui risquent d'être davantage affectées (Jonsson & Jonsson, 2011). Le saumon atlantique est une espèce très prisée par la pêche commerciale et récréative et le déclin de ses populations risque d'avoir un impact important sur cette industrie dans les prochaines décennies (Schoen et al., 2017).

Des communautés de Premières Nations ont rapporté qu'il y a une trentaine d'année, les niveaux d'eau dans les rivières étaient beaucoup plus stables, ce qui contribuaient positivement à la fraie du saumon atlantique. Aujourd'hui, les températures plus chaudes et la diminution des précipitations ont un effet sur le niveau et la température de l'eau, ainsi que sur le taux d'oxygène dissout dans celle-ci, ce qui impacte négativement la fraie des saumons⁵.

5.5 CHAÎNE TROPHIQUE

Les épisodes d'étiages sévères, les fluctuations importantes du niveau de l'eau et l'augmentation des températures liées aux changements climatiques peuvent créer des déséquilibres dans la chaîne trophique, et ce, à travers les différentes composantes écosystémiques détaillées dans les sections précédentes. Il en résulte d'abord une modification de certains paramètres abiotiques de l'écosystème, comme la qualité de l'eau ou la température, par exemple. La modification de ces paramètres entraîne une augmentation de la compétition interspécifique et un remplacement graduel des populations de certaines espèces par des espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions du milieu (Evtimova & Donohue, 2016). Ainsi, les conséquences sur la chaîne trophique sont transversales à toutes les composantes présentées précédemment et les relient entre elles.

Par exemple, l'assèchement du **littoral** peut mener à une réduction ou à une disparition de certaines plantes aquatiques qui seront exposées à une dessiccation excessive (Plourde-Lavoie

⁵ Échange de courriels avec Madame Geneviève Layton-Cartier, chargée de projet eau douce à l'Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador (IDDPNQL), 3 août 2023.

et al., 2017). La disparition de ces plantes pourrait engendrer des conséquences en cascade à différents niveaux de la chaîne trophique. Il pourrait notamment y avoir une diminution de la proportion de zooplancton, d'invertébrés ou d'autres poissons utilisant les herbiers de plantes aquatiques comme habitat (Beklioğlu et al., 2007). À leur tour, les espèces de poisson situées plus haut dans la chaîne trophique seront affectées par cette diminution de leur nourriture dans l'environnement.

Aucun OBV n'a fourni d'information liée à cette composante.

Tableau 5--1. Synthèse des principales conséquences par composantes écosystémiques retenues

Composantes écosystémiques	Conséquences des épisodes de manque d'eau sévères	Explications et exemples
Qualité de l'eau	Eutrophisation	<ul style="list-style-type: none"> • Épisodes d'étiage combinés à une augmentation des températures favorisent le phénomène d'eutrophisation des lacs et des cours d'eau • Remise en suspension des sédiments, augmentation des concentrations de nutriments et de polluants • Modification des paramètres physico-chimiques du milieu aquatique • →Ex.: Diminution d'O² dissout dans l'eau, conditions d'hypoxie ou d'anoxie
	Floraisons d'algues toxiques	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrophisation et déséquilibres dans la chaîne trophique mènent à des floraisons d'algues toxiques telles que les cyanobactéries • Floraisons d'algues qui se développent dans les plans d'eau (lacs) peuvent être transportées vers les cours d'eau (émissaires) • Floraisons peuvent parfois survenir dans les rivières lorsque des épisodes de fortes précipitations sont suivis par une diminution du niveau de l'eau
Chaîne trophique	Déséquilibre de la chaîne trophique à travers toutes les composantes écosystémiques	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la compétition interspécifique • Diminution de l'abondance et de la richesse de certaines espèces dans l'écosystème • Disparition de certaines espèces par des espèces mieux adaptées aux nouvelles conditions
Végétation aquatique et milieux humides	Modification du couvert végétal	<ul style="list-style-type: none"> • Modification du cortège d'espèces • →Ex. : Des espèces obligatoires des milieux humides peuvent être remplacées par des espèces facultatives des milieux humides ou même terrestres • Évolution des communautés de plantes submergées vers des plantes à feuilles flottantes, puis des flottantes vers des émergées • Plasticité phénotypique: expression d'un phénotype (critères observables) différent et mieux adapté aux nouvelles conditions du milieu • → Ex. : Type de feuilles varie en fonction du niveau de l'eau. Un phénotype peut avantager ou désavantager des espèces fauniques ou floristiques • Les espèces ayant une plus grande plasticité phénotypique ont un avantage compétitif, car elles s'adaptent mieux aux conditions d'étiages extrêmes
	Perturbation des milieux humides	<ul style="list-style-type: none"> • Les épisodes de manques d'eau sévères peuvent mener à l'assèchement des milieux humides • Modifications dans l'abondance et la richesse de la faune et la flore

		<ul style="list-style-type: none"> • Perte de services écosystémiques fournis par les milieux humides → Ex. : Atténuation des inondations, régularisation du débit des rivières, filtration de l'eau
	Propagation d'EFEE	<ul style="list-style-type: none"> • Les populations EFEE de milieux terrestre ou humide peuvent occuper de plus grands territoires lorsqu'une baisse du niveau de l'eau rend les conditions d'habitat plus favorables à leur propagation. • Envahissement par des EFEE, au détriment des espèces indigènes → Ex.: Remplacement de la quenouille par le roseau commun, Propagation rapide de certaines EFEE via la reproduction végétative
Poisson et habitat du poisson	Températures optimales	<ul style="list-style-type: none"> • Poissons d'eau chaude : $\approx 21,1 - 26,7$ °C (carpe commune, crapet soleil, barbotte brune, barbue de rivière, achigan à petite bouche, achigan à grande bouche, etc.) • Poissons d'eau fraîche : $\approx 15,6 - 21,1$ °C (grand brochet, perchaude, doré jaune, doré noir, etc.) • Poissons d'eau froide : $\approx 10 - 15,6$ °C (saumon atlantique, truite arc-en-ciel, omble de fontaine, omble chevalier, etc.) • Impacts des changements climatiques et des épisodes d'étiages sévères varient selon ces catégories
	Limitation des déplacements	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation de l'accès aux sites de frai de diverses espèces d'eau chaude et d'eau fraîche → Ex.: grand brochet et perchaude qui utilisent les plaines inondables. • Limitation d'accès aux aires d'alimentation et de refuge contre les prédateurs • Difficulté accrue du déplacement du poisson entre les divers habitats associés à son cycle de vie
	Modification de l'habitat	<ul style="list-style-type: none"> • Modification de l'étendue d'habitat disponible aux poissons • Modification de la qualité des habitats → Ex. : Changements dans les communautés végétales utilisées par les poissons, augmentation de la température de l'eau, diminution de la qualité de l'eau • Vulnérabilité accrue aux prédateurs • Expansion des limites de l'habitat vers le nord, principalement pour les espèces d'eau fraîche et d'eau chaude • Propagation d'EEE, tant fauniques que floristiques: les espèces végétales envahissantes modifient l'habitat et les espèces fauniques envahissantes augmentent la compétition
	Impacts sur la santé des populations et sur la pêche	<ul style="list-style-type: none"> • Conséquences différentes selon les catégories de températures Ex. : Espèces d'eau froide sont les plus affectées par les changements climatiques • Modification dans l'abondance et la richesse spécifique des populations de poisson

		<ul style="list-style-type: none"> • Réduction du succès reproducteur (baisse de reproduction, diminution du succès reproducteur, de la ponte et de la survie) • Impact négatif sur la croissance des poissons
Saumon Atlantique et son habitat	Modification de l'habitat et limitation à la circulation migratoire	<ul style="list-style-type: none"> • Niveau d'eau bas conduit à des températures plus élevées, ce qui réduit la concentration d'oxygène dissout dans l'eau • Baisse des débits et du niveau de l'eau confine les saumons aux zones de la rivière où l'eau est plus profonde et fraîche (fosses) • Épisodes d'étiage sévères combinés à l'augmentation des températures de l'eau crée un obstacle à la montaison des saumons • Habitat restreint par les augmentations de température : besoins métaboliques trop élevés par rapport à la quantité d'O₂ dissout et à la disponibilité des ressources
	Impacts sur la santé des populations et sur la pêche	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution du succès reproducteur • Hausse du taux de mortalité • Transmission de maladies • Diminution de la taille des populations de saumon • Sélection naturelle vers des saumons de plus petite taille • Réduction du nombre de jours de pêche et de la qualité de la pêche
Oiseaux aquatiques des marais (voir l'annexe B pour les détails)	Modification de l'habitat	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de plans d'eau dégagés et de communautés de plantes spécifiques sont les principaux facteurs qui influencent la présence ou l'absence de certaines espèces d'oiseaux, le succès reproducteur et la densité des populations • Diminution de la richesse des communautés floristiques indigènes réduit également la richesse des communautés d'oiseaux aquatiques dans les milieux humides et hydriques • Accès aux ressources alimentaires plus difficile lors d'épisodes d'étiage, dépendamment de l'espèce et du régime alimentaire → Ex. : Dans le cas d'espèces qui se nourrissent d'invertébrés dans l'eau/sur le littoral • La propagation d'EFEE comme le roseau commun crée des communautés végétales très denses et difficilement accessibles pour les oiseaux de grande taille
	Altération de la santé des populations de certaines espèces spécifiques	<ul style="list-style-type: none"> • Les espèces d'oiseaux les plus affectées par les variations du niveau de l'eau sont celles qui construisent leurs nids dans des milieux humides submergés, tels que les étangs ou les marais • Épisodes d'étiages sévères peuvent nuire au succès reproducteur de certaines espèces d'oiseaux qui construisent leurs nids sur la végétation aquatique → Ex. : guifette noire ou râle de virginie

6. CONSÉQUENCES DES ÉTIAGES SÉVÈRES SUR LES SERVICES D'APPROVISIONNEMENT ET LES SERVICES CULTURELS

EN BREF

- Les périodes d'étiages sévères et de sécheresse des dernières années ont compromis la quantité et la qualité de l'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine de nombreux services municipaux, puits privés et producteurs agricoles du sud du Québec.
- Les épisodes de manque d'eau associés à des étiages sévères et des périodes de sécheresse peuvent occasionner d'importantes conséquences sur la santé des populations, accroissant les risques de développement de maladies d'origines hydrique, mais aussi du stress et de l'anxiété pour les communautés touchées et des conséquences à plus long terme sur la santé mentale.
-
- Au niveau des conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place, plusieurs cas documentés d'impacts sur les usages récréatifs ont marqué les dernières années, en particulier sur les activités de nautisme. On connaît cependant peu de chose sur les conséquences sur les usages industriels, commerciaux et institutionnels alors qu'aucun cas n'est ressorti du questionnaire.

Une lentille hydrologique permet de distinguer les usages de l'eau selon qu'ils requièrent un prélèvement de la ressource pour l'acheminer vers le site de l'usage ou s'ils se produisent au fil de l'eau. De manière générale, les prélèvements permettent l'approvisionnement en eau potable pour les populations, le secteur agricole, les usages industriels, institutionnels et commerciaux de même que pour le secteur récréatif. Ces usages sont décrits dans la section 6.1 dans le contexte québécois. Les usages de l'eau utilisée sur place que nous considérons ici sont les activités récréotouristiques, les centrales hydroélectriques sans retenues, le transport maritime et la navigation de plaisance. Les conséquences des étiages sévères sur ces usages sont décrites dans la section 6.2.

La présente section, ainsi que le contenu présenté dans la section 7.1 pour l'épisode particulier de 2021, intègre des informations issues de la revue de littérature, des réponses au questionnaire transmis aux OBV et des échanges avec des experts. En complément à cette section, l'annexe C présente une liste des principaux événements d'étiages identifiés dans le cadre du projet. De plus, l'annexe D présente plusieurs tableaux détaillés résumant les épisodes d'étiage documentés via le questionnaire transmis aux OBV et les conséquences identifiées par les acteurs locaux (tableaux D-4 à D-10) :

- Tableau D-4 Conséquences sur l'**approvisionnement en eau potable** provenant des **eaux de surface**

- Tableau D-5 Conséquences sur l'**approvisionnement en eaux souterraines de services d'aqueduc municipaux**
- Tableau D-6 Conséquences sur l'approvisionnement en **eaux souterraines de puits privés**
- Tableau D-7 Conséquences reliées à des **pertes de récoltes** pour les producteurs agricoles
- Tableau D-8 Conséquences sur l'**approvisionnement en eau des producteurs agricoles**
- Tableau D-9 Conséquences associées à des **conflits d'usage** impliquant des **producteurs agricoles**
- Tableau D-10 Conséquences sur le **secteur récréotouristique**.

Il est important de noter que les informations issues du questionnaire des OBV présentées dans cette section et à l'Annexe D ne constituent pas des faits scientifiques prouvés et vérifiés. Ce sont des réponses fournies de bonne foi et qui, à travers le filtre de l'expertise de l'OBV, traduisent des observations faites par différents acteurs de l'eau.

6.1 CONSÉQUENCES SUR LES USAGES PAR PRÉLÈVEMENT

6.1.1 Approvisionnement en eau potable des populations

L'eau est essentielle à toute forme de vie sur terre. Chez l'humain, une quantité minimale est nécessaire quotidiennement afin d'assurer un niveau d'hydratation permettant de combler les fonctions suivantes (Gouvernement du Canada, 2023) :

- faire circuler les nutriments et les déchets dans l'organisme ;
- réguler la tension artérielle ;
- protéger les articulations et les organes ;
- réguler la température corporelle ;
- diminuer les risques de déshydratation et de coups de chaleur.

De plus, l'eau est nécessaire pour mener plusieurs activités essentielles à la santé et au bien-être des individus, telles que se doucher, laver les fruits et légumes, nettoyer la vaisselle et tirer la chasse d'eau. Selon l'INSPQ, la qualité microbiologique et chimique de l'eau est un « enjeu permanent de santé publique que ce soit lorsqu'il s'agit de consommation (eau potable), d'utilisation de l'eau aux fins d'hygiène, pour les loisirs (eaux récréatives) ou d'autres usages pouvant entraîner une exposition humaine » (INSPQ, 2023).

De plus, selon l'Article 31.76 de la Loi sur la qualité de l'environnement, la satisfaction des besoins de la population en matière de santé, de salubrité, de sécurité civile et d'alimentation en eau potable constitue une priorité d'usage de l'eau. (*Loi sur la qualité de l'environnement*, 2022)

Pour combler les besoins essentiels en eau potable, les populations dépendent des systèmes d'approvisionnement en eau potable (**SAEP**). Ces systèmes sont « conçus pour fournir de l'eau

potable salubre et, par extension, pour protéger et favoriser la santé humaine » (Santé Canada, 2022, p. 543).

Il existe deux grandes catégories de SAEP : les SAEP municipaux (provenant d'eau de surface ou d'eaux souterraines) et les SAEP privés. Les SAEP privés sont des « systèmes privés qui fournissent de l'eau potable aux particuliers et aux ménages qui en sont propriétaires » (Santé Canada, 2022, p.543). L'approvisionnement en eau souterraine provenant de puits de surface ou de puits artésiens privés, hors réseaux, constitue des exemples de SAEP privés.

Les prochaines sous-sections discutent des principales conséquences des épisodes de manque d'eau associées à des périodes d'étiage sévères et de sécheresse sur la quantité et la qualité de l'approvisionnement en eau potable provenant des eaux de surface (généralement associés à des SAEP municipaux) et des eaux souterraines (SAEP privés et SAEP municipaux).

6.1.1.1 Approvisionnement en eau de surface (SAEP municipaux)

Au Québec, près de 70 % de la population (5,7 millions de personnes) est approvisionnée par une eau de surface provenant du fleuve Saint-Laurent, des rivières ou des lacs. À lui seul, le fleuve Saint-Laurent assure l'approvisionnement en eau potable de 30 % de la population québécoise, ou 2,5 millions de personnes (Gouvernement du Québec, 2018). Il est possible que certaines municipalités le long du Saint-Laurent aient rencontré des enjeux d'approvisionnement en eau potable lors des périodes d'étiage sévères du fleuve, mais il n'a pas été possible dans le cadre de ce projet de les identifier à grande échelle. De futurs travaux de recherche seraient nécessaires pour approfondir cette question.

Le questionnaire sur les épisodes de manque d'eau sévères a été transmis aux 12 comités de zones d'intervention prioritaire (comités ZIP) le long du Saint-Laurent, lesquels se situent entre la frontière ontarienne et le golfe du Saint-Laurent et incluent également le Saguenay, la Baie des Chaleurs et les Îles-de-la-Madeleine ZIP. Mis à part le Comité ZIP des Îles-de-la-Madeleine, aucun autre comité ZIP n'a retourné de questionnaire rempli identifiant des épisodes de faible niveau ou débit d'eau ayant entraîné des conséquences sur les usages ou les écosystèmes. Il ne nous a pas été possible de déterminer si ce faible retour de questionnaires des comités ZIP est dû à un manque de ressources ou l'absence d'épisodes répertoriés.

En 2012, le niveau du fleuve Saint-Laurent et du lac Saint-Pierre s'est trouvé exceptionnellement bas, principalement expliqué par un printemps précoce et extrêmement sec, ayant des conséquences pour la navigation de plaisance (Côté & Léveillé, 2012). Toutefois, peu de conséquences sur les approvisionnements en eau potable provenant de ces deux plans d'eaux ont été recensées lors de cet épisode dans le cadre de notre revue de la documentation.

Néanmoins, les questionnaires et la revue de la documentation nous ont permis d'identifier des épisodes d'étiages sévères ayant affecté l'approvisionnement en eau de surface provenant d'autres cours d'eau que le fleuve Saint-Laurent dans le sud du Québec. Ces épisodes sont résumés dans le tableau D-4 de l'annexe D.

À l'été 2010, deux épisodes d'étiage importants ont entraîné des conséquences sur les approvisionnements en eau potable : un dans la rivière des Mille-Îles, touchant les régions de

Laval et du sud des Laurentides et de Lanaudière, et un autre dans la rivière Saint-Charles, dans la région de la Capitale-Nationale. Depuis ces épisodes, des mesures d'adaptation ont été prises sur ces territoires et les enjeux d'approvisionnement en eau potable semblent avoir été moins présents au cours des dernières années, selon la documentation consultée. À titre d'exemple, la Ville de Québec a procédé à la construction d'une interconnexion entre le réseau approvisionné par l'usine de traitement d'eau potable de Sainte-Foy, qui s'approvisionne dans le fleuve, et le réseau desservi par l'usine de traitement d'eau potable de Québec. Ainsi en période d'étiages sévères sur la Rivière Saint-Charles, qui approvisionne plus de 50 % des besoins de la ville de Québec, il est maintenant possible de transférer jusqu'à 50 000 m³/j vers le territoire desservi par l'usine de traitement d'eau potable de Québec (C. Brodeur & Trépanier, 2013). Toutefois, en 2021, les faibles débits des rivières dans la région de Québec ont tout de même occasionné des interdictions d'arrosage et d'utilisation de l'eau potable à des fins de nettoyage, d'arrosage et de remplissage des piscines sur tout le territoire de l'agglomération de Québec (La Presse canadienne, 2021).

Plus récemment, les périodes d'étiage estival des rivières Richelieu, Yamaska et Bécancour entraînent des enjeux récurrents d'approvisionnement en eau potable pour plusieurs municipalités qui s'y approvisionnent. Lors des étiages estivaux, des restrictions et interdictions d'arrosage sont mises en place dans les municipalités les plus touchées. (tableau D-4 de l'annexe D.)

De plus, plusieurs épisodes d'étiages sévères sont associés à une diminution de la qualité de l'eau potable provenant des eaux de surface, notamment en raison de la plus faible capacité de dilution, augmentant ainsi les risques que des avis d'ébullition soient émis. Ces épisodes peuvent également être associés à une augmentation de la température de l'eau et de son pH, tel que constaté dans la municipalité de Daveluyville. Par conséquent, des coûts additionnels sont engendrés pour assurer un traitement de l'eau adéquat lors des étiages estivaux.

Aucun épisode passé identifié via les questionnaires n'a été associé à l'émission d'avis d'ébullition. Néanmoins, la gravité des étiages estivaux futurs pourrait augmenter ces risques, particulièrement pour les rivières Richelieu, Yamaska et Bécancour, déjà vulnérables aux étiages annuels. Aussi, il sera important d'approfondir les connaissances en lien avec les impacts des épisodes d'étiages sévères sur le pH de l'eau, lesquels demeurent méconnus et peu documentés dans la littérature. En plus d'engendrer des coûts de traitement de l'eau potable plus élevés, les changements au pH de l'eau peuvent aussi avoir des implications sur les écosystèmes, comme discuté dans la section 9.2.1.2.

6.1.1.2 Approvisionnement en eau souterraine (SAEP municipaux et SAEP privés)

Au Québec, l'eau souterraine permet d'alimenter 25 % de la population québécoise, une proportion nettement supérieure à la moyenne canadienne de 10 % (MELCCFP, 2023b; Santé Canada, 2022). Grâce à sa qualité et sa proximité du lieu de consommation, l'eau souterraine constitue souvent l'unique source d'eau économiquement exploitable (MELCCFP, 2023b). Toutefois, bien qu'elle soit cachée, cette source d'approvisionnement est tout de même vulnérable aux diverses sources de contamination associées aux activités humaines et aux aléas climatiques (MELCCFP, 2023b; Santé Canada, 2022).

Les réponses aux questionnaires transmis aux OBV et la revue de la documentation ont permis de confirmer la vulnérabilité croissante de l'approvisionnement en eau souterraine dans le sud du Québec, à la fois pour les services d'aqueduc municipaux qui s'en approvisionnent et pour les résidents ayant des puits privés. Ces enjeux touchent particulièrement la Montérégie et l'Estrie.

APPROVISIONNEMENT DES SERVICES D'AQUEDUC MUNICIPAUX

Le tableau D-5 de l'annexe D résume les épisodes ayant affecté l'approvisionnement en eau souterraine de réseaux d'aqueduc municipaux. Près d'une quinzaine de cas ont été recensés via les questionnaires transmis aux OBV. La grande majorité de ces épisodes a engendré l'émission d'interdictions et de restrictions d'usage de l'eau à l'extérieur (lavage d'auto, arrosage de pelouse et de jardins, remplissage de piscine, etc.). Dans certains cas plus localisés, des puits de surface additionnels ont dû être creusés (Sainte-Élisabeth, 2020) et des achats d'eau ont dû être effectués auprès d'autres municipalités (Audet, 2020).

De plus, certains enjeux d'approvisionnement municipaux sont maintenant récurrents depuis les dernières années, touchant particulièrement des municipalités de la Montérégie et de l'Estrie (COBAVER-VS, COVABAR, OBV Yamaska, OBVBM). Parmi les MRC touchées, notons : Vaudreuil-Soulanges, les Jardins-de-Napierville, Rouville, Maskoutains et Haute-Yamaska. En plus des restrictions d'usages émis lors des périodes de canicules, certains épisodes documentés sont également associés à des augmentations des coûts de traitement de l'eau, amenant certaines municipalités à revoir leurs installations d'approvisionnement (OBV Yamaska).

APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DES PUIITS PRIVÉS

Du côté des régions ayant des enjeux d'approvisionnement en eau potable pour les puits privés, les cas documentés sont moins nombreux, mais fortement concentrés en Estrie, particulièrement dans la MRC de Brome-Missisquoi (OBVBM). (Voir tableau D-6 de l'annexe D.) En effet, la totalité des résidents de plusieurs municipalités de la MRC dont Bolton-Ouest, Dunham, Notre-Dame-de-Stanbridge, Saint-Ignace-de-Stanbridge, Stanbridge-East et Stanbridge-Station comptent sur un puits privé pour leur approvisionnement en eau potable. Au cours des dernières années, de nombreux résidents et producteurs agricoles de ces municipalités ont vu leur puits de surface s'assécher et ont ainsi dû recourir à un recreusage (Bourcier, 2022a; MRC Brome-Missisquoi, 2023).

Plusieurs facteurs ont contribué à abaisser le niveau de la nappe phréatique dans la région, expliquant la montée en flèche des enjeux d’approvisionnement des puits de surface de la MRC au cours des dernières années. Parmi ces facteurs, notons les périodes de sécheresse et de déficit pluviométrique, mais aussi une consommation d’eau résidentielle plus importante en raison de l’augmentation rapide de la population de la MRC depuis la pandémie. Entre 2019 et 2022, la population de la MRC de Brome-Missisquoi a cru de 10 %, passant de 61 626 à 67 744 habitants. Au cours de cette période, la population de la MRC a enregistré l’un des trois plus élevés taux moyen d’accroissement de la province, avec 31,5 personnes pour 1 000 habitants par année (tout juste derrière celui de la MRC de Montcalm, dans Lanaudière et celui de la MRC des Pays-d’en-Haut dans les Laurentides). Pour cette raison, certaines municipalités, dont Sutton, envisagent de limiter le développement résidentiel afin de ne pas aggraver les enjeux de pénurie d’eau (Bourcier, 2022a; Ville de Sutton, 2022).

En plus de la MRC Brome-Missisquoi, la MRC du Granit en Estrie a également rencontré certains enjeux d’approvisionnement des puits de surface privés en 2020, dans les municipalités de Piopolis, Sainte-Cécile-de-Whitton et Val-Racine. Plusieurs citoyens ont dû faire creuser de nouveaux puits plus profonds pour résoudre ces enjeux. Ailleurs qu’en Estrie, quelques enjeux similaires ont été recensés depuis 2021, touchant de petites municipalités dont Laurierville dans le Centre-du-Québec et Saint-Norbert dans Lanaudière.

6.1.2 Santé et bien-être des populations

6.1.2.1 Maladies d'origines hydriques

Parmi les cas recensés dans les questionnaires et la documentation, aucun des épisodes de manque d'eau de surface ou d'eau souterraines via les réseaux d'aqueducs ou les puits privés n'a été associé à une contamination de l'eau causant des maladies d'origine hydrique⁶⁶ chez les individus exposés. Toutefois, des études ont démontré que les **périodes de sécheresse sont associées à une augmentation de la concentration d'agents pathogènes dans l'eau et contribuent au déplacement des matières organiques vers les plans d'eau au moment des précipitations subséquentes**. Ainsi, **les sécheresses peuvent augmenter le risque de propagation de maladies d'origines hydriques** (Santé Canada, 2022., section 3.7.2.3).

Au Québec, selon une étude effectuée dans des municipalités rurales de la province, le risque de contracter des maladies gastro-intestinales aiguës (MGIA) à la suite d'épisodes de très faibles précipitations lors de la saison estivale (juin, juillet et août) était significativement accru, et ce, quatre semaines après la fin de ces épisodes (Febriani et al., 2010; Santé Canada, 2022). De plus, les études recensées par une vaste revue de littérature de Santé Canada confirment également que les **petits SAEP privés** (généralement reliés aux eaux souterraines) sont « plus susceptibles de provoquer une contamination et des éclosions de MGIA que les grands SAEP gérés par les municipalités » (Santé Canada, 2022, p. 543).

D'ailleurs, depuis 2005, la région de l'Estrie détient le nombre le plus élevé d'éclosions de maladies d'origine hydrique de la province. Selon l'évaluation de la vulnérabilité estrienne aux changements climatiques en matière de santé, « l'augmentation des fortes précipitations, de la chaleur et des sécheresses » sont en partie responsables de l'augmentation du nombre de contaminations reliées à l'eau. De plus, **les individus résidant dans des résidences approvisionnées par un puits privé sont parmi les groupes de populations les plus exposés aux maladies d'origine hydrique** (Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de l'Estrie & Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke - Direction de santé publique, 2022, p.ix). En effet, les puits de surface, qui semblent encore très communs en Estrie, sont susceptibles d'être contaminés si la surface de la nappe est inférieure à la profondeur du puit, en plus d'être vulnérables aux épisodes de sécheresse. (Gouvernement du Nouveau-Brunswick, n.d.; Radio-Canada, 2021)

Ainsi, avec 36 % de la population de l'Estrie qui s'approvisionne via un puits privé, il est fort plausible que la multiplication des épisodes de manques d'eau en période de sécheresse ait engendré des cas de maladies d'origine hydrique dans la région au cours des dernières années. Toutefois, contrairement aux éclosions de maladies d'origine hydrique reliées aux approvisionnements municipaux, il est plus difficile d'identifier et de documenter les cas associés à une contamination provenant d'un puits privé. Des études plus approfondies sont donc

⁶⁶ Définition : toute maladie de nature infectieuse ou d'origine physico-chimique causée, ou présumément causée par : ingestion d'eau, contact avec l'eau ou inhalation de vapeurs ou de gouttelettes d'eau (INSPQ, 2022).

nécessaires pour évaluer les conséquences de ces épisodes sur la qualité de l'eau des puits privés et la santé des résidents exposés.

6.1.2.2 Santé mentale

En plus des effets possibles des épisodes de manque d'eau sévères sur la santé physique des individus, notamment via les maladies d'origine hydrique, ces événements peuvent également être associés à des conséquences sur la santé mentale. Puisque l'eau est nécessaire pour effectuer de nombreuses tâches visant à combler des besoins essentiels (se doucher, aller à la toilette, laver les aliments et la vaisselle, etc.), un manque de cette précieuse ressource peut engendrer un stress important chez les individus touchés. De plus, tout comme d'autres aléas associés aux changements climatiques⁷, la réduction de la sécurité hydrique et alimentaire associée à un manque d'eau peut engendrer de multiples conséquences sur la santé mentale. Parmi celles identifiées par Santé Canada (2022), notons le stress, l'anxiété, la dépression, en plus de la possibilité de traumatisme direct et même, à plus long terme, du développement d'un stress post-traumatique et d'**écoanxiété**.

Les impacts sur la santé physique et mentale reliés à des épisodes affectant la quantité et la qualité de l'eau disponible affectent davantage les populations les plus vulnérables, dont les enfants, les personnes âgées et les personnes atteintes de maladies chroniques (Santé Canada, 2022). Toutefois, l'information colligée via les questionnaires des OBV n'a pas permis d'approfondir les conséquences sur la santé physique et mentale des populations touchées par les épisodes identifiés. Des études subséquentes seront donc nécessaires pour approfondir ces aspects et développer des recommandations appropriées pour la santé publique dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques.

6.1.2.3 Populations autochtones

Pour plusieurs peuples autochtones, l'eau est sacrée. Elle est « un symbole de fertilité, de pureté, de force et de douceur, abrite des êtres vivants (dont certains sont des sources d'aliments traditionnels), a une action purifiante qui enrichit la vie et est un élément d'interdépendance (McGregor, 2012; Sanderson et coll., 2015; Bharadwaj et Bradford, 2018). » Ainsi, l'eau est « essentielle à la vie et au bien-être physique, émotionnel, mental et spirituel de nombreux peuples autochtones ». (Santé Canada, 2022 p. 542).

Les peuples autochtones sont particulièrement vulnérables aux impacts des changements climatiques. En effet, plusieurs territoires habités par des peuples autochtones subissent déjà des changements importants, notamment dans le nord du Canada. De plus, les peuples autochtones ont « des liens étroits avec la terre, les cours et plans d'eau, les animaux, la flore et les ressources naturelles et en dépendent pour leur subsistance, leur mode de vie, leur culture, leur identité, leur santé et leur bien-être ». (Centre de collaboration nationale de la santé autochtone (CCNSA), 2022, p.67.)

⁷ Parmi les autres aléas associés aux changements climatiques étudiés par Santé Canada, notons les augmentations de la fréquence et de la gravité des précipitations, les sécheresses, les feux de forêt, les températures extrêmes, la fonte du pergélisol, l'élévation du niveau de la mer et le réchauffement graduel (Santé Canada, 2022).

La diminution des précipitations et les impacts sur les sources d'eau affectent déjà des communautés autochtones au pays, notamment des collectivités le long du fleuve Yukon et à Pond Inlet, au Nunavut. (Santé Canada, 2022 p. 568).

À la suite d'échanges avec l'Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador (IDDPNQL), la base de données sur les changements climatiques de l'Institut dénombrait dix communautés de Premières Nations ayant vécu soit une canicule, une sécheresse, la désertification ou des températures extrêmement chaudes au cours des 15 dernières années, dont des communautés Eeyou (Cree), Anishnabeg, Innu, Atikamekw, Kanien'kehá:ka et Mi'gmaq⁸. Diverses conséquences sur les écosystèmes ont été identifiées en lien avec ces événements, incluant des impacts négatifs sur la fraie des saumons. (Voir section 5.4.2).

Toutefois, dans le cadre de la présente étude, la revue de la documentation, les questionnaires des OBV et les entretiens effectués ne nous ont pas permis d'identifier des conséquences directes reliées à des épisodes de manque d'eau pour le bien-être et la santé des populations autochtones du Québec.

Les projections climatiques pointent vers une crue printanière plus hâtive ainsi qu'une diminution des débits estivaux, lesquels pourraient avoir des impacts majeurs sur le saumon atlantique et autres espèces de poisson, très importants culturellement pour de nombreux peuples autochtones. Selon Santé Canada, ces changements « toucheront les Premières Nations et leur relation culturelle avec l'eau, la sécurité alimentaire et l'état de l'eau potable dans de nombreuses réserves, ce qui entraînera des répercussions sur la santé ». (Santé Canada, 2022 p. 569).

En particulier, selon la synthèse de la littérature du Centre de collaboration nationale de la santé autochtone (2022), les changements climatiques, incluant les sécheresses, pourraient avoir les effets suivants sur la santé et le bien-être des populations autochtones :

- Augmentation des maladies d'origine hydrique et alimentaire ;
- Exacerbation des maladies chroniques et infectieuses ;
- Impacts sur la santé mentale (stress, anxiété et trouble de stress post-traumatique) ;
- Exacerbation des inégalités socioéconomiques et des iniquités en santé.

Non seulement les Premières Nations seront particulièrement touchées par les impacts associés aux périodes d'étiages sévères et de sécheresse, mais elles doivent également faire partie intégrante de l'adaptation à ces enjeux. En effet, les systèmes de savoirs immémoriaux des Premières Nations, Inuits et Métis sont de plus en plus reconnus à l'échelle nationale et internationale. Ces derniers seront importants pour « l'adaptation aux changements climatiques, la surveillance des impacts à l'échelle locale et régionale, et l'élaboration des politiques et de la recherche sur les changements climatiques ». (Centre de collaboration nationale de la santé autochtone, 2022, p.64.) Par exemple, des initiatives de cogouvernance de l'eau par les peuples autochtones ont un fort potentiel pour appuyer les collectivités à s'adapter aux impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.

⁸ Échange de courriels avec Madame Geneviève Layton-Cartier, chargée de projet eau douce à l'Institut de développement durable des Premières Nations du Québec et du Labrador (IDDPNQL), 3 août 2023.

Par exemple, dans la vallée de Cowichan en Colombie-Britannique, le Cowichan Watershed Board (CWB) agit comme organisme de bassin versant dont le modèle de gouvernance repose sur la participation de représentants des peuples autochtones de Cowichan et du district régional de la vallée de Cowichan en tant que partenaires égaux et coprésidents du conseil. Ce partenariat a pour objectif d'améliorer la santé du bassin versant, en s'appuyant sur la reconnaissance des droits autochtones. Le CWB a notamment approuvé certaines cibles pour le bassin versant, lesquelles visent notamment « à assurer des populations de poisson durables, à assurer la qualité de l'eau et un débit estival adéquat, à protéger et à préserver les habitats riverains et estuariens, à conserver l'eau et à accroître la sensibilisation des résidents locaux concernant les bassins versants ». (Santé Canada, 2022, p.584.)

6.1.3 Productions agricoles

Les périodes d'étiages sévères coïncident généralement avec des épisodes de sécheresse qui affectent les productions agricoles. Selon les sources d'informations consultées, notamment les données sur l'assurance-récolte transmise par la Financière agricole du Québec⁹ (FADQ), il est difficile de distinguer l'impact propre des étiages par rapport à l'impact global de la sécheresse sur les productions agricoles.

D'une part, les épisodes de sécheresse peuvent entraîner d'importantes pertes de rendement, telles que présentées dans le tableau D-7 de l'annexe D. Ces pertes peuvent être atténuées par l'utilisation d'irrigation. Selon les données de Statistique Canada, les surfaces irriguées au Québec sont passées de près de 23 000 hectares en 2011 à 27 000 hectares en 2016, et enfin à près de 40 000 hectares en 2021, année marquée par une importante sécheresse. L'essentiel des surfaces irriguées se situe en Montérégie et dans Lanaudière, ces deux régions ayant connu la plus forte augmentation entre 2016 et 2021 (Figure 6-1). Pour une mise en perspectives, les surfaces irriguées représentaient 1 % des surfaces cultivées en 2011 et 2 % en 2021.

⁹ Les unités assurables ayant fait l'objet d'une réclamation *Sécheresse* et le montant des indemnités correspondantes par municipalité.

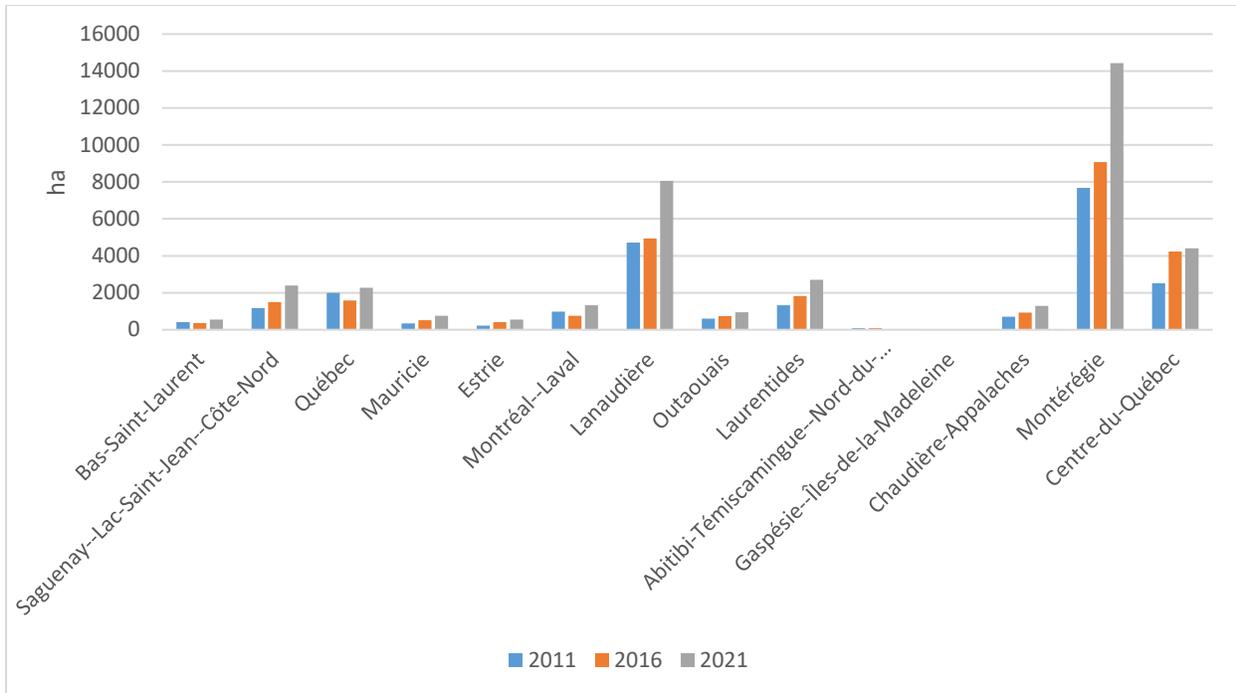


Figure 6-1. Évolution des surfaces irriguées au Québec 2011-2021 par régions administratives

Source : Statistique Canada, Recensement de l'agriculture, 2011, 2016 et 2021 (tableaux 32-10-0368-01 et 32-10-0413-01)

L'enquête sur l'Eau dans l'agriculture de Statistique Canada pourrait fournir des informations intéressantes sur les usages de l'eau en agriculture. Malheureusement, de nombreuses données ne sont pas présentées par Statistique Canada car jugées trop peu fiables ou enfreignant les critères de confidentialité. Néanmoins, nous pouvons tout de même en tirer quelques enseignements.

Tout d'abord, dans le tableau 6-1, on peut constater que l'épisode de sécheresse de 2020 s'est traduit par une forte augmentation des surfaces irriguées pour la production de fruits. Entre 2018 et 2020, la proportion de fruits irriguée est passée de 10,5 % à 23 % des surfaces cultivées. On note que les surfaces irriguées pour les grandes cultures sont relativement faibles (de l'ordre de 0,4 %). Les surfaces en fruits et légumes qui sont irriguées représentent environ 80 % de l'ensemble des surfaces irriguées au Québec

Tableau 6-1. Évolution récente des surfaces irriguées par type de production agricole au Québec

ha	2018	2020
Grandes cultures		
Cultivée	978 000	963 000
Irriguée	3 644	±4 000 *
Proportion de terres irriguées (%)	0,4 %	0,4 %
Légumes de champs		
Cultivée	37 472	38 567
Irriguée	9 041	7 499

Proportion de terres irriguées (%)	24,1 %	19,4%
Fruits de champs		
Cultivée	43 012	43 296
Irriguée	4 543	10 111
Proportion de terres irriguées (%)	10,5 %	23,4 %

* donnée non publiée par Statistique Canada, estimée par différence

Source : Statistique Canada 38-10-0241-01, 32-10-0002-01, 32-10-0365-01 et 32-10-0364-01

Ensuite, le tableau 6-2 permet de constater que les principales raisons d'arrêt de l'irrigation sont liées à des enjeux liés aux étiages sévères. De plus, entre 2010 et 2020, environ 80 % des eaux d'irrigation proviennent des eaux de surface de la ferme, et que la seule source d'irrigation située hors de la ferme (eau hors-ferme dans le tableau) semble être d'utiliser l'approvisionnement en eau potable.

Tableau 6-2. Portrait des pratiques d'irrigation agricole au Québec et des raisons de non-irrigation, 2010-2020

	2010	2012	2014	2016	2018	2020
Fermes pratiquant l'irrigation (N fermes)						
Fermes qui ont irrigué	670	580	490	660	555	509
Fermes qui n'ont pas irrigué	105 E*	150 E	125	95 E	140 E	74 E
Raison d'arrêt de l'irrigation ou de non-irrigation (N fermes)						
Pénurie d'eau de surface		120	65 E	150 E	75 E	53 E
Pénurie d'eau souterraine		80 E	F	F	F	F
Qualité de l'eau médiocre / coût élevé / interdiction d'irrigation		50 E	F	F	F	..
Bris d'équipement		..	..	..	..	F
Manque de personnel		..	..	..	..	F
Autres raisons		50 E	30 E	F	F	F
Aucun enjeu empêchant l'irrigation		490	520	590	550	376
Provenance des eaux d'irrigation (%)						
Eau souterraine sur la ferme	..	17 E	23 E	15 E	F	F
Eau de surface sur la ferme	..	73	76	84	86	83 E
Eau hors-ferme	..	0	F	0	F	F
Autres sources d'eau	..	..	..	..	..	F
Provenance des eaux hors fermes (%)						
Eau du robinet (source potable ou réseau municipal)	..	..	0	..	100	100
Eaux usées traitées	..	..	0	..	0	0E
Sources provinciales	..	..	F	..	0	0E
Sources privées	..	..	0	..	0	0E
Autres sources	..	..	F	..	0	0E

.. - non disponible pour la période visée

X – donnée supprimée pour raison de confidentialité

E – donnée à utiliser avec prudence

F – donnée trop peu fiable pour être publiée

Source : Statistiques Canada 38-10-0242-01, 38-10-0243-01, 38-10-0246-01, 38-10-0247-01

Ainsi, les productions de fruits et légumes sont les plus exposées aux conséquences des étiages sévères en période de sécheresse. En effet, ces épisodes compromettent la possibilité d'utilisation des systèmes d'irrigation pour atténuer l'impact de la sécheresse sur les rendements et la qualité des produits. De plus, la volonté de certains producteurs de développer des systèmes d'irrigation en réponse à une anticipation de sécheresses plus fréquentes pourrait accentuer la pression sur la ressource en eau, venant confirmer les résultats du projet RADEAU.

En plus de restreindre les volumes disponibles, les étiages sévères peuvent également affecter l'irrigation, notamment à partir des eaux de surface, en raison de la dégradation de la qualité de l'eau qu'ils peuvent entraîner, et ce, à deux niveaux :

- L'eau d'irrigation doit être conforme aux recommandations pour la qualité des eaux¹⁰. Cette conséquence semble avoir affecté certains producteurs en maraîchage biologique de l'OBV RPNS (tableau D-9 de l'annexe D).
- Le lavage des légumes avant leur commercialisation doit se faire avec de l'eau potable selon les normes de salubrité du Canada GAP qui encadrent la commercialisation de la plupart des légumes produits au Québec (CanAgPlus - CanadaGAP, 2023).

Au-delà des conséquences pour l'irrigation des cultures, les étiages sévères et les sécheresses peuvent aussi affecter les élevages, en limitant la disponibilité en eau potable pour les animaux, et en eau conforme pour le nettoyage des bâtiments d'élevage. Par exemple, des producteurs laitiers ont dû acheter de l'eau livrée par camion-citerne pour leurs animaux (Estrie, 2021) et des porcheries ont vu leur accès à l'eau compromis (OBV Yamaska et Brome-Missisquoi, 2021). (tableau D-8 de l'annexe D).

Le secteur piscicole est particulièrement sensible aux étiages sévères. En effet, la plupart des piscicultures québécoises approvisionnent leurs bassins en continu, soit à partir d'eau de surface (dérivation partielle) ou d'eau souterraine (généralement par résurgence). Très peu de piscicultures sont en circuit fermé. Les épisodes d'étiage sévère entraînent notamment un réchauffement de l'eau dans les bassins conduisant à des pertes de rendement, différentes selon les espèces (l'omble de fontaine étant plus sensible que la truite arc-en-ciel). Plusieurs piscicultures ont été affectées lors des épisodes de 2012, 2020 et 2021 (tableau D-8, épisode de 2021 en Estrie).

Puisque le marché principal des piscicultures québécoises est l'ensemencement de lacs, les conséquences des étiages sévères sur les piscicultures se répercutent sur les activités en aval dans les pourvoiries. Les étangs de pêche peuvent aussi être affectés lors des épisodes d'étiages sévères, notamment en raison des modifications de la qualité de l'eau.

En raison des conséquences sur les animaux et sur les rendements décrites ci-haut, les épisodes d'étiage et de sécheresse peuvent occasionner un stress très important chez les agriculteurs et éleveurs en créant une incertitude sur leurs possibilités d'action pour atténuer l'impact de la sécheresse et/ou de la chaleur. De plus, ils peuvent occasionner des conflits d'usages entre producteurs agricoles mais aussi avec d'autres usagers (résidents, écosystèmes, usagers récréotouristiques, etc.). (tableau D-9 de l'annexe D).

¹⁰ Coliformes fécaux (E. coli) : moins de 100 bactéries par 100 ml d'eau (Patoine & D'Auteuil-Potvin, 2015).

6.1.4 Usages industriel, institutionnel et commercial

6.1.4.1 Usage industriel

Au Québec, il existe très peu de cas documentés d'impacts des épisodes de manques d'eau sur les usages industriels. Notons d'entrée de jeu qu'aucune occurrence de conséquences sur les usages industriels n'a été recensée dans le cadre du questionnaire auprès des OBV. Au même titre, la littérature scientifique est quasi inexistante sur les impacts anticipés de l'aggravation des déficits en eaux sur les usages industriels découlant des changements climatiques.

