



Chaire de recherche en eau potable
de l'Université Laval

Plan pour une
économie
verte



Québec 

L'impact des changements climatiques sur les sources d'eau potable au Québec

GUIDE DE FORMATION

CHAIRE DE RECHERCHE INDUSTRIELLE CRSNG GESTION ET SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU
POTABLE | UNIVERSITÉ LAVAL

Contenu scientifique :

Anne-Marie Decelles, pour l'UQTR, en collaboration avec le RQES et l'UQAM

Ianis Delpla, pour l'Université Laval, en collaboration avec l'EHESP

Miryane Ferlatte, pour l'UQTR, en collaboration avec le RQES et l'UQAM

Manuel Rodriguez, pour l'Université Laval

Anna Scheili, pour l'Université Laval

Direction de l'eau potable, des eaux souterraines et de surface, MELCCFP

Rédaction :

Anna Scheili, pour l'Université Laval

Révision :

Manuel Rodriguez, pour l'Université Laval

Direction de l'eau potable, des eaux souterraines et de surface, MELCCFP

Table des matières

1. Introduction	6
1.1. Contexte	6
1.2. Structure du guide	6
2. Principes fondamentaux : changements climatiques et cycles hydrologiques	7
2.1. Le climat	7
2.2. Les changements climatiques	8
2.2.1. L'origine des changements climatiques	8
2.2.2. Les différents scénarios d'émission et les projections futures	8
2.3. Les cycles hydrologiques et les types de sources d'eau potable	9
2.3.1. Le grand cycle de l'eau	9
2.3.2. Le petit cycle de l'eau	10
2.4. L'approche à barrières multiples	12
2.5. Les types de sources d'eau potable	12
3. Les aléas climatiques et leurs impacts sur les sources d'eau potable au Québec	15
3.1. Les aléas climatiques	15
3.2. Les impacts des aléas climatiques sur les sources d'eau potable	17
4. Les projections pour les différents climats du Québec	26
4.1. Climat arctique et climat subarctique	26
4.1.1. Les changements attendus pour le climat arctique et le climat subarctique	26
4.1.2. Les impacts attendus pour les climats arctique et subarctique	28
4.2. Climat continental humide	30
4.2.1. Les changements attendus pour le climat continental humide	30
4.2.2. Les impacts attendus pour le climat continental humide	31
4.3. Climat océanique et continental humide	33
4.3.1. Les changements attendus pour le climat océanique et continental humide	33
4.3.2. Les impacts attendus pour le climat océanique et continental humide	34
5. Études de cas	36
1.1. Étude de cas – Municipalité A	37
1.2. Étude de cas – Municipalité B	38
1.3. Étude de cas – Municipalité C	39
1.4. Étude de cas – Municipalité D	41

1.5.	Étude de cas – Municipalité <i>E</i>	43
1.6.	Étude de cas – Municipalité <i>F</i>	44
6.	Conclusions	47
7.	Glossaire	48
8.	Références bibliographiques	50

Table des figures

Figure 1 : Régions climatiques de la province de Québec (adaptation de Leveque et al., 2021)	7
Figure 2 : Le cycle hydrologique (RQES)	10
Figure 3 : Le petit cycle de l'eau (illustration tirée du site https://www.nimes-metropole.fr)	11
Figure 4 : L'approche à barrières multiples (illustration tirée de https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/depliant-exigences-elevees.pdf)	12
Figure 5 : Représentation schématique d'un prélèvement en filtration sur berge - tirée de la référence (11)	14
Figure 6 : Représentation simplifiée des causes et des conséquences des aléas climatiques ayant des impacts directs sur les sources d'eau potable. Les termes en gras sont les aléas considérés dans le présent guide, les encadrés bleus, orange et verts désignent respectivement les impacts sur la qualité de l'eau, la quantité de l'eau et l'infrastructure.	23
Figure 7 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable des climats arctique et subarctique	29
Figure 8 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable du climat continental humide	32
Figure 9 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable du climat océanique et continental humide	35

Table des tableaux

Tableau 1: Impacts des aléas climatiques sur les sources d'eau potable au Québec.....	25
Tableau 2: Évolution des aléas climatiques - climats arctique et subarctique	27
Tableau 3:Évolution des aléas climatiques - climat continental humide.....	30
Tableau 4:Évolution des aléas climatiques - climat océanique et continental humide.....	33

1. Introduction

1.1. Contexte

L'existence des changements climatiques est indéniable et les preuves scientifiques se multiplient afin de décrire non seulement leurs répercussions futures sur l'environnement, mais également leurs effets déjà observés depuis des dizaines d'années (1).

L'augmentation exponentielle de la concentration des *gaz à effet de serre*¹ perturbe l'équilibre terrestre en affectant les *variables climatiques*, notamment la radiation solaire, la température, les précipitations et l'*évapotranspiration* (2). Bien que l'évolution de certains paramètres, comme la température de l'air ou celle des océans, présente des tendances similaires à travers le globe, les variations que subissent les climats de différentes régions sont très hétérogènes et dépendent de facteurs bien spécifiques et locaux.

La modification de ces variables climatiques affecte directement le cycle hydrique, et les impacts au niveau de la quantité d'eau disponible et de sa qualité deviennent des enjeux majeurs pour la gestion de la ressource. En effet, des *mesures d'adaptation* sont parfois nécessaires, sans quoi la continuité et l'efficacité des services d'approvisionnement en eau potable peuvent être compromises, affectant non seulement la santé de la population, mais également les dépenses municipales (3).

Afin d'optimiser les mesures d'adaptation et d'augmenter la *résilience* des systèmes d'approvisionnement en eau potable des municipalités québécoises, il est donc primordial de bien comprendre les impacts des changements climatiques sur les sources d'eau potable dans les différentes régions du Québec.

C'est dans cette perspective que ce guide vise à accompagner les gestionnaires municipaux en leur fournissant des informations relatives aux changements climatiques, aux *aléas climatiques* et à leurs impacts sur les sources d'eau potable en fonction des quatre régions climatiques existant sur le territoire québécois.

1.2. Structure du guide

L'objectif du guide est de fournir une introduction au sujet des changements climatiques et de leurs impacts sur les sources d'eau potable au Québec. Afin de décrire les variations observées et projetées pour les régions climatiques présentes au Québec, ce guide se base sur une revue de littérature scientifique rassemblant les informations les plus à jour dans le domaine de l'eau et des changements climatiques. Cette revue de littérature a ensuite été complétée par une analyse des rapports techniques traitant de sujets spécifiques, comme les projections climatiques au Québec, ou les impacts sur les eaux souterraines, par exemple.

Le présent guide comporte trois sections : les notions de base sur les changements climatiques et les cycles hydrologiques, les impacts sur les sources d'eau potable et les études de cas. La première partie sert à introduire et faire comprendre les principes fondamentaux des changements climatiques et des cycles hydrologiques, leurs origines et les aléas qui les caractérisent. La partie traitant des impacts sur les

¹ Les expressions en bleu et en italique se retrouvent dans le glossaire à la fin du guide.

sources d'eau potable présente tout d'abord les impacts généraux observés et projetés pour l'ensemble du territoire, puis spécifie dans les sections subséquentes les impacts les plus importants pour chaque climat québécois. Finalement, la troisième partie vise à donner des exemples concrets de l'impact des changements climatiques et de mesures d'adaptation à ceux-ci dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable.

À la fin du document, le lecteur trouvera un glossaire exhaustif qui compile et définit de manière détaillée *les termes et expressions en bleu et en italique* tout au long du guide, lesquels sont fondamentaux pour comprendre les enjeux liés aux changements climatiques et à la gestion de l'eau.

2. Principes fondamentaux : changements climatiques et cycles hydrologiques

2.1. Le climat

Le *climat* correspond à un état moyen de paramètres et de phénomènes climatiques, tels que la température ou les précipitations dans une région donnée sur une période d'environ trente ans (4). Il s'agit donc d'une interprétation basée sur des données statistiques de l'ensemble des conditions météorologiques.

Les facteurs qui déterminent le climat et son changement sont d'origines météorologiques (comme la température, les précipitations, la pression atmosphérique, l'humidité) et géographiques (la latitude, l'altitude, les influences maritimes et l'impact anthropique). Il existe une variabilité naturelle du climat, qui se traduit en fluctuations périodiques autour d'une moyenne des paramètres mentionnés. Ces fluctuations restent relativement constantes au cours d'une période de quelques décennies et sont dues aux fluctuations des courants océaniques et des variations saisonnières des paramètres atmosphériques (4).

Selon les travaux d'Ouranos², on retrouve quatre régions climatiques au Québec : le climat arctique, le climat subarctique, le climat océanique et continental humide et, enfin, le climat continental humide (5) (figure 1).

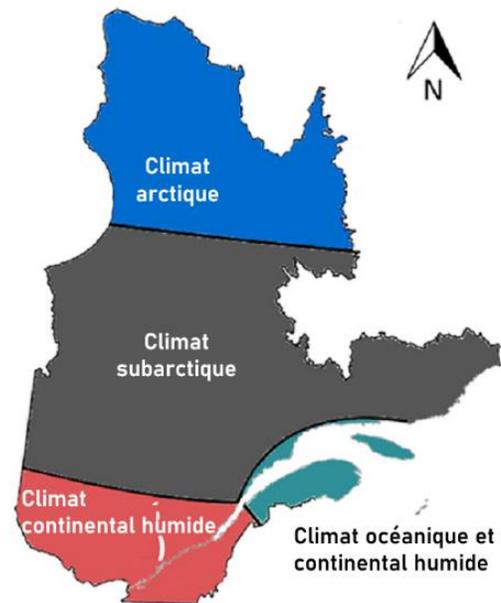


Figure 1 : Régions climatiques de la province de Québec (adaptation de Leveque et al., 2021)

² Ouranos, basé sur des connaissances scientifiques, agit en tant qu'organisme frontière favorisant la collaboration entre le milieu scientifique et les acteurs de l'adaptation aux changements climatiques au Québec, promouvant un leadership partagé et encourageant la contribution active de chacun aux solutions.