Pourtant, au Québec, de nombreuses industries dépendent d'une ressource abondante et fiable pour assurer la continuité de leurs opérations et certaines industries sont de grandes consommatrices d'eau. À ce chapitre, selon la déclaration annuelle de prélèvement d'eau des grands préleveurs¹¹, le secteur de la fabrication constitue le plus grand consommateur d'eau industriel au Québec. Cela comprend notamment l'industrie des pâtes et papiers, laquelle représente de loin le plus important préleveur privé (plus de 40 % des prélèvements autres que municipaux). L'industrie de l'extraction minière et d'exploitation de carrières (16 %), de même que la première transformation du métal sont également des industries à forte consommation d'eau. L'aquaculture commerciale et l'industrie de l'agroalimentaire, particulièrement la fabrication d'aliments (3,4 %), sont également des industries ayant d'importants besoins en eau. La fabrication de boissons, qui comprend l'embouteillage, représente quant à elle 0,5 % des volumes déclarés.

Sans que des cas avérés aient été documentés, il est possible de croire que pour ces industries, une diminution de la disponibilité en eau pourrait entraîner des contraintes opérationnelles importantes avec des conséquences à divers niveaux.

Premièrement, pour les entreprises qui dépendent de l'eau pour leurs différents procédés (comme intrants directs dans l'agroalimentaire ou le refroidissement d'équipements, par exemple), une diminution de la disponibilité, une augmentation de la température ou une baisse de la qualité de l'eau pourrait affecter le processus de production. Cela pourrait mener à des interruptions ou des retards de production, des pertes de rendement, voire l'arrêt temporaire des opérations. Une réduction de la disponibilité en eau pourrait également entraîner une augmentation des coûts via divers mécanismes, comme une demande accrue ou la nécessité de mettre en place des systèmes de captage et de traitement supplémentaires pour compenser la diminution des ressources en eau.

Au-delà de l'usage direct de la ressource dans le procédé, au Québec, quelques grands joueurs industriels sont également propriétaires et gestionnaires de barrages hydroélectriques alimentant leurs procédés en électricité. Ces entreprises peuvent être exposées à une diminution des débits en période d'étiage et à l'allongement de la saison de faibles débits. C'est le cas notamment de Rio Tinto qui gère en partie le système hydrique du lac Saint-Jean avec des actifs de productions hydro-électriques sur les rivières Péribonka et Saguenay. Le cadre d'opération du réservoir lac

¹¹ Les données provenant de la déclaration annuelle des grands préleveurs ont été fournies par le MELCCFP sous entente de confidentialité.

Saint-Jean est régi par un décret gouvernemental tenant compte de différents usages (environnement, navigation, protection de l'érosion, prise d'eau, contrôle des crues...). En 2010, la situation s'est avérée critique alors que l'hiver avait été caractérisé par un faible cumul de neige et de faibles précipitations en période de crue. Cela avait mené à des apports d'eau historiquement bas au printemps et en été, compromettant la capacité de Rio Tinto à maintenir le niveau du lac à l'intérieur du cadre régulier du décret (le décret reconnaissant que sous un certain seuil de ruissellement, les niveaux minimums prescrits ne peuvent être respectés). Ces épisodes de très faible ruissellement compromettent également la capacité d'approvisionnement énergétique des usines, les réservoirs de tête en amont du bassin versant ayant également soufferts de la faible crue. Ces manques d'énergie sévères ont pour effet de d'impacter l'ensemble de la chaîne de transformation de l'aluminium (Entretien avec J. Paquin, 9 mars 2023). À l'époque, la baisse de génération de Rio Tinto avait pu être compensée par un contrat d'approvisionnement d'appoint. Cependant, dans le futur, selon les projections de la demande énergétique, une situation similaire pourrait nécessiter un délestage d'une partie du procédé industriel. Considérant que l'industrie de l'aluminium fonctionne en continu, toutes interruptions d'électricité engendre des impacts majeurs sur une longue période (plusieurs mois voir sur des années).

À l'exception du cas de Rio Tinto, on connaît encore très peu la vulnérabilité du secteur industriel aux déficits en eau. Sachant que les impacts spécifiques sur les usages industriels varient en fonction du secteur d'activité, de la localisation géographique et de la dépendance de chaque industrie vis-à-vis de l'eau, il est clair qu'une meilleure compréhension des risques auxquels font face ces usagers est nécessaire. En effet, encore aujourd'hui, les connaissances sur la vulnérabilité du secteur industriel, particulièrement pour les grands consommateurs au Québec, qui s'avèrent des moteurs économiques régionaux, sont très peu connues.

Bien que nous n'ayons pas documenté de cas spécifiques en lien avec des problématiques d'approvisionnement en eau pour le secteur de la transformation alimentaire, Santé Canada note que les entreprises œuvrant dans ce secteur et utilisant des SAEP privés pour s'approvisionner en eau potable seraient ainsi plus à risque que les entreprises qui s'approvisionnent d'un système d'aqueduc municipal (Santé Canada, 2022, p. 570).

6.1.4.2 Usages commercial et institutionnel

Tout comme les conséquences sur les usages industriels, les impacts sur les usages commerciaux et institutionnels sont très peu documentés. D'abord, il importe de mentionner que la grande majorité des besoins en eau du secteur commercial et institutionnel sont comblés à même le réseau municipal. Ainsi, très peu de commerces et d'institutions de santé, d'éducation ou autres s'approvisionnent de manière autonome (Parent & Ancil, 2012).

On inclut dans cette catégorie d'usagers, l'eau utilisée par les motels, les hôtels, les restaurants, les immeubles à bureaux, les établissements civils et militaires, les maisons mobiles, les hôpitaux, les écoles, les systèmes de climatisation, les usages à des fins récréatives (fabrication de neige artificielle et glissades d'eau).

Tout comme les usages industriels, aucune occurrence de conséquences sur les usages commerciaux et institutionnels n'a été recensée dans le cadre du sondage auprès des OBV.

Même si très peu d'études se sont penchées sur la question, les conséquences des déficits en eau sur le secteur commercial peuvent être de multiples natures. D'une part, les déficits en eau affectant les réseaux municipaux peuvent entraîner une interruption ou une diminution des activités commerciales, en particulier dans les secteurs qui dépendent de l'eau pour leurs opérations quotidiennes. Par exemple, les restaurants, les hôtels, les golfs et les installations récréatives nécessitent une quantité suffisante d'eau de qualité pour fonctionner normalement. Une pénurie d'eau peut entraîner des restrictions ou des fermetures temporaires de ces établissements, ce qui peut avoir un impact sur leur rentabilité et sur leur réputation. À terme, si les contraintes liées à la disponibilité en eau se détériorent, il est possible que certains commerces doivent fermer, réduisant l'emploi et l'activité économique dans une région.

Le secteur du ski alpin est également un consommateur important d'eau en hiver. Dans un contexte de diminution des précipitations en neige en hiver, plusieurs stations au Québec doivent augmenter leur capacité d'enneigement et ainsi utiliser davantage d'eau. Pour certaines stations l'accès à la ressource, en étiage hivernal ou non, peut devenir un enjeu et mener à des conflits d'usage avec les autres usagers dans le bassin.

Du côté des usages institutionnels, les installations de santé (hôpitaux, centres de soins de santé (CLSC, CHSLD, RPA et autres) et les établissements médicaux) de même que les établissements d'enseignement sont des établissements dont l'approvisionnement en eau est essentiel d'un point de vue de santé publique. En cas de pénurie d'eau, plusieurs conséquences peuvent survenir en lien avec l'incapacité à répondre au besoin en quantité suffisante pour ces usages, dont le maintien de l'hygiène de base des individus, le maintien de la qualité des soins pour les personnes malades, âgées ou les enfants, le fonctionnement de systèmes en fonction d'un approvisionnement en eau, comme certains équipements médicaux ou des systèmes de chauffage de certains immeubles, la santé générale de la population par le développement de certaines maladies (Communauté métropolitaine de Montréal, 2019).

Là encore, aucun cas de pénurie d'eau ayant affecté ce type d'établissement n'a été répertorié dans le cadre du questionnaire ou de la revue de la documentation. Le manque de connaissance sur la vulnérabilité de ces usages essentiels devra être comblé dans les prochaines années.

6.2 CONSÉQUENCES SUR LES USAGES DE L'EAU UTILISÉE SUR PLACE

6.2.1 Production hydroélectrique

L'hydroélectricité représente 94 % de l'approvisionnement électrique de la province. Au total, plus de 160 centrales sont en activité au Québec et on distingue deux grandes classes d'aménagements hydroélectriques selon qu'ils disposent d'un ouvrage de retenue ou s'ils turbinent directement le débit courant de la rivière (centrale au fil de l'eau).

Une centrale «au fil de l'eau» ne modifie pas le régime hydrique de la rivière. Les groupes turbines-alternateurs sont dimensionnés pour une certaine crue de récurrence et un débit d'opération est ensuite défini pour l'ensemble des groupes. Différents ouvrages accompagnent

l'aménagement d'une centrale, notamment pour assurer la sécurité de l'installation, le laminage des crues ou encore le maintien des corridors pour les espèces aquatiques. On peut par exemple citer à cette fin les passes à poisson qui permettent par un système d'échelles de rejoindre la partie amont de la rivière.

Une analyse hydrologique fine est systématiquement réalisée lors de l'étude d'un aménagement hydroélectrique. Toutefois, peu de documentation publique existe pour caractériser la vulnérabilité des centrales « au fil de l'eau » aux périodes d'étiages comme celles qui nous intéressent dans cette étude.

Néanmoins, le rapport sectoriel sur l'impact des changements climatiques sur la production hydroélectrique de Desjarlais et Da Silva (2016) a quantifié la perte de production pour la centrale Beauharnois et des Cèdres advenant une diminution des débits sur le fleuve Saint-Laurent en raison des changements climatiques (Da Silva & Desjarlais, 2016).

Par exemple, dans le scénario d'une réduction moyenne des débits de 6 % du fleuve Saint-Laurent, la perte de production est estimée à 3,2 %. La valeur économique correspondante peut être calculée, mais les analyses montrent que le choix du taux d'actualisation et la diversité des scénarios hydrologiques influencent largement le résultat : certains scénarios produisent même un gain économique en 2050 avec des débits plus importants en hiver, au moment où les prix de l'électricité sont plus élevés. Ainsi, il est possible qu'une baisse de l'hydraulicité en été soit compensée par une augmentation de celle-ci en hiver. Comme expliqué en section 3 dans le contexte hydrologique, si une tendance à la hausse des précipitations annuelles est attendue, c'est en effet avant tout la variabilité saisonnière qui implique des conséquences dans la gestion de la production.

Ainsi, dans certains cas les effets des étiages sévères en été peuvent compromettre la capacité de production des centrales au fil de l'eau ou même celle des centrales avec barrage. Toutefois, ils demeurent que chaque scénario est unique et dépend de bon nombre de facteurs liés au contexte hydroclimatique annuel et interannuel (couvert de neige, timing de la crue printanière, quantité de précipitations annuelles, etc.), au contexte opérationnel (puissance installée, capacité des réservoirs en amont, etc.) et aux mécanismes de gestion en place. Ainsi, si la scénarisation hydroclimatique permet de modéliser l'évolution des débits et met en avant de fortes diminutions sur la période estivale, la régularisation des rivières et les gestions particulières propres à chaque centrale, caractères non pris en compte dans l'Atlas hydroclimatique, mettent en avant les limites de cette approche.

Malgré ces bémols, le cas documenté de la baisse d'approvisionnement en énergie des centrales de Rio Tinto lors de l'été 2010, alors que la région avait connu des records de faible neige ainsi que des précipitations 50 % inférieures aux normales en période de crue, démontre les impacts concrets potentiels sur la production hydroélectrique dans la province lors de certaines années. L'entreprise a pu répondre à 70 % de ses besoins en énergie alors qu'à l'habitude ses installations lui permettent de produire 90 % de ceux-ci (Radio-Canada, 2010).

Par ailleurs, la production d'hydroélectricité n'est qu'un usage parmi d'autres des conséquences d'une variation du régime hydrique des rivières. La gestion des réservoirs doit généralement servir à accommoder les multiples usages de l'eau sur un plan d'eau en amont de l'ouvrage au

sein du réservoir, mais également en aval de celui-ci. Un conflit d'usage a par exemple été soulevé par l'OBV COPERNIC via le questionnaire sur les épisodes de manque d'eau sévères. En 2016, une retenue d'eau exceptionnelle de trois jours à la centrale des Chutes-Hemmings de Drummondville sur la rivière Saint-François afin d'accroître le niveau du bassin pour la navigation de plaisance a asséché le bief aval pendant la période de reproduction de plusieurs espèces de poissons, incluant la fraie de l'esturgeon jaune.

Une analyse portant sur les modalités de gestion estivale de certains réservoirs en contexte de changements climatiques, avec un allongement de la contrainte estivale de niveau minimal (voir par exemple l'étude sur le bassin versant de la rivière du Lièvre (Huaranga Alvarez, 2014), semble requise pour mieux comprendre les spécificités locales.

6.2.2 Transport maritime

Le transport maritime est un secteur stratégique de développement de la province. On note à cet effet qu'au Québec, 75 % des industries bordent le Saint-Laurent. La position des terminaux portuaires souligne par ailleurs l'importance de ces échanges puisqu'on dénombre 138 installations portuaires de différentes natures sur les rives du fleuve et 19 à l'extérieur du Saint-Laurent, sur le Fjord et le Lac-Saint-Jean, ou sur la rivière des Outaouais notamment.

L'étude économique de Comtois et Slack sur le système portuaire du Saint-Laurent en contexte de changements climatiques, la seule dans ce genre, s'appuie sur le fait que le port de Montréal capte 40 % des « tonnes totales de valeur ajoutée » transitant au Québec (Comtois & Slack, 2015). En partant de ce constat, seul ce terminal est considéré dans l'analyse, saisissant ainsi qu'une partie des impacts économiques des changements climatiques sur le transport commercial maritime.

La méthodologie de quantification des impacts est simple : à partir d'un scénario de référence définissant une série temporelle de niveaux d'eau à partir de débits enregistrés, différentes modélisations hydrologiques fournissent les variations de niveaux d'eau au quart de mois sur un horizon de 50 ans en vertu d'un approche par scénario *What if*.

Une perte de capacité de chargement (capacité d'emport) par les navires est ensuite associée à chaque baisse de niveau d'eau. Si la variation des niveaux d'eau sur le Saint-Laurent est en partie liée aux effets des changements climatiques, elle est également liée à plusieurs formes d'intervention anthropiques. Les deux scénarios hydrologiques utilisés dans l'étude envisagent pour l'un une baisse globale des niveaux associée à la variabilité naturelle du fleuve et pour l'autre une plus grande variabilité interannuelle des niveaux - notamment une baisse significative en été et augmentation en hiver.

Dans les différents scénarios projetés, découlant essentiellement d'une augmentation de la variabilité historique des niveaux d'eau dans le Saint-Laurent, entre 12 % et 22 % du nombre de jours total sur l'horizon de 50 ans sont projetés avec un niveau d'eau inférieur au zéro des cartes. Les résultats démontrent en outre que lorsque le niveau d'eau dans le chenal de navigation est moindre que le zéro des cartes, les navires doivent circuler allégés, ce qui réduit les revenus des compagnies et génèrent des impacts économiques. L'étude estime que chaque baisse d'un

centimètre de niveau d'eau en dessous du zéro des cartes réduit la capacité de transport d'un porte-conteneurs, avec un impact financier de 1 122,73 \$ par navire.

6.2.3 Usages récréatifs (dont la navigation de plaisance)

L'eau occupe une place majeure dans l'imaginaire et la culture de la province. Les activités récréotouristiques reposant sur un usage de l'eau sont diverses, affectent des populations différentes et se retrouvent dans des espaces aux natures multiples (parcs régionaux, lacs, jardins municipaux et privés, etc.). Les activités que nous considérons dans cette étude n'ont pas fait l'objet d'une définition exhaustive; l'analyse est faite en s'appuyant sur les informations partagées par les OBV dans le questionnaire et la revue de littérature.

Des conflits d'usages entre navigateurs de plaisance et gestion des barrages ont également été mentionnés plus haut. Dans l'ensemble, les activités récréotouristiques soulevées concernent :

- La navigation de plaisance, le canot-kayak
- La pêche
- L'usage de l'eau potable à des fins récréatives
- Les golfs

Au total, parmi les 47 épisodes documentés via le questionnaire des OBV, des conséquences sur les activités récréotouristiques ont été identifiées pour 5 des 47 épisodes. (Voir tableau D-10 de l'annexe D). Les prochaines sections couvrent certains des usages récréotouristiques pour lesquelles des conséquences ont été répertoriées.

6.2.3.1 Navigation de plaisance et régulation des plans d'eau

L'organisation de la navigation de plaisance est gérée par les exploitants des 272 marinas du Québec, elles-mêmes fédérées par Nautisme Québec. Un recensement spatial à partir de la carte d'Info-Marina¹² a permis de mettre en avant les ZGIEBV les plus concernées par ce secteur :

¹² Voir <https://www.info-marina.ca/fr/accueil>

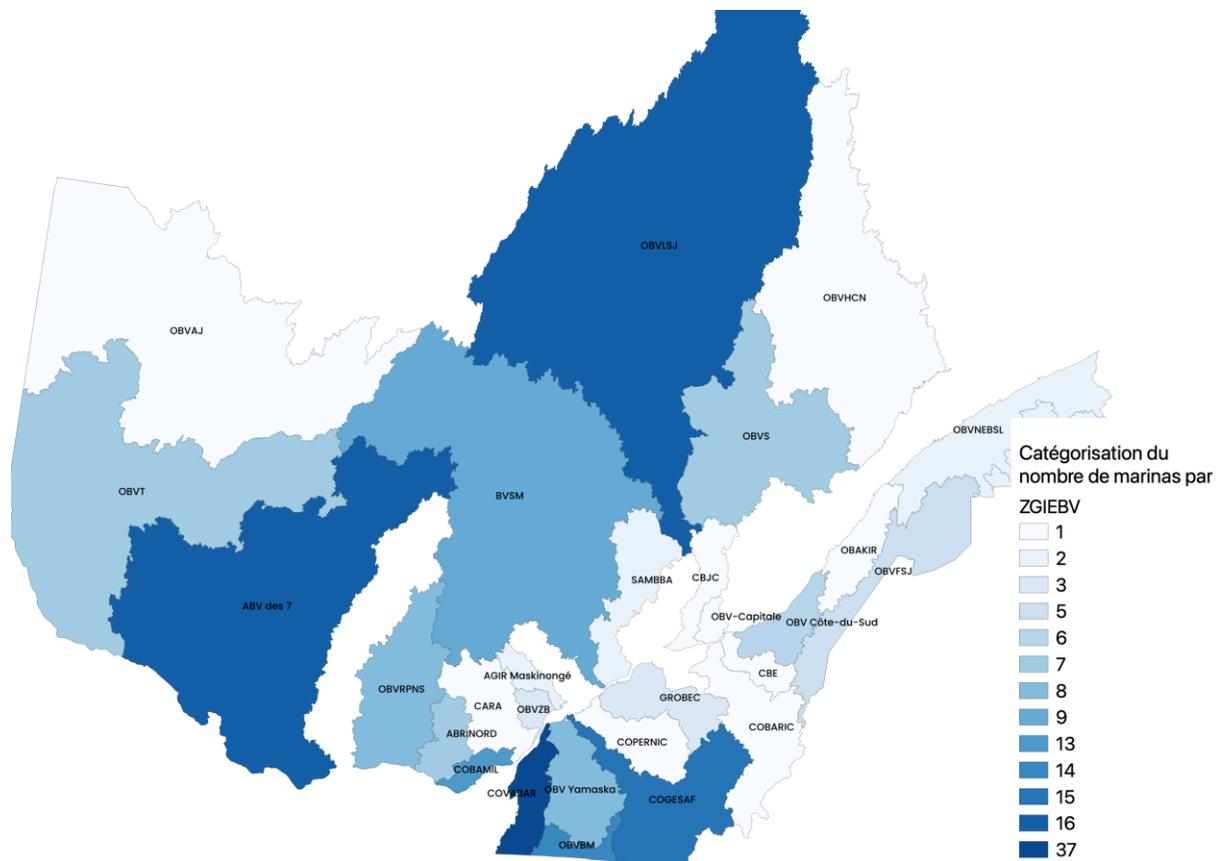


Figure 6-2. Nombre de marinas par ZGIEBV

Source : Nautisme Québec

Parmi celles-ci, 47 se trouvent dans le golfe du Saint-Laurent et ne font donc pas face à des problématiques découlant directement des étiages. 42 sont situées sur le fleuve Saint-Laurent, entre Kingston et Montréal. Ce tronçon du fleuve a déjà fait l'objet de modélisations quant à la variation de son niveau en contexte de changements climatiques.

La principale étude économique évaluant les impacts de cette variation sur la sphère socioéconomique québécoise est celle pilotée par Ouranos en 2016 qui a déjà été mentionnée plus haut. En revanche pour le secteur récréatif, la navigation de plaisance, seul le tronçon entre Montréal et Trois-Rivières a fait l'objet d'une analyse économique (Archambault, Bleau, Germain et al., 2016). Toutefois, ce tronçon regroupe seulement 14 % des marinas du Québec. Les conséquences projetées au sein des scénarios What if concernent le nombre de nuitées à quai, la restriction du périmètre navigable, les bris potentiels d'équipements nautiques, ou encore une augmentation des coûts d'entretien et de sécurité. Il ressort de cela que les lacs Saint-François, Saint-Louis et Saint-Pierre sont les plus vulnérables à une diminution (-10 cm à -50 cm) des niveaux d'eau. Le constat majeur de l'étude est que le secteur de la plaisance évolue « en mode statu quo », avec notamment une très grande variabilité de la qualité des infrastructures et peu de sensibilisation aux changements climatiques.

Tableau 6-3. Classification géographique des marinas au Québec

Emplacement géographique	Nombre de marinas
Plan d'eau intérieur	27
Lac Memphrémagog	8
Rivière Saint-Maurice	6
Lac-Saint-Jean	15
Rivière Saguenay	7
Rivière Richelieu	24
Lac Champlain	14
Estuaire du Saint-Laurent	11
Golfe du Saint-Laurent	47
Rivière des Outaouais (jusqu'à Terrebonne)	47
Montréal à Québec	37
Kingston à Montréal	42
Total	238

Source : Nautisme Québec.

Le lac Saint-Jean est un plan d'eau globalement bien documenté quant à son utilisation de plaisance. Comme mentionné précédemment, la gestion de son niveau d'eau, opérée par le groupe industriel Rio Tinto par la centrale de l'Isle-Maligne est régit par un décret gouvernemental. Un seuil minimal de 14 pieds par rapport à une référence altimétrique donnée est prescrite pour la majeure partie de la saison estivale. Ce niveau permet aux 12 marinas directement installées sur le pourtour du lac d'assurer un accès au plan d'eau. Pour chaque période de l'année, un seuil maximal est également défini pour limiter l'érosion des berges et contrôler le risque d'inondation. Au courant des 50 dernières années ce seuil a été dépassé à 6 reprises soit : 1974, 1976, 2017, 2019 et 2022.

À l'été 2021, les plaisanciers de la marina de Saint-Henri-de-Taillon estiment avoir connu un raccourcissement de la période de navigation de près d'un mois. L'embouchure de la rivière Belle-Rivière au sud-est du lac fut complètement bouchée et la marina de Saint-Gédéon n'avait plus accès au lac. À cette perte récréative fut associée des pertes monétaires, le niveau du lac atteignit 13,8 pieds et impliqua 20 000\$ de dépenses en nettoyage des bris, une perte de revenus estimée à 200 000\$ pour la municipalité de Roberval, et bien d'autres manques à gagner non évalués (vente d'essence, tourisme, etc.) (Gagnon, 2021). Mentionnons que les conditions hydriques de 2021 furent exceptionnellement sévères et ont généré un nombre de jours significatifs sous le minimum usuel de 14 pi. Ces conditions ont mené à des impacts majeurs pour les plaisanciers du lac et les opérateurs de marina. Bien que Rio Tinto agisse comme gestionnaire du niveau du lac, il ne possède qu'un contrôle partiel sur celui-ci et les événements de 2021 sont davantage liés aux conditions exceptionnelles connu qu'à une gestion non-optimale des apports en eau.

6.2.3.2 Autres mentions

Dans le reste du Québec, d'autres sites de villégiature ont identifié des enjeux liés à la disponibilité de l'eau. Bien qu'un portrait fin de chaque événement relèverait du « cas par cas », les enjeux soulevés précédemment semblent se généraliser sur le territoire. Les problématiques associées à une gouvernance de barrage évoquent souvent des conflits entre gestionnaires et usagers en aval. C'est le cas par exemple au lac des Deux-Montagnes pour lequel il y a une perception que son niveau est fortement régulé par la centrale Carillon. En effet, la centrale a un petit effet

localement et ponctuellement. Toutefois, le niveau du lac des Deux-Montagnes dépend principalement de l'eau venant de l'Outaouais, qui elle peut être partiellement contrôlée par les grands barrages en amont, où des niveaux historiquement bas furent relevés à l'été 2021. Un des centres de pêche était inaccessible selon l'organisme de bassin versant de la rivière des Mille-Îles et les activités de plaisance fortement restreintes dans la baie. Les enjeux sont les mêmes sur la rivière de la Petite Nation au barrage du lac Barrière qui a justement pour vocation le maintien d'un niveau d'eau pour la navigation estivale. Selon les informations transmises par l'OBVRPNS, bien que peu détaillées, la rivière voit également ses populations de poissons d'eau douce diminuer, limitant ainsi les pratiques de pêche.

L'une des études ayant documenté les effets des bas niveaux d'eau sur le lac Saint-Pierre tire la conclusion que les services écosystémiques rendus par les écosystèmes aquatiques seront affectés significativement par les changements climatiques (He et al., 2016). C'est le cas notamment de la pêche récréative sur le lac Saint-Pierre et des autres activités récréotouristiques supportées par le lac, dépendantes de la qualité des habitats et de la conservation des écosystèmes. On estime que les activités récréotouristiques sur le lac génèrent des retombées économiques de l'ordre de 600 M\$ annuellement et pourraient être affectées lourdement et mener à des pertes économiques variant entre 880 M\$ et 2 342 M\$ entre 2015 et 2064 sans mesures d'adaptation (He et al., 2016).

Sans que cette conséquence ait été identifiée dans les sondages auprès des OBV, les étiages sévères et incidemment l'augmentation des températures mèneront à des perturbations sur les poissons d'eau froide, dont le saumon atlantique (voir section 5.4). Poisson emblématique pour la pêche récréative dans l'est du Québec, les conséquences des étiages sévères sur l'espèce mèneront ultimement à des conséquences en cascade sur la pratique du sport et éventuellement sur l'activité économique régionale particulièrement importante sur la Côte-Nord et en Gaspésie.

Bien qu'il soit difficile de relier directement les étiages, l'augmentation de la chaleur de l'eau et éventuellement la santé des populations de saumons, certaines régions, dont le Nouveau-Brunswick, ont mis en place des protocoles de pêche en eau chaude afin de limiter l'effet possible sur les saumons. Il y a essentiellement deux principales mesures réglementaires, dont la fermeture de certaines fosses froides ou tronçons de rivière (refuges thermiques) entre 11h et 6h le lendemain lorsque la température de l'eau est supérieure à 20°C pendant deux journées consécutives. Lorsque la température de l'eau est supérieure à 23°C pendant deux journées consécutives, il y a fermeture complète de la pêche dans ces mêmes secteurs. Des températures inférieures au seuil de 23°C pendant deux journées consécutives permettent la réouverture de la pêche (M. Bergeron & Déry, 2022).

Au Québec, il n'existe pas de mécanisme réglementaire établi à l'échelle de la province comme celui du Nouveau-Brunswick. Toutefois un projet pilote sur les rivières Petit-Saguenay et Saint-Jean Saguenay est en place depuis 2020 afin de tester les mécanismes de gestion de la pêche en eau chaude. Les mécanismes de fermeture prévue au projet ont d'ailleurs été appliqués pour une première fois en 2021, alors que la pêche a été fermée en raison des températures d'eau critiques pour le saumon, du 18 au 28 août sur la rivière Saint-Jean Saguenay et du 19 et au 28 août sur la rivière Petit Saguenay (MELCCFP, 2022b). Éventuellement, si le projet est concluant, il pourrait s'étendre à d'autres secteurs de pêche au Québec en limitant la pression de la pêche, mais en ayant des impacts positifs sur la survie de l'espèce.

6.2.4 Autres conséquences

Au-delà des conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place et par prélèvement, les étiages sévères et le manque d'eau peuvent affecter d'autres dimensions de notre rapport à l'eau, notamment sur la dimension économique. C'est le cas notamment du rôle que jouent les plans et les cours d'eau auprès des propriétaires riverains et ultimement sur la valeur des propriétés riveraines. En règle générale, les propriétés établies en bordure de l'eau sont valorisées en raison d'avantages tels que la qualité de la vue, l'accès direct à la navigation et à la baignade ainsi que l'attrait de l'environnement.

La réduction des débits en été et l'occurrence d'étiages extrêmement sévères menant à une baisse des niveaux d'eau, peuvent avoir une incidence sur la vue et l'accès à l'eau des propriétaires riverains. Les vues peuvent perdre une portion de leur valeur esthétique si les plages sont érodées, si la baisse du niveau de l'eau laisse voir de la boue et des roches ou si le bord de l'eau se couvre de marécages et de plantes aquatiques telles que des algues. La baisse du niveau d'eau peut aussi réduire l'accès aux plans d'eau pour la navigation ou la baignade et entraîner des coûts liés à l'agrandissement des quais, par exemple.

Ces impacts peuvent mener à une baisse de valeur des propriétés riveraines tel qu'évalués dans une étude sur les propriétés en bordure du Saint-Laurent (Özdilek & Revéret, 2015). Les estimations sur les baisses de niveau d'eau dans le Saint-Laurent pourraient mener à une baisse de 2 % de la valeur des propriétés riveraines en fonction des scénarios *What if* analysés.

7. PORTRAITS DES ÉTIAGES SÉVÈRES PASSÉS ET FUTURS ET DE LEURS CONSÉQUENCES

EN BREF

- En 2021, les bas niveaux d'eau ont soulevé de multiples enjeux dans le sud du Québec: difficulté d'approvisionnement en eau potable pour de nombreuses municipalités et résidents détenant un puits privé, augmentation des coûts de traitement de l'eau, interdictions d'usages extérieurs de l'eau, difficulté d'irrigation pour des producteurs agricoles et diverses conséquences pour le nautisme de plaisance.
- Sans adaptation et anticipation dans la gestion intégrée de la ressource « eau », l'ensemble des conséquences déjà vécues seront exacerbées en 2045 (scénario +2°C) et en 2065 (scénario +3°C), particulièrement dans les basses-terres du Saint-Laurent, touchant de plein fouet le sud du Saint-Laurent (Montérégie, Estrie, Centre-du-Québec, Chaudière-Appalaches).
- Du côté des écosystèmes, sous un scénario d'étiage sévère ayant lieu en 2065 dans un climat à +3°C, l'eau des cours et des plans d'eau connaîtra une détérioration sans précédent: baisse généralisée de l'oxygène dissout, hausses ou baisses importantes du pH selon les régions, augmentation des polluants, floraisons d'algues toxiques, etc. À l'exception de quelques espèces de poissons tolérantes aux eaux chaudes, on anticipe que les populations des espèces de poisson auront toutes diminué.

Cette section présente les scénarios de déficits en eau sévères et les conséquences qui leur sont associées sur le territoire québécois sous zone de gestion (territoire des 40 zones de gestion intégrées de l'eau par bassin versant). Ces fiches, au nombre de trois, s'intéressent à un évènement historique et à deux évènements futurs de déficits en eau. La fiche de l'évènement historique, ancré dans l'été 2021, brosse un portrait concret d'un épisode de déficit en eau récent ayant marqué la population québécoise avec une couverture géographique à grande échelle. Nous retenons cet évènement puisqu'il a été marquant par son intensité, sa durée et sa couverture géographique. Il permet également de fournir un référent historique au lecteur dans l'appréciation de l'ampleur et de la sévérité des conséquences qui sont décrites dans les scénarios +2°C et +3°C.

Quant aux deux scénarios futurs, ils se produisent dans un monde où le climat mondial s'est réchauffé respectivement de 2°C en 2045 et de 3°C en 2065, par rapport à l'ère préindustrielle. Le Québec fait face à des conditions hydroclimatiques favorables à l'occurrence d'épisodes de déficit en eau. De plus, les besoins en eau sont en augmentation à mesure que la population du Québec augmente et que la demande en eau s'accroît lors des périodes de grandes chaleurs et de faibles précipitations. Cette augmentation des besoins en réponse aux conditions météorologiques est particulièrement intense dans le secteur agricole et pour les consommateurs résidentiels.

Les fiches exposent comment de tels scénarios induisent une pression plus importante sur la ressource et surtout quelles conséquences pourraient se manifester sur le territoire québécois. Au total, 29 conséquences sur les différents usages de l'eau sont projetées et permettent de

soulever l’ampleur des enjeux auxquels le Québec pourrait faire face dans les prochaines décennies. **Il est important de noter que ces projections doivent être considérées comme une extrapolation de la possibilité qu’une conséquence se matérialise dans une région donnée. Autrement dit, si les conditions sont réunies, il est probable que la conséquence se matérialise dans l’un ou l’autre des secteurs au sein de la région durant l’évènement, mais il n’est pas certain que celle-ci se matérialise.**

Le tableau 7-1 reprend la classification du niveau d’alerte du contexte hydroclimatique des évènements de déficits en eau sur le territoire québécois. Celui-ci sert à extrapoler les conséquences sur le territoire en fonction des niveaux atteints dans chacune des ZGIEBV. Cette approche (détaillée à l’annexe E) est employée pour les fiches Scénario +2°C et +3°C, alors que la fiche de l’évènement de 2021 se fonde sur une description des conséquences recensées sur le territoire québécois dans la littérature et à travers la consultation des OBV et d’experts.

Tableau 7-1. Niveau d’alerte du contexte hydroclimatique des évènements de déficits en eau

Niveau d'alerte	Contexte hydroclimatique	
	Précipitations	Débits
Niveau 0	Au-delà de 80 % de la moyenne historique en été	Débit mensuel supérieur à 70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 1	Moyenne des 3 derniers mois < 80 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 2	Moyenne des 3 derniers mois < 60 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 40 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 3	Moyenne des 3 derniers mois < 40 % moyenne historique en été	Débit mensuel inférieur à 30 % du plus faible débit mensuel en été

7.1 FICHE HISTORIQUE : ÉPISODE DE 2021

Deuxième année consécutive où le Québec manque d’eau, l’année 2021 passe à l’histoire comme un des évènements de manque d’eau ayant affecté une grande portion du territoire québécois et par une année exceptionnellement chaude et sèche partout dans la province.

7.1.1 Contexte climatique et hydroclimatique

L’évènement prend racine dans une crue printanière qui est précoce et faible, particulièrement dans l’ouest de la province, résultat d’un des hivers les plus secs et doux que le Québec ait connu, menant à un couvert de neige beaucoup plus faible qu’à l’habitude (MELCCFP, 2023c). Cela a mené à un devancement de la crue printanière de plus d’un mois sur une grande partie du Québec. Le temps anormalement sec s’est poursuivi au printemps et en été, ce qui signifie que le débit des rivières est tombé très bas dès la fin de la crue printanière et n’a pas remonté, dans certains cas, jusqu’à tard en automne. L’Estrie et en particulier la rivière Saint-François ont été fortement touchés en 2021, avec des débits près de l’embouchure de la rivière Magog observés entre 20 et 30 m³/s pratiquement sans répit de la mi-juin à la mi-octobre, alors que le débit médian varie habituellement de 100 m³/s en juin jusqu’à 40 m³/s à leur plus bas en septembre.

L'été 2021 a été marqué par des températures exceptionnellement au-dessus des normales de saison et une pluviométrie bien en deçà des normales. Des records de chaleur ont été enregistrés un peu partout dans la province, particulièrement au mois d'août, considéré comme le mois d'août le plus chaud en au moins 100 ans au sud de la province, 3,0°C au-delà de la normale (1981-2010). Le mois d'août a été également marqué par une canicule à un endroit ou un autre au Québec tous les jours du 16 au 26, alors que les 23 derniers jours du mois ont été plus chauds que la normale au Québec, avec certains jours des anomalies moyennes atteignant 7,8°C au-dessus des normales saisonnières au sud.

Le mois d'août a également été le plus sec en 63 ans en moyenne au sud du Québec. Dans bien des endroits, notamment en Estrie, en Beauce, dans Charlevoix et au Bas-Saint-Laurent, l'année 2021 aura été bien en deçà des normales en matière de pluviométrie. Dans certains endroits de la province, on a enregistré des minimums de pluie record. La province a d'ailleurs fait face à la séquence juillet-août la plus sèche des 105 dernières années.

Les températures très élevées et la faible pluviométrie se sont répercutées sur les débits des rivières qui ont été très faibles durant tout l'été, et jusqu'à l'automne. Le Q_{7min} a été faible voir très faible dans plusieurs régions du Québec, et le nombre de jours sous le $Q_{2,7}$ élevé sur l'ensemble de la province. Dans certaines régions, on a compté plus de 60 jours en dessous des moyennes historiques témoignant de l'intensité, mais surtout de la durée de l'évènement (Figure 7-1). Dans la majorité des régions du Québec, le débit minimal de récurrence 10 ans a été atteint, témoignant d'un évènement d'une sévérité importante.

Selon notre approche par niveau d'alerte, nous estimons que près de 900 municipalités (>50 % de la population québécoise) ont été en situation de conditions hydroclimatiques pouvant être contraignantes relativement à la disponibilité de l'eau, c'est-à-dire minimalement au niveau 1.

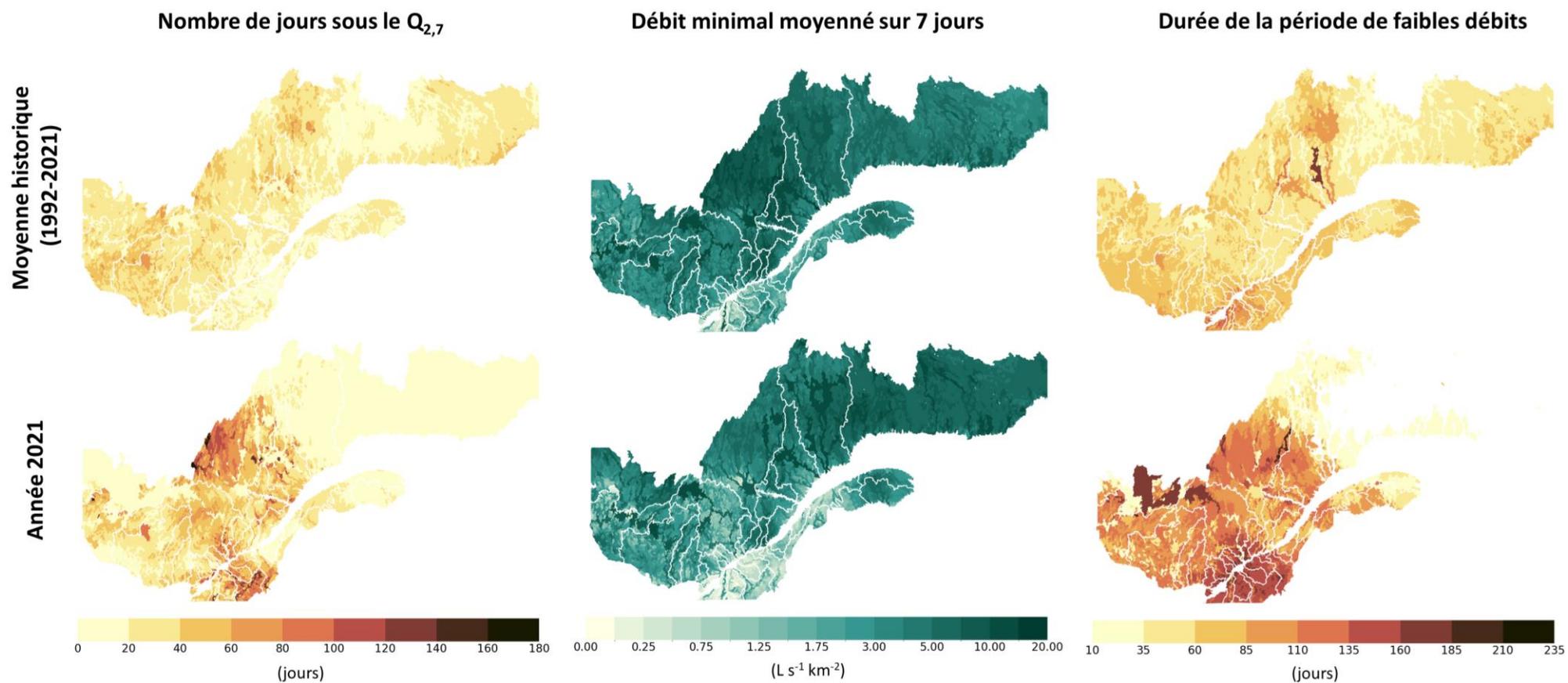


Figure 7-1 Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021 et l'année 2021.

7.1.2 Contexte socioéconomique

L'évènement de manque d'eau de 2021 s'inscrit dans un Québec qui se relève tranquillement d'une autre grande crise importante, celle de la pandémie de COVID-19. Les enjeux climatiques sont relayés au second rang de l'actualité alors que la gestion de la crise sanitaire occupe encore beaucoup de place dans l'espace médiatique. Le Québec s'apprête à faire face à un deuxième été de pandémie et les restrictions demeurent incertaines pour l'été et les prochaines années.

Dans ce contexte, la pandémie a amené essentiellement deux grandes transformations en lien avec la consommation d'eau. D'abord, les migrations interrégionales se sont transformées alors que des régions plus excentrées des grands centres urbains ont attiré de nombreux télétravailleurs. Les régions de Lanaudière, des Laurentides et de l'Estrie ont enregistré des gains de populations appréciables, notamment dans des municipalités plus distantes de Montréal, ajoutant une demande importante en matière de consommation d'eau. Par exemple, seulement pour l'année 2021-2022, Argenteuil a connu un solde migratoire net positif de 3 % (Institut de la statistique du Québec, 2022).

Ensuite, la pandémie a modifié certains comportements de consommation en raison de la transformation rapide des habitudes de la population, notamment en influençant le temps et les activités réalisées à la maison. Par exemple, les ventes de piscines ont explosé lors de l'été 2020, augmentation qui s'est poursuivie en 2021 alors que planait encore l'incertitude face à la pandémie et que les Québécois s'attendaient à être confinés à la maison. Similairement, plusieurs Québécois ont réalisé des projets de potagers et d'aménagement paysager à la maison, faisant également pression sur la demande en eau résidentielle.

Les changements dans les habitudes de consommation des Québécois, combinés aux conditions climatiques exceptionnelles, ont augmenté la demande en eau sur l'ensemble du territoire québécois, et ont exercé une pression induite sur la ressource.

La pression a été particulièrement importante au mois d'août alors que la province faisait face à des températures extrêmement élevées et peu de précipitations. La demande était à son comble, mais la ressource, elle, n'était pas disponible tant en eau de surface qu'en eau souterraine.

L'indice de pression, tel que modélisé, était très élevé dans plusieurs régions du Québec, alors que dans 23 des 40 ZGIEBV, on estime que les prélèvements dépassaient le 15 % du $Q_{2,7}$, seuil établi pour maintenir l'intégrité des écosystèmes aquatiques pour au moins un tronçon de rivière dans la zone.

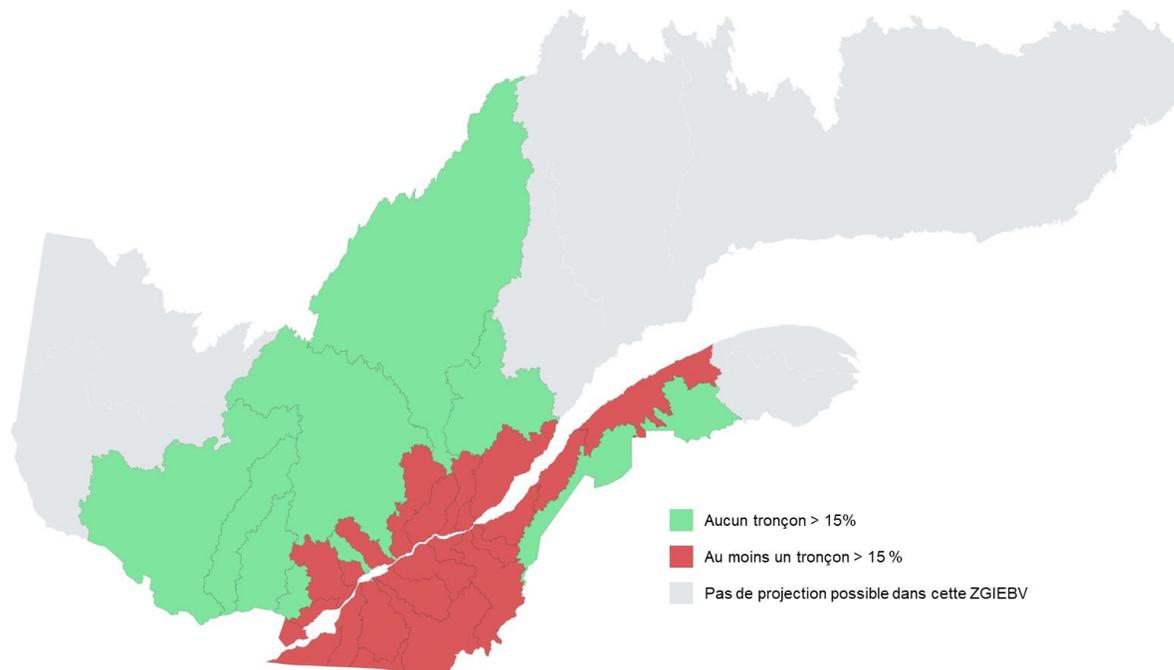


Figure 7-2. ZGIEBV affichant au moins un tronçon avec une pression supérieur à 15% du débit minimum moyenné sur 7 jours de récurrence 2 ans en 2021

7.1.3 Conséquences vécues sur le territoire

Cette section intègre des informations issues de la revue de littérature, des réponses au questionnaire transmis aux OBV et des échanges avec des experts. En complément à cette section, les tableaux D-4 à D-10 de l'Annexe D présentent plusieurs épisodes identifiés sur le territoire pour l'année 2021. **Il est important de noter que les informations issues du questionnaire des OBV présentées dans cette section ne constituent pas des faits scientifiques prouvés et vérifiés.** Ce sont des réponses fournies de bonne foi et qui, à travers le filtre de l'expertise de l'OBV, traduisent des observations faites par différents acteurs de l'eau.

7.1.3.1 Conséquences sur les usages par prélèvement

Approvisionnement en eau potable

Les conséquences de l'épisode de 2021 sur les usages par prélèvement ont été concentrées dans le sud du Québec, particulièrement en Montérégie et en Estrie. De plus, tous les types d'approvisionnement en eau potable ont été touchés : les approvisionnements municipaux en eaux de surface et en eaux souterraines, comme les approvisionnements des puits privés en eaux souterraines.