2.2. Les changements climatiques

Le terme **changements climatiques** se reporte à une altération des phénomènes climatiques dont l'amplitude dépasse la variabilité naturelle du climat et qui s'opère sur plusieurs décennies (4).

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié six rapports depuis sa création en 1988, afin de fournir des « évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socioéconomiques sur les changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies d'adaptation » (6). La quantité de données générées lors des dernières décennies et l'intérêt accru de la science pour les changements climatiques ont permis aux trois groupes de travail du GIEC d'éliminer les incertitudes concernant les origines et les effets des changements climatiques et de publier, dans les rapports les plus récents (en 2022 et en 2023), des faits indéniables.

2.2.1. L'origine des changements climatiques

Le sixième rapport du GIEC, publié en 2022, valide les hypothèses selon lesquelles l'origine des changements climatiques serait l'émission des **gaz à effet de serre** (GES) issus des activités humaines, comme l'industrie, le transport ou les habitudes de consommation. La quantité de GES émis depuis la révolution industrielle (de 1750 à 1850) a exercé un effet 50 fois plus puissant que les changements issus de la variabilité naturelle du rayonnement solaire (3).

Les GES, présents naturellement dans l'atmosphère, ont la particularité de pouvoir « encapsuler » la chaleur près de la surface terrestre en retenant le rayonnement infrarouge émis par la surface vers l'espace (7). Ces gaz sont essentiellement la vapeur d'eau (H₂O), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃). Bien que ces GES soient et aient toujours été présents dans l'atmosphère, l'utilisation prédominante des combustibles fossiles (charbon, pétrole, etc.) depuis la révolution industrielle a causé une émission importante et rapide de ces gaz (3). La longue durée de vie des GES entraîne leur accumulation et donc une augmentation de leur concentration dans l'atmosphère. Par conséquent, la chaleur accumulée sur la surface terrestre augmente également.

Afin de quantifier les émissions passées et futures de GES, la concentration en CO₂ est le premier indicateur utilisé dans différents suivis et modèles. Aujourd'hui, les plus récentes mesures documentent une concentration moyenne de 417 parties par millions (ppm) dans l'atmosphère, ce qui correspond à une augmentation de plus de 50 % par rapport à l'ère préindustrielle, et ce, de manière exponentielle depuis les années 1950 (8).

2.2.2. Les différents scénarios d'émission et les projections futures

Bien que l'augmentation de la concentration en GES dans l'atmosphère depuis l'ère préindustrielle soit un fait établi, l'évolution future des émissions comporte des incertitudes. En se fondant sur l'évolution des conditions socioéconomiques possibles, le GIEC considère cinq scénarios appelés **trajectoires communes d'évolutions socioéconomiques** (de l'anglais *Shared Socio-economic Pathways* - SSP). Les cinq SSP décrivent et catégorisent les habitudes de consommation, les comportements industriels et les priorités accordées au développement durable et au respect de l'environnement (1). Ainsi, le scénario le

plus optimiste (SSP1) prévoit des habitudes de vie et de consommation respectueuses de l'environnement et peu coûteuses en énergie, tandis que le scénario le plus pessimiste (SSP5) représente un développement conventionnel axé sur une croissance économique et une utilisation des combustibles fossiles (9).

Les prédictions des émissions des GES sont basées sur ces différents scénarios de SSP et de concentration de gaz (de l'anglais *Representative Concentration Pathways* - RCP). Par exemple, si l'on adopte un scénario favorable à l'environnement (SSP1), on émettra moins de gaz polluants que dans un scénario favorisant les combustibles fossiles (SSP5). Cependant, à l'intérieur d'un même scénario de développement (SSP), il est possible d'imaginer différentes ampleurs d'émissions de GES. Le scénario le plus pessimiste est désigné par le terme **RCP8.5**.

Il est important de mentionner aussi la période à laquelle ces prédictions se rapportent. Plus la période étudiée est éloignée, plus les prédictions deviennent incertaines. La plupart des modèles se concentrent sur ce qui pourrait se produire d'ici 2050, avec peu d'effets sur la variabilité des impacts. De plus, ce qui se produira d'ici 2050 est plus concret pour les décideurs, et les choix faits aujourd'hui auront des conséquences directes d'ici là. Afin d'exposer l'ampleur maximale possible des effets des changements climatiques sur les sources d'eau potable, et pour les raisons expliquées plus haut, seuls les impacts prévus pour le scénario le plus pessimiste (RCP8.5) et l'horizon 2050 sont considérés dans ce guide.

2.3. Les cycles hydrologiques et les types de sources d'eau potable

2.3.1. Le grand cycle de l'eau

Le grand cycle de l'eau (figure 2), également connu sous le nom de cycle hydrologique, est un processus naturel continu qui implique le déplacement de l'eau à travers différentes phases et différents réservoirs de la Terre. Appréhender ce cycle revêt une importance capitale, étant donné ses nombreuses implications dans la gestion de l'eau, la distribution d'eau potable, la préservation des ressources hydriques et la préservation de l'environnement. Voici une description simplifiée du cycle de l'eau :

1. **Évaporation** : Le cycle de l'eau commence par l'évaporation, où l'eau à la surface de la Terre (telle que les océans, les rivières, les lacs et les sols et milieux humides) est chauffée par le soleil et se transforme en vapeur d'eau gazeuse. Cette vapeur s'élève dans l'atmosphère.
2. **Condensation** : À mesure que la vapeur d'eau monte dans l'atmosphère, elle se refroidit et se condense pour former de minuscules gouttelettes d'eau ou des cristaux de glace. Ces gouttelettes se regroupent pour former des nuages.
3. **Précipitation** : Lorsque les nuages deviennent saturés et que les gouttelettes d'eau sont assez lourdes, elles tombent sous forme de précipitations. Cela peut se produire sous forme de pluie, de neige, de grésil ou de grêle, en fonction des conditions atmosphériques et de la température.
4. **Ruissellement et infiltration** : Une fois tombée au sol, l'eau des précipitations peut suivre deux voies principales. Une partie de l'eau ruisselle à la surface, formant des ruisseaux, des rivières et finalement des lacs ou des océans. Une autre partie s'infiltré dans le sol, rechargeant les **nappes phréatiques** et fournissant de l'eau à la végétation.

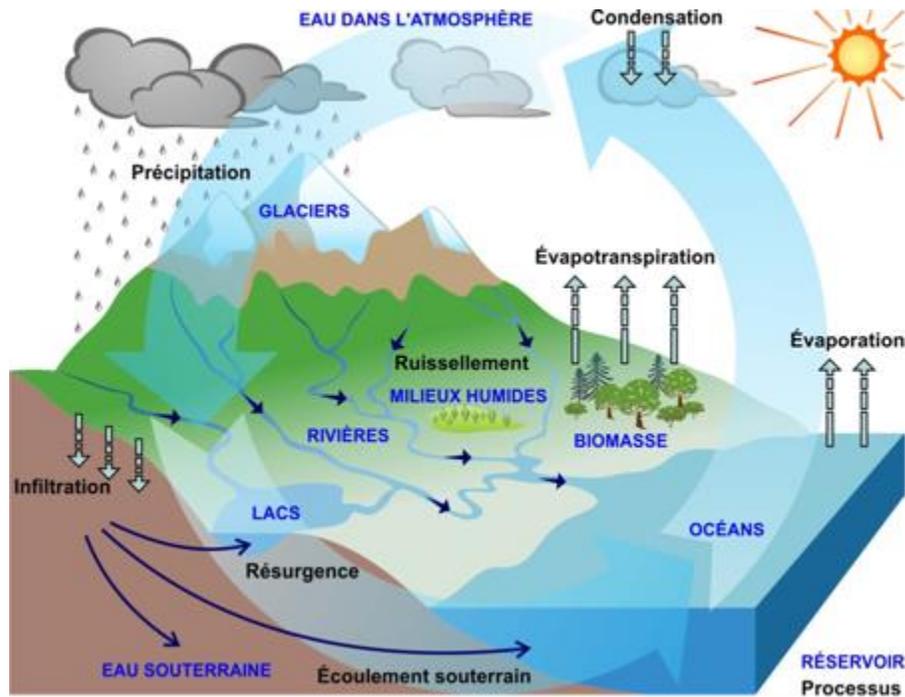


Figure 2 : Le cycle hydrologique (RQES)

5. **Résurgence** : Après avoir parcouru un chemin souterrain, une partie des eaux souterraines remonte à la surface. Ces points de remontée sont souvent répartis sur une large zone, créant des zones humides ou faisant s'écouler l'eau souterraine en bordure ou dans les cours d'eau.
6. **Écoulement souterrain** : L'eau se déplace à travers les couches du sol et les roches souterraines.
7. **Évapotranspiration** : Les plantes absorbent l'eau du sol par leurs racines et la libèrent par évapotranspiration sous forme de vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau est ensuite relâchée dans l'atmosphère.

Ce cycle se répète constamment à l'échelle planétaire, ce qui garantit un approvisionnement en eau vital pour les écosystèmes, les êtres humains et les activités industrielles.

2.3.2. Le petit cycle de l'eau

Le petit cycle de l'eau, également appelé cycle urbain de l'eau, est un composant du cycle hydrologique de l'eau et se rapporte aux processus spécifiques de déplacement de l'eau à l'échelle locale ou régionale, en particulier dans des environnements urbains ou communautaires. Il se distingue du cycle hydrologique global, qui englobe l'ensemble des processus de circulation de l'eau à l'échelle de la planète. Voici les principaux éléments du petit cycle de l'eau (figure 3) :

1. **Approvisionnement en eau potable** : Le petit cycle de l'eau commence par le prélèvement d'eau à partir de sources locales, telles que le fleuve, les rivières, les lacs ou les nappes phréatiques. L'eau prélevée est ensuite traitée pour la rendre potable. L'eau potable est distribuée aux

résidents, aux entreprises et aux institutions à des fins de consommation humaine ou de transformation alimentaire.

2. **Utilisation domestique et industrielle** : Les utilisateurs consomment l'eau pour divers usages, y compris l'hydratation, la cuisson, l'hygiène personnelle, l'irrigation, les processus industriels, etc. Cette étape du cycle de l'eau implique également la production d'eaux usées domestiques et industrielles.
3. **Collecte des eaux usées** : Les eaux usées générées par les activités humaines, y compris les eaux usées domestiques et industrielles, sont collectées à partir des résidences et des entreprises par l'entremise d'un réseau d'égouts. Ces eaux usées sont ensuite transportées vers des stations d'épuration pour y être traitées.
4. **Traitement des eaux usées** : Les stations d'épuration traitent les eaux usées pour éliminer les contaminants, les polluants et les agents pathogènes, rendant ainsi l'eau propre avant de la retourner dans l'environnement ou de la réutiliser à des fins non potables.
5. **Gestion des eaux pluviales** : Le petit cycle de l'eau prend également en compte la gestion des eaux pluviales dans un environnement urbain. Les systèmes de drainage pluvial recueillent et acheminent les eaux de pluie vers des canaux, des égouts pluviaux ou des bassins de rétention pour éviter les inondations ou les surverses et minimiser les impacts sur l'environnement et les milieux urbains.
6. **Retour à l'environnement** : Une fois que l'eau est traitée, elle peut être renvoyée dans l'environnement, généralement sous forme d'eau douce non potable, contribuant ainsi au maintien de l'équilibre écologique local.

Le petit cycle de l'eau est essentiel pour répondre aux besoins en eau des communautés urbaines et comprend aussi des aspects liés à la protection des sources d'eau potable, à l'assainissement, à la qualité de l'eau et à la gestion des eaux pluviales dans les zones urbaines.

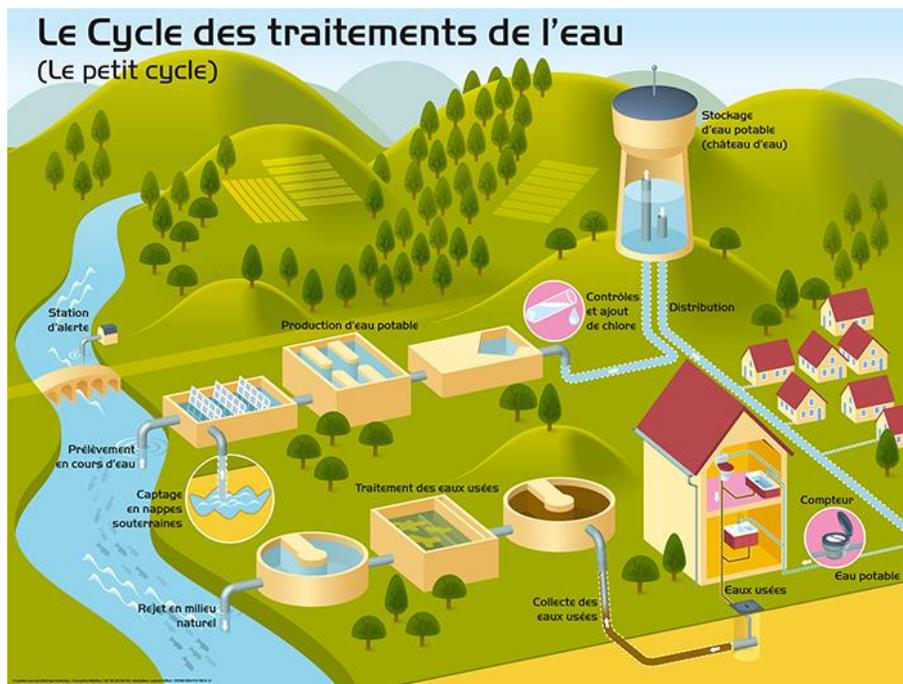


Figure 3 : Le petit cycle de l'eau (illustration tirée du site <https://www.nimes-metropole.fr>)

2.4. L'approche à barrières multiples

L'approche à barrières multiples dans la production d'eau potable consiste en un système intégré de procédures, de processus et d'outils de la source au robinet qui, collectivement, empêchent ou diminuent la contamination de l'eau potable afin de réduire les menaces pour la santé publique (10). Cette approche porte sur trois éléments majeurs : la protection des sources, le traitement de l'eau (incluant la compétence des opérateurs) et la distribution de l'eau potable (figure 4). Selon cette approche, si l'une des barrières fait défaut, les autres demeurent efficaces et prennent le relais pour assurer une eau potable de qualité.

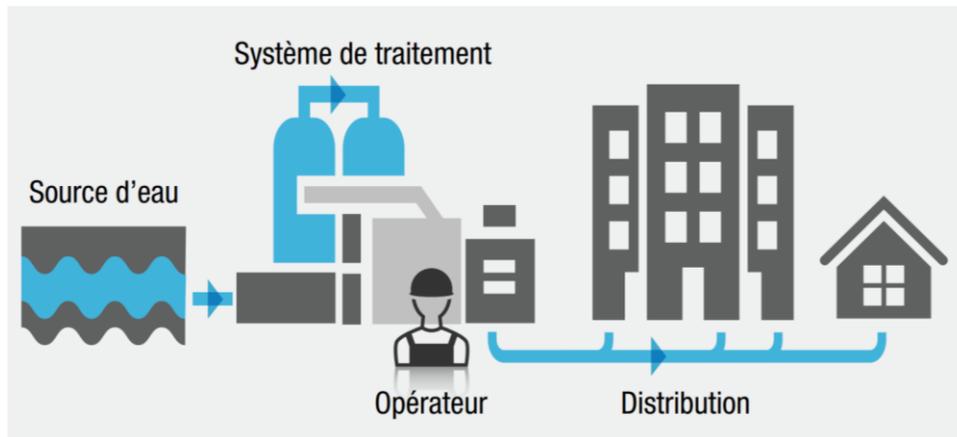


Figure 4 : L'approche à barrières multiples (illustration tirée de <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/depliant-exigences-elevees.pdf>)

Les avantages de cette approche, allant de la protection de la santé publique à une meilleure gestion des coûts, sont multiples.

Cependant, l'efficacité de l'approche à barrières multiples dépend de la préservation des sources d'eau, comme les bassins versants, par exemple. Cette étape cruciale, basée sur une gestion concertée des ressources, vise à prévenir la contamination dès l'origine, influençant la qualité des sources au fil du temps. La protection des sources, intégrant la résilience aux changements climatiques, exige une approche proactive et adaptable pour atténuer la pression sur les ressources en eau face aux impacts climatiques.

2.5. Les types de sources d'eau potable

Le terme « sources d'eau potable » désigne un milieu naturel à partir duquel l'eau est prélevée pour l'approvisionnement en eau potable.

Eaux de surface

Les sources d'eau potable de surface, notamment les rivières, les ruisseaux, le fleuve Saint-Laurent, les lacs et les réservoirs, sont cruciales pour l'approvisionnement en eau pour les municipalités au Québec. Cependant, du fait de leur proximité avec l'environnement extérieur, ces sources sont directement influencées par les variations climatiques, les changements saisonniers et les conditions météorologiques.

Eaux souterraines

L'eau souterraine résulte de l'infiltration de l'eau dans le sol et de son écoulement au travers de divers matériaux géologiques tels que roches et sédiments. Ce processus, qui peut s'étendre de quelques jours à plusieurs siècles, aboutit à la résurgence de l'eau souterraine dans les eaux de surface (p. ex., cours d'eau, lacs) ou dans les milieux humides.

L'eau pénètre le sol et se déplace dans des couches géologiques, appelées formations, qui possèdent une porosité variable, ce qui influence leur capacité à contenir et à laisser circuler l'eau. Les formations hautement perméables, telles que les dépôts de sable et de gravier ou de grès, facilitent le déplacement rapide d'importantes quantités d'eau, tandis que les formations moins perméables, comme l'argile, limitent le mouvement de l'eau en raison de pores plus petits et isolés.

Prélèvements d'eau hybrides

Dans le Règlement sur le prélèvement des eaux et de leur protection (RPEP) (11), l'encadrement pour la première barrière de protection de l'approche à barrières multiples, qui est la protection de la source, prévoit deux grandes classes de prélèvements d'eau selon qu'ils sont faits à partir d'eau de surface ou d'eau souterraine. Il s'agit d'une classification binaire qui considère que tous les prélèvements d'eau effectués sous la surface du sol font partie de la classe « eau souterraine ». Ce cadre ne contient donc pas d'exigences adaptées aux différentes particularités des contextes de prélèvements hybrides, comme les prélèvements d'eau souterraine en filtration sur berge (FSB).

Pour la barrière de protection liée au traitement de l'eau qui fait partie des barrières encadrées par le Règlement sur la qualité de l'eau potable (RQEP), il existe quatre grandes classes :

- eau souterraine sans contamination fécale;
- eau souterraine avec contamination fécale (article 6 du RQEP);
- eau souterraine dont la qualité microbiologique est susceptible d'être altérée par des eaux de surface, appelée communément ESSIDES (articles 5 et 5.1 du RQEP);
- eau de surface (articles 5 et 5.1 du RQEP).