Du côté des approvisionnements municipaux en eaux de surface, plusieurs municipalités qui ont des enjeux chroniques d'accès à l'eau ont été affectées en 2021 (section 6.1.1 et tableau D-7 de l'Annexe D). De plus, plusieurs municipalités ont dû imposer des restrictions et interdictions d'usage, et ont fait face à une augmentation des coûts de traitement de l'eau, notamment en

raison de la baisse du facteur de dilution et de l'augmentation de la température de l'eau. Parmi les municipalités touchées, notons les suivantes :

- Vaudreuil-Dorion (Montérégie, Rivière des Outaouais, OBV COBAVER-VS)
- Chambly, Richelieu, Marieville, Carignan (Montérégie, Rivière Richelieu, OBV COVABAR)
- Bromont, Farnham et Saint-Hyacinthe (Montérégie et Estrie, Rivière Yamaska, OBV Yamaska et OBV Baie-Missisquoi)
- Daveluyville (Centre-du-Québec, Rivière Bécancour, OBV GROBEC)
- Ville de Québec

L'année 2021 a également été problématique pour de nombreuses municipalités dont les réseaux d'aqueduc dépendent des eaux souterraines en Montérégie et en Estrie, touchant en particulier les MRC et municipalités suivantes :

- MRC Vaudreuil-Soulanges (Montérégie) : Saint-Lazare, Vaudreuil-Dorion, Rigaud, Vaudreuil-sur-le-Lac, St-Polycarpe, Les Cèdres
- MRC des Jardins-de-Napierville (Montérégie) : Napierville, Saint-Cyprien-de-Napierville, Saint-Jacques-le-Mineur, Saint-Édouard, Saint-Michel et Saint-Rémi
- MRC de Rouville (Montérégie) : Saint-Paul-d'Abbotsford
- MRC des Maskoutains : Saint-Liboire, Sainte- Hélène-de-Bagot, Upton
- MRC Haute-Yamaska (Estrie)
- MRC de l'Érable (Centre-du-Québec) : Laurierville

En raison des faibles niveaux de la nappe phréatique en 2021, ces municipalités ont dû imposer des restrictions et interdictions d'usage à leurs citoyens (interdictions d'usage extérieur de l'eau, interdictions et restrictions d'arrosage). De plus, à la suite de cet épisode, plusieurs municipalités songent à revoir leurs installations d'approvisionnement (OBV Yamaska).

Finalement, de nombreux résidents dont l'approvisionnement est assuré par un puits de surface ont manqué d'eau en 2021 dans le sud du Québec, particulièrement en Montérégie et en Estrie (MRC Rouville, MRC Maskoutains, MRC Brome-Missisquoi, MRC Haute-Yamaska). En plus d'être récurrents depuis 2019, les enjeux d'approvisionnement en eaux souterraines ont été particulièrement critiques pour les résidents de la MRC de Brome-Missisquoi, où les puits privés constituent l'une des principales sources d'approvisionnement pour plusieurs municipalités.

Dans les autres régions du Québec, seuls quelques cas de manque d'eau de puits privés ont été recensés en 2021, notamment dans les municipalités de Saint-Norbert (MRC d'Autray, Lanaudière) et Laurierville (MRC de l'Érable, Centre-du-Québec). Pour de nombreux résidents touchés dans le sud du Québec, le bas niveau de la nappe phréatique a forcé le recreusage des puits existants ou le creusage de nouveaux puits afin d'avoir accès à la ressource. (Voir Tableau 6-3 dans la Section 6.1.1).

Productions agricoles

L'été 2021 a été particulièrement difficile pour les producteurs agricoles de la Montérégie, de l'Estrie et du sud des Laurentides. La région du Bas-Saint-Laurent, particulièrement touchée en 2017 et 2018, a toutefois été largement épargnée en 2021. Les étiages sévères de plusieurs rivières (rivières des Outaouais, ruisseau Rousse, rivière de la Petite Nation, rivière l'Acadie, rivière aux Saumons) combinés au faible niveau de la nappe phréatique à plusieurs endroits ont sévèrement compromis l'approvisionnement en eau et les opérations de nombreuses entreprises agricoles, incluant des maraîchers, vergers, producteurs laitiers et producteurs de cultures fourragères.

Le manque d'eau causé par les étiages sévères et la sécheresse a rendu l'irrigation très complexe pour les producteurs y ayant recours, donnant ainsi lieu à des pertes importantes de récoltes et de rendement. Certains producteurs ont également dû déboursier des frais importants afin d'avoir recours à la livraison d'eau via des camions-citernes pour remplir des bassins et abreuver leurs bêtes (tableaux D-7, D-8 et D-9 de l'Annexe D.)

Des piscicultures situées en Estrie ont également été sévèrement affectées à l'été 2021. En effet, les épisodes d'étiage sévère entraînent notamment un réchauffement de l'eau dans les bassins, occasionnant des pertes de rendement, différentes selon les espèces (l'omble de fontaine étant plus sensible que la truite arc-en-ciel). Les pertes monétaires n'ont toutefois pas été chiffrées.

L'été 2021 a également accentué certaines problématiques de conflits d'usage déjà présents au cours des dernières années, notamment entre producteurs agricoles de petites et de grandes tailles (Rivière de la petite-Rouge, RPNS) et entre producteurs agricoles et résidents s'approvisionnant de puits de surface privés (rivière La Chaloupe, OBV Zone Bayonne). (tableau D-9 de l'Annexe D.)

La sévérité des étiages et la sécheresse de 2021 ont certainement occasionné un stress important chez les producteurs dont les activités ont été touchées. Toutefois, l'impact sur la santé des producteurs agricoles de cet épisode n'a pas été documenté en profondeur et pourrait faire l'objet d'études futures afin de mieux comprendre les impacts à long terme sur les producteurs agricoles.

Usages institutionnel, commercial et industriel (ICI)

Le registre des grands préleveurs permet de mesurer l'intensité des consommations en eau du secteur ICI. Parmi les plus exigeants, on retrouve les grands réseaux d'aqueducs desservant les plus grandes municipalités, le secteur agroalimentaire et de nombreux autres industriels (alumineries, chimie, plastiques, papiers, etc.).

À notre connaissance, il n'y a pas eu de conséquences graves documentées sur le secteur industriel, commercial ou institutionnel en 2021.

7.1.3.2 Conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place

Au niveau des conséquences sur les usages de l'eau utilisée sur place, l'été 2021 a été marqué par des impacts sur le secteur récréotouristique. À plusieurs endroits sur le territoire, les niveaux de l'eau étaient bas, ce qui a entraîné des conséquences sur le nautisme, mais également sur la baignade et l'utilisation d'embarcations de type canot, kayak et planche à pagaie.

Mentionnons le cas du Lac-Saint-Jean, où plusieurs marinas en embouchure de rivière ont dû fermer plus tôt dans la saison en raison du niveau du Lac. Mais également des impacts dans le sud du Québec, sur la rivière des Mille-Îles ou dans Lanaudière, où au lac Taureau, la municipalité de Saint-Michel-des-Saints a été contrainte de fermer ses quatre rampes de mise à l'eau, faute d'un niveau d'eau suffisant.

Bien que les secteurs du transport maritime et de la production hydroélectrique ont certainement été affectés par les très faibles débits de l'été 2021, aucune information n'a bruité quant aux conséquences réelles de cet événement.

7.1.3.3 Conséquence sur les écosystèmes

Des OBV ont rapporté quelques épisodes en 2021. Ces épisodes sont détaillés au tableau D-11 situé à l'annexe D. Le COBAMIL rapporte des conséquences qui impactent les écosystèmes et les biens et services qu'ils offrent à bien des égards et qui illustrent bien les conséquences en chaîne qui peuvent survenir lors d'une période d'étiage sévère. La baisse du niveau de l'eau a conduit à exonder certains milieux humides riverains, cet assèchement a permis d'augmenter la colonisation d'EFEE, conduit à la mortalité de plantes aquatiques (probablement des espèces dites submergées, même si cette information n'a pas été fournie et à l'augmentation de la densité des macrophytes, probablement submergées, car moins d'eau était disponible. Ces conséquences ont fort probablement impactés le succès de reproduction de diverses espèces de poissons ainsi que d'autres organismes aquatiques affectant inévitablement la chaîne trophique.

Le COBAVER-VS rapporte une baisse record du niveau de l'eau qui a conduit à une mortalité importante du poisson, à une eutrophisation sévère et à la présence de cyanobactéries. Ces conséquences ont été observées dans le fleuve et dans la rivière des Outaouais. Ici, encore, ces conséquences pointent vers un impact sur la chaîne trophique. Cette fois-ci occasionné par une détérioration de la qualité de l'eau et à une mortalité importante des poissons. L'effet cascades est ici encore aisément démontrable. La détérioration de la qualité de l'eau probablement directement influencé l'eutrophisation et l'augmentation de cyanobactéries. Ces deux conséquences ont certainement contribué à la mortalité importance de poissons. Une fois mort, ceux-ci se sont décomposés dans l'eau, réduisant sa qualité et contribuant potentiellement plus de mortalité de poisson et exacerbant l'eutrophisation.

7.2 CLIMAT FUTUR : SCÉNARIO +2°C (2045)

Nous sommes en 2045 et le Québec fait face à un des pires épisodes de manque d'eau sévères de son histoire¹³. Si cet épisode s'apparente aux forts étiages historiques en termes de faibles débits, c'est davantage la durée de l'épisode qui a généré des conséquences majeures sur le territoire, l'épisode étant similaire au niveau de l'intensité à d'autres épisodes passés (dont 2021), mais beaucoup plus long, s'allongeant jusqu'à la saison automnale.

7.2.1 Contexte climatique et hydroclimatique

Cette année, le temps chaud a été particulièrement précoce et a mené au devancement de la crue printanière de plusieurs semaines, voire de plus d'un mois au Saguenay-Lac-Saint-Jean et dans la région de la Capitale-Nationale. Comme cela avait été le cas lors des épisodes d'étiage historiques, dont 2021, les faibles volumes de crue dans presque toute la province ont précipité l'arrivée de la saison estivale, avec de faibles débits observés dès la mi-avril dans les cours d'eau du sud du Québec et à la fin mai/début juin ailleurs. À l'automne, des temps secs au sud du Saint-Laurent ont grandement prolongé la saison estivale et les débits sont restés bas jusqu'à la mi-octobre en Gaspésie et dans le Bas-Saint-Laurent (voir figure 7-2). Dans le sud du Québec et la vallée du Saint-Laurent, il faut plutôt attendre jusqu'en novembre pour voir les débits remonter. Même si elle avait été moins touchée lors de l'étiage historique, l'automne se fait long et sec sur la rive nord aussi. La Côte-Nord, elle aussi, observe, elle aussi, de faibles débits jusqu'en novembre.

Cet été particulièrement long, sec et chaud signifie que le nombre total de jours où les débits furent en dessous du $Q_{2,7}$ historique (1992-2021), voire du $Q_{10,7}$ – indicateur révélateur de la sévérité des étiages durant l'année – est en hausse significative dans la plupart des bassins versants. Dans le sud du Québec, ce nombre s'est accru de plus de 30 jours par rapport au pire événement vécu sur le territoire. Plusieurs bassins versants dans le sud du Québec, en Gaspésie et en Mauricie cumulent ainsi plus de 75 jours sous le $Q_{2,7}$ historique pendant l'été 2045, et encore plus critique, plus de 40 jours sous le $Q_{10,7}$ historique (voir Figure 7-1). Plus au nord, on observe une hausse moins soutenue par rapport à l'événement historique (variable selon les régions), de l'ordre de 7 à 14 jours supplémentaires sous ces seuils.

Cela ne signifie pas que les débits moyens sont du jamais vu. En effet, même si les débits demeurent anormalement bas jusqu'en automne par rapport aux conditions moyennes, ils ne sont finalement pas si différents des pires étiages qui avaient été vécus dans le passé. Signe des précipitations hivernales qui augmentent dans le nord en raison des changements climatiques, on observe même une faible amélioration des débits moyens en hiver et au printemps dans ces régions. Même les plus faibles débits hebdomadaires de l'année ($Q_{7\min}$) ressemblent de près aux étiages de 2010, 2018 et 2021 pour une grande partie du territoire québécois. Ce qui démarque 2045 est encore une fois l'automne, où le prolongement de la saison estivale jusqu'en octobre et novembre signifie que les débits moyens diffèrent sensiblement des conditions observées lors des étiages historiques.

¹³ Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de développement socioéconomique utilisés par le G.I.E.C. projettent un réchauffement global de +2°C autour de 2045 (Lee et al., 2021).

Ainsi, si ce n'est pas la variation des volumes qui dicte la sévérité de l'étiage cette année, c'est plutôt la durée de la saison « sèche » qui amène une cascade de conséquences et des besoins d'adaptation quant à la gestion de l'eau sur le territoire du Québec.

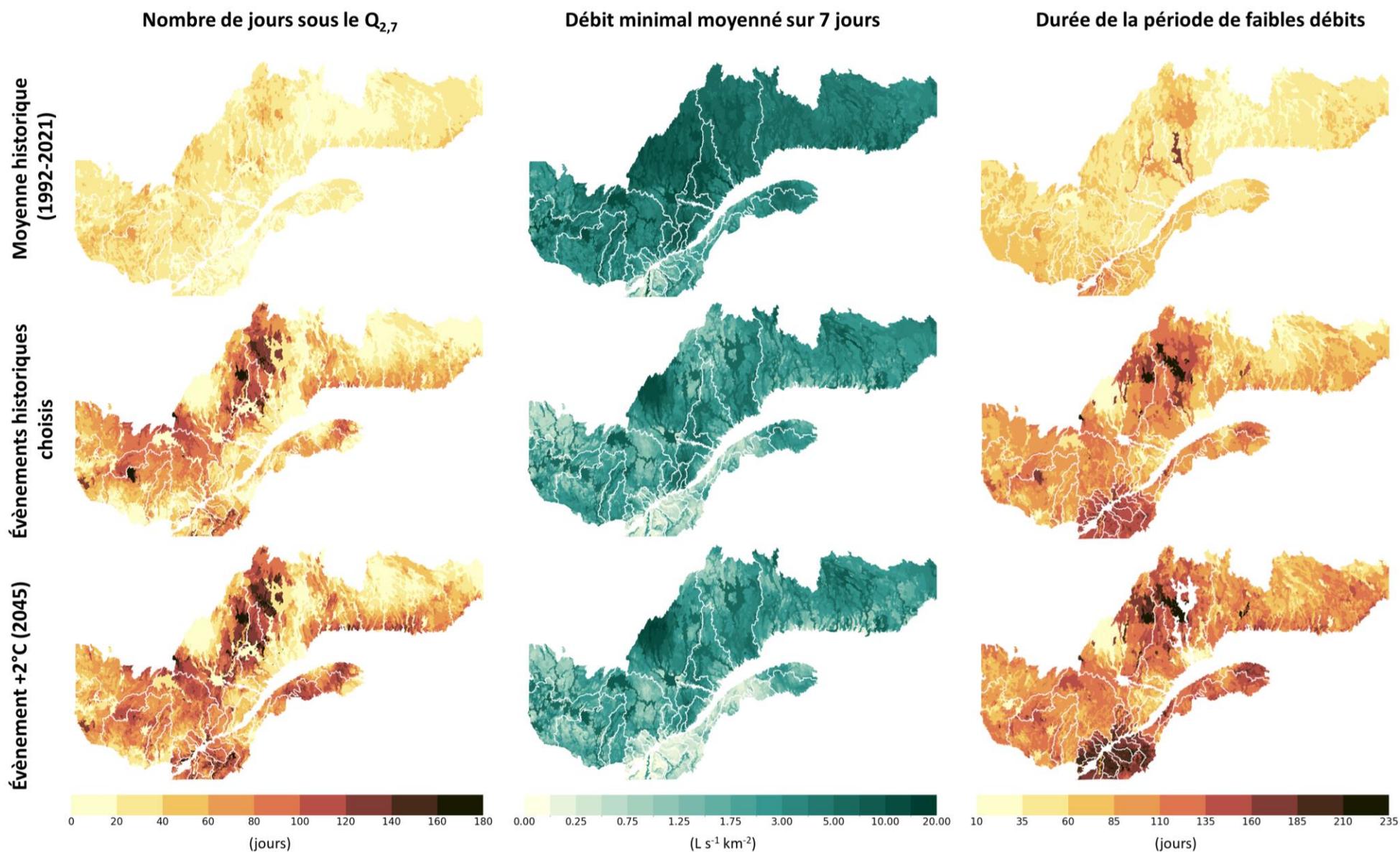


Figure 7-3 Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021, les évènements de manque d'eau récents (selon les régions : 1995, 2010, 2018 ou 2021) et les projections pour le scénario à +2°C (2045).

7.2.2 Contexte socioéconomique

Cet évènement s'inscrit dans un Québec où, au cours des 20 dernières années, l'évolution démographique et économique n'a pas connu de grand bouleversement. Depuis 2022, la population a cru d'un peu moins d'un million d'habitants sur le territoire québécois s'établissant à 9,6 millions d'habitants en 2045. Les pratiques de développement n'ont guère évolué, et les couronnes continuent de s'étendre au pourtour de Montréal et Québec avec un modèle axé sur l'auto solo et la résidence unifamiliale. Le taux de croissance de la population demeure élevé dans les régions adjacentes à Montréal : les Laurentides, Lanaudière, la Montérégie et l'Estrie affichent des taux de croissance entre 15 et 25 % de leur population entre 2022 et 2045.

En matière d'économie d'eau potable, les changements de comportement ont été peu encouragés au cours des dernières années. La stratégie nationale d'économie d'eau potable n'a pas été renouvelée à la suite de sa mouture de 2019-2025, et les consommations unitaires ont ainsi stagné au niveau des années 2020 (soit autour de 216 litres/personnes/jour). Globalement, on assiste donc à une augmentation des besoins en eau couplée à la croissance de la population et de l'activité économique. L'activité économique poursuit sa croissance des dernières années et ne modifie pas drastiquement ces efforts en matière d'économie d'eau potable.

Quant à l'agriculture, les cultures irriguées ont connu des augmentations importantes de superficie, notamment les produits maraîchers et les légumes de transformation, afin d'approvisionner un marché en forte croissance ici et ailleurs. La viande blanche de volaille a pris une part plus importante dans le régime alimentaire des Québécois, au détriment de la viande rouge, particulièrement celle du bœuf et du veau. Les élevages avicoles se sont donc développés.

7.2.3 Pression sur la ressource

Les chaleurs intenses et l'absence de précipitations qui ont marqué l'été 2045 ont augmenté la demande en eau sur le territoire québécois pour tous les usagers de l'eau. Les citoyens faisant face aux chaleurs accablantes souhaitent arroser davantage leur pelouse, leur potager et remplir leur piscine plus fréquemment, malgré les interdictions d'arrosage qui sévissent depuis le mois de mai. La demande en eau est en moyenne 15 % supérieure à un été normal, parfois près de 25 % supérieure autour des rivières des Mille-Îles, Richelieu, Chaudière ou Bayonne.

Chez les agriculteurs, les besoins des cultures sont également en forte augmentation. Pour les cultures de pommes de terre par exemple, les superficies irriguées pour les régions de Chaudière-Appalaches et Centre-du-Québec ou Lanaudière ont presque doublé. Les producteurs se sont équipés au cours des 20 dernières années de systèmes d'irrigation additionnels en raison des sécheresses successives. Ils doivent irriguer plus fréquemment en raison du déficit hydrique de cet été. Ce changement de pratique leur permet d'être plus résilients face à des évènements comme ceux que nous connaissons. Toutefois, cela demande d'avoir accès à une ressource en eau fiable, ce qui n'est pas le cas partout. Par exemple, les maraîchers de la Montérégie tentent de réduire l'impact sur leur culture, ce qui nécessite une augmentation de leurs prélèvements en eaux souterraines, mais de nombreux puits sont à sec. Le secteur récréotouristique, avec les clubs de golf en tête, peine à maintenir des conditions de jeux acceptables, et doivent arroser les parcours beaucoup plus fréquemment.

En plus de la demande qui est très élevée, la ressource se fait également plus rare alors que l'étiage est très sévère et surtout plus long, particulièrement dans le sud du Québec. Cette combinaison de forte demande et faible disponibilité crée, pour les eaux de surface, une pression sur la ressource très forte, notamment dans les régions déjà vulnérables du sud et de l'ouest du Québec. On voit apparaître plusieurs régions où l'indice de pression¹⁴ est supérieur à 15 %. L'indice de pression est d'ailleurs 1,5 % supérieur à ce que nous avons connu précédemment dans l'étiage historique de 2021. Alors que pendant l'évènement historique, 23 ZGIEBV affichaient au moins un secteur où le prélèvement était supérieur à 15 % du débit minimal hebdomadaire, durant cet évènement c'est plutôt 24 des 40 ZGIEBV. Seule la zone de gestion de l'ABV des 7 s'ajoute comme une ZGIEBV où la pression est élevée¹⁵.

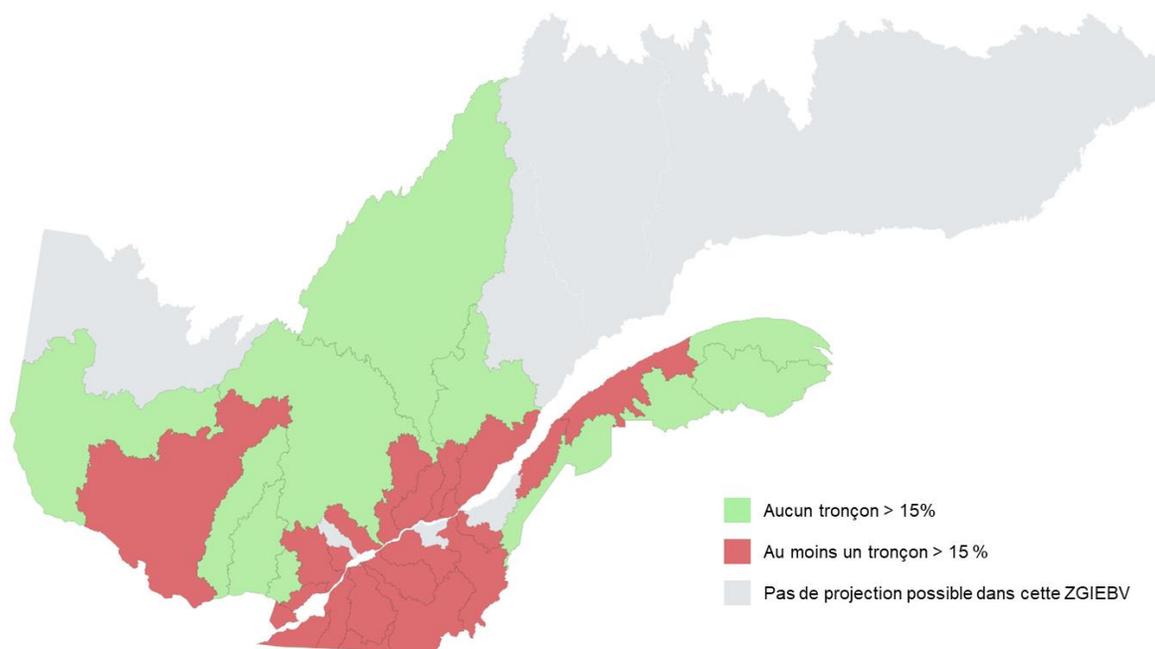


Figure 7-4. ZGIEBV affichant au moins un tronçon avec une pression supérieure à 15% du débit minimal hebdomadaire dans le scénario +2 degrés

Dans ces régions, les besoins en eau dépassent largement la norme de prélèvement de 15 % du $Q_{2,7}$, forçant les autorités municipales à ne pas respecter le critère de débits écologiques. Dans certaines rivières, principalement dans le sud du Québec, le débit minimum enregistré est carrément inférieur aux besoins des usagers de la région. C'est le cas dans certains secteurs du bassin de la Saint-François, de la Châteauguay, de la Nicolet et de la Richelieu. La pression sur la rivière des Mille-Îles est également extrêmement élevée alors que la population du bassin a

¹⁴ L'indice de pression correspond à la somme des prélèvements hebdomadaires divisé par le débit hebdomadaire minimale + la somme des prélèvements hebdomadaires.

¹⁵ Cette évaluation de l'indice de pression est faite à partir des projections des besoins en eau et des scénarios d'évolution des conditions hydroclimatiques par bassin versant spécifique pour le scénario +2 °C.

crû de 32 % au cours des 20 dernières années et que le bassin versant connaît cette année encore, plus de 100 jours où le débit passe sous le $Q_{2,7}$.

Pour les eaux souterraines, en regroupant les données à l'échelle des ZGIEBV, ce sont les bassins versants de la Yamaska, de la Saint-François, de l'Assomption, de la Chaudière et Richelieu qui sont les plus à risque. En effet, ces territoires comptent, respectivement, 55 % des municipalités dont le nombre de puits et l'indice de pression sur l'aquifère sont supérieurs à la médiane.

Pour les eaux souterraines, la capacité de recharge des aquifères est difficile à connaître avec exactitude, mais plusieurs puits privés, d'usage résidentiels et agricoles manquent d'eau. Des puits doivent être creusés en urgence; les usagers ayant des capacités de stockage se font livrer de l'eau par camion-citerne dans certains secteurs.

7.2.4 Conséquences vécues sur le territoire

CONSÉQUENCES SUR LES USAGES PAR PRÉLÈVEMENT

Aux premières loges des conséquences subies sur le territoire, les municipalités des quatre coins de la province peinent à alimenter leurs citoyens qui sont connectés sur les réseaux d'aqueduc. 23 des 40 ZGIEBV se retrouvent en niveau d'alerte 2 ou plus (voir tableau 7-2)¹⁶.

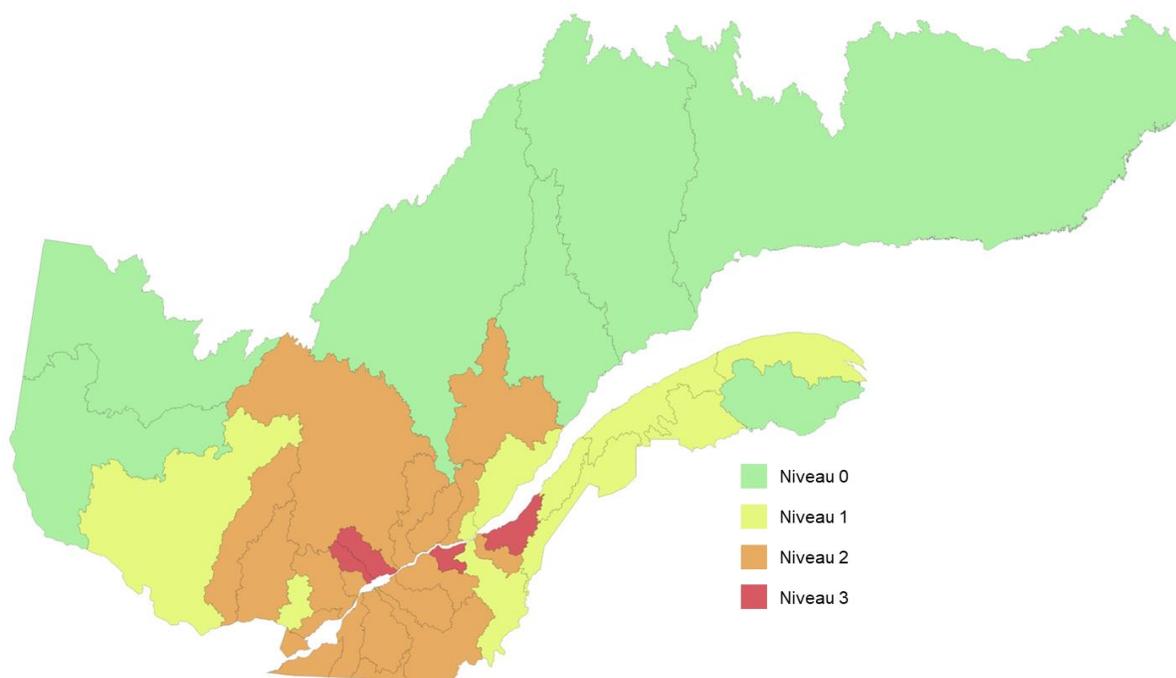


Figure 7-5. Niveau d'alerte hydroclimatique dans le scénario +2 degrés

¹⁶ Le niveau d'alerte 2 fait référence à des précipitations qui sont inférieure à 60 % de la moyenne historique en été et les débits sont 40 % du plus faible que le débit mensuel du mois le plus faible en été. Voir le tableau 2-1 pour la définition complète de chacun des niveaux d'alerte.

Plusieurs usines de traitement font ainsi face à des hausses de coûts d'opération en raison de la diminution de la qualité de l'eau brute. Les dosages des différents produits chimiques nécessaires au traitement de l'eau doivent être ajustés avec des coûts d'opération plus élevés. Dans certaines régions, particulièrement dans les Laurentides, Lanaudière, en Montérégie et en Estrie, on doit imposer des avis d'ébullition puisque les équipements de filtration actuels, qui n'ont pas été moderniser/mises à niveau, ne permettent pas de traiter une eau brute d'aussi piètre qualité. Dans les pires cas, certaines municipalités sont aux prises avec une diminution de leur capacité de production maximale (nominale), en raison de l'abaissement de la nappe de leur puits ou de l'émergence de leur prise d'eau brute, ce qui les force à restreindre les usages sur le territoire.

Globalement, de nombreuses municipalités québécoises (67 % soit 659 municipalités représentant environ 45 % de la population québécoise) adoptent des restrictions obligatoires d'arrosage et de remplissage de piscines. Parmi les 496 municipalités pour lesquelles nous disposons des informations de prélèvements en eau de surface, 142 d'entre elles prélèvent d'ailleurs au-delà des objectifs de respect des débits écologiques. En effet, durant la période d'étiage la plus critique, le débit hebdomadaire des rivières était, en moyenne sur le Québec, 45 % inférieur au $Q_{2,7}$ et ces municipalités ont prélevé plus que 15 % du $Q_{7\text{min}}$. Dans d'autres régions au niveau d'alerte 2, elles doivent potentiellement se tourner vers des sources alternatives ou investir dans des infrastructures de filtration afin de maintenir une eau de qualité.

Quant aux Québécois qui s'approvisionnent directement dans des puits privés, la situation est critique dans plusieurs régions du Québec, en particulier en Estrie où la vulnérabilité de l'approvisionnement est déjà bien présente depuis de nombreuses années. De nombreux Québécois doivent approfondir leur puits existant, et, dans certains cas, faire creuser un nouveau puits afin d'avoir accès à une eau en quantité suffisante. Dans les cas les plus critiques où les caractéristiques de l'aquifère ne permettent pas de nouveaux puits ou d'approfondir les puits actuels, les résidents doivent se faire livrer de l'eau dans des réservoirs temporaires en attendant que l'aquifère se recharge.

Les agriculteurs, les maraîchers en premier, dont les besoins en eau sont plus importants peinent à contrer les effets de la sécheresse agricole qui accompagne cet épisode de manque d'eau sévère. Les baisses de rendement ont été importantes cette saison, principalement dues aux effets de la sécheresse et à l'incapacité à irriguer, notamment pour les cultures maraîchères. Cela a forcé la Financière Agricole du Québec à dédommager davantage les agriculteurs ayant souscrit à l'assurance-récolte pour les dommages de la sécheresse. Avec l'augmentation des coûts de production liée à l'irrigation, les fruits et légumes québécois se sont vendus plus chers et perdaient de leur compétitivité par rapport à d'autres zones de production.

Dans le sud-ouest de la province, tous les grands bassins sont à des niveaux d'alerte 2, subissant des conséquences directes sur leur capacité à répondre aux besoins des usagers de l'eau. Le débit est resté d'ailleurs sous le débit écologique pendant plus de 80 jours au total, avec des conséquences directes sur les écosystèmes et les usages récréatifs.

Les secteurs industriels et commerciaux sont relativement épargnés par l'évènement vécu. Les régions de l'Abitibi et de la Côte-Nord, abritant de grands usagers du secteur minier vivent un été à peu près normal et ne connaissent pas d'enjeux particuliers liés à l'eau. Seules les zones de gestion de la Saint-François et de la Saint-Maurice, sont aux prises avec des enjeux

d'approvisionnement en eau pour leurs grands préleveurs industriels, elles qui abritent les grands préleveurs du secteur des pâtes et papier.

CONSÉQUENCES SUR LES USAGES DE L'EAU UTILISÉE SUR PLACE

Pour les usages de l'eau utilisée sur place, le sud du Québec et la Gaspésie, en particulier, sont aux prises avec de faibles débits en rivière, limitant grandement la capacité des activités récréotouristiques. En Haute-Gaspésie, haut lieu de la pêche au saumon, plusieurs rivières ont été fermées à la pêche à quelques reprises durant l'été en raison des températures trop élevées de l'eau. On note aussi une moins grande montaison des saumons, notamment causé par la baisse du succès reproducteur de cette espèce causée par les accès de plus en plus limités aux sites de frai. Finalement, la pêche dans plusieurs rivières à saumon est maintenant interdite, afin de protéger la ressource¹⁷.

Au Lac-Saint-Jean, où le nautisme de plaisance est très important (15 marinas), le bas niveau du lac crée des problèmes pour l'accès aux marinas, particulièrement pour les marinas situées dans les embouchures de rivières (comme la marina de Belle-Rivière, Métabetchouan, Saint-Félicien, etc). Aux embouchures de rivière, les bateaux ne peuvent être laissés à l'eau dans le lac et les accès entre les rivières et le lac sont plus difficiles, voir impraticables dans certains cas.

Quant à la production hydroélectrique des centrales au fil de l'eau, les plus fortes diminutions des débits sur la période de juin à août semblent justement avoir lieu dans les territoires où les capacités de production sont les plus élevées. Les bassins versants du Saguenay, de rivière du Nord, de la Haute-Côte-Nord, et du lac Saint-Jean¹⁸ sont les principaux responsables de la baisse de production. Par exemple, les débits estivaux en amont des centrales Shipshaw (947 MW) et Chute-à-Caron (222 MW) ont diminué de près de moitié cette année.

Globalement, les régions du sud et de l'ouest sont celles subissant le plus de conséquences sur le territoire québécois lors de cet événement de 2045.

¹⁷ Les impacts anticipés sur les écosystèmes sont traités au bas de cette section.

¹⁸ Nombre de centrales au fil de l'eau retenues pour l'étude: Saguenay: 9; Haute-Côte-Nord: 7; rivière du Nord: 4; Lac-Saint-Jean: 5.

Tableau 7-2. Sommaire des conséquences par usage pour l'évènement +2°C

	ZGIEBV	Niveau d'alerte (pire mois)	Municipal (sur 8**)	Résiden. (sur 4)	Agricole (sur 6)	ICI (sur 4)	Conflits d'usage (sur 5)	Hydro (%ΔP)	Total des conséquences (sur 29)
Ouest	OBVAJ	0	0	0	0	0	0	+	0
	OBVT	0	0	0	0	0	0	+	0
	ABV des 7	1	1	2	1	0	0	--	4
	COBALI	2	5	3	4	0	0	-	12
	OBVRPNS	2	5	2	4	0	0	--	11
	ABRINORD	1	1	3	1	0	0	--	5
	COBAVER-VS	2	5	2	5	0	0		12
	COBAMIL	2	6	2	5	0	4		17
	CARA	2	6	3	4	0	4	-	17
	OBVZB	2	6	2	5	0	4		17
	AGIR Maskinongé	3	2	1	6	0	0		9
	OBVRLY	3	4	2	6	0	4	-	16
	BVSM	2	4	2	4	3	0	-	13
	Centre-Nord	SAMBBA	2	5	2	5	0	4	-	16
OBV CAPSA		2	5	3	4	0	4	--	16
OBV-Capitale		1	1	2	1	0	1		5
CBJC		2	6	3	4	0	4	--	17
OBV-CM		1	1	2	1	0	1	-	5
OBVS		2	4	2	4	0	0	-	10
OBVLSJ		0	0	0	0	0	0	--	0
OBVHCN		0	0	0	0	0	0	-	0
OBVM		0	0	0	0	0	0	+	0
OBVD		0	0	0	0	0	0	-	0
Sud	SCABRIC	2	6	2	5	0	4		17
	COVABAR	2	6	2	5	0	4		17
	OBVBM	2	6	3	5	0	4		18
	OBV Yamaska	2	6	3	5	0	4	-	18
	COGESAF	2	5	2	4	3	4	-	18
	COPERNIC	2	5	2	5	0	4	--	16
	GROBEC	2	5	3	5	0	4		17
	OBV du Chêne	3	4	3	6	0	4		17
	COBARIC	1	1	3	2	0	1	-	7
	CBE	2	5	1	4	0	4	--	14
	Centre-Est	OBV Côte-du-Sud	3	6	3	6	0	5	--	20
OBAKIR		1	1	2	2	0	1	-	6
OBVFSJ		1	1	3	1	0	0		5
OBVNEBSL		1	1	2	1	0	0	--	4
OBVMR		1	0	2	1	0	0		3
CEGS		0	0	0	0	0	0	--	0
CENG		1	1	2	1	0	0		4

* Pour les usages agricoles, aucune conséquence n'a été projetée pour les ZGIEBV qui ont moins de 1 % de superficie en zone agricole

** Le nombre de conséquences par usage est spécifié dans le titre de la colonne, voir l'annexe E pour le détail des conséquences projetées.

7.2.5 Conséquences sur les écosystèmes

Les conséquences anticipées sur les écosystèmes ici présentées ne découlent pas d'une modélisation ou d'études qui permettraient d'obtenir un portrait représentatif de la situation avec un réchauffement à +2°C sur l'ensemble du territoire d'étude. Il s'agit d'hypothèses basées sur les informations trouvées dans la revue de littérature et de la connaissance des écosystèmes aquatiques de l'équipe de travail.

Les suivis sur la qualité de l'eau de même que les observations notamment rapportées par les utilisateurs, propriétaires riverains et représentants municipaux indiquent une détérioration de la qualité de l'eau qui tend à s'accroître avec le temps. L'étiage de 2045 a exacerbé les phénomènes d'eutrophisation de sorte que les rivières et ruisseaux aux vitesses d'écoulement plus lent du sud du Québec connaissent de plus en plus d'épisodes où l'eau est opaque, a une baisse sensible d'oxygène dissout et une augmentation des polluants, dont le phosphore et l'azote causés par une moins grande dilution, pour ne citer que ces exemples. Les floraisons d'algues toxiques y sont plus fréquentes et les odeurs qui s'en dégagent particulièrement fortes à l'été 2045.

Les EFEE ont colonisé un plus grand nombre de cours d'eau et y sont plus présentes au détriment des espèces indigènes. On note également une réduction significative des marais riverains au profit de marécages arbustifs ou arborescents de même.

Le nombre d'espèces de poisson apparaissant sur les listes provinciales et fédérales des espèces à statut précaire de conservation n'a cessé d'augmenter. Les tentatives de rétablissement de plusieurs des espèces de poisson à statut précaire de conservation ont été particulièrement inefficaces en 2023 en raison du devancement de la crue printanière couplé à la piètre qualité de l'eau et à l'augmentation de la captation d'eau pour assurer les besoins en eau des villes, de l'agriculture et des industries.

De manière générale, les populations des espèces de poisson ont toutes diminué, mais on note un impact particulièrement fort pour les espèces d'eau froide et fraîche. Il est estimé que le taux de succès reproducteur pour les brochets et autres espèces qui fraient dans les plaines inondables a connu une baisse historique en 2045. Ce constat étant causé par la réduction importante de l'accès des espèces à leur site de fraie et au taux exceptionnel de mortalité des alevins causés par la dessiccation et la piètre qualité de l'eau d'un grand nombre de cours d'eau. Les espèces d'eau chaude sont celles qui globalement s'en tirent le mieux. Leur aire de distribution s'est significativement accrue au cours des dernières années. Les populations de saumon atlantique ont beaucoup diminué comme décrit un peu plus haut.

La qualité de la pêche a diminué dans toutes les régions du Québec, mais c'est dans le sud de la province que le phénomène est le plus marqué. Les prises sont de plus en plus rares et les individus de plus petite taille. La remise à l'eau se généralise, car les poissons sont de manière générale impropres à la consommation. Ces impacts sur la baisse de la qualité de la pêche ont durement affecté l'industrie de la pêche récréative, causant un nombre important de fermetures de pourvoies et de mise à pied.

7.3 CLIMAT FUTUR : SCÉNARIO +3°C (2065)

Cinquante ans après l'accord de Paris, le climat continue de se réchauffer. Nous sommes en 2065 et la température mondiale s'est élevée de 3°C depuis l'ère préindustrielle¹⁹. Au Québec, les étés chauds et secs sont devenus la norme. Cet été, en revanche, la situation est particulièrement critique. La crue printanière a été devancée sur l'ensemble du Québec. Alors qu'au nord du Saint-Laurent et en Gaspésie, le volume de crue a été plus élevé qu'à l'habitude, le sud du Québec a connu encore cette année une crue précoce et faible.

7.3.1 Contexte climatique et hydroclimatique

La saison s'est amorcée de manière plus précoce dans le sud du Québec et s'est étirée à l'automne, allongeant de manière importante la durée de l'étiage estival. C'est d'ailleurs surtout dans la durée que cet été est exceptionnel. Le nombre de jours sous le $Q_{2,7}$ et le $Q_{10,7}$ ont été catastrophiques, surtout au sud du Québec. Le nombre de jours sous ces indicateurs a augmenté minimalement de 40 jours par rapport au pire étiage vécu sur le territoire. À titre d'exemple, le bassin de la Yamachiche a vu son débit être inférieur au $Q_{10,7}$ historique (1992-2021) pendant plus de 100 jours cette année, une situation tout à fait exceptionnelle. Sur la Rive-Nord, le nombre de jours sous ces indicateurs est en augmentation de 15 à 30 jours. La situation demeure problématique, dans les bassins du sud du Québec, comme c'est souvent le cas, mais également pour les bassins versants situés autour de la Capitale-Nationale (Voir Figure 7-2).

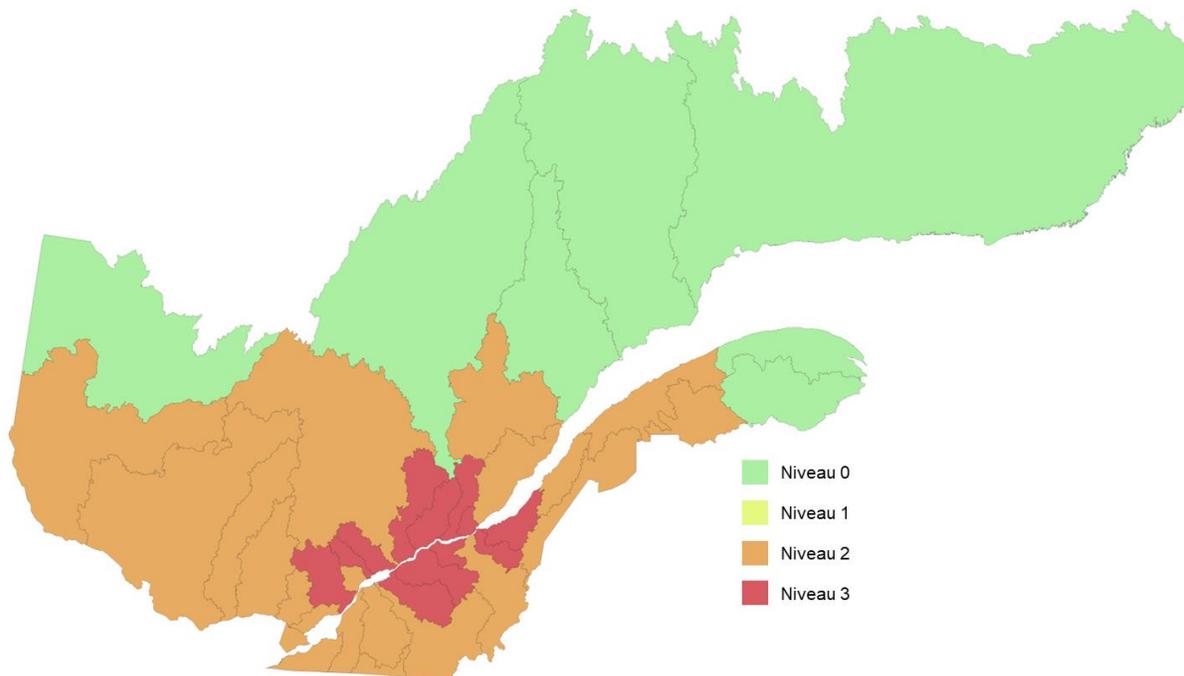


Figure 7-6. Niveau d'alerte hydroclimatique dans le scénario +3 degrés

¹⁹ Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et de développement socioéconomique utilisés par le G.I.E.C. projettent, en valeur médiane, un réchauffement du Québec de +3°C autour de 2065 (Lee, Marotzke, Bala et al., 2021).

On dénombre plus de 12 ZGIEBV (1,2 million d'habitants) qui se retrouvent en niveau d'alerte 3, avec des niveaux de précipitations qui sont inférieurs de plus de 60 % aux moyennes historiques et 70 % des débits historiques. En termes de nombre de ZGIEBV touchées, c'est 3 fois plus que lors de l'évènement de 2045 (4 ZGIEBV touchées) et 6 fois plus que lors de l'évènement historique alors que deux ZGIEBV était en niveau d'alerte 3. Cette fois-ci des régions autrefois épargnées par ce genre d'évènement vivent des conditions de sécheresse et de faibles débits très sévères : 31 ZGIEBV sont en alerte de niveau 2 ou supérieur.

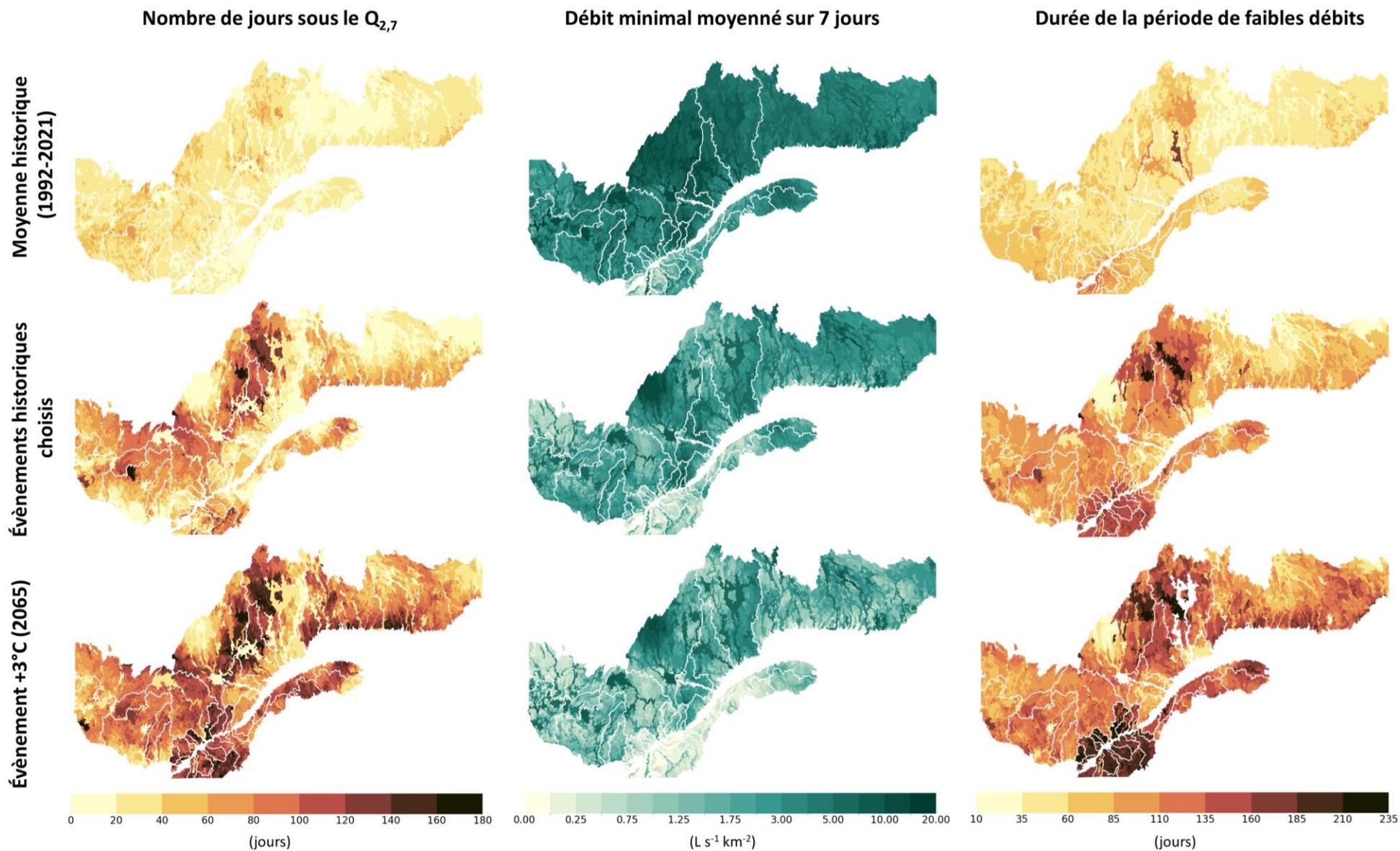


Figure 7-7. Comparaison d'indicateurs hydrologiques entre les conditions moyennes pour la période 1992-2021, les évènements de manque d'eau récents (selon les régions : 1995, 2010, 2018 ou 2021) et les projections pour le scénario à +3°C (2065).

7.3.2 Contexte socioéconomique

Malgré la transformation rapide du climat ces dernières décennies, aucune stratégie majeure en matière de réduction de la consommation d'eau potable n'a été mise en place. Le secteur industriel a continué de croître au même rythme (une moyenne de +3 % par an depuis 2011²⁰) sans grands bouleversements : seul le secteur des pâtes et papiers continue son déclin depuis les années 2010.

Globalement, l'évolution démographique de la province est restée dans un statu quo depuis 2010 : les plus forts taux de croissance s'observent sur les régions proches de Montréal, les Laurentides, Lanaudière, la Montérégie et on observe même une décroissance loin des grands centres²¹.

Les pratiques de culture et d'irrigation dans le secteur agricole continuent de se transformer : on a observé une très forte augmentation des légumes de serre (lesquelles demandent de fortes intensités d'irrigation), ainsi qu'une hausse moyenne des superficies cultivées (entre +15 % et +35 %) pour les légumes de plein champ. Quant aux cultures irriguées, la plupart de celles qui ne l'étaient pas le sont à présent (ex : oignons, épinards, pois, melons et cantaloups); et celles pour lesquelles l'irrigation devenait déjà la norme demandent encore plus d'attention, et ce, dans toutes les régions (ex : forte augmentation de l'irrigation des pommes de terre, des haricots, carottes, etc.). Avec l'augmentation des coûts de production liée à l'irrigation, les fruits et légumes québécois sont maintenant plus chers et perdent de leur compétitivité par rapport à d'autres zones de production, ce qui nuit à la politique d'autonomie alimentaire du Québec. Au global, le coût des aliments est en nette hausse, puisque les régions concurrentes sont aussi affectées (ON, NJ, Floride, GA, sans parler de la Californie, du Sud-Ouest américain et du Mexique)

7.3.3 Pression sur la ressource

Cet été encore les indices de pression sur la ressource sont élevés. Les températures maximales journalières ont augmenté de +2°C en moyenne par rapport au scénario précédent. Cette chaleur a impliqué des consommations résidentielles élevées (entre +9 % et +31 % supérieurs à la moyenne journalière normal) ce qui explique que, sur l'ensemble du Québec, l'indice de pression en eau de surface s'est ainsi accru de 19,6 % en moyenne. Le Comité du bassin versant de la rivière du Lièvre (COBALI) a elle aussi connu au moins sur un tronçon, un dépassement des prélèvements par rapport au seuil écologique, portant ce nombre d'OBV à 25 (contre 24 durant l'été à +2°C en 2045).

Au total, la proportion du territoire où ce seuil critique est dépassé **a augmenté de 25 %**. Toutes ces régions sont situées dans les basses-terres du Saint-Laurent, là où l'agriculture est prépondérante dans l'occupation des sols et où se situe la majorité de la population (Voir Figure 7-3). En Montérégie, l'indice de pression qui était déjà élevé continue de s'aggraver : la région

²⁰ Hypothèses réalisées dans le projet RADEAU.

²¹ Ce scénario s'appuie sur le scénario de référence de l'ISQ (A1) et ne considère pas l'afflux de réfugiés climatiques. Il est vrai par contre que dans un monde à +3 °C, il est fort probable que le Canada et le Québec accueilleront probablement des réfugiés provenant de régions du monde encore plus affectées. Cela constitue une limite de notre exercice de scénarisation.

est très industrialisée (plus d'un tiers du secteur agroalimentaire et de production de produits plastiques/caoutchouc) et ces ICI regroupent plus de la moitié des prélèvements en eau.

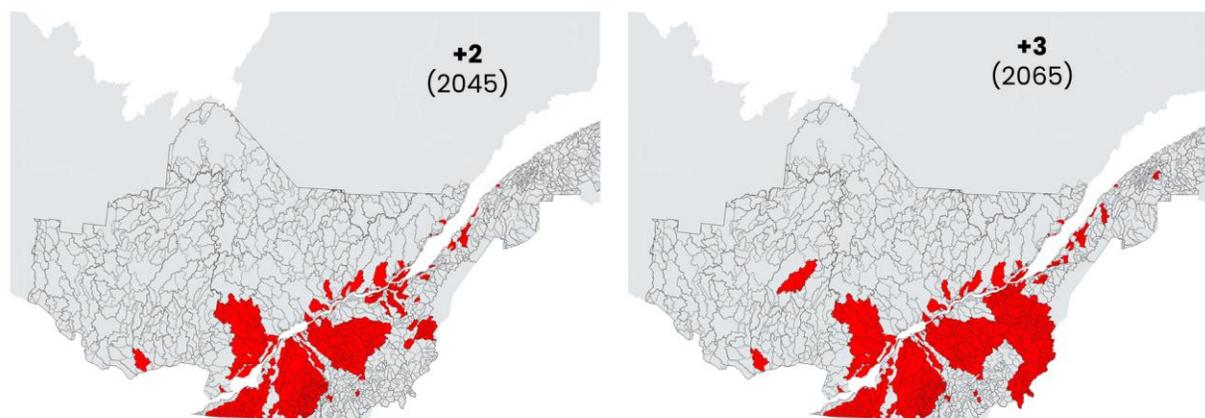


Figure 7-8. Territoires subissant un indice de pression élevé sur les eaux de surface dans le scénario +3°C et +2°C (indice de pression > 15 %)

Comme montré à la figure 7-3, ces nouveaux bassins versants vulnérables se trouvent notamment dans le Sud de la province autour de la rivière Yamaska (nouveaux tronçons entre Granby et Roxton Falls, territoires largement agricoles), Chaudière (notamment entre Beauceville et Saint-Georges) ou Kamouraska (vers les municipalités de Saint-Denis et Mont-Carmel).

La pression sur les eaux souterraines s'est elle aussi légèrement accrue. Le ratio moyen des prélèvements sur la recharge est de 18 % avec 54 municipalités présentant un ratio supérieur à 50 %, presque toutes en Montérégie.

7.3.4 Conséquences vécues sur le territoire

CONSÉQUENCES SUR LES USAGES PAR PRÉLÈVEMENT

Globalement, toutes les conséquences vécues précédemment se sont trouvées exacerbées cet été. Le climat s'étant transformé, on parle à présent, presque à l'instar des climats tropicaux, de saison estivale au Québec. Dans la plupart des territoires, la durée de cette saison a augmenté de moitié atteignant dans le sud plus de 200 jours. Depuis le début du XXI^e siècle, l'entraide intermunicipale s'est largement améliorée : alors qu'on ne trouvait que peu de réseaux interconnectés (comme à Sherbrooke et Granby par exemple), cette nouvelle nécessité est devenue une norme dans le génie civil. Le transport d'eau par citerne a continué d'exploser, étant donnée la superficie du territoire en alerte de sécheresse sévère. Les territoires ayant une importante superficie agricole (supérieur à 25 % de leur surface) en alerte 3 ont subi une multitude de conflits d'usages. Ce niveau d'alerte s'explique par des cumuls de précipitations sur la période estivale extrêmement faibles (inférieurs à 40 % du cumul historique) : 209mm sur Batiscan-Champlain, 288mm en Côte-du-Sud, 273mm autour du territoire de la Capitale.

Les conséquences et mesures d'adaptation nécessaires sont les plus fortes pour le secteur agricole et les écosystèmes. En moyenne sur le territoire, on observe de manière récurrente chaque année plus de 60 jours sous le débit $Q_{2,7}$ historique (1992-2021). Encore une fois, c'est donc la durée d'une météo sèche qui est le principal facteur responsable des impacts ; le débit minimal hebdomadaire a certes diminué en moyenne de -41 % (avec des extrêmes autour de -90 % dans les ZGIEBV des rivières Chaudière, Côte-du-Sud, Chêne, Etchemin, ou Yamaska), mais le débit moyen reste stable par rapport à l'évènement de 2045. Cependant, la concurrence est forte dans certains secteurs et conduit à de fortes instabilités sociales. Par exemple dans les bassins versants du ruisseau Rousse ou de la rivière Petite Nation, les producteurs maraîchers se sont regroupés au fil des ans pour faire face aux étiages très sévères qu'ils subissent, et tentent de mieux partager la ressource avec les plus grands producteurs.

Les eaux de surface ont subi de fortes pressions et la proportion de la population directement concernée est non négligeable. Les municipalités touchées regroupent 2 442 844 habitants soit plus de 50 % de la population là où les indices de pression ont pu être évalués (voir tableau 7-3).

Tableau 7-3. Comparaison des scénarios +2°C et +3°C ainsi que de l'évènement historique choisi

Variable de comparaison	Historique**	+2°C	+3°C
Nombre ZGIEBV alerte 3	2	4	12
Population concernée*	72 000	154 800	1 248 356
Surface agricole concernée (km ²) (total Québec : 48 487 km ²)	2 828	3 765	10 609
Municipalités pression élevée (eau de surface)	66	142	146
Population concernée par un indice de pression élevé (eau de surface)	2 096 184	2 439 275	2 442 844
Variation $Q_{7\min}$ moyenne Québec	-	-25 %	-41 %
Écart moyen $Q_{7\min}$ au $Q_{2,7}$ ***	-	45 %	54 %

*La population concernée a été calculé en additionnant la population au sein des ZGIEBV.

**L'évènement historique diffère de régions en région en fonction du pire évènement hydroclimatique enregistré (voir annexe A pour plus de détails)

*** L'écart moyen entre le $Q_{7\min}$ et le $Q_{2,7}$ renseigne sur la sévérité de l'étiage. Plus l'écart est important et plus le débit minimum enregistré est inférieur au débit d'étiages « normal »

CONSÉQUENCES SUR LES USAGES DE L'EAU UTILISÉE SUR PLACE

Dans l'ensemble, les débits en rivière au niveau des sites de production d'hydroélectricité sont majoritairement à la baisse ce qui requiert des gestions particulières pour les rivières régulées (tableau 7-4). Inévitablement, il faut faire des choix sur la priorisation des usages; et de nombreux regroupements citoyens se forment afin de revendiquer leurs droits et leurs besoins. Les commissions de régulation des conflits d'usage²² doivent réformer leurs ententes avec les grands gestionnaires et il devient difficile de maintenir ces accords. Avec de nombreux plans d'eau

²² Par exemple l'entente du Réservoir Taureau qui lie la MRC de Matawinie, Hydro-Québec et la municipalité de Saint-Michel-des-Saints sur une régulation collective du niveau de l'eau en période normale.

encore non protégés, l'érosion des rives liée aux variations fortes et brusques des niveaux d'eau est forte, et amène le déclin de nombreux écosystèmes.

Tableau 7-4. Variation relative à la période historique 1981-2021 des débits estivaux moyens (JJA) aux 5 plus grandes centrales hydro-électriques à l'étude

Centrale	Scénario +2°C	Scénario +3°C
Outardes-3 (1026 MW)	+0,86 %	-2,4 %
Shipshaw (947 MW)	-21,5 %	-36 %
Bersimis-2 (869 MW)	+4.3 %	-22,5 %
Carillon (753 MW)	-8,4 %	-16 %
Outardes-2 (523 MW)	+1,2 %	-2,1 %

Tableau 7-5. Sommaire des conséquences par usage pour l'évènement +3°C

	Niveau d'alerte (pire mois)	Mun. (sur 8**)	Rés. (sur 4)	Agricole (sur 6)	ICI (sur 4)	Conflits d'usage (sur 5)	Hydro (%ΔP)	Total cons. (sur 29)	
Ouest	OBVAJ	0	0	0	0	0	+	0	
	OBVT	2	3	3	4	3	+	13	
	ABV des 7	2	5	2	4	0	--	11	
	COBALI	2	5	3	4	0	-	12	
	OBVRPNS	2	4	2	4	0	--	10	
	ABRINORD	2	5	3	4	0	--	16	
	COBAVER-VS	2	4	2	5	0		11	
	COBAMIL	2	5	2	5	0	4	16	
	CARA	3	5	4	5	0	0	-	14
	OBVZB	2	5	2	5	0	4		16
	AGIR	3							
	Maskinongé	3	2	1	6	0	0		9
	OBVRLY	3	4	2	6	0	4	-	16
	BVSM	2	3	2	4	3	0	-	12
Centre-Nord	SAMBBA	3	5	3	6	0	5	-	19
	OBV CAPSA	3	5	4	5	0	0	--	14
	OBV-Capitale	3	6	3	5	0	5		19
	CBJC	3	6	4	5	0	5	--	20
	OBV-CM	2	5	2	4	0	4	-	15
	OBVS	2	3	2	4	0	0	-	9
	OBVLSJ	0	1	0	0	0	0	--	1
	OBVHCN	0	0	0	0	0	0	-	0
	OBVM	0	0	0	0	0	0	+	0
	OBVD	0	0	0	0	0	0	-	0
Sud	SCABRIC	2	5	2	5	0	4		16
	COVABAR	2	5	2	5	0	4		16
	OBVBM	2	5	3	5	0	4		17
	OBV Yamaska	2	5	3	5	0	4	-	17
	COGESAF	2	5	2	4	3	4	-	18
	COPERNIC	3	5	3	6	0	5	--	19
	GROBEC	3	5	4	6	0	5		20
	OBV du Chêne	3	4	3	6	0	4		17
	COBARIC	2	4	3	5	0	4	-	16
	CBE	3	5	2	5	0	5	--	17
Centre-Est	OBV Côte-du-Sud	3	5	3	6	0	5	--	19
	OBAKIR	2	4	2	5	0	4	-	15
	OBVFSJ	1	1	3	1	0	1		6
	OBVNEBSL	1	0	2	1	0	0	--	3
	OBVMR	2	2	2	4	0	0		8
	CEGS	0	0	0	0	0	0	--	0
	CENG	0	0	0	0	0	0		0

* Pour les usages agricoles, aucune conséquence n'a été projetée pour les ZGIEBV qui ont moins de 1 % de superficie en zone agricole.

** Le nombre de conséquences par usage est spécifié dans le titre de la colonne, voir l'annexe E pour le détail des conséquences projetées.

CONSÉQUENCES SUR LES ÉCOSYSTÈMES

Les conséquences anticipées sur les écosystèmes ici présentées ne découlent pas d'une modélisation ou d'études qui permettraient d'obtenir un portrait représentatif de la situation avec un réchauffement à +3°C. Il s'agit d'hypothèses basées sur les informations trouvées dans la revue de littérature et de la connaissance des écosystèmes aquatiques de l'équipe de travail.

L'eau des cours et de plans d'eau connaît une détérioration sans précédent conduisant un déséquilibre majeur des propriétés physico-chimique de l'eau : baisse généralisée de l'oxygène dissout, selon les régions hausses ou basses importantes du pH, augmentation des polluants, floraisons d'algues toxiques, etc. Cette réduction de la qualité de l'eau affecte de manière de plus en plus accélérée la chaîne trophique.

Plusieurs cours d'eau historiquement permanents se sont périodiquement asséchés durant la saison chaude au cours des dernières décennies. Toutefois, 2065 a connu un record en termes de rivières et de ruisseaux asséchés autant en quantité qu'en nombre de jours.

Les bas niveaux d'eau ont entraîné la prolifération d'espèces exotiques envahissantes de manière soutenue : alors qu'on observait par exemple des colonies de roseau commun majoritairement dans le sud du Québec²³, cette espèce a maintenant conquis tous les territoires et envahit la quasi-totalité des plans et cours d'eau.

A l'exception de quelques espèces de poissons particulièrement tolérantes aux eaux chaudes et de piètre qualité, les populations des espèces de poisson ont toutes diminuées. Le nombre d'espèces de poisson maintenant disparues des eaux québécoises est impressionnant et cette tendance va en s'accroissant.

La pêche est en baisse dans l'ensemble de la zone à l'étude, mais est particulièrement prononcée au sud du fleuve.

²³ Voir réseau sentinelle : <https://www.pub.mddefp.gouv.qc.ca/scc/observation/carteobservations#no-back-button>.

8. CARACTÉRISATION DES CONSÉQUENCES

EN BREF

- Une grille de caractérisation des conséquences a été dressée sur la base de différents critères, méthode nécessaire pour projeter ces impacts dans le futur et un score a été établi pour chacune des conséquences sur la base des savoirs cumulés tout au long du mandat.
- Sept conséquences sur les usages anthropiques ont été identifiées comme prioritaires. Parmi celles-ci, les plus importantes sont l'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels de la population par les municipalités et par les puits privés, l'arrêt des développements résidentiels, les risques accrus d'avis d'ébullition et de non-consommation, l'augmentation des coûts liés à l'irrigation pour le secteur agricole, ainsi qu'une tension croissante entre les différents usagers de l'eau dans les bassins avec réservoirs. La production de fruits et légumes québécois perdrait de sa compétitivité si ces épisodes devenaient trop fréquents, nuisant aux objectifs d'autonomie alimentaire et de saine alimentation du Québec.
- Pour les écosystèmes, la réduction de la qualité de l'eau et les modifications des habitats pour le poisson sont les conséquences les plus préoccupantes. En effet, la modification des paramètres physico-chimiques de l'eau (réduction de l'O₂, variation du pH naturel des cours d'eau, augmentation des températures, etc.) ou l'augmentation des phénomènes d'eutrophisation sont susceptibles de modifier profondément la richesse biologique des cours d'eau et de générer des déséquilibres dans les populations des espèces aquatiques.

Face à l'aggravation de la sévérité et de la durée des événements de manque d'eau au Québec, il importe de se demander quelles sont les principales conséquences vécues par la population, les communautés, les entreprises et les gouvernements municipaux et provinciaux. Comment prendre acte de ces conséquences, identifier les plus graves et mettre en place des stratégies d'adaptation conséquentes afin de réduire la vulnérabilité. Dans le cas où les conséquences sont mal comprises, peu documentées et difficiles à extrapoler dans un Québec vivant des déficits en eau très sévères, quelles sont les conséquences à étudier prioritairement?

Or, si un tel exercice de priorisation est nécessaire, il est également implicitement ancré dans une subjectivité propre à la question de même qu'à la lentille d'analyse ; quels usages sont jugés prioritaires par les communautés qui peinent à répondre à leurs besoins? Est-ce qu'une conséquence très sévère qui touche peu de Québécois est plus importante qu'une conséquence moins sévère qui touche une large proportion de la population? Comment juger des conséquences pour lesquelles nous avons très peu ou pas de cas documentés et pour lesquelles la confiance dans les projections est limitée? Comment comparer des conséquences plus en amont de la cascade (par exemple restrictions d'usage) avec des conséquences plus en aval (détérioration de la cohésion sociale)?

C'est en gardant en tête ces défis et limites de l'analyse que le cadre de caractérisation des conséquences a été développé afin de mettre de l'avant les conséquences les plus importantes

découlant des déficits futurs en eau sur les usages anthropiques. Les conséquences sur les écosystèmes sont traitées à la section 8.3.

8.1 TYPES DE CONSÉQUENCES ÉVALUÉES

Le cadre de caractérisation des conséquences a été développé afin de comparer des conséquences de même nature entre elles. Le tableau 8-1 résume les 5 types de conséquences ayant fait l'objet de projection dans le cadre de la présente étude.

Afin de comparer des conséquences de même nature, le cadre de caractérisation s'attarde à évaluer les conséquences de Type 4, c'est-à-dire les impacts anticipés sur les usages.

Il est bâti de sorte à utiliser les conséquences de type 5 comme un des critères d'évaluation des conséquences. Autrement dit, si une conséquence sur un usage peut mener à une dégradation significative de l'économie, de la santé des populations ou du bien-être, sa gravité sera considérée plus élevée. Par exemple, une baisse de production hydroélectrique a peu de probabilité de générer une baisse du niveau d'emploi, alors qu'une baisse des rendements agricoles pourrait mener à des impacts financiers importants et ultimement une variation de l'emploi dans une communauté donnée.

Tableau 8-1. Typologie des conséquences projetées dans l'analyse

Type de conséquences	Exemples de conséquences
Type 1 - Hydrologiques	Diminution des débits d'étiage Réduction de la recharge des aquifères
Type 2 – Besoins en eau	Augmentation de la demande en eau résidentielle lors des chaleurs extrêmes
Type 3 – Pression sur la ressource	Dépassement des seuils de prélèvement
Type 4 – Impacts sur les usages	Augmentation des coûts de traitement de l'eau Assèchement des puits privés
Type 5 – Impacts sur le bien-être des communautés	Baisse de l'emploi en raison de la fermeture d'une usine Détérioration de la santé des communautés

8.2 GRILLE DE CARACTÉRISATION

Le cadre de caractérisation est développé en vertu d'une approche multicritères. Le cadre permet de poser un jugement sur le niveau de gravité de la conséquence et ainsi identifier celles qui s'avèrent les plus graves selon un certain nombre de critères pour l'ensemble du territoire québécois à l'étude.

La gravité se définit en fonction d'une combinaison de paramètres qui traduisent à la fois la nature de la conséquence, le contexte socioéconomique dans lequel elles se produisent, les

anticipations de conséquences en cascade, etc. Nous appliquons ce cadre d'évaluation au niveau des conséquences sur les usages anthropiques seulement (conséquences de type 4). La gravité de la conséquence sur les usages étudiés se définit de la manière suivante :

(1) *Gravité de la conséquence = Intensité de la conséquence X Contexte socioéconomique*

Le tableau 8-2 présente les critères de caractérisation retenus pour décrire l'intensité de la conséquence et le contexte socioéconomique.

Tableau 8-2. Grille de caractérisation des conséquences

	Critères	Score		
		1	2	3
Contexte socioéconomique	Nombre de zones de gestion touchée	Entre 0 et 5	Entre 6 et 20	Plus de 20
	% de la population du Québec affectée	Moins de 5 %	Entre 5 et 50 %	Plus de 50 %
	Indice de vitalité économique*	Négatif		Positif
Intensité de la conséquence	Persistance	Ponctuel	Moyen terme	Long terme
	Niveau de confiance	Faible	Moyen	Élevé
	Risque de matérialisation de l'impact	Niveau d'alerte 3	Niveau d'alerte 2	Niveau d'alerte 1
	Niveau de priorité de l'usage	Esthétique	Agricole et industriel	Santé des humains et des écosystèmes
	Économie	Augmentation de coûts financiers et/ou faibles effets sur l'économie	Pertes financières et perturbation de l'activité économique à court terme	Changement dans le tissu économique, perte d'emploi et effets majeurs sur l'économie avec répercussions à grande échelle.
	Social (santé et bien-être)	Enjeu de santé mineur et perturbation mineure des habitudes de consommation	Enjeu de santé majeur, perturbation du milieu de vie temporaire	Enjeu de santé majeur à long terme allant jusqu'à des décès. Violence locale et transformation des dynamiques sociales
Écosystèmes aquatiques	Faibles répercussions sur les écosystèmes sans effet à long terme.	Répercussions sensibles sur les écosystèmes sans effet à long terme ou de faibles conséquences avec des effets à long terme	Répercussions sur les écosystèmes avec des effets à long terme.	

* L'indice de vitalité économique est composé de trois indicateurs : taux de travailleurs de 25 à 64 ans, revenu médian de la population de 18 ans et plus et le taux d'accroissement annuel moyen de la population sur une période de 5 ans. Un indice négatif signifie que la vitalité économique est inférieure à la moyenne québécoise.

La grille de caractérisation des conséquences a été appliquée aux 29 conséquences de type 4 retenues et projetées dans le cadre des trames narratives. La liste de conséquences est disponible à l'annexe E.

Pour chacune des conséquences, les critères ont été évalués en vertu de l'avis d'experts des membres de l'équipe de projet. La résultante permet d'évaluer la côte globale des 29

conséquences pour les deux scénarios de déficits en eau et de juger des conséquences les plus importantes sur le territoire québécois en climat futur. La cote globale a également été pondérée par la proportion de la population québécoise affectée afin de tenir compte de l'étendue possible de la conséquence sur le territoire.

Le tableau 8-3 présente le résultat de l'analyse de caractérisation des conséquences pour le scénario +2°C alors que le tableau 8-4 présente le résultat pour le scénario +3°C.

Tableau 8-3. Sommaire de la caractérisation des conséquences selon leur gravité (Scénario +2°C)

	Conséquences	Niveau d'alerte	Contexte socioéconomique	Sévérité de la conséquence	Cote globale
Municipal	Arrêt des développements résidentiels et commerciaux- Remise en cause de la capacité de support du milieu	2	5	14	19
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	2	6	13	19
	Faible augmentation des coûts de traitement	1	7	11	18
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages) pour les besoins essentiels - Hôpitaux, écoles, résidences	3	3	15	18
	Diminution de la capacité de production en eau potable	2	7	10	17
	Forte augmentation des coûts d'infrastructure en urgence	2	7	10	17
	Baisse de pression dans le réseau	2	7	9	16
	Achat d'eau à l'externe et livraison par camion-citerne	2	5	11	16
Résidentiel	Risque d'avis d'ébullition	1	7	13	20
	Coûts additionnels	2	6	13	19
	Interdiction d'usages esthétiques	1	7	11	18
	Incapacité à répondre aux besoins en eau	3	3	14	17
Agricole	Augmentation des coûts liés à l'irrigation (étangs d'irrigation, creusage des puits, etc.)	1	7	15	22
	Diminution des rendements	1	6	15	21
	Liquidation de troupeaux	2	7	13	20
	Livraison d'eau par camion-citerne	2	7	13	20
	Incapacité à utiliser l'eau en raison de sa faible qualité	2	7	12	19
	Investissements massifs en irrigation	3	5	14	19
Industriel	Fermeture de l'usine	3	5	12	17
	Baisse de la production	2	5	11	16
	Arrêt des opérations	2	5	10	15
	Coûts supplémentaires	2	5	10	15
Conflits	Incapacité à se baigner et pratiquer des activités de nautisme sur les plans d'eau	2	9	11	20
	Tension entre usagers de l'eau (contrôle sévère de la ressource), particulièrement dans les bassins avec réservoirs	1	7	12	19
	Naissance de mouvement citoyen pour la défense des droits d'accès à l'eau	2	6	12	18

Comportements d'appropriation de la ressource	2	6	11	17
Conflit sévère entre usager	2	6	11	17
Effritement de la cohésion sociale	3	3	12	15
Variation de la production hydroélectrique		7	8	15

Tableau 8-4. Sommaire de la catégorisation des conséquences selon leur gravité (Scénario +3°C)

	Conséquences	Niveau d'alerte	Contexte socioéconomique	Sévérité de la conséquence	Cote global
Municipal	Arrêt des développements résidentiels et commerciaux - Remise en cause de la capacité de support du milieu	2	7	14	21
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages) pour les besoins essentiels - Hôpitaux, écoles, résidences	3	6	15	21
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	2	7	13	20
	Faible augmentation des coûts de traitement	1	7	11	18
	Diminution de la capacité de production en eau potable	2	7	10	17
	Forte augmentation des coûts d'infrastructure en urgence	2	7	10	17
	Baisse de pression dans le réseau	2	7	9	16
	Achat d'eau à l'externe et livraison par camion-citerne	2	5	11	16
Résidentiel	Risque d'avis d'ébullition	1	7	13	20
	Incapacité à répondre aux besoins en eau	3	6	14	20
	Coûts additionnels (creusage des puits)	2	6	13	19
	Interdiction d'usages esthétiques	1	7	11	18
Agricole	Investissements massifs en irrigation	3	9	14	23
	Augmentation des coûts liés à l'irrigation (étangs d'irrigation, creusage des puits, etc.)	1	7	15	22
	Diminution des rendements	1	6	15	21
	Livraison d'eau par camion-citerne	2	7	13	20
	Liquidation de troupeaux	2	6	13	19
	Incapacité à utiliser l'eau en raison de sa faible qualité	2	7	12	19
Industriel	Fermeture de l'usine	3	5	12	17
	Baisse de la production	2	5	11	16
	Arrêt des opérations	2	5	10	15
	Coûts supplémentaires	2	5	10	15
Conflits d'usage	Incapacité à se baigner et pratiquer des activités de nautisme sur les plans d'eau	2	9	11	20
	Tension entre usagers de l'eau (contrôle sévère de la ressource), particulièrement dans les bassins avec réservoirs	1	7	12	19
	Naissance de mouvement citoyen pour la défense des droits d'accès à l'eau	2	7	12	19
	Comportements d'appropriation de la ressource	2	7	11	18
	Conflit sévère entre usager	2	7	11	18
	Effritement de la cohésion sociale	3	5	12	17
	Variation de la production hydroélectrique		7	8	15

Les prochains paragraphes décrivent les conséquences qui ressortent de l'analyse comme étant les plus importantes en fonction de l'analyse multicritères effectuée, soient :

1. L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels de la population par les municipalités
2. L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels pour les propriétaires de puits privés et coûts additionnels engendrés
3. L'arrêt des développements résidentiels et remise en cause de la capacité de support du milieu
4. Risque d'avis d'ébullition et de non-consommation
5. Augmentation des coûts liés à l'irrigation pour le secteur agricole
6. Baisse de rendements dans le secteur agricole
7. Tension entre usagers de l'eau dans les bassins avec réservoirs

Conséquences prioritaires #1 – L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels de la population par les municipalités

L'une des principales conséquences qui ressort de cette analyse est liée à l'incapacité à répondre aux besoins en eau de la population. Ainsi, selon certains scénarios et dans certaines régions, les déficits en eau sur le territoire québécois pourraient potentiellement être suffisamment critiques qu'ils empêcheraient d'alimenter la population en eau potable à la hauteur des besoins, même essentiels.

Bien qu'il soit difficile de prédire avec quelle probabilité et dans quelle région/municipalité une telle situation pourrait se manifester, il est évident que les conditions hydroclimatiques projetées au sein des scénarios +2°C et +3°C rendent de plus en plus probable un tel état de pression sur la ressource.

Les cas documentés de manque d'eau empêchant de répondre entièrement au besoin de la population sont de plus en plus nombreux au Québec. Toutefois, dans l'ensemble des cas documentés à ce jour, il a toujours été possible de trouver une source d'eau alternative, que ce soit en s'approvisionnant auprès d'une municipalité voisine, en remettant en service une prise d'eau potable non fonctionnelle ou en faisant livrer de l'eau par camion-citerne. La sévérité des conditions entrevues dans les scénarios projetés amène à se demander quelle est la probabilité qu'une municipalité ne puisse pas éventuellement réussir à utiliser l'un ou l'autre de ces approvisionnements alternatifs temporaires, l'empêchant ainsi de répondre aux besoins de ces concitoyens. Cela devrait certainement faire l'objet de travaux subséquents puisque les conséquences en cascade sur les populations, la santé et les écosystèmes pourraient s'avérer extrêmement graves.

L'accès à une eau potable est un droit fondamental qui, s'il ne peut être répondu, peut mener à des conséquences critiques pour les populations dont l'augmentation des problèmes de santé physique et mentale, une détérioration marquée de la qualité de vie des citoyens en plus d'affecter les écosystèmes puisque les prélèvements seront nécessairement plus élevés que la capacité de support des écosystèmes en cas de force majeure.

Il est assez difficile d'imaginer pour le Québec qu'un déficit en eau suffisamment important mettrait en péril l'alimentation des besoins primaires, car nous avons peu de cas documentés de tels événements sur le territoire. L'incapacité à répondre aux besoins fondamentaux en eau des

populations pourrait mener à des conséquences en fonction du contexte dans lequel se produit un tel évènement et en particulier de la disponibilité des sources alternatives.

En matière d'adaptation, sur les réseaux d'aqueduc, au Québec, le gouvernement du Québec a développé des fiches d'information sur la gestion de l'eau en cas d'urgence pour les municipalités couvrant notamment les cas de pénuries d'eau. Ces fiches indiquent les rôles et responsabilités des acteurs de l'eau et en particulier des municipalités dans l'approvisionnement en eau potable sur le territoire. Elles spécifient également plusieurs mécanismes d'approvisionnement en eau en fonction des caractéristiques de la crise, allant d'approvisionnement en eau brute en vrac par camions-citernes à un approvisionnement en eau potable en vrac par unité mobile de traitement des eaux.

Le schéma décisionnel permet de prendre une décision en fonction de certains paramètres, dont la fonctionnalité ou non du réseau d'aqueduc, l'accès à une source d'eau alternative, etc. Toutes les mesures proposées dont certaines sont des mesures en urgence (par exemple se raccorder à un réseau voisin, via l'installation de conduites flexibles temporaires) et d'autres préventives (par exemple mettre en place une autre station de pompage à utiliser en cas de pénurie ou de contamination). Des conséquences très importantes pourraient survenir sur les populations locales si la situation devait devenir tellement critique que l'ensemble de ces mesures ne permet pas d'approvisionner les résidents ni les établissements jugés prioritaires (centres de services aux personnes sinistrées, centres d'hébergement temporaire, lieux d'hébergement du réseau de la santé et des services sociaux, etc.).

Conséquences prioritaires #2 – L'incapacité à répondre aux besoins prioritaires et essentiels pour les propriétaires de puits privés et coûts additionnels engendrés

Pour les résidents s'approvisionnant en puits privés, la situation s'avère là aussi inquiétante et les mesures d'adaptation moins structurées qu'au niveau municipal. Cela peut engendrer directement des conséquences financières pour les populations locales, mais également des enjeux importants de santé publique et de bien-être des populations.

Bien que cela constitue un moins grand bassin de personnes potentiellement affectées, l'impact sur les propriétaires de puits privés peut être très important et multiple. Une baisse du débit potentiel du puits peut entraîner une obligation de diminuer sa consommation et limiter les activités quotidiennes telles que la consommation d'eau potable, la cuisine, le bain et l'arrosage des jardins. Il peut y avoir également une augmentation de la concentration de minéraux, de métaux lourds ou de contaminants dans l'eau du puits. Cela peut rendre l'eau impropre à la consommation ou nécessiter un traitement supplémentaire pour la rendre potable.

Une eau de mauvaise qualité peut entraîner des problèmes de santé tels que des maladies gastro-intestinales. En effet, certaines données indiquent des liens entre les maladies d'origines hydriques et la consommation d'eau provenant de puits privés (voir section 6.1.2). Cette problématique est d'autant plus importante que la majorité des propriétaires de puits privés ne réalisent pas d'analyse de qualité de l'eau à une fréquence régulière et sur l'ensemble des contaminants pouvant affecter la qualité de leur eau potable. Il est largement connu qu'une proportion non négligeable de propriétaires de puits privés s'approvisionnent avec de l'eau qui est contaminée à différents degrés.

En cas de manque d'eau persistant, les résidents qui dépendent exclusivement de leurs puits privés peuvent devenir de plus en plus dépendants des livraisons d'eau en vrac ou d'autres sources alternatives d'approvisionnement en eau. Dans certains cas, il peut être nécessaire de faire creuser un nouveau puits ou d'approfondir le puits existant lorsque c'est possible. Cela peut entraîner des coûts plus élevés et une logistique plus complexe pour obtenir de l'eau.

Conséquences prioritaires #3 – Arrêt des développements résidentiels et commerciaux et remise en cause de la capacité de support du milieu

Bien que la présente analyse concerne majoritairement des conséquences à court terme découlant d'événements critiques liés à un événement en particulier, les événements de déficits en eau mènent également à des conséquences à plus long terme sur le développement de certaines municipalités.

Cette conséquence est jugée prioritaire parce qu'elle met de l'avant la nécessité de considérer la capacité de support des ressources en eau dans la réflexion autour des développements résidentiels et commerciaux. Elle génère aussi des effets en cascade importants sur des aspects économiques et de bien-être des collectivités.

Plusieurs cas au courant des dernières années, notamment à Sutton, mais également dans Lanaudière, remettent en question les stratégies de développement des municipalités au Québec. Dans les banlieues éloignées et les régions de villégiatures, une pression importante au développement est présente, accentuée par les effets de la pandémie associée à la COVID19 qui a accéléré l'exode de l'Île de Montréal.

En fonction des scénarios analysés, il semble que ce type de situation surviendra plus fréquemment sur le territoire québécois en raison de l'accroissement combiné de la population et de la diminution de la disponibilité en eau dans certains secteurs déjà critiques.

Les conséquences à long terme ne sont pas nécessairement toutes négatives, mais elle impose de réfléchir le développement résidentiel et commercial dans un souci de respect de la capacité de support des ressources qui y sont présentes, de mettre en place des mesures d'économies d'eau potable et de concevoir le développement dans un souci et un respect de la ressource en eau. En l'absence de prise en compte adéquate, des tensions importantes peuvent survenir dans les communautés concernées, entre les différents acteurs.

Conséquences prioritaires #4 – Risque d'avis d'ébullition et de non-consommation

La diminution de la qualité de l'eau brute en période de déficit en eau sévère entraîne un changement de stratégie de filtration et une augmentation des coûts de filtration. Dans certains cas, si les équipements de filtration ne sont pas suffisamment performants, il peut être nécessaire d'émettre des avis d'ébullition, car l'eau est impropre à la consommation.

Cette conséquence, en l'apparence banale, s'avère prioritaire selon notre analyse en raison de la quantité de personnes qu'elle peut potentiellement toucher et des conséquences éventuelles sur la santé des populations si les avis ne sont pas respectés. En particulier, chez les personnes

vulnérables, la consommation d'eau contenant une forte concentration de bactéries E.Coli ou d'autres contaminants bactériens peut mener à des maladies gastro-intestinales plus ou moins graves. L'eau contaminée peut provoquer différents symptômes, et ce, en fonction des microorganismes présents. Les symptômes les plus courants associés à l'ingestion d'une eau contaminée par des microorganismes d'origine fécale sont les nausées, les vomissements, les diarrhées et les malaises abdominaux. De telles infections sont parfois létales.

Conséquences prioritaires #5 – Augmentation des coûts liés à l'irrigation pour le secteur agricole

Un autre secteur lourdement touché par les déficits en eau est le secteur agricole. Pour les cultures irriguées, particulièrement au niveau du maraîchage, les sécheresses agricoles mènent à une augmentation des besoins en eau et des coûts qui y sont rattachés. Dans d'autres cas, les faibles débits ou la diminution de la recharge de l'aquifère viennent réduire la qualité de l'eau disponible pour l'irrigation. Évidemment, dans le secteur agricole, les eaux d'irrigation ne sont pas traitées avant d'être utilisées. Dans certains cas, la qualité peut être suffisamment détériorée pour qu'elle ne soit pas utilisable au champ. S'en suit alors l'achat d'eau par camion-citerne ou la mise en place d'un traitement primaire avant l'irrigation ou alors la non-irrigation des champs. Dans un cas comme dans l'autre, cela aurait des conséquences sur les rendements (donc les revenus) ou les coûts d'opération et ultimement la rentabilité des opérations agricoles.

Dans plusieurs cas documentés, bien que les agriculteurs soient dotés d'infrastructures d'irrigation, la ressource se tarit et les agriculteurs doivent alors faire recreuser leurs puits ou s'approvisionner grâce à des livraisons par camion-citerne, augmentant lourdement les coûts d'opération. Évidemment, c'est le cas en Montérégie là où une grande partie du maraîchage est effectué au Québec, mais également dans d'autres régions comme en Estrie ou dans les Laurentides, notamment dans le secteur d'Oka qui est reconnu comme un secteur agricole d'importance.

De nombreux cas de ce type de conséquences ont été répertoriés dans les dernières années avec des agriculteurs devant assumer chaque année des coûts additionnels pour sécuriser leur approvisionnement en eau. À la lumière des scénarios projetés, avec une augmentation des superficies irriguées anticipées sur le territoire québécois, il est fort probable que ce genre d'enjeu soit de plus en plus présent étant donné la pression additionnelle sur la ressource. Il sera dès lors impératif de réfléchir à l'augmentation de l'irrigation en cohérence avec l'accès à une ressource fiable durant toute la saison de croissance.

Conséquences prioritaires #6 – Baisse de rendements dans le secteur agricole

En fonction des scénarios évalués, la baisse de rendement pour le secteur agricole constitue elle aussi une des conséquences les plus importantes. Historiquement, les déficits en eau du secteur se sont matérialisés par des baisses de rendements importantes.

Sans que nous ayons des données précises sur les baisses de rendement sur les terres irriguées lors des épisodes de manque d'eau sévères, les données provenant de la FADQ permettent de mettre en lumière que lors des années chaudes et sèches, les dédommagements aux agriculteurs

couverts pour l'aléa sécheresse peuvent être de 10 à 20 fois plus importants qu'une saison de culture avec une pluviométrie et des températures « normales ».

Ces chiffres doivent être mis en perspectives puisque cela concerne à la fois les cultures irriguées et non irriguées. Malgré l'accroissement des superficies irriguées au Québec, on s'attend à ce que les agriculteurs subissent des baisses de rendement dans des cas où ils n'auront pas accès à une source d'eau potable en continu lors des périodes de besoin en eau accrue.

Dans le cas des éleveurs, cela peut mener à une question d'arbitrage entre les coûts financiers additionnels de se faire livrer de l'eau ou celle de vendre des troupeaux avant maturité avec une perte sur leur valeur, réduisant ainsi les revenus de leurs opérations.

Conséquences prioritaires #7 – Tension entre usagers de l'eau dans les bassins versants avec réservoirs

Les conséquences précédentes concernaient essentiellement des impacts sur des usages en particulier. En contexte de déficit en eau, dans les secteurs où plusieurs usagers de l'eau sont présents, des situations de conflits entre usages peuvent survenir. Cela est particulièrement vrai pour les plans d'eau régulés là où les installations peuvent permettre de moduler partiellement les apports, et donc les usages possibles dans un secteur où dans l'autre. Cela mène très fréquemment, même en l'absence de déficit en eau, à des conflits entre les usagers de l'eau.

Au Québec, sur de nombreux cours d'eau, des barrages permettent de réguler les débits et donc les niveaux d'eau le long des cours d'eau en question. Lorsque l'eau vient à manquer, il peut survenir des situations où le gestionnaire du barrage privilégie (ou les usagers ont l'impression que le gestionnaire privilégie) les usages en amont (ou en aval) avec des conséquences subséquentes sur les usages en aval (ou en amont). L'exemple de la rivière de la Petite-Nation est typique de cette problématique. Un regroupement de citoyens d'élus et d'organismes accuse le gestionnaire du barrage en amont (municipalité) de ne pas gérer équitablement la ressource. Le maintien du niveau des lacs Simon et Barrière à des niveaux adéquats pour la navigation en amont du barrage cause une baisse de débit important en aval du barrage sur la rivière, affectant les riverains qui peinent à avoir accès à la ressource.

Plus largement, alors que des milliers de barrages sur les plans d'eau au Québec sont vieillissants et nécessitent d'être réparés, voire remplacés, des questions se posent sur les enjeux d'équité entourant la remise en état et le maintien des barrages pour des usages privés. Avec la baisse des débits d'étiage, il est attendu que les tensions s'accroîtront dans les prochaines années. Il sera alors nécessaire de réfléchir à une manière de gérer la ressource équitablement et de déterminer s'il peut être pertinent de repenser la gestion de l'eau et la conciliation des usages.

À la lumière de ces résultats, il semble que les conséquences les plus sévères sont essentiellement les mêmes entre les scénarios +2°C ou +3°C. Ainsi les priorités d'action et donc les mesures d'adaptation ne changent pas massivement peu importe l'ampleur du réchauffement climatique.

8.3 CONSÉQUENCES SUR LES ÉCOSYSTÈMES

Les conséquences sur les écosystèmes et leurs composantes ne peuvent être mises de côté et seront, dans certains cas, sévères. Il en découlera inévitablement une perte de la valeur des services de support et de régulation des écosystèmes qui génèrera des impacts négatifs sur l'utilisation et les bénéfices que l'humain en retire. La présente étude a démontré à maintes reprises l'absence de données permettant de bien documenter les conséquences des périodes d'étiage sur les écosystèmes et leurs composantes comme expliquées aux sections 5 et 9.1.1.

Ce manque de données rendrait hasardeux de développer une grille d'analyse objective pour hiérarchiser les conséquences sur les écosystèmes. Il n'en demeure pas moins qu'à la suite de l'analyse réalisée dans le cadre de cette étude, la réduction de la qualité de l'eau et les modifications des habitats pour le poisson nous paraissent comme étant les groupes de conséquences les plus préoccupants. En effet, la modification des paramètres physico-chimiques de l'eau (réduction de l'O₂, variation du pH naturel des cours d'eau, augmentation des températures, etc.) ou l'augmentation des phénomènes d'eutrophisation sont susceptibles de modifier profondément la richesse biologique des cours d'eau et de générer des déséquilibres dans les populations des espèces aquatiques.

Les étiages sévères conduiront aussi à des modifications sensibles de l'habitat des espèces de poisson en fragilisant plusieurs étapes clés de leur cycle de vie dont la reproduction, l'**alevinage**, l'alimentation et les déplacements. Ces conséquences sur les écosystèmes aquatiques et les organismes qui y vivent génèreront inévitablement des conséquences sur la faune terrestre ou semi-aquatique dont plusieurs espèces se nourrissent d'espèces aquatiques ou ont besoin de cours d'eau sain dans l'une ou l'autre des phases de leur cycle de vie.