Prélèvements d'eau en filtration sur berge

Un prélèvement d'eau en **filtration sur berge** (FSB) désigne un prélèvement hybride captant à la fois des eaux souterraines et des eaux de surface filtrées par les matériaux granulaires en berge d'un cours d'eau (figure 5). Ce type de prélèvement combine les avantages des prélèvements en eau de surface (quantité abondante) et ceux en eau souterraine (bonne qualité microbiologique). En fonction des matériaux qui la compose, la berge agit comme un « traitement naturel » de filtration des eaux de surface en plus d'être diluée par les eaux souterraines (12).

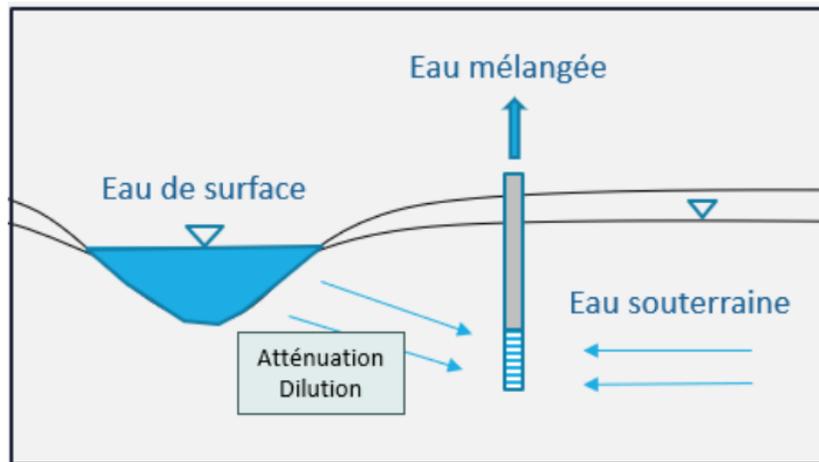


Figure 5 : Représentation schématique d'un prélèvement en filtration sur berge - tirée de la référence (11)

Les proportions d'eau souterraine captée et d'eau de surface filtrée par la berge varient en fonction du contexte hydrogéologique, de la distance entre le prélèvement et le cours d'eau, de la saison (niveau du cours d'eau) et des débits de pompage. La composition du mélange d'eau prélevé est donc variable dans le temps. Bien que les caractéristiques comme la distance entre le puits et le cours d'eau ou le plan d'eau, le type d'aquifère et la profondeur du site de prélèvement permettent d'anticiper le caractère FSB ou non d'un prélèvement, c'est un suivi géochimique et isotopique de l'eau prélevée qui permettrait de confirmer ce caractère (13). Actuellement, le MELCCFP ne fournit pas de directives officielles concernant la protection de ces sites de prélèvement, mais il est engagé dans des travaux de recherche visant à approfondir cette question.

Comparativement aux autres installations de prélèvement d'eau souterraine, les prélèvements en FSB seraient plus sensibles aux **changements hydroclimatiques**. Les changements climatiques entraîneront probablement une intensification du cycle de l'eau, avec des périodes de dégel plus précoces et des crues printanières plus fortes, ce qui augmentera les interactions saisonnières des sites en FSB avec les eaux de surface. De plus, on s'attend à ce que l'évolution des conditions climatiques provoque des périodes de sécheresse plus longues, affectant ainsi la direction et l'intensité des écoulements souterrains vers les sites en FSB (14; 12).

Dépendamment de la qualité microbiologique de l'eau brute prélevée, un prélèvement d'eau en FSB peut être classé pour l'application du RQEP dans l'une ou l'autre des catégories : *eau souterraine sans contamination fécale*, *eau souterraine avec contamination fécale* (article 6 du RQEP) ou *ESSIDES* (articles 5 et 5.1 du RQEP). Il n'y a pas de lien direct entre le caractère FSB d'un prélèvement d'eau et la classification du RQEP pour le niveau minimal de traitement.

Eaux souterraines sous influence directe des eaux de surface

Les eaux souterraines sous influence directe des eaux de surface (**ESSIDES**) sont des sources dont la qualité est susceptible d'être altérée par des eaux provenant de la surface (p. ex., les eaux s'infiltrant le long du tubage d'un puits ou les eaux s'infiltrant dans le sol jusqu'à un drain très peu profond), ou par des eaux provenant d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à proximité. Cette classification est fondée sur un protocole décrit dans le chapitre 6 (volume 1) du [Guide de conception des installations de production](#)

[d'eau potable \(gouv.qc.ca\)](http://gouv.qc.ca) (15) basé sur l'analyse des données microbiologiques à l'eau brute et sur l'évaluation de l'installation de prélèvement et des facteurs de risques inhérents à ce prélèvement (conception de l'installation, état de l'installation, risques environnants). Des installations de prélèvement d'eau souterraine très peu profondes comme des drains horizontaux, des puits de surface, des puits en mauvais état et des puits très près d'un cours d'eau, par exemple, sont davantage susceptibles d'être classées *ESSIDES*.

D'une part, les exigences du RQEP relatives au niveau du traitement pour les catégories *ESSIDES* et *eau de surface* sont les mêmes (articles 5 et 5.1 du RQEP). D'autre part, les exigences relatives au niveau de traitement pour la catégorie *eau souterraine avec contamination fécale* (article 6 du RQEP) sont différentes et spécifiques à cette catégorie. Pour la catégorie *eau souterraine sans contamination fécale*, il n'y a aucune exigence relative au niveau de traitement minimal. Différentes exigences relatives au suivi de la qualité de l'eau brute et de l'eau distribuée peuvent toutefois s'appliquer selon la situation (voir la section 4 du [Bilan de mise en œuvre du Règlement sur la qualité de l'eau potable 2013-2018 \(gouv.qc.ca\)](http://gouv.qc.ca) pour plus d'information).

En résumé, une installation de prélèvement d'eau souterraine classée *ESSIDES* est considérée comme une eau souterraine pour la barrière de protection de la source (RPEP), mais comme une eau de surface pour la barrière de traitement de l'eau (RQEP).

Les aléas climatiques qui ont des répercussions sur les eaux de surface, comme les précipitations abondantes et les crues, particulièrement lorsqu'elles causent des inondations, peuvent avoir des effets importants sur la qualité des *ESSIDES* prélevées et sur l'intégrité physique de ces installations de prélèvement.

3. Les aléas climatiques et leurs impacts sur les sources d'eau potable au Québec

3.1. Les aléas climatiques

Selon la définition retenue par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), un *aléa* est « un phénomène susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement » (16).

Les *aléas climatiques* considérés dans ce guide sont donc des phénomènes d'origine climatique qui pourraient causer une dégradation de l'environnement (qualité et quantité des eaux) ou des dommages aux biens (infrastructures de prélèvement et de distribution de l'eau potable). Ces aléas sont :

- une augmentation de la température de l'air;
- des précipitations extrêmes;
- des inondations;
- de l'érosion;
- des sécheresses;

- des feux de forêt;
- une modification des cycles de gel-dégel;
- une augmentation du niveau de la mer.

Augmentation de la température de l'air

Les sections précédentes ont introduit la conséquence directe de l'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère, soit le réchauffement de la température près de la surface terrestre. En effet, depuis l'ère préindustrielle, la température de l'air a augmenté de 1,09 °C à l'échelle de la planète (1). Ce réchauffement est plus important sur les continents et se manifeste davantage dans l'hémisphère nord (9).

D'ici 2050, il est prévu que la province de Québec connaisse une augmentation significative des températures (2; 5). Cette transformation climatique se traduira par plusieurs changements notables. Tout d'abord, comme il a été observé à quelques reprises lors des dernières années, nous assisterons à une hausse marquée des températures extrêmes, où l'augmentation annuelle moyenne des températures devrait être de plus en plus prononcée. Les étés seront caractérisés par une augmentation du nombre de jours chauds, où les thermomètres dépasseront la barre des 30 °C, ainsi que par une prolongation des vagues de chaleur. En conséquence, l'été s'annonce comme une période critique en matière de gestion de l'eau, car la fréquence et l'intensité des sécheresses pourraient augmenter (2; 17).

Précipitations extrêmes, inondation et érosion

L'évapotranspiration est un phénomène étroitement lié à la température atmosphérique, de sorte qu'une hausse de la température entraîne une augmentation de l'évapotranspiration. En outre, la capacité de l'atmosphère à contenir de la vapeur d'eau augmente avec la température, ce qui se traduit indirectement par une quantité accrue de vapeur d'eau dans l'atmosphère en raison du réchauffement climatique. Cette augmentation peut perturber le régime des précipitations, menant pour conséquence à l'apparition plus fréquente et plus intense de précipitations extrêmes (2). De plus, les précipitations extrêmes sont souvent accompagnées d'inondations et d'érosion.

Les projections climatiques indiquent un bouleversement des cycles de précipitations, engendrant des impacts multiples et variés. Ces changements affecteront non seulement le type de précipitations, mais aussi leur fréquence, leur saisonnalité, leur intensité et leur durée (2; 18). Les précipitations extrêmes deviendront plus fréquentes et plus intenses : on prévoit des augmentations significatives dans la quantité maximale annuelle de précipitations à travers toutes les régions du Québec. Par exemple, une quantité de précipitations associée à un maximum annuel observé tous les 20 ans pendant la période 1986-2005 pourrait réapparaître chaque 7 à 10 ans vers 2050, touchant l'ensemble de la province (5).

Sécheresses

La variation de la température de l'air et de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère entraîne un déséquilibre dans les régimes atmosphériques. Cette perturbation mène à une perte de régularité temporelle et spatiale dans la distribution des précipitations, qui se manifeste par une régionalisation et une saisonnalisation des événements extrêmes, tels que les précipitations intenses et les périodes de sécheresse (2). En somme, bien que la quantité totale de précipitations reçue dans une région puisse

rester constante, la répartition des précipitations devient de plus en plus inégale. Par conséquent, une même région peut connaître des inondations au printemps et des périodes de sécheresse sévères en été.