9. LIMITES DE L'ANALYSE ET CONNAISSANCES À DÉVELOPPER PRIORITAIREMENT

EN BREF

- Le travail sur les conséquences des déficits en eau au Québec a permis de soulever plusieurs limites de diverses natures qui devront être surpassées afin que le Québec se prépare adéquatement à l'aggravation de la sévérité et de l'ampleur des déficits en eau découlant des changements climatiques.
- Les enjeux relatifs à la disponibilité des données sont critiques, particulièrement au niveau des conséquences. Aucune collecte de données systématique et centralisée des événements de déficits en eau et de leurs conséquences n'est réalisée présentement.
- La connaissance sur les eaux souterraines devra également faire l'objet de travaux, s'appuyant sur les développements liés au PACES.
- Quant aux connaissances à développer sur les usages anthropiques, elles concernent autant la nécessité d'approfondir la compréhension de la chaîne de conséquence entre l'évolution du contexte hydroclimatique jusqu'à la santé et aux bien-être de la population que de développer une approche de priorisation des usages qui reflètent les valeurs des Québécois, les caractéristiques du territoire et les connaissances sur la nature des événements d'étiages.
- Quant aux connaissances sur les écosystèmes, on comprend encore mal plusieurs des liens de causalité notamment sur les impacts à long terme d'épisodes répétés d'étiages sévères sur les populations de poissons et le succès reproducteur.

9.1 LIMITES DE L'ANALYSE

9.1.1 Disponibilité des données

Les services et usages soutenus par la ressource « eau » sont nombreux et projeter les conséquences d'épisodes de manques d'eau sur un territoire aussi vaste que la zone d'étude couverte est un défi d'envergure. Cet exercice requiert de nombreuses données qui doivent représenter la nature des prélèvements, des usagers, des quantités consommées, des facteurs de risque ou encore des dynamiques entre acteurs. Puisque l'analyse est réalisée principalement à l'échelle des ZGIEBV, une attention particulière fut également donnée à la spatialité de l'information.

Cet attribut indispensable a constitué une limite forte de cette première analyse à haut niveau. En effet, il s'est trouvé que les paramètres régissant la vulnérabilité d'un usage de l'eau sont si dépendants du territoire dans lequel ils s'inscrivent que de nombreuses conséquences de déficits n'ont pas pu être évaluées dans ce rapport.

La revue de la littérature et de la presse, conduite à l'automne 2022 a particulièrement souligné la faible qualité du recensement des observations des périodes d'étiage et de leurs conséquences. Si la base de données AGIRE a consolidé la compréhension des conséquences historiques avec de nombreuses mentions de restrictions d'usages et des grands acteurs en jeu (municipalités, FADQ, gestionnaires de barrages, etc.), le manque de précision sur la durée des événements, les populations et écosystèmes affectés, ou encore le contexte climatique dans lequel ils se sont produits ont limité la suite de l'analyse. Deux entretiens téléphoniques passés avec les OBV COBARIC et Capitale-Nationale à l'automne 2022 ont également confirmé que la problématique des étiages, bien que parfaitement cernée et au cœur des préoccupations dans la « gouvernance de l'eau », ne fait pas encore l'objet d'une collecte systématique de l'information sur le territoire. À titre de comparaison, les épisodes d'inondations et les zones affectées sont cartographiés, de nombreux jeux de données sont disponibles en données ouvertes et elles font l'objet d'une forte couverture médiatique. Les zones à risque sont connues, les conséquences très bien documentées et les outils réglementaires et de planification sont en développement et en déploiement actuellement.

Il en ressort que l'absence de mécanismes robustes de collecte de données des épisodes de manque d'eau sévères et de leurs conséquences ressort comme le principal frein de notre analyse.

En l'état, la méthodologie par niveaux « d'alerte sécheresse », que nous nous sommes appropriés à partir d'une analyse sommaire de différentes juridictions internationales, a permis de passer de l'anecdote locale à une tentative de portrait global sur le Québec.

En ce qui concerne les informations sur les prélèvements, celles-ci ont été récupérées du projet RADEAU réalisé entre 2016 et 2019 et ajustées à la lumière de nouvelles informations sur les hypothèses de projection. Comme expliqué au chapitre 6, ces données couvrent 70 % de la population québécoise. Les régions du Saguenay-Lac-Saint-Jean, d'Abitibi-Témiscamingue, de Côte-Nord, et de Gaspésie-Îles-de-la-Madelaine, dont la gestion de l'eau est respectivement organisée par les l'OBVSLSJ, l'OBVAJ, l'OBVT, l'OBVHCN, et la ZIP des îles ont donc été étudiées par l'approche des niveaux d'alerte. Cela veut dire qu'il n'a pas été possible de mettre en relation les prélèvements futurs anticipés avec la disponibilité de la ressource. Par ailleurs, puisque ces régions sont faiblement peuplées, ce sont d'autres services soutenus par la ressource « eau » qui ont été étudiés.

Comme présenté au chapitre 2, la revue de littérature réalisée afin de décrire les composantes écosystémiques retenues et les principales conséquences des périodes d'étiage s'est principalement concentrée sur les cours d'eau et le fleuve. Cette approche ne sous-estime pas l'importance des plans d'eau, mais vise à s'arrimer avec les balises inhérentes du projet qui se concentrent sur les périodes d'étiage qui affectent les cours d'eau du Québec. À titre d'exemple, les changements climatiques occasionnent une augmentation des températures de l'eau, cette augmentation affecte en premier lieu les plans d'eau, puis les effluents des plans d'eau, soient les ruisseaux et les rivières.

Par ailleurs, les études consultées ne décrivent pas de manière quantitative les conséquences des périodes d'étiage, ce qui présente une limite importante dans la compréhension des impacts des étiages sur les services de support et de régulation des écosystèmes. L'article de Kovach et

al. (2019) met en lumière plusieurs causes qui expliquent pourquoi les effets des périodes de sécheresses sur les cours d'eau et leurs composantes sont encore mal connus. Ce manque de données sur les conséquences des périodes d'étiage découle notamment du fait que les études réalisées visent avant tout à documenter les conséquences des étiages sur l'utilisation anthropique ou encore la compréhension des impacts associés aux risques d'inondations.

De plus, mettre en place un suivi qui permet de bien comprendre ces conséquences est complexe, car il faut à la fois obtenir des données pour les portions amont et aval des bassins versants. Colliger des données pour bien décrire les composantes abiotiques et biotiques du milieu et obtenir des informations sur le cours d'eau avant et après la période d'étiage pour ne citer que ces exemples. Au contraire des inondations riveraines, les zones affectées ne sont pas visuellement définies et il est dur de circonscrire les usages et les usagers à colliger.

La section 9.2.1 dresse une liste de connaissances à développer afin de mieux comprendre les conséquences des périodes d'étiage sur les écosystèmes et leurs composantes et ainsi bien apprécier l'impact que cela génère sur les services de régulation et de support des écosystèmes.

9.1.2 Connaissance des eaux souterraines

De nombreux travaux ont contribué à l'acquisition des connaissances des eaux souterraines au cours des dernières années. Toutefois, l'équipe projet ne disposant pas d'expertise en hydrogéologie, notre analyse des travaux caractérisant la vulnérabilité de la recharge des eaux souterraines en contexte de changements climatiques ne nous a pas permis, pour le moment, de dessiner clairement la chaîne de causalité des conséquences socioéconomiques lors d'épisodes de manque d'eau sévères.

L'approche que nous avons employée est basée sur l'extrapolation des résultats de l'article Dubois et al. (2022) qui s'est intéressé à la recharge des eaux souterraines dans les climats froids et humides. En particulier, l'article a tenté de cibler les processus qui exercent une influence significative sur la recharge, et définir des seuils de variables climatiques à partir desquels on pourrait assister à une augmentation ou à une diminution du niveau de recharge par rapport à la période historique (1981-2010). Trois critères climatiques sont définis pour caractériser une recharge à la baisse de l'aquifère. Ils constituent des signaux pour alerter les politiques publiques quant à une vulnérabilité des usages.

L'application de ces critères à l'échelle des ZGIEBV n'a pas été concluante avec notre première approche. Les limites de notre méthodologie ont fait l'objet de divers échanges avec les principaux experts concernés. À l'heure actuelle, aucune tendance nette à la hausse ou à la baisse de la recharge des aquifères n'a pu être validée en contexte de changements climatiques au sein de nos scénarios. Les conditions hydroclimatiques décrites au sein des scénarios ne franchissaient pas les seuils évoqués dans Dubois et al. (2022). Il en ressort qu'à la lumière des connaissances actuelles, il n'a pas été possible d'anticiper la variation de la recharge dans des scénarios spécifiques. Notre analyse s'est donc contentée, sous l'hypothèse d'une recharge constante, d'évaluer si l'augmentation des besoins en eau pouvait éventuellement être un facteur prépondérant de déficit d'eau.

9.2 CONNAISSANCES À DÉVELOPPER

Cette section constitue un apport central du projet. Tout au long des étapes de réflexion, une multitude d'outils propres à la gestion de l'eau en contexte de changements climatiques nous sont apparus manquants. Synthèses d'informations, bases de données ouvertes, connaissances manquantes ou outils d'aide à l'adaptation, ces projets, en l'état actuel de notre analyse, nous sembleraient pertinents pour accroître la résilience de la province aux épisodes de manque d'eau sévères.

9.2.1 Conséquences sur les écosystèmes

9.2.1.1 Plans d'eau vs cours d'eau

Étant donné la limitation de l'étude aux cours d'eau, plusieurs variables affectant la santé des populations de poissons sont difficiles à évaluer dans leur ensemble. En effet, les cours d'eau et les plans d'eau sont des milieux hydriques interconnectés et certaines espèces de poissons peuvent être associées à ces deux types d'écosystèmes au courant de leur cycle de vie. Par exemple, l'augmentation des températures, les variations dans la stratification thermique et l'eutrophisation sont des conséquences des changements climatiques pouvant être amplifiées par la diminution du niveau de l'eau, dont les effets sur les populations de poissons sont davantage documentés dans les lacs. L'augmentation de la température de l'eau d'un plan d'eau ou encore l'eutrophisation de ce même plan d'eau sont susceptibles d'affecter la qualité de l'eau des cours qui le drainent de même que des composantes essentielles aux habitats des espèces qui y vivent.

9.2.1.2 PH de l'eau

La revue de littérature et les personnes consultées dans le cadre de cette étude ont permis de mettre en lumière le manque de connaissance sur l'effet de la modification de certains paramètres physico-chimique dont le pH. M. Frédéric Lecompte, biologiste Ph.D. à la Direction de l'expertise sur la faune aquatique du MELCCFP, souligne que les rivières qui drainent le Bouclier canadien ont un faible pouvoir tampon, car peu de carbonate de calcium est disponible dans cette vaste région. Il en résulte, qu'en cas de période d'étiage, le pH de l'eau pourrait baisser, rendant l'eau plus acide et affecter le poisson et bien d'autres organismes aquatiques.

Au même titre que les impacts des pluies acides sur les érablières il y a quelques décennies, largement documentés et qui ont conduit à prendre les mesures nécessaires afin de ramener le pH des précipitations à un niveau acceptable, il apparaît crucial de bien comprendre l'effet des modifications du pH sur le poisson et son habitat. Notons à cet égard que si le pH pouvait diminuer au nord du fleuve, les données récoltées dans le cadre de cette étude, bien que parcellaires, indiquent une augmentation du pH dans deux régions différentes situées au sud du fleuve en période d'étiage. Ainsi, il apparaît essentiel de documenter l'effet des étiages sur le pH et l'effet du pH sur le poisson et son habitat afin de mieux se préparer et, si possible, réagir avec efficacité face à cette modification probable de cette importante composante physico-chimique de nos cours d'eau.

9.2.1.3 Régionalisation des conséquences pour les poissons

Il existe un manque de connaissances dans la littérature sur la régionalisation des conséquences des étiages sur la population de poissons au Québec. Il n'est pas encore possible d'établir quelles seront les conséquences précises sur les espèces et les populations de poissons par région, non seulement dû au fait que plusieurs variables de l'écosystème interagissent entre elles, mais aussi parce que les impacts des étiages peuvent différer d'un cours d'eau à l'autre, au sein d'une même région : « *it is difficult to predict the effects of climate change on the hydrologic regime of individual streams, and quantitative estimates of the effects of climate change are few* » (Ficke et al., 2007). Dans ce contexte, développer un modèle qui permettrait de régionaliser les conséquences des périodes d'étiage sur le poisson permettrait de mieux comprendre les impacts potentiels des étiages sur cette importante ressource.

9.2.1.4 Impact à long terme d'épisodes répétés d'étiages sévères sur les populations de poissons et le succès reproducteur

Il est difficile de prévoir quels seront les impacts à long terme d'épisodes d'étiages répétés et sévères sur les populations de poissons et sur le succès reproducteur. Le nombre élevé de variables et d'interactions à prendre en compte limite l'évaluation quantitative de ces conséquences dans le futur. De telles estimations nécessiteraient des études exhaustives, qui sont malheureusement absentes dans la littérature. Cette limite est souvent mentionnée parmi certains des articles consultés. Reist et al. (2006) mentionnent notamment qu'il est impossible d'extrapoler de façon quantitative les réponses des espèces et des populations aux variations climatiques futures, puisqu'il existe trop d'interactions entre les variables environnementales, la physiologie des différentes espèces de poissons, leur comportement, la population, etc. : « *Other than logical extrapolations, most responses to climate change are impossible to quantify due to the absence of basic physiological information for most arctic fish species and the incomplete understanding of the overall associations of ecological processes with present-day climate parameters* ».

Cette dernière citation s'applique également aux poissons d'eau fraîche et d'eau chaude. Nous pouvons donc émettre des hypothèses et évaluer de façon qualitative quelles pourraient être les conséquences de tels épisodes de manque d'eau sévères à long terme. Les épisodes répétés d'étiage sévère affectent, à divers degrés, inévitablement plusieurs composantes des écosystèmes : végétation, paramètres physico-chimiques, limitations à l'utilisation de composantes essentielles au cycle de vie d'une espèce donnée (aire de fraie, d'alevinage, d'alimentation), limitation dans les déplacements, etc. Documenter les conséquences des épisodes d'étiage sévères est donc essentiel pour mieux se préparer aux modifications attendues des écosystèmes aquatiques et, dans la mesure du possible, contribuer à en réduire l'importance.

9.2.1.5 Qualité de l'eau et floraisons d'algues toxiques

Il existe très peu de littérature sur les floraisons d'algues spécifiquement dans les cours d'eau. Les fleurs d'eau dans les rivières proviennent majoritairement des efflorescences en provenance des plans d'eau. Il est donc difficile de dissocier les effets des étiages sur la qualité de l'eau des lacs et des rivières. Davantage d'informations sur le lien entre l'augmentation des concentrations des nutriments à la suite de la baisse du niveau de l'eau et les impacts que ceci peut entraîner

sur la chaîne trophique, la faune et la flore seraient essentielles à une compréhension plus globale de cette problématique.

9.2.1.6 Espèces exotiques envahissantes

Il existe encore une fois un manque d'information et d'études permettant de prévoir la répartition des espèces floristiques exotiques envahissantes (EFEE) dans le futur et leurs impacts précis sur les écosystèmes. Comme dans le cas des poissons, l'extrapolation des effets des variations du niveau de l'eau sur les populations d'espèces végétales envahissantes est difficile vu la grande complexité de la question, le grand nombre de facteurs à prendre en compte et la variabilité dans la réponse des plantes à leur environnement.

À cet effet, nous avons contacté Claude Lavoie, Ph.D. en biologie à l'Université Laval et auteur du livre *50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture* (C. Lavoie, 2019), qui a été en mesure de nous référer à une ressource traitant de la future répartition du roseau commun (*Phragmites australis*) en réponse aux variations hydrologiques et de températures associées à deux scénarios de changements climatiques (Tougas-Tellier, 2013). Malgré les prévisions d'une expansion de la répartition de cette EFEE, nous sommes confrontés à un manque de connaissances concernant les impacts précis sur la santé des différentes composantes écosystémiques (notamment sur les frayères du grand brochet et de la perchaude). Davantage d'informations sur ces impacts, ainsi que sur les conséquences liées à d'autres espèces floristiques envahissantes seraient nécessaires.

Un manque d'information et d'études existe également auprès des espèces animales exotiques (EAEE) envahissantes. Les impacts et conséquences de leur répartition changeante dû aux variations du niveau d'eau associé aux changements climatiques devront être davantage étudiés.

9.2.1.7 Augmentation des phénomènes d'érosion

Les conséquences des étiages sur le milieu physique n'ont pas été étudiées dans le cadre de cette étude, mais l'augmentation de la sévérité et de la durée des étiages ne seront pas sans conséquences pour plusieurs composantes du milieu physique. Il serait notamment pertinent de se pencher sur la dynamique d'érosion des berges en réaction avec un adoucissement des hivers, une augmentation des périodes de gel et de dégel et des étiages plus importants et fréquents. À titre d'exemple, une étude sur la caractérisation des berges du Saint-Laurent identifie le batillage causé par le déplacement des navires et le vent ainsi que la dessiccation des argiles comme étant les principaux facteurs d'érosion dans divers secteurs du fleuve (Bernier et al., 2020).

Ces érosions vont engendrer des coûts associés à la perte de terrain, de déplacement (lorsque possible) d'infrastructures diverses : routes, usines, habitations. Les coûts de protection de nos infrastructures vont vraisemblablement augmenter significativement. En ce qui concerne les écosystèmes, l'érosion augmente la quantité de matière en suspension ce qui détériore la qualité de l'eau et des habitats pour la faune aquatique. Les berges érodées sont aussi moins propices à supporter les écosystèmes qui s'y développent de manière naturelle.

9.2.2 Conséquences sur les usages anthropiques

9.2.2.1 Priorisation des usages de l'eau en contexte de sécheresse

Bien qu'il ne soit plus rare de voir une municipalité émettre un avis de restriction d'usage en été, à l'heure actuelle, les activités concernées et les réductions de consommation attendues ne sont pas définies dans une stratégie de réponse aux sécheresses à l'échelle de la province. Il existe certes des initiatives pour soutenir les municipalités dans la gestion de l'eau en cas d'urgence (Gouvernement du Québec, 2023a). Mais celles-ci ne sont pas inscrites dans une optique d'anticipation et d'adaptation aux changements climatiques.

On entend par « réduction de consommation attendue » un indicateur, en pourcentage, de la réduction découlant de l'avis de restriction. Il en résulte une diminution directe de la pression sur la ressource.

De nombreux territoires, au Canada ou à l'international, se sont dotés de plans d'urgence de réponse aux sécheresses et aux déficits en eau. Ces stratégies adoptent toutes le même fonctionnement global. Une hiérarchie des usages de l'eau est effectuée et les classe selon qu'ils sont essentiels ou non. En Ontario, on observe une classification grossière dans le plan provincial de réponse aux étiages (Ontario Low Water Response), ainsi qu'une hiérarchisation plus fine par territoires tenant compte des spécificités locales et du contexte d'utilisation de la ressource (Government of Ontario, 2021).

En parallèle de ce portrait territorial démontrant une bonne connaissance des usages de l'eau qui s'y font, une grille d'alerte définie par des indicateurs hydroclimatiques permet de suivre son état de sécheresse. L'organisme panaméricain North American Drought Monitor (NADM) propose une échelle d'alerte sur 5 niveaux, dont les paliers sont définis par le dépassement de ces indicateurs. Ce système est utilisé par le gouvernement du Canada pour suivre en continu la vulnérabilité de son territoire. Il semble cependant que cette méthodologie n'ait pas été répliquée uniformément à l'échelle provinciale. Par exemple, la Colombie-Britannique suit notamment les précipitations sur 30, 60, 90 ou 180 jours ainsi que les débits hebdomadaires (British Columbia MWLRS, 2023). En Ontario, ce sont les débits mensuels et différentes périodes de précipitations qui, comparées aux valeurs historiques, alertent sur l'état du bassin versant.

En revanche, l'association d'un niveau d'alerte à une grille de restriction est un processus commun que l'on retrouve dans ces provinces, aux États-Unis dans les états les plus vulnérables (California Waterboards, 2021) ou en France. À titre d'exemple, le niveau d'alerte 1 d'un bassin versant en Ontario vise une réduction des usages non essentiels (arrosage, lavage de voiture, etc.) de 10 % sur une base volontaire. Au vu des avis publiés ces derniers étés au Québec, il semble que ce niveau soit détecté et conduise les municipalités, à prendre individuellement des initiatives en fonction de différents critères tantôt liés à la disponibilité de la ressource, tantôt liés à la capacité des installations municipales de répondre à la demande.

En revanche, aucune source d'information ne vient conclure quant à la détection d'un deuxième ou troisième niveau de réponse, plus critique, avec des restrictions obligatoires et des objectifs d'économie clairs. Un échange avec un ancien conseiller de la ville de Rosemère confirme que les recommandations sur les consommations d'eau émanaient d'une direction municipale puis

étaient communiquées aux citoyens. À Laval, un nouveau règlement interne adopté le 3 mai 2022 vient limiter les usages récréatifs (notamment l'arrosage des pelouses) en période estivale à 3 heures par semaine, alors qu'il était auparavant possible « d'atteindre 16 heures par semaine » (Ville de Laval, 2022). Ce nouveau règlement s'inscrit dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques. Un autre entretien réalisé avec la ville de Saint-Jérôme a confirmé la compétence et l'autonomie de l'usine de production d'eau potable quant à l'émission d'avis de restriction : en contexte de pandémie de COVID-19, les demandes en eau ont explosé et la capacité de production de l'usine rapidement atteinte a amené l'opérateur à proposer des mesures. À Marieville également, une réglementation interne sur les arrosages et les remplissages de piscine existe depuis 2008 pour « faire face aux vagues de chaleur de la période estivale » (Ville de Marieville, 2023).

Néanmoins, nous reconnaissons qu'il n'est pas simple de statuer sur le caractère « individuel » de ces décisions avec si peu d'échanges. La trousse à outil du Gouvernement du Québec (2023) pour soutenir les municipalités en situation d'urgence fournit de nombreuses recommandations et conseils, lesquels reposent sur des principes de coopération. On note également que le Plan Particulier d'Intervention – Eau potable de la Communauté Métropolitaine de Montréal insiste sur l'interdépendance des municipalités et les atouts pour l'adaptation de mettre en place des « réductions harmonisées entre municipalités voisines », ce qui « favorise la cohérence » des consignes (Communauté métropolitaine de Montréal, 2019).

Ainsi, bien que de nombreuses initiatives de protection de l'eau potable soient mises en place selon le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), il n'existe pas, à notre connaissance, de lentille hydroclimatique portée de manière systématique pour caractériser l'état d'un bassin versant. Dans une optique de gestion intégrée de l'eau et des infrastructures, prises d'eau et aqueducs, la connaissance de l'état de sécheresse du territoire permettrait vraisemblablement d'accroître la résilience et la qualité des décisions.

9.2.2.2 Vulnérabilité opérationnelle des installations de production d'eau potable en climat futur

Depuis 2014, les municipalités doivent réaliser une analyse de vulnérabilité de leurs prises d'eau potable. Les derniers rapports devaient être rendus pour avril 2021. Ils caractérisent selon différents critères les menaces des sources d'approvisionnements. Selon notre compréhension, ces analyses sont actuellement mises à jour et seront achevées en 2026. Notre analyse indique que de nombreuses études approfondies pourraient s'appuyer sur cette source de données. La connaissance de la localisation des prises d'eau sur tout le Québec, de la nature de l'approvisionnement (surface ou souterraine), des critères principaux de vulnérabilités et des conditions hydroclimatiques passées et futures sur le site grâce aux modélisations d'Ouranos permettront d'enrichir les mesures d'adaptation.

9.2.2.3 Recensement et analyses des conflits d'usage

Après lecture des Plans Directeurs de l'Eau (PDE) élaborés par chacun des 40 OBV, on comprend que la province est sur la voie d'une bonne maîtrise de la gestion intégrée de l'eau.

Les PDE font état d'un portrait précis du territoire ainsi que d'un diagnostic des conflits d'usages persistants à l'année. Par exemple, l'OBV Capitale mentionne les nuisances des sports nautiques au Lac Beauport sur les autres activités (pêche, baignade, etc.).

Cependant, les conflits en contexte d'étiages estivaux ne sont pas adressés et il n'existe pas à l'heure actuelle de recensement systématique et de stratégie d'observation de ces conflits sur le territoire.

9.2.2.4 Impacts des déficits en eau sur les usages industriels et commerciaux

Si les usages industriels et commerciaux de l'eau n'ont pas fait l'objet de profondes analyses dans ce rapport, il est clair que l'information existante est déficiente et éparse. Parmi les plus grands préleveurs inscrits au registre gouvernemental, on retrouve certes les grandes villes et municipalités québécoises, mais également d'importants groupes industriels. À notre connaissance, la province n'a pas encore fait l'objet de conflits d'usages liés à des consommations excessives d'une industrie au détriment d'autres usages. Toutefois, le temps et les ressources disponibles pour ce volet ont limité la portée de notre analyse. Deuxièmement, si la localisation des prélèvements est disponible, leur nature (profondeur de la prise d'eau, du puits) n'est pas connue. Une analyse approfondie établirait :

- Nature et caractéristiques du prélèvement;
- Débits d'étiage et autres débits d'intérêts;
- État des lieux des usages voisins;
- Caractérisation en conséquence de la vulnérabilité du plan d'eau ou de la rivière aux étiages.

9.2.3 Conséquences sur la santé et le bien-être des populations

Les conséquences des épisodes d'étiages sur la santé et le bien-être des populations demeurent très peu étudiées. À la lumière des informations colligées pour la présente étude, trois avenues de recherche s'imposent en lien avec la santé et les bien-être des populations :

4. Évaluation des impacts sur la santé et le bien-être des populations autochtones;
5. Évaluation des impacts sur la santé mentale des populations touchées par les épisodes de manque d'eau sévères;
6. Évaluation de la qualité de l'eau des puits privés en période d'étiage/sécheresse et des implications pour la santé publique.

9.2.3.1 Impacts sur la santé et le bien-être des populations autochtones

Selon la synthèse de la littérature du Centre de collaboration nationale de la santé autochtone (2022), les changements climatiques, incluant les sécheresses, pourraient avoir les effets suivants sur la santé et le bien-être des populations autochtones :

- Augmentation des maladies d'origine hydrique et alimentaire;
- Exacerbation des maladies chroniques et infectieuses;
- Impacts sur la santé mentale (stress, anxiété et trouble de stress post-traumatique);
- Exacerbation des inégalités socioéconomiques et des iniquités en santé.

Ces effets potentiels sont très peu documentés au Québec. À notre connaissance, aucune étude sur ces possibles conséquences sur la santé des populations autochtones situées dans le sud du Québec n'a été réalisée. Par exemple, étant donné les épisodes d'étiage sévères rencontrés dans le secteur du Lac des Deux-Montagnes, il est possible ces épisodes aient entraîné des répercussions sur le bien-être de la Première Nation Mohawk de Kanehsatà:ke.

De plus, une étude approfondie visant à identifier l'ensemble des communautés autochtones les plus vulnérables aux conséquences des épisodes d'étiage sévères et de sécheresse serait nécessaire.

9.2.3.2 Évaluation des impacts sur la santé mentale des populations touchées par les épisodes de manque d'eau sévères

La réduction de la sécurité hydrique et alimentaire associée à un manque d'eau peut engendrer de multiples conséquences sur la santé mentale, dont le stress, l'anxiété, la dépression, en plus de la possibilité de traumatisme direct et même, à plus long terme, du développement d'un stress post-traumatique et d'**écoanxiété** (Santé Canada, 2022). Toutefois, ces conséquences demeurent très peu documentées et étudiées dans le contexte québécois. À la lumière des épisodes identifiés dans la présente étude, il serait pertinent d'approfondir les recherches afin de mieux comprendre les impacts à court et moyen termes sur la santé mentale des populations directement affectées par ces épisodes, notamment les résidents et les producteurs agricoles dont l'approvisionnement en eau potable est compromis.

Une attention particulière pourrait également être mise sur les conséquences pour les régions du Québec où se retrouvent les populations les plus vulnérables, par exemple en fonction de l'indice de défavorisation matérielle et sociale de l'INSPQ et en combinant avec les résultats de la présente étude. Des recommandations pourraient être identifiées afin de mieux être en mesure d'appuyer les populations les plus vulnérables pendant et après ces épisodes.

9.2.3.3 Évaluation de la qualité de l'eau des puits privés en période d'étiage/sécheresse et implications pour la santé publique

L'évolution de la qualité de l'eau n'a pas pu faire l'objet de projections pour le futur en lien avec les épisodes d'étiages projetés pour 2045 et 2065 dans le cadre de cette étude. Toutefois, à la lumière des informations recueillies via le questionnaire transmis aux OBV et la synthèse de la littérature sur les liens entre les changements climatiques et la santé des Canadiens réalisée par Santé Canada (2022), il est primordial d'approfondir nos connaissances sur la potentielle détérioration de la qualité de l'eau potable et des risques accrus de maladies d'origines hydriques lors des périodes d'étiage sévères et de sécheresse, et ce, en particulier pour les puits privés.

ANNEXE A – PRODUCTION DES SCÉNARIOS HYDROCLIMATIQUES

Pour cette étude, il a été décidé de s'inspirer de l'approche par trames narratives utilisée dans Van der Wiel et al. (2021), qui consiste à se projeter dans le futur en extrapolant des épisodes réels vécus dans le passé à l'aide d'une transposition par analogues.

Ainsi, des scénarios historiques et futurs étaient nécessaires dans CASCADES afin de créer les analogues de quelques étiages historiques sévères et aider l'équipe de projet à procéder à l'analyse des conséquences sur les usages anthropiques et des conflits d'usage. Spécifiquement, le projet avait besoin d'indicateurs de températures, de précipitations, d'évapotranspiration potentielle et de débits en climat réel, ainsi que pour les analogues futurs.

Cette annexe décrit les critères et la méthode de sélection pour le choix des simulations climatiques, la création des analogues et certains commentaires concernant les scénarios fournis.

A1. Données utilisées

A1.1 CLIMAT

HISTORIQUE

Les données climatiques historiques de température proviennent de la réanalyse ERA5-Land, qui est une reprise d'ERA5, mais avec un schéma de surface dont la résolution spatiale est plus fine – ~9 km plutôt que ~30 km – en plus d'autres améliorations (Muñoz Sabater, 2019). Une analyse des différentes sources de données historiques disponibles pour l'Amérique du Nord a en effet permis de conclure qu'au Canada, cette réanalyse possède une très bonne performance²⁴.

Il demeure tout de même que comme la plupart des réanalyses, les précipitations d'ERA5-Land ne sont pas « assimilées », ce qui signifie qu'il s'agit principalement des données brutes du modèle de prévision atmosphérique, sans ajustement pour prendre en compte les observations sur le terrain. Pour cette raison, les données de précipitations pour le projet ont plutôt été extraites de la base de données CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station), qui fournit une estimation des précipitations à partir d'observations in situ et d'images satellitaires, à une résolution de 0.05° (Funk et al., 2015). Ce jeu de données, produit par l'Université de Californie à Santa Barbara, est l'un des seuls permettant de couvrir les années plus récentes, dont 2021. Le seul bémol est qu'étant généré à partir d'images satellitaires, CHIRPS ne couvre pas le domaine au-dessus de 50°N. Pour les quelques bassins versants se trouvant dans cette région, les données de précipitation d'ERA5-Land ont été utilisées.

²⁴ <https://github.com/Ouranosinc/ESPO-r>

Finalement, des données d'évapotranspiration étaient requises pour calculer le SPEI (plus de détails ci-dessous). Or, une analyse des données d'ERA5-Land a malheureusement conclu que les valeurs d'évapotranspiration potentielle fournies par cette réanalyse sont hautement irréalistes, en raison des hypothèses utilisées par l'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) pour calculer cette variable. En réponse, il a plutôt été décidé de s'aligner sur la méthodologie de l'Atlas hydroclimatique, qui calcule l'évapotranspiration potentielle à partir des températures et de la latitude, en suivant la formulation décrite par McGuinness & Bordne (1972).

FUTUR

Les scénarios climatiques utilisés ont été produits dans le cadre d'INFO-Crue et ont servi à créer l'édition 2022 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional (Rondeau-Genesse & Braun, 2020). Il s'agit d'un ensemble de 180 simulations globales (CMIP5) et régionales (CORDEX, ClimEx) post-traitées avec une prise en compte particulière pour les précipitations extrêmes. Elles couvrent la période 1955-2100 pour l'entièreté du Québec « hydrologique », qui inclut une partie en Ontario et aux États-Unis.

Comme CASCADES s'intéresse en particulier aux événements rares et extrêmes, ce sont spécifiquement les simulations ClimEx qui ont été utilisées. Il s'agit de 50 réalisations du modèle régional canadien du climat (MRCC5) pilotées par le large ensemble CanESM2. En d'autres mots, cet ensemble permet d'avoir accès à 1500 années simulées pour chaque tranche de 30 ans (30 ans x 50 réalisations), ce qui augmente les chances d'observer des extrêmes très rares dans le jeu de données (Leduc et al., 2019).

Bien que l'évapotranspiration réelle soit disponible dans le jeu de données ClimEx, il a plutôt été décidé de demeurer cohérents avec le climat historique et les données hydrologiques, et donc de calculer cette variable à l'aide de l'équation de McGuinness & Bordne (1972).

A1.2 HYDROLOGIE

HISTORIQUE

Le Portrait, produit par le MELCCFP, fournit des séries temporelles de débit journalier pour la période 1970-2022 et pour près de 10 000 tronçons de rivière jaugés et non jaugés (MELCCFP, 2022a). Il s'agit d'une reconstruction historique de l'hydrologie québécoise créée à l'aide du modèle hydrologique HYDROTEL et ajustée pour tenir compte des observations de débit via une technique statistique nommée « interpolation optimale » (Lachance-Cloutier et al., 2017).

Cette plateforme de données possède quelques limites, notamment en ce qui a trait aux petits bassins versants (< 50 km²) ou aux tronçons de rivière qui sont influencés par un barrage. Ces tronçons ont été acquis pour les fins du projet et un certain nombre d'entre eux (~ 8000 tronçon supplémentaires) ont été analysés dans le cadre de l'étude, mais devront être considérés avec plus de précautions.

FUTUR

Les simulations ClimEx décrites précédemment ont été utilisées dans le cadre de la production de l'édition 2022 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional pour produire des projections futures de débits. L'Atlas fournit habituellement des indicateurs hydrologiques (crue, étiage, etc.) estimés pour des horizons futurs sélectionnés, mais les séries temporelles elles-mêmes (1955-2100) ont été acquises auprès du MELCCFP pour le projet.

Il existe 6 plateformes hydrologiques HYDROTEL qui diffèrent légèrement l'une de l'autre au niveau de la paramétrisation et de la formule d'évapotranspiration utilisée. Suite à une discussion auprès des ingénieurs du MELCCFP, la plateforme MG24HQ a été utilisée pour ce projet, car elle est potentiellement plus robuste pour représenter les étiages.

A2. Identification des étiages sévères

Il n'existe pas de manière unique pour identifier et qualifier les étiages sévères. Pour cette étude, le choix a été fait d'utiliser l'Indice normalisé d'évapotranspiration des précipitations (en anglais : Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI). Cet indicateur a notamment l'avantage de pouvoir être calibré par rapport à une climatologie donnée. Par conséquent, en calibrant séparément le climat réel (ERA5-Land pour 1992-2021), le climat simulé historique et les horizons futurs, il devient possible de retrouver des événements dont les caractéristiques et l'occurrence sont les mêmes que les événements historiques pertinents pour CASCADES, mais dans un climat futur plus chaud et potentiellement plus sec.

Le SPEI fonctionne en calculant la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration, puis en ajustant une loi statistique sur les données et en normalisant le résultat obtenu. Stagge et al. (2015) et Tam et al. (2019) recommandent l'utilisation d'une loi log-logistique pour l'ajustement statistique. Il résulte en une valeur variant généralement entre -3 et +3, où ce chiffre correspond à l'équivalent d'un score-Z. McKee (1993), qui a développé le précurseur du SPEI, catégorise le résultat comme suit :

- Sécheresse bénigne : $-0.99 \leq \text{SPEI} \leq 0$
- Sécheresse modérée : $-1.49 \leq \text{SPEI} \leq -1$
- Sécheresse sévère : $-1.99 \leq \text{SPEI} \leq -1.5$
- Sécheresse extrême : $\text{SPEI} \leq -2$

Dans cette optique, les données hydrologiques historiques et simulées ont plutôt été utilisées pour confirmer les impacts sur le terrain des événements identifiés, ainsi que pour extrapoler les étiages historiques dans le futur. Il est à noter que des débits inférieurs au $Q_{10,7}$ ont été notés pour l'ensemble des étiages identifiés ci-dessous, ce qui souligne une période de retour d'au moins 10 ans.

A2.1 SPATIALITÉ ET TEMPORALITÉ

La recherche d'étiages sévères passés a été réalisée à la fois dans les données hydroclimatiques et à l'aide du questionnaire réalisé auprès des OBVs et des comités ZIP et de la revue de la documentation. Cette recherche a permis de souligner qu'à notre connaissance, aucun

évènement n'a touché l'ensemble de la province de manière concomitante dans au moins les 30 dernières années. Quelques évènements récents ont touché de grands pans de territoire, tel qu'en 2021, 2012 et 2010, mais même dans ces cas, l'est du Québec, soient le Bas-Saint-Laurent, la Gaspésie et la Côte-Nord, étaient souvent épargnés.

Les étiages sévères identifiés, décrits dans la prochaine section, semblent souvent caractérisés par une crue printanière hâtive, ce qui pourrait confirmer les conclusions de Kinnard et al. (2022) quant à l'importance du manteau neigeux pour de nombreux bassins versants du Québec. Ce n'est toutefois pas toujours le cas : en 2018, par exemple, la Gaspésie a été touchée par de très faibles débits en été malgré un printemps où les précipitations et le manteau neigeux étaient bien au-dessus des normales. Dans ce cas-ci, les précipitations estivales avaient été particulièrement faibles et accompagnées de fortes chaleurs. Finalement, dans la plupart des cas identifiés, les faibles débits se sont également prolongés beaucoup plus tard qu'à l'habitude en automne, avec de faibles débits observés jusqu'à la fin septembre, voire jusqu'en octobre.

A2.2 ÉPISODES IDENTIFIÉS

Pour les fins du projet, l'accent a été mis sur les épisodes récents ayant touché un très grand territoire, car, pour simplifier les trames narratives, l'objectif était de trouver le plus petit nombre d'évènements permettant de couvrir l'ensemble du Québec méridional.

Ainsi, même si la rivière Saint-François a été fortement touchée en 2020, cette année a été mise de côté au profit de l'année 2021, qui a touché l'ensemble de la rive sud et de la vallée du Saint-Laurent, mais également Charlevoix, le Saguenay et le Lac-Saint-Jean. Ce choix méthodologique signifie également qu'il est possible que certains territoires soient relativement épargnés par les épisodes identifiés, soit parce que les pires évènements qui y ont été vécus ne couvraient pas un assez grand domaine pour être retenus, soit parce qu'ils sont trop loin dans le passé.

Les choix sont donc les suivants et sont présentés à la figure A-1 :

- **2021**, qui est un des pires étiages ayant touché le sud du Québec. Comme mentionné précédemment, les impacts se sont fait ressentir dans un corridor vertical de la rive sud du fleuve jusqu'au Lac-Saint-Jean.
- **2018**, qui a touché l'est de la province, notamment le Bas-Saint-Laurent et la Gaspésie.
- **2012**, qui a également touché la rive sud et la vallée du Saint-Laurent, mais aussi la rive nord entre l'Outaouais et la Mauricie.
- **2010**, qui a fortement touché une majorité de la rive nord, de l'Outaouais jusqu'au Saguenay.

La Côte-Nord semble avoir été relativement épargnée dans les dernières décennies. Des étiages plus locaux ont été identifiés de temps en temps, mais, notamment en raison des vastes distances, aucun évènement unique ne semble avoir touché l'ensemble de ce territoire depuis le milieu des années 1990, soient 1996 et 1995.

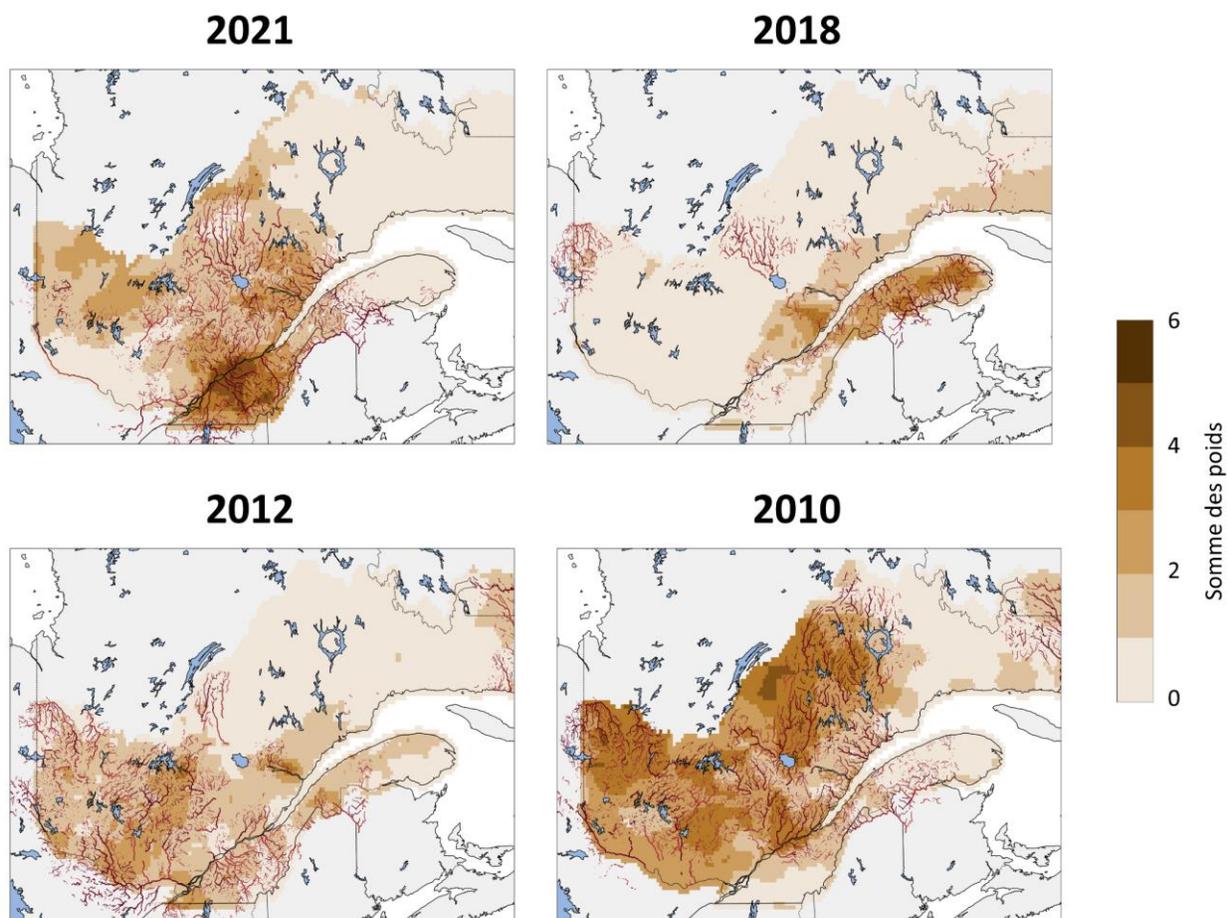


Figure A-1. Pour les années d'intérêt, somme des poids attribués aux différents points de grille en fonction de l'intensité cumulée du SPEI. Voir la Section A3.2 et la Figure A-2 pour un détail sur la construction de ces poids. Les rivières sont illustrées en rouge si elles se trouvent parmi les 5 années avec les plus faibles débits minimaux cumulés sur 7 jours ($Q_{\min,7}$), pour la période 1992-2021.

A3. Construction des analogues

A3.1 DEGRÉS DE RÉCHAUFFEMENT

Une limitation de ClimEx est qu'il ne permet pas d'explorer l'incertitude associée à la sensibilité climatique des modèles ou aux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, puisqu'il s'agit de 50 réalisations d'un même modèle régional et que seul le RCP8.5 a été utilisé. Afin de contourner une partie de ces enjeux, il a été décidé de traiter les projections futures en fonction de la hausse globale des températures par rapport à l'ère préindustrielle.

Pour le climat réel historique, la période 1992-2021 a été choisie pour la calibration du SPEI. Selon les observations produites par GISTEMP v4 (Lenssen et al., 2019), NOAA GlobalTemp v5 (Zhang et al., 2019) et HadCRUT5 (Morice et al., 2021), cette période correspond environ à un réchauffement de $+0.91^{\circ}\text{C}$ par rapport à l'ère préindustrielle. La période historique pour ClimEx

a donc été établie au moment où chaque réalisation du large ensemble atteint cette valeur de réchauffement.

Pour les climats futurs, afin de demeurer dans un horizon temporel réaliste pour les autres projections dans CASCADES (démographie, utilisation de l'eau, agriculture, etc.), il a été décidé d'explorer les horizons futurs à +1.5, +2.0 et +3.0°C au-dessus des températures préindustrielles. Les scénarios ClimEx sont coupés sur une période de 30 ans correspondant au moment où chaque réalisation atteint cette valeur de réchauffement. Toutefois, l'analyse elle-même n'est pas contrainte par la sensibilité du modèle et il est possible de plutôt associer chaque degré de réchauffement à un horizon temporel correspondant aux projections CMIP6 du GIEC (tableau A-1)

Tableau A-1. Période de 20 ans associée à divers degrés de réchauffement par rapport à l'ère préindustrielle. Les périodes entre crochets représentent l'intervalle à 95 %. Les tirets indiquent que le degré de réchauffement n'est pas atteint par la médiane ou l'intervalle de confiance d'ici 2100. Adapté du tableau 4.5 du 6^e (Rapport d'évaluation du GIEC – Lee et al., 2021).

Période temporelle	SSP1-1.9 (°C)	SSP1-2.6 (°C)	SSP2-4.5 (°C)	SSP3-7.0 (°C)	SSP5-8.5 (°C)
+1.5°C relatif à la période 1850-1900	2025-2044 [2013-2032 à -]	2023-2042 [2012-2031 à -]	2021-2040 [2012-2031 à 2037-2056]	2021-2040 [2013-2032 à 2033-2052]	2018-2037 [2011-2030 à 2029-2048]
+2.0°C relatif à la période 1850-1900	- [- à -]	- [2031-2050 à -]	2043-2062 [2028-2047 à 2075-2094]	2037-2056 [2026-2045 à 2053-2072]	2032-2051 [2023-2042 à 2044-2063]
+3.0°C relatif à la période 1850-1900	- [- à -]	- [- à -]	- [2061-2080 à -]	2066-2085 [2020-2069 à -]	2055-2074 [2042-2061 à 2074-2093]

A3.2 IDENTIFICATION ET CRÉATION DES ANALOGUES

La méthodologie employée pour trouver les analogues est la même, peu importe le degré de réchauffement, incluant en période historique.

Identification des analogues simulés

La méthodologie décrite ci-dessous a été employée sur les données ClimEx en période historique et pour tous les degrés de réchauffement, et a été répétée pour chaque épisode d'étiage identifié dans le passé (Figure A-2).

1. Découper une période de 30 ans correspondant au degré de réchauffement voulu pour chacune des 50 réalisations de ClimEx.

2. Pour ERA5-Land (1992-2021) et pour ClimEx (période de 30 ans), calculer neuf versions du SPEI cumulé sur 3 et 6 mois²⁵ à partir des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle.
 - SPEI-3 en mai, juin, juillet, août, septembre, octobre et novembre.
 - SPEI-6 en mai et en octobre.
3. Afin de ne pas biaiser les résultats en donnant un poids trop fort aux régions du Québec qui ne sont pas d'intérêt, et afin de mettre une emphase là où le SPEI a été fortement négatif, créer une pondération basée sur la valeur du SPEI observé (ERA5-Land) et sur les Zones de gestion intégrée de l'eau par bassins versants (ZGIEBV) touchées par l'étiage.
 - 1.0 pour les points de grille en sécheresse extrême (SPEI ≤ -2).
 - 0.33 pour les points de grille au moins en sécheresse modérée (SPEI ≤ -1).
 - 0.10 pour les points de grille au moins en sécheresse quelconque (SPEI ≤ 0).
 - 0 sinon.
4. Pour chacun des 1500 candidats potentiels (30 ans x 50 réalisation ClimEx), calculer un RMSE pondéré pour chacun des neuf SPEIs mentionnés ci-dessus, puis cumuler les erreurs.
5. Identifier les 5 années-réalisations où la somme des RMSE est la plus faible. Ces 5 années-réalisations constituent les analogues simulés de l'étiage réel.

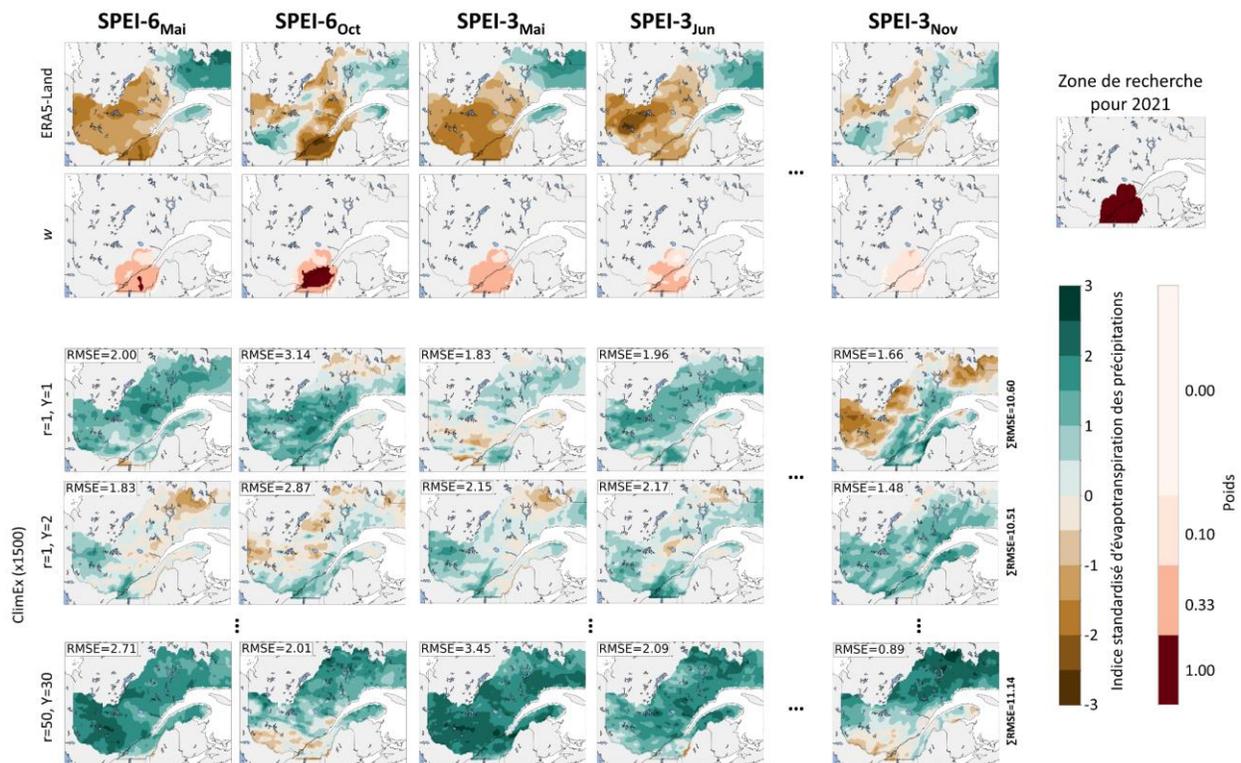


Figure A-2. Exemple pour la recherche d'analogues simulés dans ClimEx (période historique), par rapport à l'épisode de 2021.

²⁵ Les SPEI-1, SPEI-9 et SPEI-12 ont également été calculés, mais n'ont finalement pas été utilisés.

Construction de l'analogue hydrologique futur

Une liste d'indicateurs pertinents pour le projet a été établie suite à des discussions avec l'équipe de projet (Section 4.4.1) :

- Le nombre de jours sous le débit réservé écologique ($Q_{2,7}$) historique.
- Le nombre de jours sous le $Q_{10,7}$ historique.
- Le débit minimal moyenné sur 7 jours ($Q_{\min,7}$).
- Les précipitations et les débits moyens mensuels.
- La date de départ, de fin et la durée de la saison estivale.

Les étapes qui suivent ont été réalisées pour chaque indicateur, chaque épisode d'étiage et chaque degré de réchauffement (Figure A-3). L'année 2021 et la projection à +2°C seront utilisés en exemple.

1. Pour le Portrait hydrologique (2021) et les simulations hydrologiques pilotées par ClimEx en période historique et future (5 analogues simulés pour +0.91°C et 5 analogues simulés pour +2°C), calculer l'indicateur hydrologique.
2. Moyenner l'indicateur produit par les 5 analogues simulés, en période historique et future.
3. Calculer la différence (multiplicative ou additive, selon l'indicateur) entre l'indicateur simulé en période future (+2°C) et en période historique (+0.91°C).
4. Appliquer cette différence sur l'indicateur calculé pour l'épisode 2021 réel.

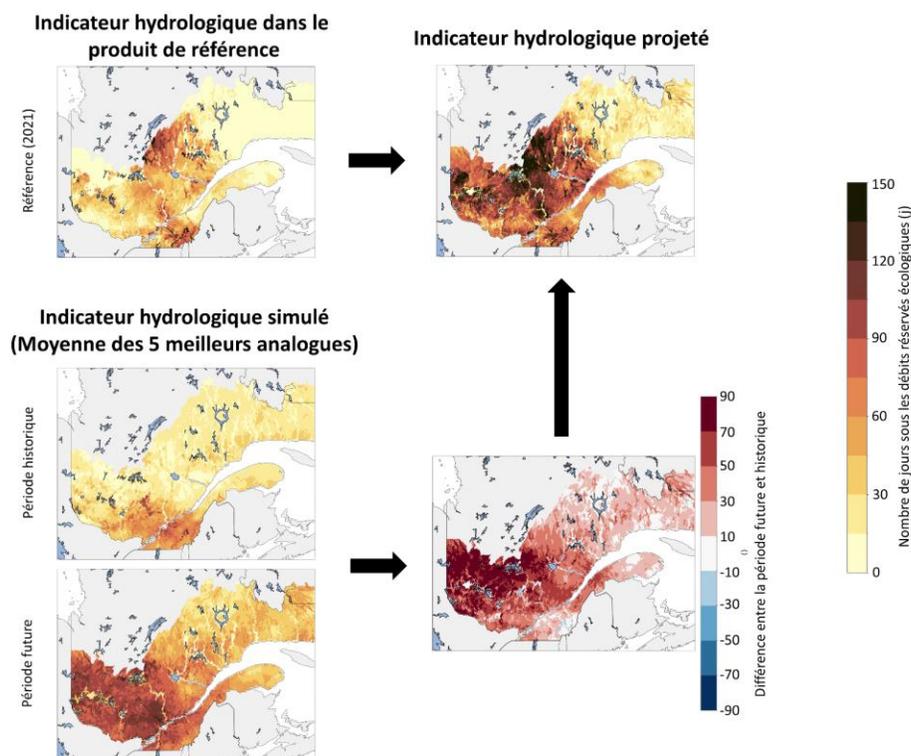


Figure A-3. Schéma illustrant la méthodologie employée pour créer les analogues futurs. L'image présente en exemple le nombre de jours sous les débits réservés écologiques pour l'année 2021 et l'analogue à +2°C.

Combinaison spatiale des épisodes d'étiage

Pour les fins du rapport et pour simplifier certaines analyses, les épisodes d'étiage ont été combinés spatialement pour créer les cartes et analyser certains résultats quant aux conséquences futures de ces étiages. Dans certains cas, comme pour le Lac-Saint-Jean, la région aurait pu être incluse dans 2021 ou dans 2010. Dans ces cas, l'homogénéité spatiale a été prise en considération.

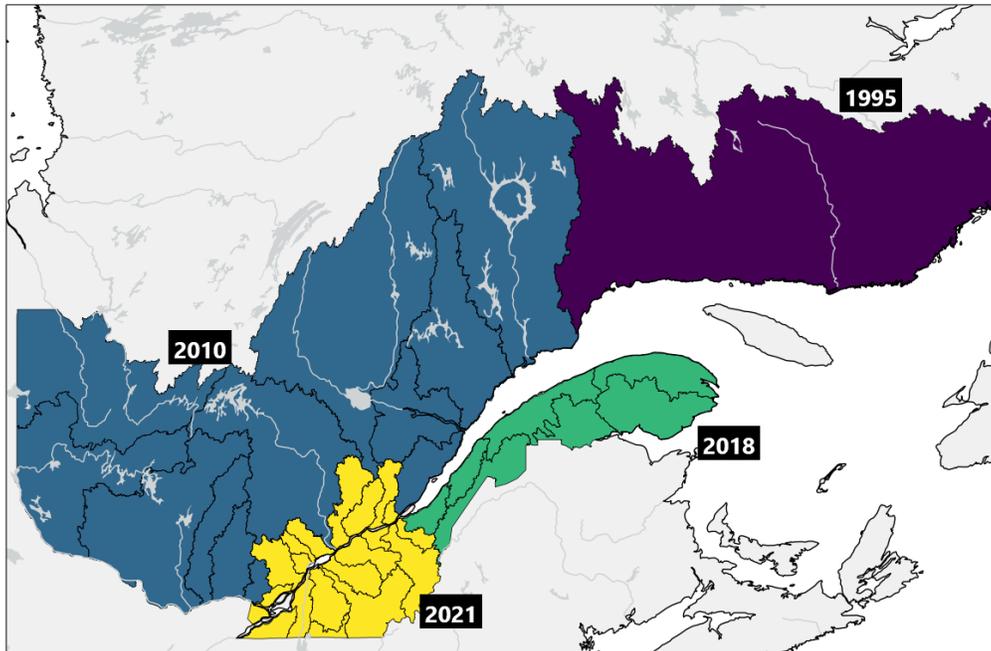


Figure A-3. Combinaison spatiale des événements d'étiages sévères, pour les fins du rapport et la simplification de l'analyse.

A4. Citation des données

Pour tout rapport, article scientifique et présentation où les scénarios climatiques seront utilisés, Ouranos devra être cité et remercié pour la production des scénarios climatiques.

Les centres ayant fourni des données devront également être remerciés et cités selon les instructions suivantes :

- Pour les données ERA5-Land, CHIRPS et l'Atlas hydroclimatique, les centres ayant fourni les données devront être remerciés, mais, à notre connaissance, aucun texte n'est mentionné sur leur site web.
- Pour les données ClimEx, suivre les indications spécifiées sur leur site web : https://www.climex-project.org/wp-content/uploads/2021/10/CRCM5ClimExRunsOuranos_TermsOfUse_Credits_eng_v6-1.pdf

ANNEXE B – AUTRES CONSÉQUENCES SUR LES ÉCOSYSTÈMES – OISEAUX AQUATIQUES

L'impact d'épisodes d'étiages sévères n'est pas le même pour toutes les populations d'oiseaux aquatiques au Québec. Ces épisodes affecteront le succès reproducteur de certaines espèces en particulier. Les espèces d'oiseaux les plus affectées par les variations du niveau de l'eau sont celles qui nichent dans les milieux humides submergés, tels que les étangs ou les marais (Desgranges et al., 2006). Les conséquences à court terme d'épisodes de manque d'eau sévères dépendent de l'emplacement des nids et du type de végétation utilisée comme matériel de construction des nids ou comme support. Pour les espèces qui construisent leurs nids au-dessus de l'eau à l'aide de la végétation émergente, un épisode d'étiage sévère peut avoir comme impact de rendre les nids plus vulnérables aux prédateurs terrestres. C'est le cas pour la guifette noire (*Chlidonias niger*), une espèce qui construit un nid flottant à la surface de l'eau à l'aide de morceaux de végétation aquatique, ou pour le râle de Virginie (*Rallus limicola*), qui construit son nid sur la végétation émergente. Des épisodes d'étiages sévères peuvent également nuire à l'alimentation de certaines espèces d'oiseaux qui se nourrissent d'invertébrés aquatiques (Christiane Hudon, 2004).

Les épisodes d'étiages sévères pourront nuire indirectement aux populations de certaines espèces d'oiseaux aquatiques en entraînant des modifications de leur habitat à plus long terme. La structure, la hauteur, la composition et la densité de la végétation, ainsi que la présence de plans d'eau dégagés, sont tous des facteurs qui influencent la répartition et la sélection d'un habitat par une espèce d'oiseau (Desgranges et al., 2006; Gagnon-Lupien, 2013; Christiane Hudon, 2004). L'assèchement des milieux humides et hydriques peut diminuer la diversité spécifique des communautés d'oiseaux en modifiant le couvert végétal et en diminuant la richesse et l'abondance de la flore (Desgranges et al., 2006).

La propagation d'EFEE, favorisée par les épisodes d'étiages prolongés, peut également être néfaste à certaines espèces d'oiseaux. Par exemple, l'invasion du roseau commun (*Phragmites australis*) modifie les communautés végétales et la superficie d'eau libre dans l'écosystème. Ceci contribue à la perte d'habitats propices à diverses espèces d'oiseaux, tels que le râle de Virginie (*Rallus limicola*), le butor d'Amérique (*Botaurus lentiginosus*) ou le bruant des marais (*Melospiza georgiana*). La densité des communautés monospécifiques de roseau commun favorise la présence de certaines espèces d'oiseaux au détriment d'autres espèces, en étant notamment peu accessible pour les oiseaux de grande taille tels que les canards, les oies, les grèbes et les échassiers, en plus d'être non-comestibles pour des espèces herbivores comme la bernache. La jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*) et la spartine à fleurs alternes (*Spartina alterniflora*), sont d'autres exemples de plantes envahissantes pouvant réduire l'abondance des populations d'oiseaux des marais (Gagnon-Lupien, 2013; Robichaud & Rooney, 2017).

ANNEXE C – LISTE DES PRINCIPAUX ÉVÈNEMENTS D'ÉTIAGES ET DE SÉCHERESSES IDENTIFIÉS

Année	Période	Territoires touchés	Source
1961	Février	Ensemble du Québec (étiage probable)	AQUARISC
1963-1965	Sur deux ans	Ensemble du Québec, fleuve Saint-Laurent	AQUARISC
1967	n.d	Région de Québec (sécheresse)	AQUARISC
1968	Juin à septembre	Région de Québec (sécheresse)	AQUARISC
1969	Août	Farnham (étiage)	AQUARISC
1970	Juillet-août	Sud du Québec : Sherbrooke, Beauce, Saint-Hyacinthe (sécheresse)	AQUARISC
1971	Juin-juillet	Ensemble du Québec (sécheresse)	AQUARISC
1974	Été	Granby (Étiage)	AQUARISC
1975	Juillet-août	Région de Montréal (sécheresse)	AQUARISC
1977	Mai	Montréal et Cantons-de-l'Est (étiage)	AQUARISC
1978	Été	Région de Québec (sécheresse)	AQUARISC
1982	Mai-juin	Ensemble de la province (sécheresse)	AQUARISC
1983	Été et automne	Région de Montréal, Nicolet, Beauce (étiage et sécheresse)	AQUARISC
1988	Juin	Région de Montréal : Saint-Lambert, Candiac, Saint-Constant, Sainte-Catherine (étiage et sécheresse)	AQUARISC
1989	Juin-août	Ensemble de la province (sécheresse)	AQUARISC
1991	Juillet-août	Saint-Hyacinthe (étiage)	AQUARISC
1994	n.d	Montréal (sécheresse)	AQUARISC
1995	Printemps-été	Montréal, Saint-Hyacinthe (étiage)	AQUARISC
1999	Été	Îles de Boucherville	AQUARISC

		(étiage)	
2001	Juillet	Région de Montréal, Rivière Yamaska (étiage)	AQUARISC
2002	Été	Longueuil (sécheresse) et Capitale-Nationale (étiage de la rivière Saint-Charles)	AQUARISC et autres études (Da Silva et al., 2020)
2010	Été	Saguenay-Lac-Saint-Jean (Péribonka) Laval, sud des Laurentides et de Lanaudière (MRC de Deux-Montagnes, MRC Thérèse-De Blainville, MRC Les Moulins) (rivière des Mille Îles) MRC de Vaudreuil-Soulanges (fleuve Saint-Laurent, rivière des Outaouais) Ville de Québec (rivière Saint-Charles)	Articles de presse et autres études (Da Silva et al., 2020; Francoeur, 2010), questionnaire des OBV, entretiens
2012	Juin-août	Ensemble du Québec, sud du Saint-Laurent en particulier (Outaouais, Montérégie, Estrie, Chaudière-Appalaches, Centre-du-Québec, Bas-Saint-Laurent, Gaspésie)	AQUARISC, articles de presse (Bélanger, 2012; Côté & Léveillé, 2012; Radio-Canada, 2012; Thériault, 2012), questionnaire des OBV
2017	Juillet-septembre	Est du Québec (Bas-Saint-Laurent, Îles de la Madeleine)	Articles de presse (Fournier, 2017; Hamon, 2017), questionnaire des OBV
2018	Juin-juillet	Saguenay-Lac-Saint-Jean, Bas-Saint-Laurent et Gaspésie	Articles de presse (Moreau, 2018), questionnaire des OBV
2019	Août	Une municipalité dans la MRC de Portneuf en raison du bas niveau de la nappe phréatique (région de la Capitale-Nationale)	Questionnaire des OBV
2020	Juin à octobre	Sud du Québec (Outaouais, Montérégie, Laurentides, Lanaudière, Estrie, Chaudière-Appalaches)	Questionnaire des OBV
2021	Été	Sud du Québec (Laurentides, Lanaudière, Estrie, Mauricie, Montérégie) (Sécheresse et étiages sévères de certaines rivières et bas niveau de la nappe phréatique pour	Articles de presse (Baril, 2021; Hebert, 2021; Maisonneuve, 2021; Pion, 2021; Rochon, 2021; Saint-Louis, 2021),

		l'approvisionnement en eaux souterraines)	questionnaire des OBV
2022	Été	Sud du Québec (Montréal, Estrie) (bas niveau de la nappe phréatique pour l'approvisionnement en eaux souterraines)	Articles de presse (U. Bergeron, 2022; Tanguay, 2022), questionnaire des OBV

ANNEXE D – FAITS SAILLANTS TIRÉS DE L'ANALYSE DES QUESTIONNAIRES TRANSMIS AUX OBV ET COMITÉS ZIP

Afin de compléter l'information recueillie sur les épisodes de manque d'eau sévères et leurs conséquences, un questionnaire a été transmis aux 40 OBV et aux 12 comités ZIP. Ce questionnaire avait pour objectif d'identifier les épisodes de manque d'eau sévères (eaux de surface et eaux souterraines) ayant occasionné des conséquences sur les usages anthropiques, le bien-être des populations et les écosystèmes naturels et de documenter ces conséquences.

Le ROBVQ a transmis les questionnaires aux OBV et Stratégies Saint-Laurent a pris en charge l'envoi aux comités ZIP. Au total, 20 questionnaires provenant de 19 OBV et un (1) comité ZIP ont été complétés et transmis à l'équipe de projet. Il ne nous a pas été possible de déterminer si le faible retour de questionnaires des comités ZIP est dû à un manque de ressources ou l'absence d'épisodes répertoriés.

Neuf (9) OBV n'ont pas retourné le questionnaire rempli en raison de l'absence d'évènement associé à un manque d'eau sévère identifié sur leur territoire. De plus, neuf (9) OBV n'ont pas été en mesure de retourner un questionnaire complété en raison d'un manque de ressources au sein de leur organisation (5) ou d'autres raisons reliées à leur contexte particulier (4). Finalement, les échanges avec trois (3) OBV sont demeurés sans réponses.

Le questionnaire visait à amener le répondant à identifier les épisodes les plus sévères de manque d'eau souterraine et de surface sur son territoire au cours des 25 dernières années. L'eau de surface est définie comme regroupant « l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère ». Elles peuvent être douces, saumâtres ou salées, selon leur emplacement (Le Centre d'information sur l'eau, 2023). L'eau souterraine est quant à elle définie comme étant « l'eau qui est présente dans les pores et interstices des roches ou des sédiments dans le sol » (Réseau québécois sur les eaux souterraines, 2023a).

Jusqu'à 10 épisodes pouvaient être identifiés par chacune des organisations répondantes au questionnaire. Un total de 87 épisodes ont été identifiés par les répondants.

Ensuite, la sévérité globale de chacun des épisodes identifiés devait être évaluée selon ses conséquences sur les usages anthropiques et les écosystèmes. Les conséquences sur les usages anthropiques et les écosystèmes étaient évaluées sur une échelle de 0 (aucune conséquence) à 4 (conséquences très sévères).

Les répondants étaient ensuite appelés à documenter plus en détail les trois (3) épisodes les plus sévères ayant touché leur territoire, selon les degrés de sévérité au préalable. Ainsi, ce sont 47 épisodes qui ont fait l'objet d'un approfondissement de leurs conséquences, c.-à-d. les épisodes « documentés ».

Répartition des épisodes documentés selon l'année d'occurrence

Plus de la moitié des épisodes documentés (25/47) ont eu lieu en 2020 ou 2021. La répartition des épisodes documentés selon leur année d'occurrence est présentée dans la Figure D-1. Il est aussi important de noter que 5 des 47 épisodes identifiés concernent des occurrences de manque d'eau sévère se répétant chaque année, depuis les dernières années, dans le sud du Québec.

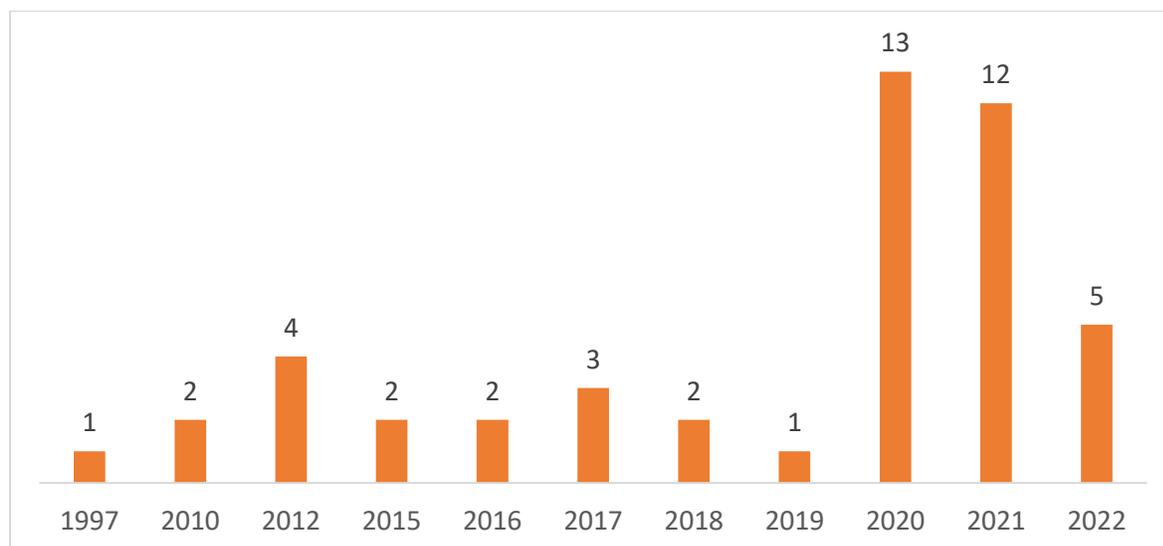


Figure D-1. Répartition du nombre d'épisodes documentés selon l'année d'occurrence

Causes des épisodes documentés

Pour chacun des épisodes documentés, les répondants étaient invités à identifier les principales causes de l'épisode. L'étiage sévère et le déficit pluviométrique ont été les deux causes identifiées le plus fréquemment par les répondants, dans 29 des 47 épisodes documentés, ou plus de 60 % des épisodes. Ensuite, dans près d'un épisode sur deux, le bas niveau de la nappe phréatique, la surconsommation d'eau ainsi qu'une période de sécheresse de courte durée ont également été identifiées comme principales causes des épisodes documentés. (voir Figure D-2.)

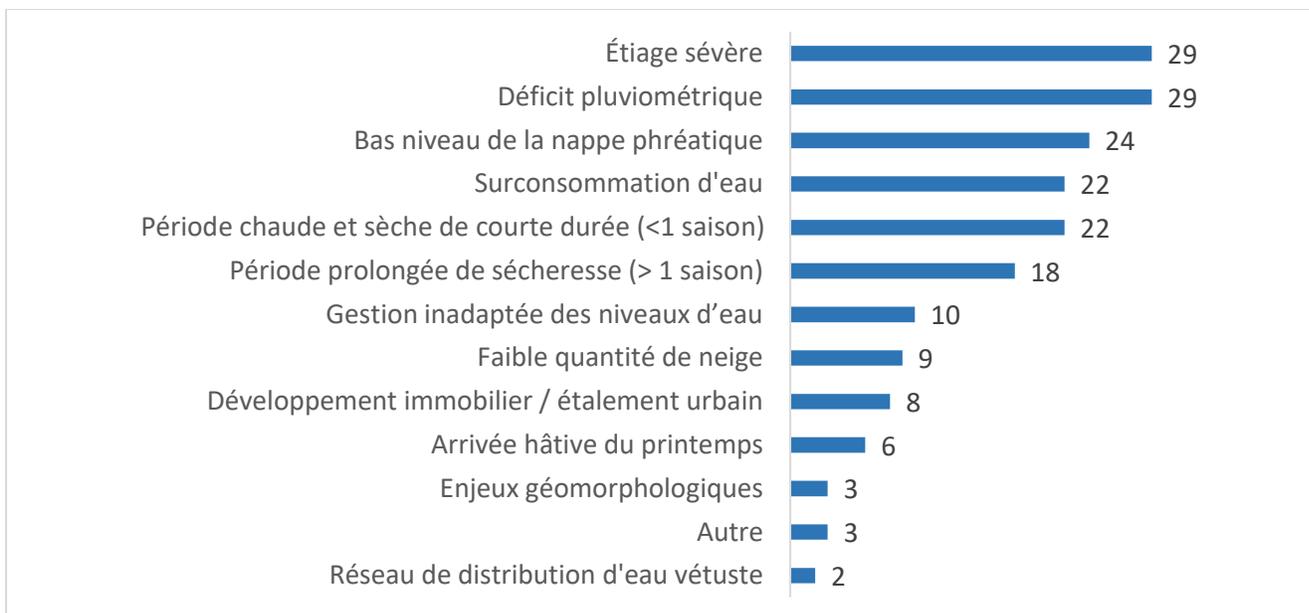


Figure D-2. Répartition des principales causes identifiées pour les épisodes documentés (Répartition du nombre d'épisodes pour lesquels la cause a été identifiée, en réponse à la question suivante : « À votre connaissance, quelles étaient les causes principales de cet épisode de manque d'eau sévère ? »)

Types d'approvisionnement impliqué (eau de surface et eau souterraine)

Sur les 47 épisodes documentés, 33 épisodes sont associés à un manque d'eau de surface et 29 épisodes sont associés un manque d'eau souterraine. Le tableau D-1 résume la répartition des épisodes selon le(s) types d'approvisionnement touché(s).

Tableau D-1. Répartition des épisodes selon le type d'approvisionnement touché

Types d'approvisionnement touché par l'épisode de manque d'eau sévère	Nombre d'épisodes
Eau de surface seulement	18
Eau souterraine seulement	14
Eau de surface & eau souterraine	15
Total des épisodes	47
Eau de surface (total)	33 (18+15)
Eau souterraine (total)	29 (14+15)

Conséquences sur les usages anthropiques et les écosystèmes

Pour 40 des 47 épisodes documentés (85 %), des conséquences sur les usages anthropiques ont été identifiées, alors que pour seulement 13 des 47 épisodes (28 %), des conséquences sur les écosystèmes ont été identifiées.

Parmi les principales conséquences sur les usages anthropiques identifiées par les répondants pour les épisodes documentés, les problèmes d'approvisionnement en eau potable sont de loin les plus répandus. En effet, des problèmes d'approvisionnement en eau potable ont été identifiés pour 40 des 47 épisodes documentés. Les autres principales conséquences soulevées sont les suivantes : les restrictions d'usages (16 épisodes), les conflits d'usage (13 épisodes), les pertes de récoltes agricoles (13 épisodes) ainsi qu'une augmentation des coûts de traitement de l'eau potable (9 épisodes). La liste complète des conséquences identifiées pour les épisodes documentés est présentée dans le tableau D-2.

Tableau D-2. Principales conséquences sur les usages anthropiques identifiées pour les épisodes documentés

Conséquences	Nombre d'épisodes
Problèmes d'approvisionnement en eau potable	18
Restrictions d'usage	16
Conflits d'usage entre différents utilisateurs	13
Pertes de récoltes agricoles	11
Augmentation des coûts de traitement relié aux sources d'eau potable	9
Altération de la qualité de l'eau potable (odeur, couleur, goût, etc.)	7
Augmentation des risques d'incendie / incapacité à les combattre	7
Augmentation du risque sanitaire pour la consommation humaine (contamination microbiologique ou chimique)	4
Dommmages aux infrastructures (ex. : lié à l'érosion ou à l'affaissement de la nappe phréatique)	3
Pertes économiques pour l'activité industrielle	2
Pertes de production hydroélectrique	1
Pertes économiques pour l'activité fluviale	1

Du côté des conséquences documentées sur les écosystèmes pour les 12 épisodes concernés, la principale conséquence identifiée est à la circulation limitée des espèces aquatiques (7 épisodes), suivies de la baisse des populations de poissons d'eau douce, la dégradation des milieux humides, l'eutrophisation (présence de cyanobactéries) ainsi qu'une pollution accentuée des cours d'eau (tous ex aequo avec 5 épisodes concernés). La liste complète des conséquences identifiées pour les épisodes documentés est présentée dans le tableau D-3.

Tableau D-3. Principales conséquences sur les écosystèmes identifiées pour les épisodes documentés

Conséquences	Nombre d'épisodes
Circulation limitée des espèces aquatiques	7
Baisse de population des poissons d'eau douce	5
Dégradation des milieux humides	5
Eutrophisation / présence de cyanobactérie	5
Pollution accentuée des cours d'eau	5
Baisse de diversité (végétaux indigènes)	4
Contaminations microbiologiques	4

Épisode de mortalité importante de poissons	4
Érosion des berges et des rives	4
Contamination chimique	3
Propagation d'espèces exotiques envahissantes (EEE)	3
Chute des feuilles et mort des rameaux	1
Décoloration du feuillage	1
Flétrissement et dessèchement	1
Perte de superficie d'habitats aquatiques	1
Réduction des populations d'oiseaux	0

Les tableaux D-4 à D-10 résument l'information recueillie sur les différents épisodes d'étiages sévères et de sécheresse documentés, par type de conséquences vécues :

- Tableau D-4 Conséquences sur l'**approvisionnement en eau potable** provenant des **eaux de surface**
- Tableau D-5 Conséquences sur l'**approvisionnement en eaux souterraines de services d'aqueduc municipaux**
- Tableau D-6 Conséquences sur l'approvisionnement en **eaux souterraines de puits privés**
- Tableau D-7 Conséquences liées à des **pertes de récoltes** pour les producteurs agricoles
- Tableau D-8 Conséquences sur l'**approvisionnement en eau des producteurs agricoles**
- Tableau D-9 Conséquences associées à des **conflits d'usage** impliquant des **producteurs agricoles**
- Tableau D-10 Conséquences sur le **secteur récréotouristique**
- Tableau D 11. Synthèse des **conséquences écosystémiques** relevées par différents organismes de bassins versants

Il est important de noter que les informations issues du questionnaire des OBV présentées dans les tableaux ci-dessous ne constituent pas des faits scientifiques prouvés et vérifiés. Ce sont des réponses fournies de bonne foi et qui, à travers le filtre de l'expertise de l'OBV, traduisent des observations faites par différents acteurs de l'eau.

Tableau D-4. Résumé des épisodes d'étiages sévères des cours d'eau documentés et de leurs conséquences sur l'approvisionnement en eau potable provenant des eaux de surface

Année	Cours d'eau touché (OBV)	Régions touchées	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Conséquences sur la qualité de l'eau
2002 et 2010	Rivière Saint-Charles	Capitale-Nationale	Un décret gouvernemental a dû être adopté afin de pouvoir puiser de l'eau dans la rivière Jacques-Cartier pour approvisionner la population de Québec (Communauté Métropolitaine de Québec, 2016)	Non documentée
2010	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Outaouais et nappe souterraine de la MRC de Vaudreuil-Soulanges (COBAVER-VS)	Coteau-du-Lac, Les Coteaux, Saint-Zotique, Vaudreuil-Dorion, Vaudreuil-sur-le-Lac (Montérégie)	Interdiction de l'usage extérieur de l'eau dans plusieurs municipalités Plusieurs municipalités ont indiqué des investissements continuels dans leurs réseaux d'aqueducs	Non documentée
2010	Rivière des Mille Îles (COBAMIL)	MRC de Deux-Montagnes, MRC Thérèse-De Blainville, MRC Les Moulins (Laval, sud des Laurentides et de Lanaudière)	Niveau dangereusement bas pour l'approvisionnement en eau Écrêtage du fond de la rivière des Mille Îles en amont du barrage du Grand-Moulin afin d'assurer un débit minimum de plus de 25m ³ /s dans le futur	Diminution de la capacité de dilution, augmentation de la concentration en polluants
2020	Faible débit des eaux qui alimentent le bassin de captation municipale (CAPSA)	Saint-Alban (MRC de Portneuf, région de la Capitale-Nationale)	Restrictions et interdictions d'arrosage (gazons, jardins et piscines) pour toutes les résidences du village durant tout l'été La municipalité est maintenant équipée pour suivre la quantité d'eau de charge du bassin et du prélèvement (débitmètres)	Non documentée
2020-2021	Rivière de l'Achigan (CARA)	Saint-Sophie (MRC Rivière-du-Nord, Laurentides)	Quantité d'eau insuffisante pour le réseau d'aqueduc municipal Dans l'obligation de remplir les réservoirs à l'aide de camions-citernes prévus à cet effet Interdiction d'arrosage, sensibilisation	Non documentée
2021	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Outaouais, nappe souterraine de la MRC de Vaudreuil-	Vaudreuil-sur-le-Lac, Vaudreuil-Dorion (MRC Vaudreuil-Soulanges, Montérégie)	Installation par la municipalité de Vaudreuil-Dorion d'une pompe supplémentaire dans la Baie de Vaudreuil pour l'approvisionnement de l'eau Interdiction d'usage extérieur de l'eau	Eau légèrement colorée dans le réseau de distribution de Vaudreuil-Dorion

Année	Cours d'eau touché (OBV)	Régions touchées	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Conséquences sur la qualité de l'eau
	Soulanges (COBAVER-VS)			
2021	Fleuve Saint-Laurent, rivières avoisinantes	Ville de Québec	Au mois d'août, le faible niveau des rivières nécessite l'imposition d'une interdiction d'arrosage et d'utilisation de l'eau potable à des fins de nettoyage, d'arrosage et de remplissage des piscines sur tout le territoire (La Presse canadienne, 2021)	Non documentée
Épisodes récurrents (lors de chaque période d'étiage estival)	Rivière Richelieu (COVABAR)	Chambly, Richelieu, Marieville, Carignan (MRC de La Vallée-du-Richelieu, Montérégie)	Restriction d'utiliser l'eau pour certaines fonctions, baisse de pression et diminution de la vitesse de remplissage des réservoirs Les citoyens sont invités à collaborer en modifiant leur consommation d'eau	Risque d'avis d'ébullition Augmentation de la chloration de l'eau La diminution de la qualité de l'eau à la prise d'eau entraîne un changement de stratégie de filtration et une augmentation des coûts de filtration
	Rivière Yamaska (OBV Yamaska et OBV Baie-Missisquoi)	Bromont, Farnham et Saint-Hyacinthe (Estrie et Montérégie)	Interdictions d'arrosage La ville de Bromont a commandé des recommandations à l'OBV Yamaska afin d'adapter sa gestion de l'eau potable dans le contexte des CC	Faible débit de la rivière diminue son pouvoir de dilution des contaminants et des sédiments, ce qui complique la filtration de l'eau (OBV Yamaska, 2022)
	Lacs Spruce, Vogel et Mud (baisse des débits d'eau en période d'étiage et/ou sécheresse) OBV Baie-Missisquoi	Sutton (MRC Brome-Missisquoi, Estrie)	Problème d'approvisionnement en eau particulièrement sévère dans le secteur de la Montagne, alimenté l'eau de surface provenant des lacs Spruce, Vogel et Mud Avis de réduction de la consommation d'eau émis à la population Étude de faisabilité pour le raccordement des deux réseaux d'eau potable gérés par la ville Gel du développement résidentiel (Radio-Canada, 2022; Ville de Sutton, 2022)	Non documentée
	Rivière Bécancour (GROBEC)	Daveluyville (MRC Arthabaska, Centre-du-Québec)	Restriction d'arrosage lorsque la rivière devient plus basse	Augmentation de la température de l'eau. Augmentation des coûts de traitement de l'eau en raison de la baisse du facteur de dilution et de l'augmentation du pH de l'eau

Tableau D-5. Résumé des épisodes d'étiages sévères/sécheresses associés à des conséquences sur l'approvisionnement en eaux souterraines de services d'aqueduc municipaux

Année	Régions touchées / OBV	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Autres conséquences
2010	MRC de Vaudreuil-Soulanges (Montérégie) COBAVER-VS	Niveau d'eau très bas dans la rivière des Outaouais et le fleuve Saint-Laurent et la nappe phréatique de la région	Restrictions d'arrosage de la pelouse et autres usages extérieurs de l'eau (Vaudreuil-Dorion, Saint-Lazare, Saint-Polycarpe, Rigaud, Les Cèdres, Pointe-des-Cascades, Hudson, Saint-Clet)	Non documentée
2018	Murdochville (MRC La Côte-de-Gaspé, Gaspésie) CENG	En raison d'une période de sécheresse prolongée à l'été 2018, deux des quatre puits d'approvisionnement souterrain d'eau potable de la ville de Murdochville ont manqué d'eau	La ville a demandé à sa population de restreindre l'utilisation d'eau potable et a dû solliciter temporairement sa source d'eau de surface provenant du lac Porphyre Émission d'un avis d'ébullition en lien avec l'approvisionnement supplémentaire provenant du lac Porphyre	Non documentée
2019	Saint-Gilbert (MRC de Portneuf, Capitale-Nationale) CAPSA	Bas niveau du puits municipal de captation des eaux, lequel est alimenté par deux sources d'eau souterraine	Envoi d'avis de restriction d'utilisation aux citoyens. Tous les types d'arrosage ont été interdits sous peine d'amendes (lavage d'auto, arrosage de pelouse, potagers, remplissage de piscine, etc.) L'eau devait être réservée à la consommation humaine et à la protection des incendies	Non documentée
2020	MRC Vaudreuil-Soulanges (Montérégie) COBAVER-VS	La région a connu des conditions très chaudes et sèches en juin et juillet. La température moyenne a été de 29°C avec seulement 100 mm de pluie La nappe souterraine de la MRC de Vaudreuil-Soulanges a été affectée, affectant plusieurs municipalités de la	Interdiction de l'usage extérieur de l'eau dans les municipalités de Vaudreuil-Dorion, Saint-Lazare, Saint-Polycarpe, Rigaud, Coteau-du-Lac, Les Coteaux, Les Cèdres, Pointe-des-Cascades, Hudson, Saint-Zotique, Saint-Clet, et Vaudreuil-sur-le-Lac.	Conséquences pour le secteur agricole (voir section 6.1.3.)

Année	Régions touchées / OBV	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Autres conséquences
		MRC s'approvisionnant en eaux souterraines	Quelques puits privés asséchés à Saint-Polycarpe	
2020	Saint-Damien (MRC de Matawinie, Lanaudière) CARA	Le puits alimentant l'aqueduc du village a manqué d'eau en raison de la baisse du niveau de la nappe phréatique	Restrictions d'utilisation Pour prévenir un nouvel épisode, un 2e puit a été ajouté pour alimenter l'aqueduc du village	Bien que l'impact sur les puits privés n'ait pas été documenté, il est possible qu'ils aient également été affectés
2020	Sainte-Élisabeth (MRC d'Autray, Lanaudière) OBV Zone Bayonne	Manque d'eau au début de la saison pour la municipalité de Sainte-Élisabeth. La nappe d'eau aurait baissé un peu, probablement en raison des 60 jours sans pluie en 2020 en début de saison La Municipalité fournit l'eau potable dans le village et des secteurs de la municipalité sont également desservis par le réseau d'égout municipal	Restrictions d'usage, demande aux citoyens de diminuer leur consommation La municipalité est en manque d'eau depuis quelques années et recherche d'autres sources d'eau pour alimenter ses citoyens En 2022, deux puits de surface de 16 pieds ont été creusés. À la mi-avril 2023, des tests doivent être faits pour savoir si l'eau est conforme et si les puits de surface peuvent être raccordés au bassin (situé à Notre-Dame-de-Lourdes)	
2020	Audet (MRC du Granit, Estrie) COBARIC	Puits municipal de la municipalité d'Audet était à sec à l'été 2020	La municipalité a dû s'approvisionner en eau (achat) auprès de la Ville de Sherbrooke afin de pallier son manque d'eau Restrictions d'usage Étude hydrogéologique en cours	Non documentée
2020	East Broughton et Saint-Pierre-de-Broughton	En 2020, la municipalité d'East-Broughton mentionne un manque d'eau sur son territoire	Peu d'eau disponible, mais les autorités ont réussi à trouver des solutions au sein de leurs municipalités	Non documentée

Année	Régions touchées / OBV	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Autres conséquences
	(MRC des Appalaches, Estrie) COBARIC	La municipalité de Saint-Pierre-de-Broughton mentionne que depuis 2015, ils ont refait creuser des puits de surface pour la municipalité		
2021	MRC Vaudreuil-Soulanges (Montérégie) COBAVER-VS	La région a connu un printemps chaud et sec. Le niveau d'eau a été très bas dans la rivière des Outaouais, le fleuve Saint-Laurent et la nappe phréatique alimentant les diverses sources d'eau souterraine des municipalités	Interdiction sur l'usage extérieur de l'eau dans les municipalités de Saint-Lazare, Vaudreuil-Dorion, Rigaud, Vaudreuil-sur-le-Lac, Saint-Polycarpe, et Les Cèdres	Conséquences pour certaines productions agricoles (voir section 6.1.3.)
2021	Sainte-Mélanie (MRC de Joliette, Lanaudière) CARA	Manque d'eau pour fournir l'aqueduc municipal Les réservoirs municipaux d'eau potable étaient à des niveaux très bas	Interdictions d'arrosage et de remplissage des piscines	Non documentée
2021-2022	Laurierville (MRC de l'Érable, Centre-du-Québec) GROBEC	La nappe phréatique a considérablement diminué durant les mois de septembre à novembre 2021 Diminution de la nappe phréatique en septembre 2022 également On remarque une baisse de la nappe phréatique au cours des dernières années. En septembre 2018, le niveau était de 7,8 pieds au-dessus de la pompe du puits artésien du réseau d'aqueduc de la municipalité. En 2019, 7 pieds, en 2020, 7,2 pieds, en 2021, 6 pieds, en 2022 6 pieds également	Interdiction/Restrictions d'arrosage Demande aux citoyens de diminuer leur consommation d'eau et de ne pas arroser leur gazon	Non documentée
Épisodes récurrents (particulièrement sévère en 2021)	MRC des Jardins-de-Napierville (Montérégie) COVABAR	Difficulté d'approvisionnement en eau souterraine pour toutes les municipalités de la MRC ayant un réseau d'aqueduc alimenté par des puits (Duhamel, 2022)	Demande aux citoyens de limiter leur consommation d'eau (Duhamel, 2022) Napierville, Saint-Cyprien-de-Napierville, Saint-Jacques-le-Mineur, Saint-Édouard, Saint-Michel et Saint-Rémi	Conséquences pour certaines productions agricoles (voir section 6.1.3.)

Année	Régions touchées / OBV	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité et restrictions d'usage) et mesures d'adaptation (s'il y a lieu)	Autres conséquences
	<p>Saint-Paul-d'Abbotsford (MRC Rouville, Montérégie)</p> <p>Saint-Liboire, Sainte-Hélène-de-Bagot, Upton (MRC Maskoutains, Montérégie)</p> <p>MRC Haute-Yamaska (Estrie)</p> <p>OBV Yamaska</p>	<p>Difficulté d'approvisionnement pour les petites municipalités dont les réseaux d'aqueduc s'approvisionnent en eau souterraine et pour lesquelles le développement résidentiel et industriel surpasse la disponibilité en eau</p>	<p>Restrictions d'usage lors des canicules</p> <p>Augmentation des coûts de traitement en été lors de l'étiage entraîne certaines municipalités à revoir leurs installations d'approvisionnement</p> <p>La plupart des municipalités du BV ont mis à jour leurs réglementations concernant l'usage de l'eau potable</p>	<p>Conséquences pour certaines productions agricoles (voir section 6.1.3.)</p> <p>Restriction sur le développement résidentiel à Saint-Paul d'Abbotsford (Bourcier, 2022b)</p>
	<p>Sainte-Christine d'Auvergne (MRC de Portneuf, Capitale-Nationale)</p> <p>CAPSA</p>	<p>Depuis 3 ans, le puits de surface qui alimente le bâtiment municipal (municipalité, centre communautaire, jardin communautaire) s'assèche</p>	<p>L'arrosage du jardin communautaire a dû être réduit de moitié</p>	<p>Augmentation des coûts de traitement de l'eau de 65 000 \$ pour installer une pointe plus profonde et un système de traitement UV</p>

Tableau D-6. Résumé des épisodes d'étiages sévères/sécheresse associés à des conséquences sur l'approvisionnement en eaux souterraines de puits privés

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité, qualité, restrictions d'usage et mesures d'adaptation, s'il y a lieu)	Autres conséquences
2012	Mont-Albert (MRC de la Haute-Gaspésie, Gaspésie) CENG	À l'été 2012, en pleine saison touristique estivale, en raison d'un fort achalandage touristique et d'une période de sécheresse, la Sépaq a fait face à une pénurie d'eau pour satisfaire les besoins en eau de sa clientèle fréquentant le gîte du Mont-Albert	De l'eau a dû être transportée par camion-citerne période et des tests supplémentaires de suivi de la qualité de l'eau ont dû être réalisés	Non documentée
2020	Piopolis, Ste-Cécile-de-Whitton et Val-Racine (MRC du Granit, Estrie) COBARIC	Lors de la rencontre avec la MRC du Granit en janvier 2021, la MRC a mentionné avoir eu beaucoup de demandes de forage de puits de surface et artésiens	Pour la municipalité de Piopolis, les citoyens avec un puits de surface ont manqué d'eau en 2021. Plusieurs citoyens ont dû fait creuser des puits artésiens Une situation similaire s'est produite du côté de la municipalité de Ste-Cécile-de-Whitton La municipalité de Val-Racine a, quant à elle, eu vent que les puits privés étaient bas, mais n'a pas vécu de manque d'eau	Non documentée
2021	Saint-Norbert (MRC d'Autray, Lanaudière) OBV Zone Bayonne	Plusieurs puits de surface complètement à sec à Saint-Norbert (en 2014 et 2021)	Plusieurs mois sans accès à l'eau potable Conversion de toilettes en toilettes à compost	Non documentée
2021-2022	Laurierville (MRC de l'Érable, Centre-du-Québec) GROBEC	La nappe phréatique a considérablement diminué durant les mois de septembre à novembre 2021 Diminution de la nappe phréatique en septembre 2022	Quelques citoyens non desservis par le réseau d'aqueduc municipal ont été dans l'obligation de creuser un nouveau puits car leur puits était à sec	Non documentée
Épisodes récurrents (particulière)	Eaux souterraines MRC Rouville, MRC Maskoutains, MRC	Étiage sévère de la rivière aux Brochets et faible niveau de la nappe phréatique pour	De nombreuses résidences manquent d'eau dans leur puits privé depuis 2019 (Bourcier, 2022a)	Conséquences pour certaines productions agricoles (voir Section 6.1.3.)