Feux de forêt

Les périodes de sécheresse survenant pendant de hautes températures estivales peuvent conduire de plus en plus à des feux de forêt. La perte de végétation qui en résulte perturbe le cycle de l'eau. En effet, les plantes absorbent la pluie et constituent une réserve jouant un rôle important dans la recharge des sources d'eau souterraine et d'eau de surface.

Modification des cycles de gel-dégel

Les changements de température de l'air vont altérer les cycles de gel-dégel, se traduisant par une réduction de la fréquence des températures extrêmement froides au cours des hivers au Québec (2). De plus, les températures minimales hivernales augmenteront davantage que les températures maximales : on prévoit (pour 2050) une hausse pouvant atteindre jusqu'à 10 °C de plus qu'aujourd'hui dans toute la province (2).

Augmentation du niveau de la mer

La fonte de la couverture de neige et de glace des régions polaires cause une augmentation du niveau de la mer. Selon la projection du GIEC basée sur un scénario de fortes émissions de GES, on prévoit une augmentation du niveau de la mer de 30 à 75 cm dans le golfe du Saint-Laurent d'ici 2050 (5).

3.2. Les impacts des aléas climatiques sur les sources d'eau potable

Les ressources en eau de surface ou souterraine sont intrinsèquement liées aux aléas climatiques. Les eaux de surface, exposées directement aux conditions météorologiques, voient leur qualité et leur disponibilité affectées par des phénomènes tels que les fortes pluies et la sécheresse, entraînant des variations dans la concentration de contaminants et le niveau d'eau, par exemple (19; 11). D'un autre côté, bien que les eaux souterraines ne soient pas directement exposées aux conditions à la surface, elles demeurent vulnérables aux effets climatiques, ayant une recharge affectée par les aléas climatiques (20; 21; 22; 23). Les eaux souterraines sous influence directe des eaux de surface (ESSIDES) sont particulièrement sensibles aux événements climatiques affectant les eaux de surface, tout comme les prélèvements d'eau en filtration sur berge (FSB) (24; 12).

Cependant, l'environnement du prélèvement d'eau a également une importance accrue, car il est à l'origine des polluants émis par certaines activités anthropiques ou certains événements qui auraient lieu dans les aires de protection (25). En zone urbaine, les sources d'eau font face à un double défi en raison de l'augmentation de la demande provenant de l'industrie et de la population, ainsi que de la contamination résultant d'une plus grande concentration des activités humaines. En milieu rural, les pratiques agricoles libèrent des substances contaminantes telles que les nitrites et les nitrates, certaines bactéries pathogènes, ou des pesticides, constituant des risques inhérents pour les sources d'eau. L'eau des sources d'eau souterraine et de surface est généralement de meilleure qualité dans un environnement forestier que dans les zones rurales ou urbaines (2). Dans un contexte forestier, les feux

de forêt, qui constituent fréquemment une menace importante pour les sources d'eau, engendrent des conséquences variables sur la qualité et la disponibilité de cette ressource, en fonction de la proximité des incendies par rapport aux cours d'eau, des méthodes de gestion des incendies et des caractéristiques géographiques locales. Finalement, les sources d'eau situées en milieu côtier sont sujettes aux impacts résultant de l'élévation du niveau de la mer.

Étant donné que les projections des impacts des changements climatiques varient fortement selon le climat, chaque climat du Québec est traité séparément dans les sections subséquentes (4. *Les projections pour les différents climats du Québec*). Quant aux types de sources et à l'environnement de la prise d'eau, les prochains paragraphes visent à résumer les facteurs clés de leur vulnérabilité aux changements climatiques selon les aléas présentés.

Les impacts de l'augmentation de la température de l'air sur les sources d'eau

Eaux de surface : Les sources d'eau de surface sont vulnérables aux conditions météorologiques, avec des variations de température influençant divers aspects, de la disponibilité en eau aux propriétés physico-chimiques et microbiologiques. L'augmentation de la température atmosphérique a non seulement des répercussions sur la température des eaux de surface, mais aussi sur leur structure thermique, ce qui a des implications directes sur la biodiversité aquatique. Ces changements climatiques entraînent une prolifération accrue de certaines espèces animales et végétales, ainsi qu'une solubilisation accrue des minéraux, modifiant dès lors la composition chimique de l'eau (26; 19).

De plus, les projections indiquent une diminution potentielle de la couverture de neige lors des prochaines décennies, ce qui donne des conséquences notables telles qu'une augmentation précoce du débit des rivières, contribuant ainsi à des crues plus fréquentes et intenses (27). Ces changements projetés accroissent la vulnérabilité aux inondations printanières des municipalités du Québec (5; 2; 28). Parallèlement, l'augmentation de la température de l'eau elle-même génère des changements spécifiques, tels que la diminution de l'oxygène dissous, la réduction du pH, la survie accrue de microorganismes pathogènes, la dissolution favorisée des contaminants et l'augmentation de la concentration en nitrites, en nitrates et en substances humiques (2; 8; 29; 30; 31; 32).

Eaux souterraines : Bien que les eaux souterraines ne soient pas directement influencées par les aléas climatiques, il est essentiel de reconnaître que leur disponibilité et leur qualité ne sont pas à l'abri des changements climatiques. Ces changements peuvent se manifester de manière décalée par rapport aux impacts observés en surface. La recharge printanière des eaux souterraines dépend fortement de facteurs tels que l'accumulation de neige hivernale et son moment de fonte, qui tend à se produire de plus en plus tôt et de façon moins uniforme (20).

Pour qu'une bonne quantité d'eau de fonte s'infilte correctement dans le sol, plusieurs conditions doivent être réunies, notamment le dégel du sol, sa non-saturation, une perméabilité adéquate et une pente modérée. Sans ces conditions, l'eau de fonte risque de s'écouler en surface au lieu de s'infiltrer dans le sol. L'augmentation des températures peut donc perturber ce processus en favorisant l'évaporation au détriment de l'infiltration (21).

Outre ces aspects, il est important de noter que l'augmentation de la température de l'air pourrait entraîner, à long terme, une augmentation de la température des eaux souterraines, ce qui aura

potentiellement des répercussions spécifiques telles qu'une éventuelle augmentation de la survie de microorganismes pathogènes et une possible diminution de la qualité des eaux souterraines (21; 2; 27; 29; 30; 31).

Les impacts des précipitations extrêmes, des inondations et de l'érosion sur les sources d'eau

Eaux de surface : La fréquence et l'intensité accrues des événements de précipitation auront également un impact significatif sur les ressources en eau en augmentant les risques d'inondation et de dégradation de la qualité des sources (2; 8; 33; 28). Au niveau global, les variations dans le régime de précipitation influencent le pH, la conductivité et la présence de contaminants microbiologiques dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs, mettant ainsi en danger la disponibilité en eau et exacerbant la concentration de contaminants par lessivage (19).

En milieu urbain, les conséquences de ces phénomènes sont particulièrement prononcées. La complexe interaction entre la réduction des surfaces perméables, l'augmentation du ruissellement, les températures élevées et la présence de contaminants d'origine humaine expose les sources d'eau potable à un risque élevé de contamination. Les infrastructures urbaines, notamment les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées, sont susceptibles de déborder en cas de gestion inadéquate des eaux pluviales (34; 35; 28).

Dans les milieux ruraux, le ruissellement accru, associé à l'érosion, constitue une source majeure de contamination des sources d'eau de surface. En effet, les précipitations intenses augmentent le risque de transport de matières en suspensions (MES), de matières fécales, de fertilisants et de pesticides vers les sources d'eau (36; 35).

Eaux souterraines : Les précipitations extrêmes, le lessivage, la mobilisation des contaminants et les inondations constituent des facteurs majeurs ayant des répercussions significatives sur les eaux souterraines, altérant à la fois leur qualité et leur quantité. Elles affectent particulièrement le transport et les charges de contaminants, exposant les eaux souterraines à des risques accrus de contamination microbiologique et chimique (34). En situation d'inondation, les eaux de surface contaminées sont en contact direct avec les eaux souterraines. Les prélèvements d'eau ESSIDES et ceux en filtration sur berge sont davantage affectés par cet aléa. Dans les milieux urbains, la complexité des infrastructures, combinée aux changements climatiques, accentue le risque de contamination des nappes phréatiques (34). En milieu rural, les épisodes de précipitations intenses augmentent le ruissellement, ce qui mobilise les matières fécales, les fertilisants et les pesticides qui s'infiltrent ensuite dans les sources d'eau souterraine. Cela engendre des risques de contamination et de dégradation de la qualité des sources d'eau potable, donnant lieu à des implications directes sur la santé publique et la sécurité de l'approvisionnement en eau (36; 29). En ce qui concerne la quantité d'eau souterraine, les précipitations extrêmes modifient le régime hydraulique des cours d'eau et la recharge des nappes phréatiques (2; 21).

Les impacts des sécheresses sur les sources d'eau

Eaux de surface : La réduction de la disponibilité de l'eau causée par les sécheresses diminue la capacité des cours d'eau, des lacs et des réservoirs à répondre à la demande en eau. Ainsi, le risque d'atteindre des niveaux d'eau critiques s'accroît, compromettant le fonctionnement optimal des prélèvements d'eau

de surface (11). Les sources d'eau en milieu urbain seront particulièrement vulnérables aux sécheresses en raison de la croissance continue de la demande en eau dans les années à venir (37).