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur l'approvisionnement (quantité, qualité, restrictions d'usage et mesures d'adaptation, s'il y a lieu)	Autres conséquences
ment sévère en 2021)	Brome-Missisquoi, MRC Haute-Yamaska (Montérégie et Estrie) OBV Yamaska et OBV Brome-Missisquoi	l'approvisionnement en eau souterraine	Les puisatiers de la région sont débordés par les demandes de recrusage de puits privés. Ils creusent jusqu'à deux fois plus profondément qu'avant (Tanguay, 2022) Municipalités particulièrement touchées dans Brome-Missisquoi : Bedford, Bolton-Ouest, Dunham, East-Farnham, Lac-Brome, Notre-Dame-de-Standbridge, Standbridge-East, Standbridge-Station, Sainte-Sabine, Saint-Armand, Saint-Ignace-de-Stanbridge, Sutton Enjeu toujours en cours en 2022	Gel du développement résidentiel (Sutton)

Tableau D-7. Résumé des épisodes d'étiages sévères/sécheresse associés à des pertes de récoltes pour des producteurs agricoles

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur les productions agricoles
2017	Bas-Saint-Laurent	Période de sécheresse importante dans la région	Pertes financières importantes (mais non chiffrées) pour les producteurs agricoles (ex. fourrages et apiculture). (Fournier, 2017)
2018	MRC Rimouski-Neigette (Bas-Saint-Laurent) OBVNEBSL	Période de sécheresse dans la région	Perte de récolte pour le foin (une coupe sur les deux coupes annuelles) Certains agriculteurs commencent à réfléchir à irriguer les cultures fourragères
2020	MRC Vaudreuil-Soulanges (Montérégie) COBAVER-VS	La région a connu des conditions très chaudes et sèches en juin et juillet. La température moyenne a été de 29°C avec seulement 100 mm de pluie	Perte de 55 % dans les cultures de foin. Baisse dans le prix des bovins de bœuf de plus que 50 % (liquidation des troupeaux)
2020-2021	MRC des Chenaux (Montérégie) SAMBBA	Le manque de précipitations en 2020 observé sur la quasi-totalité du Québec a eu des impacts négatifs sur le rendement des cultures pour plusieurs agriculteurs sur le territoire Les agriculteurs manquaient d'eau pour l'irrigation de leurs terres, et ce, tant pour les producteurs de foin, de grains ou les maraîchers	Pertes de récoltes importantes sur le territoire (jugées très sévère, mais non chiffrées)

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur les productions agricoles
2021	MRC Vaudreuil- Soulanges (Montérégie) COVABER-VS	La région a connu un printemps chaud et sec (température moyenne de 27°C en juillet et en août et seulement 21 mm de pluie en août). Le niveau d'eau a été très bas dans la rivière Outaouais et le fleuve Saint-Laurent. Les impacts ont été observés principalement dans les domaines agricole et municipal	Irrigation supplémentaire pour les productions maraichères Perte des récoltes de foin

Tableau D-8. Résumé des épisodes d'étiages sévères/sécheresse associés à des enjeux d'approvisionnement en eau pour des producteurs agricoles

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur les productions agricoles	Mesures d'adaptation
2020	Eaux souterraines Saint-Ludger (MRC du Granit, Estrie) COBARIC	Difficulté d'approvisionnement en eau pour des fermes laitières en raison des bas niveaux d'eaux dans les puits	Aucun détail supplémentaire	
2021	Rivière aux Saumons, nappe phréatique pour l'approvisionnement en eaux souterraines Sainte-Edwidge-de-Clifton (MRC de Coaticook), Magog (MRC de Memphrémagog) Estrie COGESAF	De nombreux puits qu'utilisent des agriculteurs dans la région se sont retrouvés à sec à l'été 2021 (Pion, 2021)	Enjeux pour des maraîchers, vergers, pomiculteurs, producteurs laitiers et producteurs de cultures fourragères Des producteurs ont dû acheter de l'eau par camions-citernes Enjeux importants pour la production laitière, les vaches ayant besoin de s'abreuver d'importante quantité d'eau quotidiennement Même en creusant des puisatiers plus profonds, les enjeux demeurent (Pion, 2021)	Achat d'eau par camions-citernes Besoin de recourir à l'irrigation, d'investir dans des réserves d'eau
2021	Estrie, Centre-du-Québec	L'étiage sévère et la sécheresse de 2021 ont affecté la qualité de l'eau provenant des sources d'approvisionnement en eau de surface et en eaux souterraines d'une dizaine d'entreprises piscicoles (La quantité et la qualité de l'approvisionnement en eau sont essentiels au succès d'une pisciculture) (Entretien avec G. Castro, technicien aquacole au MAPAQ, 31 mars 2023)	Lorsque l'apport d'eau (souterraine ou de surface) dans les piscicultures n'est pas suffisant (exemple en période d'étiage/sécheresse), on constate une augmentation de la température de l'étang de production Quand l'eau devient trop chaude dans les piscicultures, le poisson a moins d'appétit et devient plus vulnérable aux maladies, dont la furunculose. Les entreprises piscicoles étant rémunérées au poids, ces épisodes affectent les revenus générés La baisse de la production piscicole peut ensuite entraîner des répercussions sur l'approvisionnement en poissons des	Choix des espèces produites en piscicultures : opter pour la truite arc-en-ciel (espèce exotique plus résistante à la furunculose, mais ayant une plus faible valeur marchande) plutôt que la truite mouchetée (omble chevalier, espèce autochtone plus vulnérable aux changements de température et à la furunculose) Réduire la quantité de poissons dans les étangs pour diminuer le stress

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences sur les productions agricoles	Mesures d'adaptation
			<p>pourvoies et l'activité économique qui s'y rattache</p> <p>Aucune estimation des pertes monétaires engendrées pour les piscicultures lors de cet épisode n'était disponible</p> <p>(Entretien avec G. Castro, technicien aquacole au MAPAQ, 31 mars 2023)</p>	<p>vécus lors des épisodes d'étiage/sécheresse</p> <p>(Entretien avec G. Castro, technicien aquacole au MAPAQ, 31 mars 2023)</p>
Épisodes récurrents (mais particulièrement sévères en 2021)	<p>Ruisseau Rousse, MRC de Deux-Montagnes, Laurentides</p> <p>COBAMIL</p>	<p>Depuis quelques années, on observe presque chaque été un étiage important dans le bassin versant du ruisseau Rousse. On constate un manque d'eau dans le ruisseau posant divers problèmes d'approvisionnement en eaux d'irrigation pour les cultures maraîchères</p>	<p>Manque d'eau pour tous les producteurs agricoles en ayant besoin</p> <p>Difficulté à irriguer toutes les cultures</p> <p>L'augmentation des contaminants dans l'eau peut affecter les produits agricoles</p>	<p>Divers projets de concertation ont été mis sur pied par le COBAMIL</p>
	<p>Rivière l'Acadie (tributaire de la rivière Richelieu)</p> <p>MRC des Jardins-de-Napierville (Montérégie)</p> <p>COVABAR</p>	<p>La rivière l'Acadie atteint de plus en plus souvent de bas niveaux</p> <p>Plusieurs producteurs-maraîchers ont dû "importer" de l'eau via des camions-citernes au cours des dernières années pour remplir leurs bassins de rétention et pour irriguer leurs terres</p>	<p>Coûts engendrés par l'importation d'eau via des camions-citernes pour alimenter les bassins</p>	<p>Importation d'eau via des camions-citernes pour remplir des bassins</p>
	<p>MRC Rouville, MRC Maskoutains, MRC Brome-Missisquoi, MRC Haute-Yamaska</p> <p>(Montérégie et Estrie)</p> <p>OBV Yamaska et OBV Brome-Missisquoi</p>	<p>Manque d'eaux souterraines en raison du bas niveau de la nappe phréatique</p>	<p>Manques d'eau pour plusieurs fermes agricoles sur le territoire</p> <p>Conflits d'usage entre les prélèvements agricoles (ex : porcherie) et les puits privés</p>	

Tableau D-9. Résumé des épisodes de manque d'eau sévères associés à des conflits d'usage importants impliquant des producteurs agricoles

Année	OBV / Régions touchées	Description du conflit	Conséquences
Épisodes récurrents	Rivière de la Petite-Rouge, Notre-Dame-de-la-Paix (MRC de Papineau, Outaouais) RPNS	En 2020-2021, des producteurs agricoles installés près de la rivière Petite Rouge ont rapporté avoir manqué d'eau pour irriguer leurs terres et abreuver le bétail	Altération de la qualité de l'eau : les producteurs biologiques ne peuvent plus utiliser l'eau de la rivière vu sa qualité visuelle médiocre. Les producteurs biologiques ne pourraient pas être certifiés s'ils utilisent cette eau. Ils doivent trouver des alternatives et traiter l'eau Les petits producteurs blâment les grands producteurs de pommes de terre qui eux aussi font face à des défis d'approvisionnement en période très sèche. Toutefois, ils ont accès à plus de ressources pour financer des alternatives pour s'approvisionner autrement (construction de bassins d'irrigation, puits, capter l'eau dans d'autres cours d'eau) Les producteurs se voient dans l'obligation de creuser des étangs d'irrigation, ce qui engendre des frais importants
	Rivière la Chaloupe, Saint-Thomas (MRC de Joliette, Lanaudière) OBV Zone Bayonne	Assèchement de milieux humides en raison du détournement d'un ruisseau et du pompage agricole dans la rivière la Chaloupe par des producteurs agricoles pour créer un bassin de rétention Eau visqueuse en aval du barrage, odeur de choux L'été 2021 fut l'épisode le plus sévère de manque d'eau en lien avec cette problématique	L'assèchement des milieux humides n'a pas d'incidence sur la quantité d'eau mais affecte la qualité de l'eau des puits de surface privés des résidents avoisinants Achat d'eau potable à l'extérieur par les résidents Conflits d'usage entre les résidents détenant un puits de surface privé et les producteurs agricoles responsables du détournement du ruisseau et du pompage dans la rivière Conséquences sur les écosystèmes (disparition de l'écrevisse, grenouille, frayère de meunier noir)

Tableau D-10. Résumé des épisodes de manque d'eau sévères associés au secteur récréotouristique

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences
Récurrents	Rivière de la Petite Nation MRC de Papineau, Municipalités de Chénéville, Ripon, Saint-André-Avellin, Papineauville, Plaisance OBV RPNS	Étiage sévère notamment causé par le barrage du lac Barrière. Selon les riverains de la rivière de la Petite Nation en Outaouais, les étiages sont de plus en plus sévères ces dernières années. Ils l'ont été particulièrement en 2016, 2019, 2020 et 2021, occasionnant de nombreuses conséquences pour la population et les écosystèmes. Le regroupement citoyen accuse les gestionnaires du barrage en amont de ne pas gérer équitablement la ressource	La pratique d'activité nautique est compromise. Les plaisanciers qui pratiquent des activités récréotouristiques sont aussi affectés. La rivière est un cours d'eau grandement utilisée par les canoteurs (Canot Kayak Québec aimerait en faire une route bleue et le Club de canot Pierre-Radisson souhaiterait permettre à la rivière de retrouver son débit "normal")
2021	Lac des Deux-Montagnes Municipalité de Saint-André-d'Argenteuil (MRC Argenteuil). Possiblement plusieurs autres municipalités en aval COBAMIL	Durant l'été 2021, des niveaux d'eau extrêmement bas ont été observés sur le lac des Deux-Montagnes, notamment dans la baie de Carillon. En raison de la faible profondeur de la baie et de la faible pente du littoral, la baisse du niveau de l'eau a entraîné le recul de la ligne d'eau sur plus d'une vingtaine de mètres par endroit	Centre de pêche inaccessible et activités de plaisance fortement restreintes dans la baie en raison du faible niveau de l'eau
2021	Saint-Michel-des-Saints CARA	Baisse du niveau du lac lors de l'été 2021	Au lac Taureau, dans Lanaudière, la municipalité de Saint-Michel-des-Saints a été contrainte de fermer jusqu'à nouvel ordre ses quatre rampes de mise à l'eau, faute d'un niveau d'eau suffisant
2020-2021	Rivière de la Petite Rouge Notre-Dame-de-la-Paix (MRC de Papineau) OBV RPNS	Étiage sévère de la rivière Petite Rouge (problèmes d'approvisionnement pour l'irrigation des producteurs agricoles également)	Un témoignage confirme qu'il n'est plus possible de profiter de la rivière pour la baignade ou le canotage, contrairement à il y a quelques années. Selon les citoyens questionnés, la pêche n'est plus possible (en raison de la baisse de population des poissons d'eau douce)

Année	OBV / Régions touchées	Description	Conséquences
2018	MRC Rimouski- Neigette OBVNEBSL	Étiage sévère, période prolongée de sécheresse	Étiage donnant lieu à une augmentation de la température de l'eau et une interdiction de la pêche dans les lacs de certains secteurs

Tableau D 11. Synthèse des conséquences écosystémiques relevées par différents organismes de bassins versants

Organisme de bassin versant	Cours d'eau, lieu et année de l'événement d'étiage	Propagation d'espèces exotiques floristiques envahissantes (EEFE)	Baisse de diversité des végétaux indigènes	Dégradation des milieux humides	Poissons d'eau douce (mortalité ou baisse des populations)	Circulation limitée des espèces aquatiques	Altération de la qualité de l'eau
COBAMIL	Lac des Deux-Montagnes, 2021	Colonisation d'EEFE causée par baisse niveau d'eau	Mortalité des plantes aquatiques causée par exondation	Exondation des milieux humides riverains	-	Augmentation densité de macrophytes aquatiques causée par colonne d'eau moins grande	-
	Ruisseau Rousse, MRC de Deux-Montagnes, Laurentides 2017	-	-	-	-	Étiage jusqu'à un niveau d'eau presque nul	Diminution de la capacité de dilution causant une hausse des concentrations en contaminants
	Rivière des Mille-Îles, 2010	-	-	-	-	-	Oui ¹
COVABAR	Rivière l'Acadie (tributaire de la rivière Richelieu) MRC Jardins de Napierville, 2022	Oui	-	Oui	-	Oui	-
	Rivière Richelieu, Chambly, Richelieu et Marieville, 2015	-	-	-	Mortalité épisodique de certaines espèces de fonds due au manque d'oxygène	Oui	Diminution de la capacité de dilution causant une hausse des concentrations en contaminants

Organisme de bassin versant	Cours d'eau, lieu et année de l'événement d'étiage	Propagation d'espèces exotiques floristiques envahissantes (EEFE)	Baisse de diversité des végétaux indigènes	Dégradation des milieux humides	Poissons d'eau douce (mortalité ou baisse des populations)	Circulation limitée des espèces aquatiques	Altération de la qualité de l'eau
OBV Yamaska	Rivière Yamaska, Montérégie, 2016	-	-	-	Mortalité et anomalies causées par manque d'oxygène et contamination par des microorganismes	-	Déversement d'eaux usées dû à travaux à station d'épuration
OBV de la Zone Bayonne	Rivière Chaloupe, Saint-Thomas (MRC de Joliette, Lanaudière), épisode récurrent	-	Oui	-	Oui	-	-
	Milieu humide, Saint-Thomas (MRC de Joliette, Lanaudière), épisode récurrent	Disparition d'espèces indigènes et apparition d'EEFE	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
RPNS	Rivière de la Petite Nation, 2020	-	-	-	-	-	Oui
	Rivière de la Petite Rouge, 2020	-	-	-	Baisse de population importante	Note 1	Contamination microbiologique et dégradation visuelle de la qualité l'eau
COBAVER-VS	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Outaouais, nappe souterraine de la MRC de Vaudreuil-Soulanges, 2021	-	-	Baisse record du niveau de l'eau	Mortalité importante	-	Eutrophisation sévère et présence de cyanobactéries

Organisme de bassin versant	Cours d'eau, lieu et année de l'événement d'étiage	Propagation d'espèces exotiques floristiques envahissantes (EEFE)	Baisse de diversité des végétaux indigènes	Dégradation des milieux humides	Poissons d'eau douce (mortalité ou baisse des populations)	Circulation limitée des espèces aquatiques	Altération de la qualité de l'eau
	Fleuve Saint-Laurent, rivière des Outaouais et nappe souterraine de la MRC de Vaudreuil-Soulanges, 2010	-	-	Oui	-	-	Eutrophisation sévère et présence de cyanobactéries
OBVNEBSL	Nord-Est du Bas-Saint-Laurent, 2018	-	-	-	-	-	Eutrophisation sévère et présence de cyanobactéries
	Nord-Est du Bas-Saint-Laurent, 2020	-	-	-	Mortalité importante	-	Eutrophisation sévère et présence de cyanobactéries

¹Conséquence non décrite

Note 1: Selon les citoyens questionnés, des espèces comme la loutre de rivière et le castor ont disparu.

ANNEXE E – CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE PROJECTION ET DE CATÉGORISATION DES CONSÉQUENCES SELON LEUR GRAVITÉ

Cette annexe a pour but de présenter en détail les éléments méthodologiques ayant permis de projeter et de caractériser les conséquences sur les usages anthropiques. La présente annexe est construite autour de quatre principales activités. La première section concerne la projection des besoins en eau et décrit la construction d'une « demande en eau » théorique qui s'appuie sur une extrapolation des besoins actuels ajustés pour 1) l'évolution attendue dans le contexte socioéconomique et 2) le contexte hydroclimatique dans lequel les trames narratives s'inscrivent. La seconde décrit le calcul de l'indice de pression sur la ressource eau. La troisième décrit la construction de l'approche d'extrapolation des conséquences et la quatrième concerne la grille de caractérisation des conséquences permettant d'identifier les conséquences les plus importantes pour le Québec.

E1. Évolution attendue des besoins en eau par usage

Une des étapes préalables à la projection des conséquences est de comprendre l'évolution des besoins en eau sur le territoire d'étude. Les informations les plus pertinentes à cet effet sont les résultats produits dans le cadre du projet RADEAU, dans lequel un exercice de scénarisation des besoins en eau pour les usages résidentiels, agricole, commercial, institutionnel, industriel ainsi que pour les activités récréotouristiques a été réalisé. Cela inclut donc les prélèvements par exemple pour les stations de ski ainsi que les golfs. Nous récupérons ces projections afin d'alimenter nos évaluations des besoins en eau en procédant à deux ajustements principaux.

Tableau E-1. Évolution des consommations d'eau par usage par rapport à 2018 en fonction des deux scénarios

	Scénario +2 (2045)	Scénario +3 (2065)	Correspondance RADEAU
Consommation résidentielle	+18 %	+21 %	Statu Quo
Consommation agricole	+26 %	+26 %	Tempéré et dense
Consommation ICI (réseau)	+17 %	+11%	Statu quo
Consommation industrielle (hors réseau)	+7 %	+ 7%	Statu quo

D'abord, nous validons que les hypothèses utilisées dans RADEAU pour extrapoler les besoins en eau demeurent valident en fonction de l'avancée des connaissances et de la disponibilité des données depuis la publication de RADEAU. Ensuite, nous ajustons les projections des besoins en eau d'un contexte climatique « moyen » au contexte hydroclimatique spécifique aux

événements étudiés lorsque cela est possible. Les projections de prélèvements ont également été ajustées afin de refléter l'horizon temporel associé l'évènement étudié, soit 2045 pour le scénario +2°C et 2065 pour le scénario +3°C. Le tableau suivant résume l'évolution des besoins en eau pour les deux scénarios projetés par rapport à l'historique.

Les prochains paragraphes détaillent l'approche retenue pour réaliser un tel exercice.

E1.1 CONSOMMATION RÉSIDENIELLE

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION MOYENNE

L'évolution de la consommation résidentielle est influencée par trois facteurs : la consommation résidentielle, la croissance démographique ainsi que les comportements de consommation. Premièrement, la consommation résidentielle est estimée en 2019 au Québec à 276 litres par personne par jour selon le rapport annuel de Stratégie d'économie d'eau potable au Québec (Gouvernement du Québec, 2023b). Ce niveau de consommation est assez différent de celui utilisé dans RADEAU (216 l/p/j). Il faut savoir qu'au moment de la publication de RADEAU, le MAMH ne publiait pas de données sur la consommation résidentielle uniquement. Le projet RADEAU avait donc dû extrapoler les consommations moyennes issues des municipalités avec des compteurs d'eau qui représente environ 2% de la population du Québec. Nous modifions donc le point de départ de la consommation résidentielle.

Deuxièmement, le principal élément 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. Dans le cadre du projet RADEAU, les projections démographiques de l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) ont été utilisées à cette fin. Les dernières projections de l'ISQ disponibles lorsque le projet RADEAU a été réalisé sont celles publiées en 2014. Or, en 2022, l'ISQ a publié les perspectives démographiques couvrant la période 2016-2066. A priori, les perspectives démographiques plus récentes suggèrent une légère diminution de la croissance de la population par rapport aux données utilisées dans RADEAU, soit d'environ 1,14 % à l'horizon 2051 (voir Figure E.1.). Nous ajustons donc les projections de consommation résidentielle régionalisée à partir des nouvelles perspectives démographiques disponibles. Pour l'horizon 2065, nous retenons les projections de RADEAU à l'horizon 2050. Cette décision s'appuie sur le fait que l'ISQ suggère une croissance relativement modeste de la population à cet horizon (environ 3%) entre 2050 et 2065, qu'il y a énormément d'incertitude à un horizon temporel aussi lointain et que nous n'avons pas accès à des projections régionalisées à cet horizon. Il faut ainsi interpréter la pression sur la ressource à cet horizon comme légèrement sous-estimé en lien avec l'augmentation des besoins qui sera légèrement sous-estimé sous l'hypothèse de stabilité de la population entre 2050 et 2065.

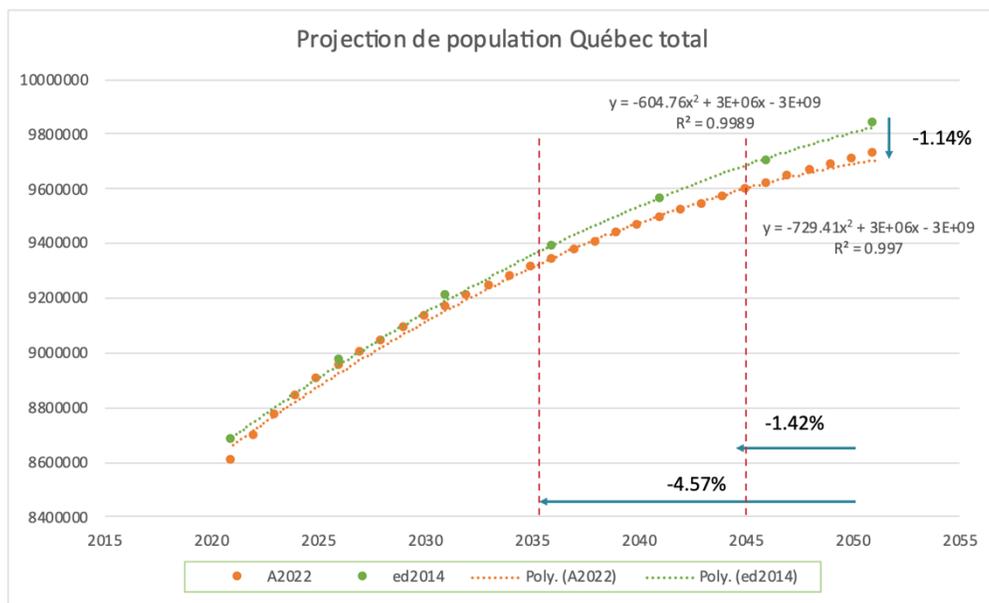


Figure E-1. Ajustement aux projections 2022 de l'ISQ
Sources : ISQ, 2022 et calculs Nada Conseils.

Troisièmement, les comportements de consommation jouent un rôle primordial dans l'utilisation de la ressource en eau. Au sein des cinq scénarios développés par RADEAU, les comportements de consommation réduisent la consommation résidentielle moyenne de 0 à 32 % selon le scénario retenu. Nous considérons que ces hypothèses demeurent pertinentes en fonction de la littérature consultée.

IMPACT DU CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE SPÉCIFIQUE À L'ÉVÈNEMENT D'ÉTIAGE

Afin de passer d'une consommation moyenne journalière comme c'est le cas dans RADEAU à une consommation « événementielle » reflétant l'influence des températures chaudes et des déficits en précipitations sur les comportements de consommation, les étapes suivantes ont été réalisées.

- 1) Définir une consommation moyenne par habitant (voir paragraphes précédents).
- 2) Établir la relation entre consommation résidentielle journalière et les conditions météo à partir de la littérature (voir étude sur le territoire de la CMQ par Da Silva et al., 2020) et appliquer à l'échelle des ZGIEBV en fonction des températures journalières maximales de l'épisode étudié.

L'étude sur la vulnérabilité des prises d'eau potable sur le territoire de la CMQ démontre qu'il existe une augmentation significative de la consommation sur les réseaux d'aqueduc lorsque la température maximale journalière dépasse les 20°C. Elle est l'unique travail en son genre sur le territoire québécois. Les données ci-dessous sont une moyenne des analyses sur les municipalités de Boischatel, Château-Richer, Lévis ainsi que l'agglomération de Québec.

Tableau E-1. Variation statistique de la consommation en réseau en fonction de la température maximale journalière

<i>Température maximale journalière</i>	<i>Écart relatif à la consommation moyenne</i>
20	5%
21	6%
22	6%
23	9%
24	9%
25	9%
26	12%
27	14%
28	17%
29	24%
30	26%
31	31%
32	29%
33	43%
34	31%

Sources : Da Silva et al., 2020 et calculs de Nada Conseils.

Dans le cadre du projet CASCADES, il est nécessaire d'ajuster les consommations moyennes quotidiennes afin qu'elle reflète la demande en eau résidentielle lors des épisodes de déficit en eau qui sont caractérisés par des températures chaudes et peu de précipitations. Pour ce faire, les moyennes estivales (juin, juillet, août) des températures maximales journalières sont moyennées par ZGIEBV pour les deux scénarios étudiés. Puisque la scénarisation est bâtie de manière événementielle, nous considérons donc les températures spécifiques à l'évènement vécu sur le territoire pour faire ces ajustements. L'incrément de consommation associé est ensuite ajouté aux données de consommation résidentielles au sein des bassins versants correspondants. Les ajustements calculés sont donnés ci-dessous :

Tableau E-2. Calcul des ajustements de consommation résidentielle

SIGLE	T° Scénario +2°C	T° Scénario +3°C	Ajustement Scénario +2°C	Ajustement Scénario +3°C
OBVM	20.66	23.55	6%	9%
OBVD	20.36	23.23	6%	9%
OBVAJ	23.07	24.57	9%	9%
OBVHCN	20.11	21.62	6%	6%
COBALI	23.52	25.12	9%	12%
ABRINORD	24.37	25.98	9%	12%
ABV des 7	23.75	25.37	9%	12%
OBVLSJ	20.51	21.99	6%	6%

OBV-CM	21.22	22.87	6%	9%
OBVRPNS	23.66	25.28	9%	12%
OBVS	21.49	23.07	6%	9%
BVSM	22.47	24.06	9%	9%
OBVT	23.63	25.23	9%	12%
CENG	23.10	25.45	9%	12%
CEGS	24.21	26.50	9%	14%
OBAKIR	25.35	27.76	12%	17%
OBVMR	25.29	27.56	12%	17%
OBVNEBSL	24.40	26.76	9%	14%
OBVFSJ	25.64	27.97	12%	17%
OBVBM	27.48	28.96	17%	24%
OBVZB	28.20	29.77	24%	26%
GROBEC	26.98	28.39	14%	24%
SCABRIC	28.94	30.71	24%	31%
COBARIC	25.74	27.05	12%	17%
OBVRLY	26.90	28.51	14%	24%
CBE	25.90	27.23	12%	17%
CBJC	24.01	25.41	9%	12%
CARA	26.90	28.56	14%	24%
COBAMIL	28.60	30.24	24%	31%
COPERNIC	27.03	28.47	17%	24%
COVABAR	28.89	30.59	24%	31%
OBV- Capitale	26.34	27.73	14%	17%
COGESAF	26.19	27.54	14%	17%
OBV CAPSA	25.55	26.99	12%	14%
COBAVER- VS	28.86	30.51	24%	31%
OBV Yamaska	27.98	29.52	17%	26%
SAMBBA	25.51	27.01	12%	17%

(Note : Les trois premières colonnes représentent la moyenne estivale (juin, juillet, août) des températures maximales journalières pour les trois horizons climatiques étudiés. L'ajustement de consommation associé est défini à partir du tableau E-1.)

E1.2 CONSOMMATION AGRICOLE

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION MOYENNE

Les scénarios utilisés dans RADEAU proposent d'évaluer l'augmentation de la consommation agricole selon trois variables : l'augmentation des superficies cultivées, l'augmentation des superficies irriguées et les nouveaux besoins en eau des cultures. Toutes ces projections sont effectuées dans le contexte spécifique des résultats des 5 modélisations, et ce, à horizon 2050.

Puisque notre approche considère d'autres modélisations et d'autres horizons temporels, les consommations ont dû être adaptées. Néanmoins, dans le projet RADEAU, les hypothèses retenues pour ces trois variables ont été validées suite à différentes consultations avec experts et parties prenantes du secteur. Nous ne disposons pas de moyens dans le projet CASCADES pour valider d'autres hypothèses de projection. Par ailleurs, les nouveaux besoins en eau pour les cultures ont été définis grâce à des modélisations agronomiques techniques, basées sur le déficit hydrique (précipitations – évapotranspiration). Il nous était également impossible de reproduire ces modélisations pour correspondre à nos nouvelles valeurs.

Il a ainsi été décidé de sélectionner un des scénarios de projection des consommations agricoles de RADEAU plutôt que d'en construire un nouveau, soit le scénario *Tempéré et dense* qui prévoit une augmentation importante des surfaces irriguées et une augmentation des besoins en eau des cultures. Ce choix a été fait afin de tenir en compte des besoins accrus en contexte d'évènements de sécheresse sévère comme ceux projetés dans nos trames narratives.

IMPACT DU CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE SPÉCIFIQUE À L'ÉVÈNEMENT D'ÉTIAGE

Encore une fois, la littérature agronomique et climatique proposée dans RADEAU donne de nombreuses informations quant aux relations entre consommations agricoles et températures. Pour les consommations animales, les étables utiliseront plus d'eau pour refroidir les bêtes et on observera pour elles-mêmes un incrément de consommation de +1.2L/°C en moyenne.

Néanmoins, les bases de données du projet ne permettent pas d'identifier, pour un bassin versant donné, la répartition des animaux d'élevage. Il a ainsi été choisi de ne pas ajuster la consommation au contexte spécifique de nos évènements d'étiages.

E1.3 CONSOMMATION COMMERCIALE, INSTITUTIONNELLE ET PETITS INDUSTRIELS (RÉSEAU)

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION MOYENNE

Les projections de consommation pour le secteur ICI s'alimentant sur le réseau ont été utilisées directement des modélisations de RADEAU et ont été ajustées à l'horizon de projection afin de ramener la projection de 2050 à 2045 selon le taux de croissance attendu entre 2018 et 2050 dans RADEAU. Pour l'horizon 2065, nous considérons les niveaux de consommation de 2050. Dans le cadre du projet RADEAU, cinq scénarios de consommation ont été projetés. Nous retenons pour les usages ICI le scénario de *statu quo*, c'est-à-dire celui qui n'implique pas de changement majeur au niveau des consommations et une croissance modérée, mais variable, des différents secteurs économiques sur le territoire.

IMPACT DU CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE SPÉCIFIQUE À L'ÉVÈNEMENT D'ÉTIAGE

Aucun ajustement n'est fait pour tenir compte de l'effet des conditions météorologiques sur la consommation des ICI s'alimentant sur le réseau. Selon l'information disponible, la consommation ICI est moins sensible que la consommation résidentielle aux variations de températures.

Tableau E-3. Évolution des besoins en eau projetées par ZGIEBV

	RÉSIDENTIEL		AGRICOLE		ICI - RÉSEAU		ICI HORS RÉSEAU	
	SCÉNARIO +2	SCÉNARIO +3	SCÉNARIO +2	SCÉNARIO +3	SCÉNARIO +2	SCÉNARIO +3	SCÉNARIO +2	SCÉNARIO +3
OBVBM	14%	17%	47%	47%	14%	10%	-2%	-2%
SAMBBA	0%	3%	14%	14%	0%	-4%	-12%	-12%
OBVZB	22%	26%	23%	23%	22%	17%	0%	0%
GROBEC	5%	8%	4%	4%	6%	1%	32%	32%
OBV-CAPITALE	11%	14%	20%	20%	11%	6%	-10%	-10%
OBV-CM	10%	13%	21%	21%	11%	5%	-11%	-11%
SCABRIC	20%	24%	48%	48%	19%	16%	-17%	-17%
COBARIC	3%	5%	17%	17%	5%	-3%	-12%	-12%
OBV DU CHÊNE	3%	6%	27%	27%	4%	-3%	-37%	-37%
OBV CÔTE-DU-SUD	1%	4%	10%	10%	1%	-2%	-35%	-35%
CBE	3%	6%	15%	15%	2%	-1%	-37%	-37%
CENG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CEGS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
CBJC	11%	13%	28%	28%	11%	6%	-19%	-19%
OBAKIR	-9%	-6%	16%	16%	-9%	-12%	-8%	-8%
OBVLSJ	0%	2%	0%	0%	-2%	-3%	0%	0%
CARA	28%	31%	23%	23%	27%	20%	-12%	-12%
COBALI	19%	22%	4%	4%	17%	14%	-10%	-10%
OBVRLY	1%	4%	9%	9%	2%	-3%	-19%	-19%
AGIR MASKINONGÉ	0%	0%	26%	26%	0%	0%	0%	0%
OBVMR	0%	0%	16%	16%	0%	0%	0%	0%
COBAMIL	32%	35%	38%	38%	32%	26%	-19%	-19%
COPERNIC	8%	10%	-4%	-4%	7%	4%	8%	8%
ABRINORD	30%	34%	39%	39%	31%	25%	-17%	-17%
OBVNEBSL	-10%	-8%	17%	17%	-10%	-13%	-7%	-7%
COVABAR	15%	18%	44%	44%	14%	10%	-15%	-15%
OBVRPNS	18%	21%	14%	14%	16%	14%	-19%	-19%
OBVS	0%	2%	0%	0%	-2%	-3%	0%	0%
OBV CAPSA	8%	11%	44%	44%	8%	3%	14%	14%
COGESAF	9%	12%	5%	5%	9%	5%	27%	27%
OBVFSJ	-10%	-8%	1%	1%	-9%	-15%	-8%	-8%
BVSM	1%	4%	11%	11%	0%	-3%	-15%	-15%
ABV DES 7	22%	26%	21%	21%	25%	14%	-13%	-13%
OBVT	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
COBAVER-VS	0%	0%	33%	33%	0%	0%	-16%	-16%
OBV YAMASKA	14%	17%	34%	34%	13%	10%	-18%	-18%

E1.4 CONSOMMATION INDUSTRIELLE (HORS RÉSEAU)

ÉVOLUTION DE LA CONSOMMATION MOYENNE

Au même titre que pour les prélèvements ICI réseau, nous retenons le scénario de *statu quo* pour les consommations industrielles hors réseau.

IMPACT DU CONTEXTE HYDROCLIMATIQUE SPÉCIFIQUE À L'ÉVÈNEMENT D'ÉTIAGE

Il semble cohérent d'émettre une hypothèse de stabilité de la consommation industrielle, quel que soit le climat. Il suffirait donc d'utiliser directement les données de RADEAU ajustées à l'horizon temporel de projection. Le cadre conceptuel de RADEAU étant soumis à des calculs aux données sensibles, la démarche n'est pas répliquable; nous jugeons que nous sommes « prisonnier » de l'horizon 2050 utilisé. Étant donné la part faible que représente la consommation industrielle hors réseau dans les régions (maximum 16% et 15% pour Estrie et Montérégie), il est suggéré de ne pas approfondir l'analyse.

E2. Calcul des indices de pression

E2.1 INDICE DE PRESSION POUR LES EAUX DE SURFACE

En combinant les débits d'étiages issus des travaux de scénarisation et les prélèvements calculés pour chacun des usages, une analyse de l'intensité de la pression sur la ressource est réalisée par tronçon de rivière.

Cette analyse permet de mettre à jour les résultats issus des travaux de RADEAU dans un exercice de scénarisation événementiel et avec des prélèvements projetés qui reflètent l'évolution des connaissances depuis les travaux de RADEAU.

Le calcul de l'indice de pression par tronçon de rivière est réalisé en fonction du calcul suivant :

$$\frac{\text{Somme des prélèvements d'eau de surface du tronçon (résidentiel, agricole et ICI)}}{Q_{7\min} + \text{Somme des prélèvements d'eau de surface du tronçon (résidentiel, agricole et ICI)}}$$

Afin de compléter cette analyse, la comparaison des prélèvements avec des seuils de prélèvement clé est également réalisée. Par exemple, la somme des prélèvements est comparée à 15 % du $Q_{2,7}$ afin d'identifier les tronçons où le prélèvement pourrait affecter les écosystèmes en ne respectant pas le débit écologique.

Le simple ratio entre la somme des prélèvements et le débit minimum sur 7 jours ($Q_{7\min}$) est évalué afin de tenir compte du fait que ce n'est pas l'entièreté des prélèvements qui retournent dans la rivière et qu'il est possible dans certains cas que le débit prélevé soit supérieur au débit en rivière, élément qui ne peut se produire avec la première formule.

E2.2. INDICE DE PRESSION POUR LES EAUX DE SOUTERRAINE

Un exercice similaire est fait pour les eaux souterraines. Cette fois-ci, la recharge provient des travaux de RADEAU et est considérée comme constante entre le climat historique et le climat

futur. Seuls les prélèvements sont augmentés en fonction de la projection des besoins en eau décrite précédemment. Le calcul est fait à l'échelle des municipalités. Les prélèvements projetés en souterrain sont comparés au niveau de recharge afin d'évaluer le % de la recharge qui est prélevé et évaluer le niveau de pression sur la ressource souterraine.

E3. PROJECTION DES CONSÉQUENCES PAR SCÉNARIO

La troisième activité vise à projeter les conséquences selon les scénarios hydroclimatiques et socioéconomiques retenus. Cette activité constitue le cœur de la présente analyse et s'appuie sur une mise en valeur des données historiques et des relations identifiables entre des conditions hydroclimatiques, le contexte socioéconomique et des conséquences documentées ou anticipées sur le territoire. La projection a été réalisée avec une approche usage par usage en trois étapes principales. **Il est important de noter que ces projections doivent être considérées comme une extrapolation de la possibilité qu'une conséquence se matérialise dans une région donnée. Autrement dit, si les conditions sont réunies, il est probable que la conséquence se matérialise dans l'un ou l'autre des secteurs au sein de la région durant l'évènement, mais il n'est pas certain que celle-ci se matérialise.**

E3.1. IDENTIFICATION DES CONSÉQUENCES

Pour chacun des 47 épisodes de déficit en eau documentés dans le questionnaire ou dans le reste de la documentation consultée, les conséquences ont été listées par secteur, ce qui a permis d'identifier 29 conséquences ayant été répertoriées au Québec dans les dernières années. Ces 29 conséquences sont présentées au tableau E-5.

Nous avons également ajouté certaines conséquences non recensées sur des usages sur la base de la littérature et des compréhensions sommaires des liens entre déficits en eau et conséquences. C'est le cas notamment pour le secteur industriel. Alors que nous n'avons pas enregistré de conséquences lors des évènements passés, nous anticipons que pour les régions abritant de grands consommateurs industriels dans des zones à risque, il serait possible de subir des conséquences de différents niveaux de gravité. Le tableau E-3 présente le nombre de conséquences par usage. Des conflits d'usage de différente nature ont également été ajoutés aux conséquences projetées.

Tableau E-4. Nombre de conséquences par usage

Usages	# de conséquences
Municipal	8
Résidentiel	4
Agricole	6
Industriel	4
Récréatif	1
Conflits d'usage	5
Production hydroélectrique	1

E3.2. ÉTABLISSEMENT DES PARAMÈTRES DE DÉCLENCHEMENT DES CONSÉQUENCES

Pour ces 29 conséquences, une analyse sommaire du contexte hydroclimatique et socioéconomique a été réalisée afin d'identifier les paramètres déclenchant des conséquences sur le territoire québécois sur la base des données historiques. Cette analyse a permis de revisiter les événements passés et de déterminer les conditions hydroclimatiques qui ont mené à l'une ou l'autre de ces 29 conséquences. Pour les conséquences d'ayant pas été recensées dans les questionnaires, mais plutôt issues de la revue de la littérature (par exemple les conséquences sur les usages ICI), nous avons posé des hypothèses sur les paramètres de déclenchement des conséquences selon notre meilleure compréhension des phénomènes. Nous avons ajusté le niveau de confiance dans la projection en conséquence. Pour le contexte hydroclimatique, celui-ci a été défini en fonction de 4 grands niveaux d'alerte (voir tableau E-4). Les deux critères (précipitations et débits) doivent être atteints afin de déclencher un niveau d'alerte.

Tableau E-5. Niveau d'alerte par condition hydroclimatique de précipitations et débits

Niveau d'alerte	Contexte hydroclimatique	
	Précipitations	Débits
Niveau 0	Au-delà de 80 % de la moyenne historique en été	Débit mensuel supérieur à 70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 1	Moyenne des 3 derniers mois < 80 % moyenne historique en été	Débit mensuel <70 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 2	Moyenne des 3 derniers mois < 60 % moyenne historique en été	Débit mensuel <40 % du plus faible débit mensuel en été
Niveau 3	Moyenne des 3 derniers mois < 40 % moyenne historique en été	Débit mensuel <30 % du plus faible débit mensuel en été

Ces niveaux d'alerte sont le premier élément déclencheur des conséquences sur le territoire et sont appliqués par ZGIEBV. Pour un scénario donné, le niveau d'alerte est ainsi calculé pour chacun des 40 ZGIEBV, ce qui permet de décrire sommairement les conditions hydroclimatiques de la région. À ces conditions hydroclimatiques, d'autres conditions spécifiques au territoire permettent de déclencher la conséquence. Par exemple, si une région fait face à un niveau d'alerte 2 associé à certaines conséquences sur le secteur agricole, il est évident qu'il est nécessaire que la région abrite une activité agricole pour que la conséquence se matérialise. Ces conditions concernant les éléments suivants :

- Présence ou non de l'usage sur le territoire;
- Pression sur la ressource;
- Perspective démographique qui pourrait influencer sur la pression sur la ressource à plus long terme;
- Type d'approvisionnement majoritaire (surface versus sous-terrain, réseau versus individuel).

Le tableau E-5 résume les 29 conséquences retenues pour la projection, les déclencheurs retenus ainsi que les paramètres sous-jacents menant à la conséquence que nous avons pu documentées dans les événements passés ou dans la littérature. Il liste les conséquences projetées étudiées, soient les usages par prélèvement et les usages de l'eau prélevée sur place, de même que les considérations sommaires en matière de relation entre les manques d'eau et les conséquences attendues pour un usage donné.