Les périodes de sécheresse affectent non seulement la quantité d'eau disponible, mais réduisent également l'effet de dilution des cours d'eau. Cet impact, combiné à une dissolution accrue des minéraux due à des températures plus élevées, intensifie la concentration des contaminants, créant des problématiques significatives, particulièrement en été (29; 8). Dans des contextes ruraux et agricoles, une concentration plus élevée de polluants tels que l'azote et le phosphore pourrait être observée (2; 36). Cela peut conduire à la prolifération d'algues et de cyanobactéries dans les eaux de surface. De plus, les sécheresses peuvent entraîner une augmentation potentielle de l'utilisation d'herbicides en raison des changements climatiques (19).

Finalement, les sécheresses ont pour effet de réduire l'humidité du sol, ce qui entraîne une augmentation du ruissellement. En conséquence, les cours d'eau, les lacs et les réservoirs peuvent recevoir des quantités d'eau plus importantes lors des précipitations, car le sol, moins capable de retenir l'eau, mène davantage à un ruissellement immédiat. Ce phénomène peut avoir des conséquences sur la disponibilité et la qualité de l'eau dans ces sources, car le ruissellement peut transporter des contaminants du sol vers les sources d'eau, affectant ainsi la composition chimique de l'eau prélevée (2; 38).

Eaux souterraines : Les sécheresses exercent plusieurs effets néfastes sur les eaux souterraines. Tout d'abord, l'augmentation de la demande en eau pendant les périodes de sécheresse accroît la pression sur les réserves souterraines, entraînant une diminution de la disponibilité de la ressource. Ensuite, la période de recharge des nappes phréatiques est altérée, compromettant leur capacité à se réapprovisionner. Cela se traduit par des niveaux de nappes plus bas pendant certaines périodes, ce qui a un effet sur la stabilité des ressources en eau souterraine (2; 37).

En période d'étiage, la résurgence des eaux souterraines dans les cours d'eau assure l'entièreté de leur débit. Les épisodes de sécheresse intensifient le phénomène d'étiage des cours d'eau. Les nappes plus basses contribuent à des périodes d'étiage des cours d'eau plus intenses, affectant la disponibilité de l'eau dans ces environnements aquatiques (39).

Les impacts des feux de forêt sur les sources d'eau

Eaux de surface : Les feux de forêt représentent une menace, particulièrement dans les milieux forestiers, et ils ont des impacts substantiels sur les sources d'eau. À court terme, ces incendies engendrent une augmentation de la température des rivières et des lacs, induisant des changements immédiats dans les écosystèmes aquatiques (2). De plus, les contaminants provenant des feux et de leur gestion altèrent la qualité de l'eau, ce qui donne lieu à une élévation du pH, de la concentration moyenne de carbone organique dissous, du phosphore et de l'azote (2).

Les cours d'eau subissent diverses répercussions; notamment, l'impact sur les régimes hydriques, engendré par une augmentation des débits annuels et des débits maximaux saisonniers, perturbe l'équilibre naturel des écosystèmes aquatiques (40).

Un impact significatif se manifeste également par une augmentation annuelle des charges de sédiments et des débits de pointe des rivières, ainsi que par la libération de contaminants provenant des

infrastructures humaines brûlées (2; 40). Ce changement s'explique en partie par la réduction de la capacité des sols forestiers brûlés à retenir les précipitations, entraînant ainsi une déviation de l'écoulement de l'eau qui, normalement, serait absorbée par la végétation. La mobilisation des cendres vers les sources d'eau de surface aggrave également les problèmes, transformant ces résidus en contaminants potentiellement nuisibles une fois libérés dans l'environnement aquatique (40).

Eaux souterraines : La réduction de la capacité d'absorption des sols par la végétation altérée par les incendies pourrait entraîner des changements dans les régimes d'infiltration et potentiellement affecter la recharge des nappes phréatiques. Les cendres issues des feux de forêt, une fois mobilisées, peuvent également devenir des contaminants potentiels pour les eaux souterraines. Néanmoins, en raison du manque de recherches approfondies, comprendre précisément ces impacts sur les eaux souterraines reste un domaine nécessitant une attention accrue.

Les impacts de la modification des cycles gel-dégel sur les sources d'eau

Eaux de surface : Les périodes de redoux induites par des températures hivernales plus élevées ont des conséquences directes sur les cours d'eau, altérant les débits en hiver et au printemps et menant à une augmentation possible de ces derniers (2; 18; 27). Ces altérations de la saisonnalité des débits perturbent l'équilibre hydrologique naturel des cours d'eau (41). La formation de frasils ou d'embâcles, phénomènes associés aux périodes de gel, peut également causer des dommages significatifs aux infrastructures de prélèvement d'eau de surface. Par ailleurs, la possibilité d'une augmentation de la teneur en oxygène dissous en hiver et au printemps est un autre aspect à considérer (8). Cette variation potentielle peut influencer la dynamique des écosystèmes aquatiques et la qualité de l'eau dans ces saisons cruciales.

Eaux souterraines : Les températures hivernales plus élevées influent sur les eaux souterraines de plusieurs manières. Les épisodes de redoux peuvent augmenter la recharge des eaux souterraines, lorsque les sols sous-jacents ne sont pas gelés; sinon, il y aura plutôt ruissellement (2; 21). Ce phénomène conduit ensuite à une augmentation de l'alimentation des cours d'eau au printemps et à l'été grâce à la résurgence des eaux souterraines, contribuant ainsi aux débits saisonniers des cours d'eau (27).

Les impacts de l'augmentation du niveau de la mer sur les sources d'eau

Eaux de surface : Outre les dangers physiques tels que l'érosion et les inondations auxquels font face les municipalités côtières, l'infiltration de l'eau de mer présente le risque d'accentuer la salinité des masses d'eau continentales, y compris les eaux de surface. À l'heure actuelle, la salinité de l'eau du Saint-Laurent s'étend jusqu'à la pointe est de l'île d'Orléans, formant une zone frontale saline. Dû à l'augmentation du niveau de la mer, cette salinité pourrait migrer vers l'amont du fleuve, affectant ainsi certaines sources d'eau potable dans la région de la Capitale-Nationale. Cela pourrait entraîner une minéralisation et une salinisation accrues des eaux douces, en particulier dans les zones côtières, représentant un défi potentiel pour la qualité des ressources en eau et leurs disponibilités (2; 8; 42).

Eaux souterraines : La montée du niveau des eaux dans l'estuaire du Saint-Laurent induit l'intrusion des eaux salines du fleuve dans les eaux souterraines, entraînant ainsi la contamination des ressources souterraines et des puits artésiens dans certaines zones côtières (43; 22; 23). Dans ces zones côtières, la diminution de la recharge des eaux souterraines, conjuguée à une surexploitation, peut conduire à la

salinisation des sources d'eau souterraine. Ce phénomène restreint également les débits de résurgence d'eau douce souterraine (36; 44).

De plus, outre la demande croissante en eau potable, les sources d'eau potable souterraines en milieu côtier pourraient subir des variations de disponibilité et de qualité en raison de phénomènes liés aux changements climatiques, tels que les précipitations, les températures, l'augmentation du niveau de la mer et l'érosion côtière. Ces éléments pourraient provoquer des fluctuations du niveau de la nappe phréatique, altérant la zone d'eau douce et affectant ainsi les volumes d'eau exploitables (44).

La figure 6 schématise les aléas climatiques, leurs impacts sur les ressources en eau et leur interdépendance. Bien qu'il existe d'autres aléas climatiques et des liens plus complexes, l'illustration se limite aux liens les plus importants du point de vue de la gestion des ressources en eau. De plus, le tableau 1 résume tous les impacts mentionnés dans les paragraphes précédents.

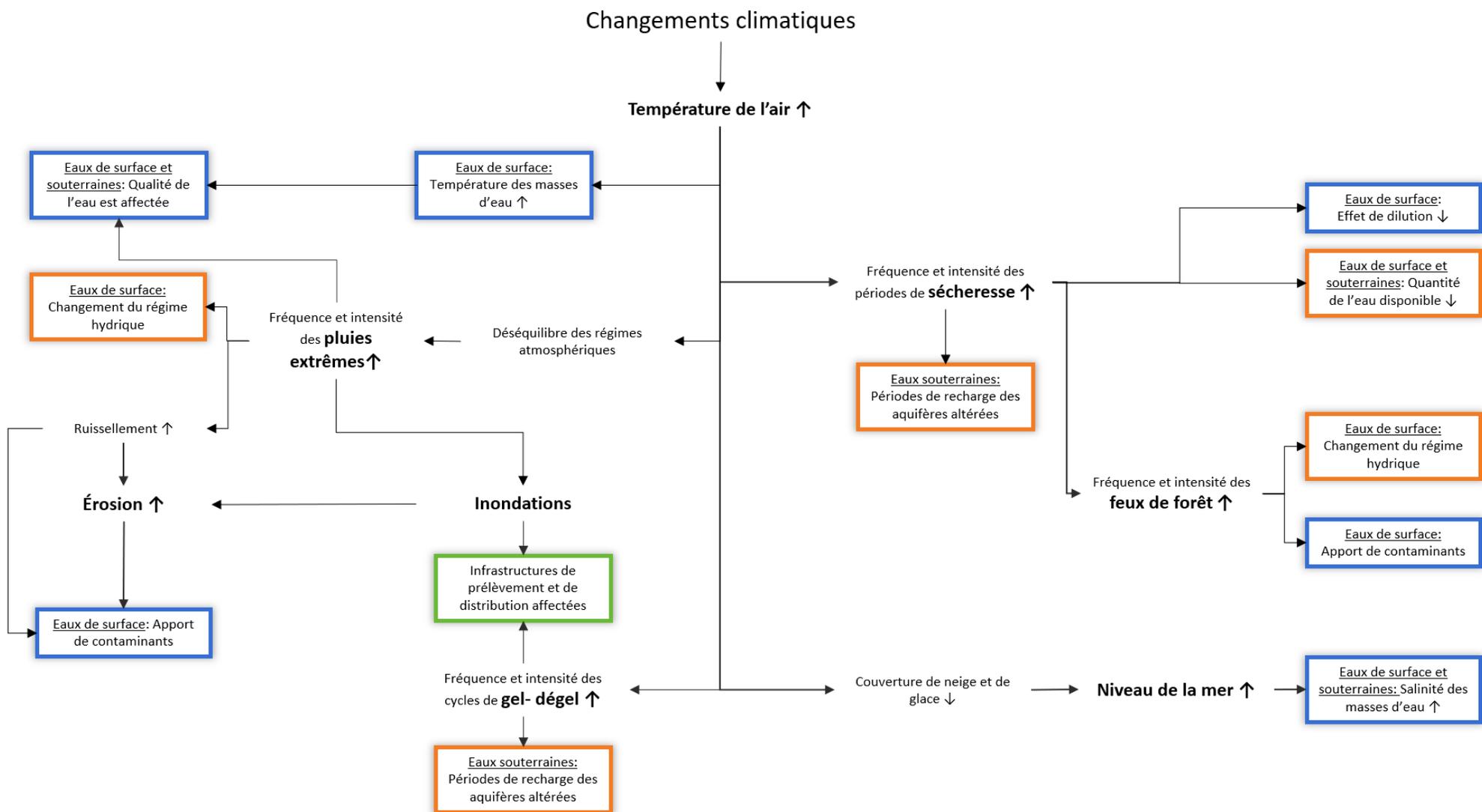


Figure 6 : Représentation simplifiée des causes et des conséquences des aléas climatiques ayant des impacts directs sur les sources d'eau potable. Les termes en **gras** sont les aléas considérés dans le présent guide, les encadrés **bleus**, **orange** et **verts** désignent respectivement les impacts sur la **qualité de l'eau**, la **quantité de l'eau** et l'**infrastructure**.

Les préoccupations et impacts que connaissent les municipalités québécoises

Selon une étude réalisée en 2006 par l'INSPQ sur la perception des impacts des changements climatiques par les gestionnaires municipaux, certains gestionnaires municipaux avaient déjà remarqué une hausse des températures se manifestant par des redoux et des pluies en hiver, mais cela ne faisait pas consensus parmi les gestionnaires consultés (45). Par contre, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes avait été perçue par la majorité des participants. Les événements alors mentionnés par les gestionnaires étaient les vagues de chaleur, les pluies diluviennes, le verglas et les fluctuations importantes de températures. Lors de cette étude, les impacts des changements climatiques sur les infrastructures liées à la gestion de l'eau étaient ressortis comme étant la première préoccupation des représentants municipaux, tandis que les impacts sur la qualité et la quantité de l'eau inquiétaient à moindre mesure les participants (45).

Depuis l'étude de 2006 et après que l'on ait réalisé la première analyse de vulnérabilité des sources d'eau potable, la tendance s'est inversée. En 2022, une enquête menée auprès de 139 responsables municipaux révèle un changement dans les perspectives et les préoccupations des gestionnaires municipaux face aux conséquences des changements climatiques sur les ressources en eau potable (46). Cette enquête démontre que la qualité de l'eau potable et les infrastructures de prélèvement ont été affectées par les changements climatiques dans 80 % des cas. Les événements extrêmes les plus fréquemment mentionnés étaient les sécheresses (50 %) et les pluies intenses (57 %). Selon les perceptions documentées, les sources d'eau de surface ont subi une dégradation de la qualité de l'eau se traduisant par une augmentation de la turbidité et de la contamination microbiologique dans la plupart des municipalités sondées. Pour les eaux souterraines, les répondants ont signalé une disponibilité limitée de la ressource et des pénuries d'eau entraînant des répercussions sur l'approvisionnement. Les tempêtes et les pluies intenses ont également eu des conséquences physiques sur les installations de prélèvement, indépendamment du type de source d'eau (de surface ou souterraine).

Tableau récapitulatif

Le tableau 1 recense les impacts généraux des aléas climatiques sur les sources d'eau potable. Selon la littérature consultée, ces impacts peuvent survenir dans les quatre climats du Québec. Les sections subséquentes traitent des particularités de chaque climat en exposant les aléas et les impacts s'appliquant à chaque région.

Afin de simplifier la description des impacts des changements climatiques sur les sources d'eau potable, dans la suite de ce guide, les types de sources mentionnés dans la section 2.5. sont regroupés en deux catégories en fonction de leur exposition directe ou indirecte aux risques : les eaux de surface et les eaux souterraines. Selon les spécificités des sources d'eau, une combinaison unique des impacts décrits pourrait être appliquée.

Tableau 1 : Impacts des aléas climatiques sur les sources d'eau potable au Québec

Type de source	Augmentation de la température de l'air	Augmentation de l'intensité et de la fréquence des pluies et des inondations	Raccourcissement des périodes de gel et augmentation de la fréquence des cycles de gel-dégel	Augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses	Augmentation du niveau de la mer	Augmentation des fréquences des feux de forêt
Eaux de surface	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la température de l'eau (2) - Diminution de la quantité de l'oxygène dissous, favorisant la prolifération des cyanobactéries (2; 8; 29) - Réduction du pH (2; 29; 8) - Augmentation de la survie de certains microorganismes pathogènes (30; 29; 31) - Dissolution favorisée des contaminants (phosphores, azote, COT) (8) (29) - Augmentation de la concentration en nitrites et nitrates (29) - Dégradation accrue de la matière organique naturelle (2; 30; 8; 31) - Hausse de la concentration des substances humiques (responsables de la couleur et l'odeur) dans les eaux de surface (32) 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du ruissellement et de l'érosion (8; 38) - Facilitation du transport des contaminants, surtout ceux issus des sources diffuses (2; 29; 31; 47) - Augmentation de la turbidité, de la couleur et des matières en suspension (2; 8; 29; 28; 38) - Débordement possible des réseaux d'égout unitaires lors des pluies intenses (28) 	<ul style="list-style-type: none"> - Altération du débit des cours d'eau en hiver et au printemps, avec possibilité d'augmentations (2; 18; 27) - Altération de la saisonnalité des débits (41) - Augmentation possible de la teneur en oxygène dissous en hiver et au printemps (8) 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la demande en eau (37) - Diminution de la quantité de l'eau disponible (2; 37) - Diminution de l'humidité du sol et augmentation du ruissellement (2; 38) - Diminution de l'effet de dilution, et donc augmentation de la concentration des contaminants (2) 	<ul style="list-style-type: none"> - Minéralisation et salinisation plus importante des eaux douces (en région côtière) (2; 8) 	<ul style="list-style-type: none"> - Affectation des régimes hydriques (augmentation des débits annuels et des débits maximaux saisonniers) et des ruissellements (40) - Apport plus important des contaminants (phosphore, sédiments, carbone organique total et dissout) (40)
Eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la survie de certains microorganismes pathogènes (30; 29; 31) - Diminution possible de la qualité des eaux souterraines (2) - Augmentation de la recharge de décembre à mars et diminution de mai à novembre (21; 27) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lessivage des contaminants dans les nappes phréatiques (selon l'environnement de la prise d'eau - pesticides, nitrites, nitrates, métaux, etc.) (2; 29) - Augmentation des apports souterrains aux cours d'eau (2) - Probabilité plus élevée de transfert des contaminants pathogènes (29; 31) - Augmentation de la recharge annuelle s'il y a une augmentation significative de précipitation annuelle (>150 mm/an) (21) 	<ul style="list-style-type: none"> - Recharge potentiellement plus importante des aquifères lors des périodes froides (2; 21) - Augmentation de l'alimentation des cours d'eau au printemps et à l'été (27) par résurgence des eaux souterraines 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la demande en eau (37) - Altération de la période de recharge (37) - Diminution du niveau des nappes dans certaines périodes (2; 37) - Intensification des épisodes d'étiage des cours d'eau due aux nappes plus basses (39) 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de la salinité des eaux souterraines (à proximité des côtes) (2; 8; 42) 	<i>Information non disponible</i>
FSB et ESSIDES	<p><i>La nature hybride des sources FSB et ESSIDES les rend sujettes aux impacts observés à la fois pour les eaux de surface et les eaux souterraines. Cependant, il est courant que ces impacts soient relativement atténués par rapport à d'autres sources de prélèvement. Ce qui varie considérablement d'un cas à l'autre, c'est principalement la proportion d'eau souterraine prélevée par rapport à l'eau de surface; chaque installation de prélèvement est ainsi unique. Il est cependant important de souligner que les inondations ont un impact significatif dans ce contexte.</i></p>					

4. Les projections pour les différents climats du Québec

4.1. Climat arctique et climat subarctique

4.1.1. Les changements attendus pour le climat arctique et le climat subarctique

Selon les projections, la température moyenne hivernale pourrait augmenter de 10 °C d'ici 2050 (2). Ce réchauffement pourrait conduire à des modifications systématiques de la saisonnalité des rivières dominées par la fonte des neiges : puisque celle-ci survient plus tôt dans l'année, cela pourrait mener à de forts débits, voire à des inondations plus fréquentes (41; 2). De plus, la quantité et la fréquence des précipitations automnales vont augmenter (2; 5). Cette augmentation est plus importante pour le climat arctique et subarctique que pour ceux du sud de la province (5). Il est prévu, pour le climat arctique, que la quantité d'eau diminue lors des sécheresses estivales (40). Le tableau 2 résume ces changements principaux pour le climat arctique et subarctique.