Tableau E-6. Conséquences projetées, paramètres de déclenchement et paramètres sous-jacents

	Conséquences projetées	Déclencheur	Paramètres sous-jacents
Municipal	Faible augmentation des coûts de traitement	Niveau d'alerte =>1 Tous les territoires où eau de surface > 5%	Augmentation du ph, diminution de la capacité de dilution, augmentation du dosage, etc.
	Diminution de la capacité de production en eau potable	Niveau d'alerte =>2 Tous les territoires où eau de surface > 5%	Réserve d'eau diminuée, prise d'eau émergée, etc.
	Baisse de pression dans le réseau	Niveau d'alerte =>2 Tous les territoires où eau de surface > 5%	Baisse de la capacité de production, réservoir vide. Demande plus grande que la capacité nominale
	Achat d'eau à l'externe et livraison par camion-citerne	Niveau d'alerte =>2 Tous les territoires en eau souterraine	Manque d'eau pour approvisionner l'ensemble des usagers sur le réseau. Puits à sec
	Forte Augmentation des coûts d'infrastructure en urgence	Niveau d'alerte =>2 Tous les territoires	Recherche et connexion source d'eau alternative, construction de bassin de rétention ou installation d'équipement de filtration comme UV
	Arrêt des développements – Remise en cause de la capacité de support du milieu	Niveau d'alerte =>2 Croissance de la population sur le territoire > 10 %	Manque d'eau répétés depuis plusieurs années. Absence de source d'eau alternative à coûts raisonnables.
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	Niveau d'alerte =>2 Indice de pression > 15 dans au moins un tronçon	Besoins actuels sont en légèrement plus grand que la disponibilité Baisse de la capacité de production, réservoir vide. Demande plus grande que la capacité nominale
	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	Niveau d'alerte =3 Prélèvement > débit dans au moins un tronçon	Besoins actuels sont en beaucoup plus grand que la disponibilité Baisse de la capacité de production, réservoir vide. Demande plus grande que la capacité nominale
Résidentiel	Interdictions d'usage esthétiques	Niveau d'alerte =>1 Tout le territoire	Faible diminution de la capacité de production, atteinte de la capacité nominale de l'usine, diminution de la capacité de pompage de l'eau brute. Liée à la condition M7.
	Risque d'avis d'ébullition	Niveau d'alerte =>1 Territoire approvisionné réseau en eau de surface	Baisse de la qualité de l'eau
	Coûts additionnels (creusage des puits)	Niveau d'alerte =>2 Proportion des puits individuel significatif	Baisse du niveau de la nappe, surconsommation de la ressource
	Incapacité à répondre aux besoins en eau	Niveau d'alerte =3 Indice de pression > 15 ou Prélèvement > débit dans au moins un tronçon	Liée à la conséquence M7 et M8
Agricole	Augmentation des coûts liés à l'irrigation (étangs d'irrigation, creusage des puits, etc.)	Niveau d'alerte =>1 Présence d'agriculture sur le territoire	Baisse du niveau de la nappe, surconsommation de la ressource
	Diminution des rendements	Niveau d'alerte =>1 Présence d'agriculture sur le territoire	Faible précipitation, manque d'eau
	Liquidation de troupeaux	Niveau d'alerte =>2 Présence d'agriculture sur le territoire	Manque d'eau

	Incapacité à utiliser l'eau en raison de sa faible qualité	Niveau d'alerte =>2 Présence d'agriculture sur le territoire	Baisse de la qualité de l'eau, eutrophisation des cours d'eau, contamination des nappes, etc.
	Livraison d'eau par camion-citerne	Niveau d'alerte =>2 Présence d'agriculture sur le territoire	Baisse du niveau de la nappe, surconsommation de la ressource
	Investissements massifs en irrigation	Niveau d'alerte =>3 Présence d'agriculture sur le territoire	Baisse du niveau de la nappe, surconsommation de la ressource
Industriel	Baisse de la production	Niveau d'alerte =>2 Présence significative de grands préleveurs sur le territoire	Réserve d'eau diminuée, prise d'eau émergée, etc.
	Arrêt des opérations	Niveau d'alerte =>2 Présence significative de grands préleveurs sur le territoire	Augmentation du ph, diminution de la capacité de dilution
	Coûts supplémentaires	Niveau d'alerte =>2 Présence significative de grands préleveurs sur le territoire	Augmentation du ph, diminution de la capacité de dilution, augmentation du dosage, etc. Recherche et connexion source d'eau alternative, construction de bassin de rétention ou installation d'équipement de filtration comme UV
	Fermeture de l'usine	Niveau d'alerte =>3 Présence significative de grands préleveurs sur le territoire	Manque d'eau Incapacité à avoir accès à un approvisionnement en énergie
	Incapacité à se baigner et pratiquer des activités de nautisme sur les plans d'eau	Niveau d'alerte =>2 Partout	Baisse du niveau de l'eau Détérioration de la qualité de l'eau
Conflicts d' usage	Tension entre usagers de l'eau (contrôle sévère de la ressource), particulièrement dans les bassins avec réservoirs	Niveau d'alerte =>1 Indice de pression > 15	Incompréhension Dynamique de méfiance Présence d'ouvrage de rétention
	Comportements d'appropriation de la ressource	Niveau d'alerte =>2 Indice de pression > 15	Besoins plus grands que la disponibilité Intérêt économique sous-jacents Conflits amont-aval
	Conflit sévère entre usager	Niveau d'alerte =>2 Indice de pression > 15	
	Naissance de mouvement citoyen pour la défense des droits d'accès à l'eau	Niveau d'alerte =>2 Indice de pression > 15	Regroupement d'acteurs avec intérêts communs
	Effritement de la cohésion sociale	Niveau d'alerte =>3 Indice de pression > 15	Détérioration de la qualité de vie de manière sévère Sentiment d'injustice Méfiance envers les autres usagers ou le gouvernement
	Variation de la production des centrales au fil de l'eau	Proportionnelle à la variation du débit estival (jja)	Diminution du débit

E3.3. PROJECTION DES CONSÉQUENCES SELON LES SCÉNARIOS

Pour chacun des deux scénarios, nous appliquons cette grille de projection par ZGIEBV, si les paramètres de déclenchement sont atteints alors nous considérons qu'il est probable que la conséquence se produise à un endroit ou un autre sur le territoire de la zone de gestion. La projection est faite pour les deux scénarios (+2 et +3) et les résultats reflètent l'aggravation de la problématique en fonction des caractéristiques de l'évènement.

Évidemment, cette approche se veut une méthode d'extrapolation et de projection des conséquences simplifiée afin de pouvoir couvrir l'ensemble du territoire sous gestion de l'eau et une vaste gamme de conséquences.

Elle donne une appréciation de l'ampleur de la problématique à l'échelle du territoire québécois en rassemblant l'information de façon sommaire sur ce que nous savons des conséquences vécues sur le territoire et des anticipations de détérioration lors d'évènement de plus grande envergure et sévérité.

E4. CADRE DE CARACTÉRISATION DES CONSÉQUENCES

Le cadre de caractérisation est développé en vertu d'une approche multicritères. Le cadre permet de poser un jugement sur le niveau de gravité de la conséquence et ainsi identifier celles qui s'avèrent les plus graves selon un certain nombre de critères pour l'ensemble du territoire québécois à l'étude.

La gravité se définit en fonction d'une combinaison de paramètres qui traduisent à la fois la nature de la conséquence, le contexte socioéconomique dans lequel elles se produisent, les anticipations de conséquences en cascade, etc. Nous appliquons ce cadre d'évaluation au niveau des conséquences sur les usages anthropiques seulement (conséquences de type 4). La gravité de la conséquence sur les usages étudiés se définit de la manière suivante :

(1) *Gravité de la conséquence = Intensité de la conséquence X Contexte socioéconomique*

Le **Tableau 8-2.** Grille de caractérisation des conséquences

E-6 présente les critères de caractérisation retenus pour décrire l'intensité de la conséquence et le contexte socioéconomique.

Tableau E-7. Grille de caractérisation des conséquences

	Critères	Score		
		1	2	3
Contexte socioéconomique	Nombre de zones de gestion touchée	Entre 0 et 5	Entre 6 et 20	Plus de 20
	Population affectée	Moins de 5 %	Entre 5 et 50 %	Plus de 50 %
	Indice de vitalité économique	Négatif		Positif
Sévérité de la conséquence	Persistance	Ponctuel	Moyen terme	Long terme
	Niveau de confiance	Faible	Moyen	Élevé
	Risque de matérialisation de l'impact	Niveau d'alerte 3	Niveau d'alerte 2	Niveau d'alerte 1
	Niveau de priorité de l'usage	Esthétique	Agricole et industriel	Santé des humains et des écosystèmes
	Économie	Augmentation de coûts financiers et/ou faible effets sur l'économie	Pertes financières et perturbation de l'activité économique à court terme	Changement dans le tissu économique, perte d'emploi et effets majeurs sur l'économie avec répercussions à grande échelle.

	Social (santé et bien-être)	Enjeu de santé mineur et perturbation mineure des habitudes de consommation	Enjeu de santé majeur, perturbation du milieu de vie temporaire	Enjeu de santé majeur à long terme allant jusqu'à des décès. Violence locale et transformation des dynamiques sociales
	Écosystèmes aquatiques	Faibles répercussions sur les écosystèmes sans effet à long terme.	Répercussions sensibles sur les écosystèmes sans effet à long terme ou de faibles conséquences avec des effets à long terme	Répercussions sur les écosystèmes avec des effets à long terme.

La grille de caractérisation des conséquences a été appliquée aux 29 conséquences de type 4 retenues et projetées dans le cadre des trames narratives.

L'évaluation des critères s'est faite soit de manière quantitative sur la base des caractéristiques propres au ZGIEBV, par exemple au niveau de la population de l'indice de vitalité, etc. Pour les critères de sévérité, l'évaluation s'est faite sur la base à la fois de critères objectifs et subjectifs. Pour les évaluations des effets en cascades, nous avons mobilisé le savoir accumulés de l'équipe de projet. On doit voir ainsi cette évaluation comme un avis d'expert.

Tableau E-8. Caractérisation des conséquences pour le scénario +2°C

	Analyse Scénario +2	Nbr de ZGIEBV affectées	Population potentielle affectée	Proportion population affectée	Indice de vitalité économique	Cote contexte socioéconomique	Persistence	Niveau de confiance	Risque de matérialisation de l'impact	Niveau de priorité de l'usage	Cascades - Économie	Cascades - Social (Santé et bien-être)	Cascades - Écosystèmes	Cote Gravité de la conséquence	Cote globale
M1	Faible augmentation des coûts de traitement	29	4 425 048	81%	1,17	7	1	3	3	1	1	1	1	11	18
M2	Diminution de la capacité de production en eau potable	20	2 862 552	52%	1,70	7	1	3	2	1	1	1	1	10	17
M3	Baisse de pression dans le réseau	20	2 862 552	52%	1,70	7	1	2	2	1	1	1	1	9	16
M4	Achat d'eau à l'externe et livraison par camion-citerne	3	104 800	2%	-2,07	5	1	2	2	1	2	2	1	11	16
M5	Forte Augmentation des coûts d'infrastructure en urgence	23	2 967 352	54%	1,20	7	1	2	2	1	2	1	1	10	17
M6	Arrêt des développements - Remise en cause de la capacité de support du milieu	10	2 154 529	39%	3,78	5	3	1	2	3	3	1	1	14	19
M7	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	24	2 377 223	43%	2,61	6	1	2	2	2	2	2	2	13	19
M8	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages) pour les besoins essentiels - Hôpitaux, écoles, résidences	3	154 800	3%	0,58	3	1	1	1	3	3	3	3	15	18
R1	Interdiction d'usage esthétique	32	4 455 629	81%	0,53	7	1	3	3	1	1	1	1	11	18
R2	Risque d'avis d'ébullition	29	4 425 048	81%	1,17	7	1	3	3	2	1	2	1	13	20
R3	Coûts additionnels (creusage des puits)	12	1 274 596	23%	0,74	6	2	3	2	2	2	1	1	13	19
R4	Incapacité à répondre aux besoins en eau	3	154 800	3%	0,58	3	1	2	1	3	3	3	1	14	17
A1	Augmentation des coûts liés à l'irrigation (étangs d'irrigation, creusage des puits, etc.)	33	4 552 764	83%	0,58	7	2	3	3	3	1	2	1	15	22
A2	Diminution des rendements	16	2 102 690	38%	2,02	6	2	3	3	3	1	2	1	15	21
A3	Liquidation de troupeaux	23	2 967 352	54%	1,20	7	2	1	2	3	2	2	1	13	20
A4	Incapacité à utiliser l'eau en raison de sa faible qualité	23	2 967 352	54%	1,20	7	1	2	2	3	1	2	1	12	19
A5	Livraison d'eau par camion-citerne	23	2 967 352	54%	1,20	7	1	2	2	3	2	2	1	13	20
A6	Investissements massifs en irrigation	4	154 800	3%	-1,21	5	3	1	1	3	2	3	1	14	19
I1	Baisse de la production	2	107 095	2%	-2,41	5	2	1	2	2	1	2	1	11	16
I2	Arrêt des opérations	2	107 095	2%	-2,41	5	1	1	2	2	2	1	1	10	15
I3	Coûts supplémentaires	2	107 095	2%	-2,41	5	1	1	2	2	1	2	1	10	15
I4	Fermeture de l'usine	0	-	0%		5	3	1	1	2	3	1	1	12	17

R1	Incapacité à se baigner et pratiquer des activités de nautisme sur les plans d'eau	23	2 967 352	54%		5	1	1	2	1	3	2	1	11	16
C1	Tension entre usagers de l'eau (contrôle sévère de la ressource), particulièrement dans les bassins avec réservoirs	21	3 056 629	56%	3,10	7	2	1	3	2	1	2	1	12	19
C2	Comportements d'appropriation de la ressource	17	2 276 557	42%	2,75	6	3	1	2	2	2	1	2*	11	17
C3	Conflit sévère entre usager	17	2 276 557	42%	2,75	6	1	1	2	2	2	2	1	11	17
C4	Naissance de mouvement citoyen pour la défense des droits d'accès à l'eau	17	2 276 557	42%	2,75	6	3	1	2	2	2	1	1	12	18
C5	Effritement de la cohésion sociale	1	50 000	1%	1,37	3	3	1	1	2	2	2	1	12	15
H1	Variation de la production hydroélectrique	11		0%		7	1	2	FAUX	1	2	1	1	8	15

Tableau E-9. Caractérisation des conséquences pour le scénario +3°C

	Analyse Scénario +3	Nbr de ZGIEBV affectée	Population potentielle affectée	Proportion population affectée	Indice de vitalité économique	Cote contexte socioéconomique	Persistance	Niveau de confiance	Risque de matérialisation de l'impact	Niveau de priorité de l'usage	Cascades - Économie	Cascades - Social (Santé et bien-être)	Cascades - Écosystèmes	Cote Gravité de la conséquence	Cote globale
M1	Faible augmentation des coûts de traitement	29	4 453 652	81%	1,17	7	1	3	3	1	1	1	1	11	18
M2	Diminution de la capacité de production en eau potable	27	4 310 557	79%	1,70	7	1	3	2	1	1	1	1	10	17
M3	Baisse de pression dans le réseau	27	4 310 557	79%	1,70	7	1	2	2	1	1	1	1	9	16
M4	Achat d'eau à l'externe et livraison par camion-citerne	4	127 716	2%	-2,07	7	1	2	2	1	2	2	1	11	16
M5	Forte Augmentation des coûts d'infrastructure en urgence	31	4 438 273	81%	1,20	6	1	2	2	1	2	1	1	10	17
M6	Arrêt des développements - Remise en cause de la capacité de support du milieu	16	3 381 362	62%	3,78	7	3	1	2	3	3	1	1	14	21
M7	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages)	25	3 598 075	66%	2,61	6	1	2	2	2	2	2	2	13	20
M8	Incapacité à répondre aux besoins (manque d'eau et priorisation des usages) pour les besoins essentiels - Hôpitaux, écoles, résidences	11	1 248 356	23%	0,58	6	1	1	1	3	3	3	3	15	21
R1	Interdiction d'usage esthétique	32	4 484 233	82%	0,53	7	1	3	3	1	1	1	1	11	18
R2	Risque d'avis d'ébullition	29	4 453 652	81%	1,17	6	1	3	3	2	1	2	1	13	20
R3	Coûts additionnels (creusage des puits)	13	1 333 273	24%	0,74	7	2	3	2	2	2	1	1	13	19
R4	Incapacité à répondre aux besoins en eau	11	1 248 356	23%	0,58	7	1	2	1	3	3	3	1	14	20
A1	Augmentation des coûts liés à l'irrigation (étangs d'irrigation, creusage des puits, etc.)	33	4 581 368	84%	0,58	7	2	3	3	3	1	2	1	15	22
A2	Diminution des rendements	33	2 102 690	#REF!	2,02	6	2	3	3	3	1	2	1	15	21
A3	Liquidation de troupeaux	31	4 438 273	38%	1,20	6	2	1	2	3	2	2	1	13	19

A4	Incapacité à utiliser l'eau en raison de sa faible qualité	31	4 438 273	81%	1,20	6	1	2	2	3	1	2	1	12	19
A5	Livraison d'eau par camion-citerne	31	4 438 273	81%	1,20	6	1	2	2	3	2	2	1	13	20
A6	Investissements massifs en irrigation	12	1 248 356	81%	-1,21	8	3	1	1	3	2	3	1	14	23
I1	Baisse de la production	3	165 772	3%	-2,41	6	2	1	2	2	1	2	1	11	16
I2	Arrêt des opérations	3	165 772	3%	-2,41	6	1	1	2	2	2	1	1	10	15
I3	Coûts supplémentaires	3	165 772	3%	-2,41	6	1	1	2	2	1	2	1	10	15
I4	Fermeture de l'usine	0	-	0%		6	3	1	1	2	3	1	1	12	17
R1	Incapacité à se baigner et pratiquer des activités de nautisme sur les plans d'eau	23	4 438 273	81%		5	1	1	2	1	3	2	1	11	20
C1	Tension entre usagers de l'eau (contrôle sévère de la ressource), particulièrement dans les bassins avec réservoirs	21	2 970 296	54%	3,10	7	2	1	3	2	1	2	1	12	19
C2	Comportements d'appropriation de la ressource	20	2 936 096	54%	2,75	6	3	1	2	2	2	1	2*	11	18
C3	Conflit sévère entre usager	20	2 936 096	54%	2,75	6	1	1	2	2	2	2	1	11	18
C4	Naissance de mouvement citoyen pour la défense des droits d'accès à l'eau	20	2 936 096	54%	2,75	6	3	1	2	2	2	1	1	12	19
C5	Effritement de la cohésion sociale	7	816 343	15%	1,37	4	3	1	1	2	2	2	1	12	17
H1	Variation de la production hydroélectrique	11		81%		7	1	2	FAUX	1	2	1	1	8	15

RÉFÉRENCES

- Aas, Ø., Einum, S., Klemetsen, A., & Skurdal, J. (2011). *Atlantic Salmon Ecology* (Ø. Aas, S. Einum, A. Klemetsen, & J. Skurdal (eds.); 1st ed.). Wiley-Blackwell.
- Acreman, M., & Holden, J. (2013). How wetlands affect floods. *Wetlands*, 33(5), 773–786. <https://doi.org/10.1007/S13157-013-0473-2>
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2023). *Aperçu de la sécheresse au Canada*. <https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/meteo/apercu-secheresse-au-canada>
- Alberti-Dufort, A., Bourduas Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C., & Ouranos. (2022). Québec; Chapitre 2 du Canada dans un climat changeant: Rapport sur les perspectives régionales. *Gouvernement Du Canada, Ottawa, On*.
- Alberti-Dufort, A., Desjardins, R., Malenfant, C., & Boyer-Villemaire, U. (2022). Guide de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2022. *Gouvernement Du Québec*.
- Baril, H. (2021). Baisse du niveau d'eau dans les réservoirs Hydro-Québec réduira ses exportations. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/affaires/economie/2021-08-27/baisse-du-niveau-d-eau-dans-les-reservoirs/hydro-quebec-reduira-ses-exportations.php>
- Bélanger, M. (2012). Les effets de la sécheresse perdurent dans le Pontiac. *Le Droit*. <https://www.ledroit.com/2012/09/22/les-effets-de-la-secheresse-perdurent-dans-le-pontiac-4bd4e86aec3c8ec2d512e8beb754f79c>
- Bergeron, M., & Déry, A. (2022). *Mémoire sur les enjeux, préoccupations et pistes de solution sur l'adaptation de l'industrie de la pêche au saumon du Québec face aux changements climatiques*. https://www.salmonconservation.ca/wp-content/uploads/2022/07/Memoire-eau-chaude-et-changements-climatiques_VP-002.pdf
- Bergeron, U. (2022). Les nouvelles banlieues ont soif. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/750615/urbanisme-les-nouvelles-banlieues-ont-soif>
- Bernier, J. F., Chassiot, L., Ouellet, C., & Lajeunesse, P. (2020). *Caractérisation des berges de la partie fluviale du Saint-Laurent*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/8301c7ed-6b27-4319-9150-435246634b90/resource/a5d514c3-9356-40f5-9362-35967808be9b/download/caracterisationbergesulmars2020.pdf>
- Berthot, L., St-Hilaire, A., Caissie, D., El-Jabi, N., Kirby, J., & Ouellet-Proulx, S. (2020). Southern Quebec environmental flow assessments: spatial and temporal scales sensitivity. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 45(4), 358–371. <https://doi.org/10.1080/07011784.2020.1834881>
- Berthot, L., St-Hilaire, A., Caissie, D., El-Jabi, N., Kirby, J., & Ouellet-Proulx, S. (2021). Environmental flow assessment in the context of climate change: A case study in Southern

- Quebec (Canada). *Journal of Water and Climate Change*, 12(8), 3617–3633. <https://doi.org/10.2166/wcc.2021.254>
- Bertrand, P. (2016). Lacs du Québec méridional: Perspectives de protection et de restauration. *Vecteur Environnement*, 49(2), 60.
- Bourcier, N. (2022a). Des pénuries d'eau de plus en plus fréquentes. *La Voix de l'Est*. <https://www.lavoixdelest.ca/2022/03/30/des-penuries-deau-de-plus-en-plus-frequentes-2b7a0bbcc53159839e9ce28c4ed5c807/>
- Bourcier, N. (2022b). Saint-Paul veut connaître ses ressources en eau. *La Voix de l'Est*. <https://www.lavoixdelest.ca/2022/06/28/saint-paul-veut-connaître-ses-ressources-en-eau-4042f70e053c94285c3e44f199e71e41/>
- Boyer, C., Verhaar, P. M., Roy, A. G., Biron, P. M., & Morin, J. (2010). Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: Potential effects on fluvial ecosystems. *Hydrobiologia*, 647(1), 163–183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10750-009-9927-1>
- British Columbia MWLRS. (2023). *British Columbia Drought and Water Scarcity Response Plan*. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/drought-info/drought_response_plan_final.pdf
- Brodeur, C., & Trépanier, J. (2013). *Diagnostic des bassins versants de la Capitale. Organisme des bassins versants de la Capitale*. <https://www.obvcapitale.org/plan-directeur-eau/diagnostic/>
- Brodeur, P., Mingelbier, M., & Morin, J. (2004). *Impacts des variations hydrologiques sur les poissons des marais aménagés le long du Saint-Laurent fluvial - Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs*. <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/impacts-variations-hydrologiques-poissons/>
- California Waterboards. (2021). *Reference Guide on the Emergency Regulation and Curtailment Orders in the Sacramento-San Joaquin Delta (Delta) Watershed*. https://www.waterboards.ca.gov/drought/delta/docs/refg_eregorder.pdf
- CanAgPlus - CanadaGAP. (2023). *Guides de salubrité des aliments CanadaGAP mis à jour pour 2023*. <https://www.canadagap.ca/fr/2023/01/guides-de-salubrite-des-aliments-canadagap-mis-a-jour-pour-2023/>
- Centre de collaboration nationale de la santé autochtone. (2022). Changements climatiques et santé des Autochtones du Canada. In P. Berry & R. Schnitter (Eds.), *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement : faire progresser nos connaissances pour agir*.
- Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de l'Estrie, & Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke - Direction de santé publique. (2022). *Évaluation de la vulnérabilité estrienne aux changements climatiques en matière de santé*.
- Collingsworth, P. D., Bunnell, D. B., Murray, M. W., Kao, Y. C., Feiner, Z. S., Claramunt, R. M., Lofgren, B. M., Höök, T. O., & Ludsin, S. A. (2017). Climate change as a long-term stressor for the fisheries of the Laurentian Great Lakes of North America. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27:2, 27(2), 363–391. <https://doi.org/10.1007/S11160-017-9480-3>
- Communauté métropolitaine de Montréal. (2019). *Plan particulier d'intervention – Eau potable Pour une coordination intermunicipale*. <https://cmm.qc.ca/wp->

- content/uploads/2020/09/PPI_intermunicipal-Eau_potable_novembre2019.pdf
- Communauté Métropolitaine de Québec. (2016). *La protection des sources d'eau : l'urgence d'agir*. <https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2018/11/cahier-protection-eau-vf.pdf>
- Comtois, C., & Slack, B. (2015). *Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent: le transport maritime*. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-desjarlais-rapportsectoriel03.pdf>
- Consortium Ouranos. (2015). *AQUARISC*. <https://aquarisc.ouranos.ca/>
- Consortium Ouranos. (2023). *Portraits climatiques*. <https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques>
- Côté, C., & Léveillé, J. T. (2012). Le niveau du fleuve exceptionnellement bas. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201207/12/01-4543220-le-niveau-du-fleuve-exceptionnellement-bas.php>
- Da Silva, L., & Desjarlais, C. (2016). L'impact économique des changements climatiques sur la production hydroélectrique du Saint-Laurent. In *Ouranos*. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-desjarlais-rapportsectoriel04.pdf>
- Da Silva, L., Pineault, K., & Rondeau-Genesse, G. (2020). *Vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable du territoire de la CMQ face aux changements climatiques*. https://cmquebec.qc.ca/wp-content/uploads/2020/05/Rapport_vulnerabilite_eau_potable_CMQ_face_aux_CC.pdf
- Desgranges, J. L., Ingram, J., Drolet, B., Morin, J., Savage, C., & Borcard, D. (2006). Modelling wetland bird response to water level changes in the Lake Ontario - St. Lawrence River hydrosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 113(1–3), 329–365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10661-005-9087-3>
- Direction de l'Expertise hydrique. (2018). *Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique*. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/doc-accompagnement.pdf>
- Dormoy-Boulanger, J. (2021). *L'impact des changements climatiques sur la dynamique des cyanobactéries dans la rivière aux Brochets, Québec*. UQTR.
- Dubois, C. (2019). *Comment la végétation des milieux humides du lac Saint-Pierre a-t-elle changé au cours des 15 dernières années?* Université Laval.
- Dubois, E., Larocque, M., Gagné, S., & Braun, M. (2022). Climate Change Impacts on Groundwater Recharge in Cold and Humid Climates: Controlling Processes and Thresholds. *Climate*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/cli10010006>
- Duhamel, F.-X. (2022). Le sud du Québec manque d'eau. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2022-05-30/le-sud-du-quebec-manque-d-eau.php>
- Dupras, J. (2014). *Évaluation économique des services écosystémiques dans la région de Montréal : analyse spatiale et préférences exprimées*. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/11333>

- Farrell, J. M., Mead, J. V., & Murry, B. A. (2006). Protracted spawning of St Lawrence River northern pike (*Esox lucius*): simulated effects on survival, growth, and production. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(2), 169–179. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0633.2006.00135.X>
- Febriani, Y., Levallois, P., Gingras, S., Gosselin, P., Majowicz, S. E., & Fleury, M. D. (2010). The association between farming activities, precipitation, and the risk of acute gastrointestinal illness in rural municipalities of Quebec, Canada: a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 10(48). <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2458-10-48>
- Ficke, A. D., Myrick, C. A., & Hansen, L. J. (2007). Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 17(4), 581–613. <https://doi.org/10.1007/S11160-007-9059-5/FIGURES/5>
- Foubert, A., Le Pichon, C., Mingelbier, M., Farrell, J. M., Morin, J., & Lecomte, F. (2019). Modeling the effective spawning and nursery habitats of northern pike within a large spatiotemporally variable river landscape (St. Lawrence River, Canada). *Limnology and Oceanography*, 64(2), 803–819. <https://doi.org/10.1002/LNO.11075>
- Fournier, J. (2017). Été catastrophique pour les agriculteurs du Bas-Saint-Laurent. *Le Soleil*. <https://www.lesoleil.com/2017/09/21/ete-catastrophique-pour-les-agriculteurs-du-bas-saint-laurent-55e02611631384b18a5df946d251187d>
- Francoeur, L.-G. (2010). Comme un poisson qui n'a plus d'eau. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/environnement/292778/comme-un-poisson-qui-n-a-plus-d-eau>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gagnon-Lupien, N. (2013). *Impact du roseau commun (Phragmites australis) sur les assemblages et le comportement des oiseaux dans des marais d'eau douce du sud du Québec*. Université Laval.
- Gagnon, M. (2021). *Une fin de saison abrupte pour les plaisanciers en raison du bas niveau du lac Saint-Jean*. Radio-Canada. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1817858/niveau-lac-voiliers-bateaux>
- Garneau, M., & Van Bellen, S. (2016). *Synthèse de la valeur et la répartition du stock de carbone terrestre au Québec. Rapport final présenté au Ministère du Développement durable, Environnement et Lutte contre les changements climatiques du Québec*.
- Gentès, S. (2009). *Impacts et conditions et moyens de l'adaptation aux changements climatiques dans la région du lac Saint-Pierre au Québec*. Institut National Agronomique de Paris-Grignon. <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/647>
- Goulwen, D., Martel, M., Joly, M., & Dufour Tremblay, G. (2018). *Les plans régionaux des milieux humides et hydriques*. <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1450/>
- Gouvernement du Canada. (2023). *Promotion de la santé : l'hydratation, ça coule de source*. <https://www.canada.ca/fr/ministere-defense-nationale/organisation/nouvelles/nouvelles-regionales/sentinelle-ouest/2021/08/l-hydratation-ca-coule-de-source.html>
- Gouvernement du Nouveau-Brunswick. (n.d.). *Notions élémentaires sur les puits d'eau*. <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water->

Eau/NotionsElementairesPuitsDeau.pdf

- Gouvernement du Québec. (2018). *Stratégie québécoise de l'eau 2018-2030*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/strategie-quebecoise/strategie2018-2030.pdf>
- Loi sur la qualité de l'environnement*, (2022) (testimony of Gouvernement du Québec). https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/Q-2/20220512#se:31_76
- Gouvernement du Québec. (2023a). *Fiches d'information sur la gestion de l'eau en cas d'urgence pour les municipalités*. <https://www.quebec.ca/securite-situations-urgence/securite-civile/soutien-municipalites/preparation-sinistres/adaptee/fiches-gestion-eau-urgence#c45381>
- Gouvernement du Québec. (2023b). *Rapport annuel de l'usage de l'eau potable 2020 - Stratégie québécoise d'économie d'eau potable - Horizon 2019-2025*. <https://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels/>
- Government of Ontario. (2021). *Guidance to support priorities of water use*. <https://www.ontario.ca/page/guidance-support-priorities-water-use>
- Groupe AGÉCO. (2020). *Recherche participative d'alternatives durables pour la gestion de l'eau en milieu agricole dans un contexte climatique (Radeau 2)*. <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportCharronAGECO2020.pdf>
- Hamon, É. (2017). L'arrosage extérieur interdit jusqu'à nouvel ordre à Rimouski. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1046197/interdiction-arrosage-exterieur-rimouski-saint-fabien-secheresse>
- He, J., Poder, T., Dupras, J., & Hermann, J. E. (2016). *La valeur économique de la pêche blanche et des services écosystémiques au lac Saint-Pierre : analyse coûts-avantages des stratégies d'adaptation aux changements climatiques*. [https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/686/1/He et al _2016_valeur économique_pêche blanche_lac Saint-Pierre.pdf](https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/686/1/He_et_al_2016_valeur_economique_pêche_blanche_lac_Saint-Pierre.pdf)
- Hebert, C. (2021). La rivière aux Brochets bat un record d'étiage. *Journal Le Guide de Cowansville*. <https://www.journalleguide.com/actualite/la-riviere-aux-brochets-bat-un-record-detiage/>
- Huaranga Alvarez, U. F. (2014). *La gestion des réservoirs du bassin versant de la rivière du lièvre, Québec (Canada), dans un contexte de changements climatiques: impacts et stratégie d'adaptation*. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/5376/Huaranga_Alvarez_Uriel_Franco_MScA_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hudon, C., Gagnon, P., Poirier Larabie, S., Gagnon, C., Lajeunesse, A., Lachapelle, M., & Quilliam, M. A. (2016). Spatial and temporal variations of a saxitoxin analogue (LWTX-1) in *Lyngbya wollei* (Cyanobacteria) mats in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Harmful Algae*, 57, 69–77. <https://doi.org/10.1016/J.HAL.2016.06.001>
- Hudon, Christiane. (2004). Shift in wetland plant composition and biomass following low-level episodes in the St. Lawrence River: looking into the future. *https://doi.org/10.1139/F04-031*, 61(4), 603–617. <https://doi.org/10.1139/F04-031>
- Hudon, Christiane, Armellin, A., Gagnon, P., & Patoine, A. (2010). Variations in water temperatures and levels in the St. Lawrence River (Québec, Canada) and potential implications for three common fish species. *Hydrobiologia*, 647(1), 145–161. <https://doi.org/10.1007/S10750-009-9922-6/FIGURES/7>

- INSPQ. (2022). *Bilan des éclosions de maladies d'origine hydrique au Québec de 2017 à 2018*. <https://www.inspq.qc.ca/publications/bilan-eclosions-maladies-origine-hydrique-quebec-2017-2018>
- INSPQ. (2023). *Qualité de l'eau et santé*. <https://www.inspq.qc.ca/qualite-de-l-eau-et-sante>
- Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nöges, T., Nöges, P., Attayde, J. L., Zohary, T., Coppens, J., Bucak, T., Menezes, R. F., Freitas, F. R. S., Kernan, M., Søndergaard, M., & Bekliöglu, M. (2015). Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 750(1), 201–227. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x>
- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). *Climatic Effects on Atlantic Salmon and Brown Trout*. 473–515. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1_9
- Kinnard, C., Bzeouich, G., & Assani, A. (2022). Impacts of summer and winter conditions on summer river low flows in low elevation, snow-affected catchments. *Journal of Hydrology*, 605, 127393. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127393>
- Kovach, R. P., Dunham, J. B., Al-Chokhachy, R., Snyder, C. D., Letcher, B. H., Young, J. A., Beever, E. A., Pederson, G. T., Lynch, A. J., Hitt, N. P., Konrad, C. P., Jaeger, K. L., Rea, A. H., Sepulveda, A. J., Lambert, P. M., Stoker, J., Giersch, J. J., & Muhlfeld, C. C. (2019). An Integrated Framework for Ecological Drought across Riverscapes of North America. *BioScience*, 69(6), 418–431. <https://doi.org/10.1093/BIOSCI/BIZ040>
- La Presse canadienne. (2021). La Ville de Québec restreint la consommation d'eau potable. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/2021-08-24/la-ville-de-quebec-restreint-la-consommation-d-eau-potable.php>
- Lachance-Cloutier, S., Turcotte, R., & Cyr, J. F. (2017). Combining streamflow observations and hydrologic simulations for the retrospective estimation of daily streamflow for ungauged rivers in southern Quebec (Canada). *Journal of Hydrology*, 550, 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.011>
- Lambert, S. (2011). *Impacts des changements climatiques sur la disponibilité de l'eau dans le sud du Québec*. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11143/7271>
- Larochelle, M. (2011). *Effets de l'invasion de deux milieux humides d'eau douce du fleuve Saint-Laurent par le roseau commun sur la reproduction et la croissance du grand brochet* [Université Laval]. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/23123>
- Lavoie, C. (2019). *50 plantes envahissantes : protéger la nature et l'agriculture*. Les publications du Québec.
- Lavoie, I., Laurion, I., & Vincent, W. (2007). *Les fleurs d'eau de cyanobactéries, vulnérabilité des prises d'eau*. .
- Le Centre d'information sur l'eau. (2023). *Les eaux de surface : des ressources protégées, contrôles et de bonne qualité*. <https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/les-eaux-de-surface-des-ressources-protegees-controlees-et-de-bonne-qualite/>
- Leduc, M., Mailhot, A., Frigon, A., Martel, J. L., Ludwig, R., Brietzke, G. B., Giguère, M., Brissette, F., Turcotte, R., Braun, M., & Scinocca, J. (2019). The ClimEx project: A 50-member ensemble of climate change projections at 12-km resolution over Europe and northeastern North America with the Canadian Regional Climate Model (CRCM5). *Journal of Applied*

- Meteorology and Climatology*, 58(4), 663–693. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0021.1>
- Lee, J.-Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S., & Zhou, T. (2021). IPCC AR6 WG1 Chapter 04: Future global climate: scenario-based projections and near-term information. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 553–672. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Lenssen, N. J. L., Schmidt, G. A., Hansen, J. E., Menne, M. J., Persin, A., Ruedy, R., & Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP Uncertainty Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(12), 6307–6326. <https://doi.org/10.1029/2018JD029522>
- Lévesque, D., Hudon, C., Amyot, J. P., & Cattaneo, A. (2015). Wave exposure and current regulate biomass accumulation of the benthic cyanobacterium *Lyngbya wollei* in a large fluvial lake. *Freshwater Science*, 34(3), 867–880. <https://doi.org/10.1086/682007/ASSET/IMAGES/LARGE/FG6.JPEG>
- Maisonneuve, V. (2021). En pleine expansion, Saint-Lin–Laurentides manque d'eau. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1833160/en-pleine-expansion-saint-lin-laurentides-manque-deau>
- McGuinness, J. L., & Bordne, E. F. (1972). A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values. *Arsusda, Technical*(1452), 80. <http://books.google.se/books?id=oqYoAAAAYAAJ>
- McKee, T. B., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183.
- Mejia, F. H., Ouellet, V., Briggs, M. A., Carlson, S. M., Mejia, R. H., & Ouellet, V. (2023). Closing the gap between science and management of cold-water refuges in rivers and streams. *Global Change Biology*, 29(19), 5482–5508. <https://doi.org/10.1111/gcb.16844>
- MELCCFP. (2022a). *Atlas hydroclimatique du Québec méridional*. <https://cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/carte-indicateurs/index.htm>
- MELCCFP. (2022b). *Projet expérimental pour une gestion de la pêche au saumon adaptée aux conditions thermiques des rivières*. <https://mffp.gouv.qc.ca/la-faune/plans-de-gestion/saumon-atlantique/projet-experimental-ete/>
- MELCCFP. (2023a). *Conservation des milieux humides et hydriques*. Gouvernement Du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rives/milieuxhumides.htm>
- MELCCFP. (2023b). *Eaux souterraines*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>
- MELCCFP. (2023c). *Faits saillants - Août 2021 : le mois d'août le plus chaud et à quelques millimètres du plus sec en au moins cent ans*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/Faits-saillants/2021/aout.htm>
- MELCCFP. (2023d). *Le Réseau de surveillance volontaire des lacs - Les méthodes*. Gouvernement Du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rsvl/methodes.htm>
- MELCCFP. (2023e). *Lignes directrices pour l'estimation des débits d'étiage sur le territoire québécois*. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/methode/index.htm>

- Mingelbier, M., Brodeur, P., & Morin, J. (2004). *Impacts de la régularisation du débit des Grands Lacs et des changements climatiques sur l'habitat des poissons du fleuve Saint-Laurent*.
- Moreau, J.-F. (2018). La Financière agricole croule sous les avis. *Le Soleil*. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4336883>
- Morice, C. P., Kennedy, J. J., Rayner, N. A., Winn, J. P., Hogan, E., Killick, R. E., Dunn, R. J. H., Osborn, T. J., Jones, P. D., & Simpson, I. R. (2021). An Updated Assessment of Near-Surface Temperature Change From 1850: The HadCRUT5 Data Set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(3). <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>
- MRC Brome-Missisquoi. (2023). *Compilation des enjeux reliés à l'eau (document interne de la MRC)*.
- Muñoz Sabater, J. (2019). *ERA5-Land hourly data from 1950 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac>
- Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., Spinoni, J., Vogt, J., & Feyen, L. (2018). Global Changes in Drought Conditions Under Different Levels of Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7), 3285–3296. <https://doi.org/10.1002/2017GL076521>
- OBV Yamaska. (2022). *Rapport final du projet d'adaptation aux étiages sur un tronçon amont de la rivière Yamaska*.
- Office québécois de la langue française. (2023). *Définition du terme étiage*. <https://vitrlinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8485854/etiage>
- Özdilek, Ü., & Revéret, J.-P. (2015). *Mesure de l'impact économique des bas niveaux d'eau sur les valeurs foncières le long du fleuve Saint-Laurent*. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-desjarlais-rapportsectoriel02.pdf>
- Parent, A.-C., & Ancil, F. (2012). *Pour des mesures de conservation et d'utilisation efficace de l'eau adaptables aux changements climatiques pour le bassin du fleuve Saint-Laurent*. https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1233/1/Parent_et_al_2012_Utilisation_eau_changement_climatique_A.pdf
- Patoine, M., & D'Auteuil-Potvin, F. (2015). *Contamination bactériologique des petits cours d'eau en milieu agricole : état et tendances, Québec*. https://www.environnement.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/synthese-info/Rapport_agricole.pdf
- Paukert, C., Olden, J. D., Lynch, A. J., Breshears, D. D., Christopher Chambers, R., Chu, C., Daly, M., Dibble, K. L., Falke, J., Issak, D., Jacobson, P., Jensen, O. P., & Munroe, D. (2021). Climate Change Effects on North American Fish and Fisheries to Inform Adaptation Strategies. *Fisheries*, 46(9), 449–464. <https://doi.org/10.1002/FSH.10668>
- Pion, I. (2021). Pénurie d'eau : les agriculteurs touchés de plein fouet. *La Tribune*. <https://www.latribune.ca/2021/08/28/penurie-deau--les-agriculteurs-touche-de-plein-fouet-284b115f2d69715cc1131935daa3843f/>
- Plourde-Lavoie, P., Archer, M., Gagnon, K., & Sirois, P. (2017). Les variations de niveau du lac Saint-Jean : effets sur la reproduction des poissons dans les habitats en milieux humides riverains. *Le Naturaliste Canadien*, 142(1), 66–77. <https://doi.org/10.7202/1042015AR>

- Poesch, M. S., Chavarie, L., Chu, C., Pandit, S. N., & Tonn, W. (2016). Climate Change Impacts on Freshwater Fishes: A Canadian Perspective. *Fisheries*, 41(7), 385–391. <https://doi.org/10.1080/03632415.2016.1180285>
- Radio-Canada. (2010). *RTA s'entend avec Hydro-Québec*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/480413/rta-entente-hydro-quebec>
- Radio-Canada. (2012). Lac-Brome demande aux citoyens de réduire leur consommation d'eau. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/567003/eau-penurie-lac-brome>
- Radio-Canada. (2021). *La demande pour remplir les puits de surface explose en Estrie*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1821251/eau-puits-remplissage-secheresse-estrie>
- Radio-Canada. (2022). *Faute d'eau, le développement de Sutton compromis*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1874545/manque-eau-sutton-rapport-montagne-permis-construction>
- Reist, J. D., Wrona, F. J., Prowse, terry D., Power, M., & Dempson, J. B. (2006). *General Effects of Climate Change on Arctic Fishes and Fish Populations | Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/General-Effects-of-Climate-Change-on-Arctic-Fishes-Reist-Wrona/42d489af7157d7cadba7c90b0f33b3a2aa5a5859>
- Réseau québécois sur les eaux souterraines. (2023a). *Définition de l'eau souterraine*. <https://rques.ca/definition-de-leau-souterraine/>
- Réseau québécois sur les eaux souterraines. (2023b). *Les notions de base en hydrogéologie*. <https://rques.ca/les-notions-de-base>
- Ressources naturelles Canada. (2021). *Sécheresse*. <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-forestiers/secheresse/17773>
- Robichaud, C. D., & Rooney, R. C. (2017). Long-term effects of a *Phragmites australis* invasion on birds in a Lake Erie coastal marsh. *Journal of Great Lakes Research*, 43(3), 141–149.
- Rochon, M.-I. (2021). Une sécheresse qui fait mal aux producteurs agricoles québécois. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1811742/agriculture-agriculteurs-assurances-secheresse-perdes-champs>
- Rondeau-Genesse, G., & Braun, M. (2020). *Production des scénarios climatiques pour les projets: Impact des changements climatiques sur les débits au Québec (cQ2) et la thématique Évolution du climat du projet de Soutien à INFO-Crue*.
- Roy, R., Tissot, L., & Argillier, C. (2021). Environmental drivers of fish spatial distribution and activity in a reservoir with water level fluctuations. *Hydroécologie Appliquée*, 21, 25–46. <https://doi.org/10.1051/HYDRO/2018001>
- Saint-Louis, R. (2021). Saint-Rémi manque d'eau. *Radio-Canada*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1845435/approvisionnement-eau-potable-montreregion-mrc-jardins-napierville>
- Santé Canada. (2022). *La santé des Canadiens et des Canadiennes dans un climat en changement*. https://publications.gc.ca/collections/collection_2022/sc-hc/H129-121-2022-fra.pdf
- Schoen, E. R., Wipfli, M. S., Trammell, E. J., Rinella, D. J., Floyd, A. L., Grunblatt, J., McCarthy, M. D., Meyer, B. E., Morton, J. M., Powell, J. E., Prakash, A., Reimer, M. N., Stuefer, S. L.,

- Toniolo, H., Wells, B. M., & Witmer, F. D. W. (2017). Future of Pacific Salmon in the Face of Environmental Change: Lessons from One of the World's Remaining Productive Salmon Regions. *Fisheries*, 42(10), 538–553. <https://doi.org/10.1080/03632415.2017.1374251>
- Scott, W. B., & Crossman, E. J. (1985). *Poissons d'eau douce du Canada* (T. publics et S. gouvernementaux C. Éditions et Services de dépôt (ed.)). Publications du gouvernement du Canada.
- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2015). Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027–4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Staudinger, M., Stahl, K., & Seibert, J. (2014). A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50(10), 7861–7872. <https://doi.org/10.1002/2013WR015143>
- Tam, B. Y., Cannon, A. J., & Bonsal, B. R. (2023). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) for Canada: assessment of probability distributions. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 0(0), 1–17. <https://doi.org/10.1080/07011784.2023.2183143>
- Tam, B. Y., Szeto, K., Bonsal, B., Flato, G., Cannon, A. J., & Rong, R. (2019). CMIP5 drought projections in Canada based on the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 44(1), 90–107. <https://doi.org/10.1080/07011784.2018.1537812>
- Tanguay, S. (2022). Sutton est à court d'eau. *Le Devoir*. <https://www.ledevoir.com/environnement/696924/environnement-la-ville-de-sutton-est-a-court-d-eau>
- Tardif, S. (2019). *Impacts des changements climatiques sur le potentiel de survie de huit espèces de plantes vasculaires en situation précaire au Québec* [Université de Sherbrooke]. <https://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/16038>
- Thériault, C. (2012). Pénurie d'eau maîtrisée au Gîte du Mont-Albert. *Le Soleil*. <https://www.lesoleil.com/2012/08/15/penurie-deau-maitrisee-au-gite-du-mont-albert-565e14e90d510892551fefb26dfd437b/>
- Tougas-Tellier, M.-A. (2013). *Impact des changements climatiques sur l'expansion du roseau envahisseur dans le fleuve Saint-Laurent* [Université Laval]. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/24401>
- Van der Wiel, K., Lenderink, G., & de Vries, H. (2021). Physical storylines of future European drought events like 2018 based on ensemble climate modelling. *Weather and Climate Extremes*, 33(June), 100350. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100350>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Ville de Laval. (2022). *Nouvelles plages horaires d'arrosage à compter de mai*. <https://www.laval.ca/Pages/Fr/Nouvelles/modification-arrosage.aspx#:~:text=Les Lavallois disposeront désormais de,atteindre 16 heures par semaine>
- Ville de Marieville. (2023). *Restrictions quant à l'utilisation de l'eau potable à l'extérieur*. <https://www.ville.marieville.qc.ca/fr/actualites/2023/restrictions-quant-a-l-utilisation-de-l->

eau-potable-a-l-exterieur

- Ville de Sutton. (2022). *La Ville de Sutton protège son eau*. <https://sutton.ca/la-ville-de-sutton-protege-son-eau/>
- Zeestraten, C. (2012). *Élaboration d'un système d'alerte aux étiages à l'échelle du bassin versant de la rivière Yamaska au Québec*. Université de Sherbrooke.
- Zhang, H.-M., Lawrimore, J., Huang, B., Menne, M., Yin, X., Sanchez-Lugo, A., Gleason, B., Vose, R., Arndt, D., Rennie, J., & Williams, C. (2019). Updated Temperature Data Give a Sharper View of Climate Trends. *Eos*, 100. <https://doi.org/10.1029/2019eo128229>
- Zhao, C., Brissette, F., Chen, J., & Martel, J.-L. (2019). Frequency change of future extreme summer meteorological and hydrological droughts over North America. *Journal of Hydrology*, November, 124316. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124316>
- Zohary, T., & Ostrovsky, I. (2011). Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Waters*, 1(1), 47–59. <https://doi.org/10.5268/IW-1.1.406>



550 SHERBROOKE OUEST, TOUR OUEST, 19^e ÉTAGE, MONTRÉAL, QC, CANADA, H3A 1B9 | TÉLÉPHONE 514 282.6464 | TÉLÉCOPIEUR 514 282.7131 | WWW.OURANOS.CA