Tableau 2 : Évolution des aléas climatiques - climats arctique et subarctique

Les aléas climatiques		Climat arctique		Climat subarctique	
Légende :		Hiver / Printemps (de décembre à mai)	Été / Automne (de juin à octobre)	Hiver / Printemps (de décembre à mai)	Été / Automne (de juin à octobre)
↑ augmentation	↓ diminution				
↑↑ augmentation importante	↓↓ diminution importante				
0 pas de changement	NA non applicable				
	ND données non disponibles				
Précipitations					
Précipitations sous forme de neige		↑	NA	↑	NA
Précipitations totales		↑	↑↑	↑	↑
Pluies intenses		NA	↑↑	↑	↑
Température					
Températures saisonnières		↑↑	↑↑	↑	↑↑
Températures minimales		↑↑	NA	↑↑	ND
Températures maximales		NA	↑	ND	↑
Longueur moyenne des vagues de chaleur		NA	NA	NA	↑
Longueur de la période de gel		↓	NA	↓	NA
Cycles de gel-dégel (intensité et fréquence)		↑	↓	↑	↓
Variations du débit des cours d'eau					
Débits maximaux journaliers		↑	↑	↑ / ↓ dépendamment de la localisation	↑↑ / ↑ / ↓ dépendamment de la localisation
Débits moyens		↑	↑	↑	↑ / ↓
Inondations		↑↑	↑↑	↑↑	↑
Sécheresse		↓↓	↑↑	↓↓	↑↑
Autres impacts					
Fonte du pergélisol		NA	↑↑	NA	↑↑
Radiation UV		↓	↓	↓	↓
Évapotranspiration		NA	↑	NA	↑
Feux de forêt		NA	↑↑	NA	↑↑

4.1.2. Les impacts attendus pour les climats arctique et subarctique

L'ampleur du réchauffement de l'atmosphère pour les climats arctique et subarctique sera plus importante que pour les autres climats au Québec (2; 40). En conséquence, les impacts des aléas présentés auparavant s'avèreront plus importants dans ces régions. Entre autres, l'importante couverture de neige et de glace dans cette région s'amincira jusqu'à disparaître à certains endroits. Le réchauffement plus important aura également une incidence sur le *pergélisol*, qui pourrait également fondre. La fonte du pergélisol pourrait entraîner la libération des contaminants contenus dans le sol (p. ex., matières organiques naturelles, métaux lourds), qui pourraient rejoindre les sources d'eau potable, surtout à la suite d'événements de pluies intenses et d'écoulement plus accru en surface (40; 2). Ce risque concerne à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines. Ces dernières pourraient également voir les chemins préférentiels d'écoulement et d'infiltration modifiés. Cependant, puisque la contamination est dépendante de la localisation des sources, il est difficile de connaître avec certitude le type et la quantité de contaminants qui pourraient se libérer. Le dégel du sol a également un impact positif sur sa perméabilisation : des sols dégelés, donc plus perméables, permettent une recharge des nappes plus importante (2).

On prévoit aussi une augmentation des débits moyens des rivières au printemps et en automne dans le nord du Québec pour l'horizon 2050 (5). Cependant, les variations des débits maximaux journaliers dépendent de la localisation (2). En effet, certaines régions verront augmenter les débits, tandis que d'autres les verront diminuer. Globalement, le risque d'inondation augmentera, ainsi que la fréquence et l'ampleur des sécheresses. Selon les projections, l'ampleur des inondations sera plus grande dans les régions nordiques (climats arctique et subarctique) (2).

La figure 7 illustre les impacts mentionnés pour le climat arctique et subarctique.

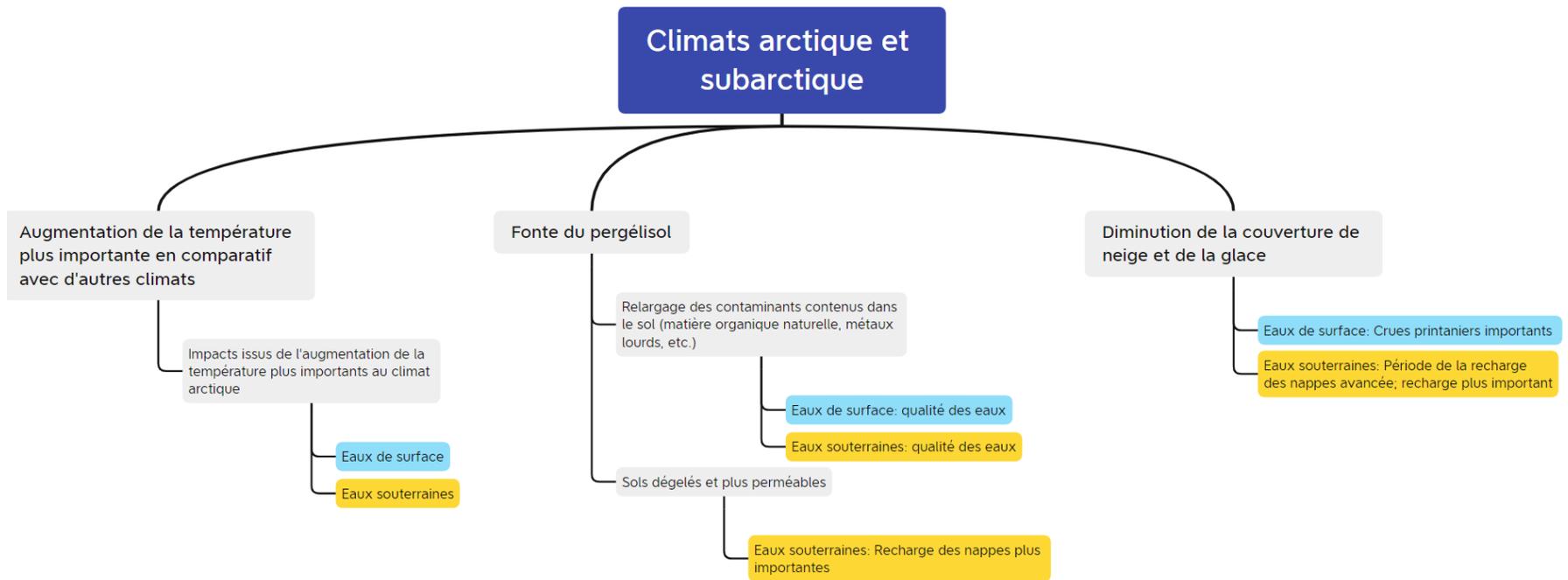


Figure 7 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable des climats arctique et subarctique

4.2. Climat continental humide

4.2.1. Les changements attendus pour le climat continental humide

Selon les projections, il est prévu que la période de gel sera réduite de 2 à 5 semaines par an (2). Cette diminution sera accompagnée d'une baisse des précipitations sous forme de neige, tandis que les précipitations sous forme de pluie en hiver augmenteront, tout comme les débits printaniers. En revanche, les débits estivaux connaîtront une diminution. Le tableau 3 résume les changements principaux attendus pour le climat continental humide.

Tableau 3: Évolution des aléas climatiques - climat continental humide

Les aléas climatiques		Climat continental humide	
Légende : ↑ augmentation ↑↑ augmentation importante 0 pas de changement		↓ diminution ↓↓ diminution importante NA non applicable ND données non disponibles	
		Hiver / Printemps (de décembre à mai)	Été / Automne (de juin à octobre)
Précipitations			
Précipitations sous forme de neige		↓	NA
Précipitations totales		↑	0
Pluies intenses		↑	↑
Température			
Températures saisonnières		↑	↑
Températures minimales		↑↑	ND
Températures maximales		ND	↑
Longueur moyenne des vagues de chaleur		NA	↑
Longueur de la période de gel		↓	NA
Cycles de gel-dégel (intensité et fréquence)		↑	↓
Variations aux débits des cours d'eau			
Débits maximaux journaliers		↑	↓↓
Débits moyens		↑	↓
Inondations		↑↑	↑
Sécheresse		↓↓	↑↑
Autres impacts			
Fonte du pergélisol		NA	NA
Radiation UV		↓	↓
Évapotranspiration		ND	↑
Feux de forêt		ND	↑

4.2.2. Les impacts attendus pour le climat continental humide

Il est prévu que l'augmentation des températures ait un impact accru sur les sécheresses et le manque d'eau, qui seront plus intenses pour le climat continental humide que dans les régions nordiques de la province (2). Cela sera exacerbé par une demande en eau croissante pour les activités humaines. Les débits printaniers des cours d'eau augmenteront, tandis que les débits estivaux diminueront (5). Les changements climatiques entraîneront également une augmentation des événements d'inondation, de sécheresses et de vagues de chaleur. De plus, il y aura une plus grande probabilité de feux de forêt, ce qui pourrait affecter la qualité de l'eau, les installations de prélèvement et de traitement, ainsi que les débits maximaux (40).

Les régions densément peuplées seront plus exposées aux inondations, ce qui présente un risque de débordement des réseaux d'eaux usées et de contamination des sources. En outre, le temps plus sec provoquera une accumulation de sédiments dans le système d'assainissement, entraînant une augmentation des niveaux de contaminants et une concentration accrue lors de périodes de précipitations intenses (2).

Les changements significatifs futurs de la recharge des nappes dépendent de l'équilibre entre les gains en hiver et les pertes le reste de l'année. Des températures plus chaudes en hiver augmentent la disponibilité d'eau liquide, favorisant la recharge durant cette période à condition que les sols sous-jacents ne soient pas gelés; sinon, le ruissellement pourrait être favorisé. Cependant, des températures plus chaudes le reste de l'année réduisent la quantité d'eau disponible pour la recharge. Ainsi, les changements annuels de la recharge dépendent de la capacité de l'augmentation en hiver à compenser la diminution le reste de l'année (20). La fonte des neiges plus précoce, généralement en mars-avril, modifiera la période de recharge des nappes phréatiques. Ces changements auront des répercussions significatives sur la disponibilité de l'eau et sur la gestion des ressources hydriques dans les régions concernées; cependant, les effets seront moins marqués pour les eaux souterraines que pour les eaux de surface (2).

La figure 8 présente les impacts principaux observés pour le climat continental humide.

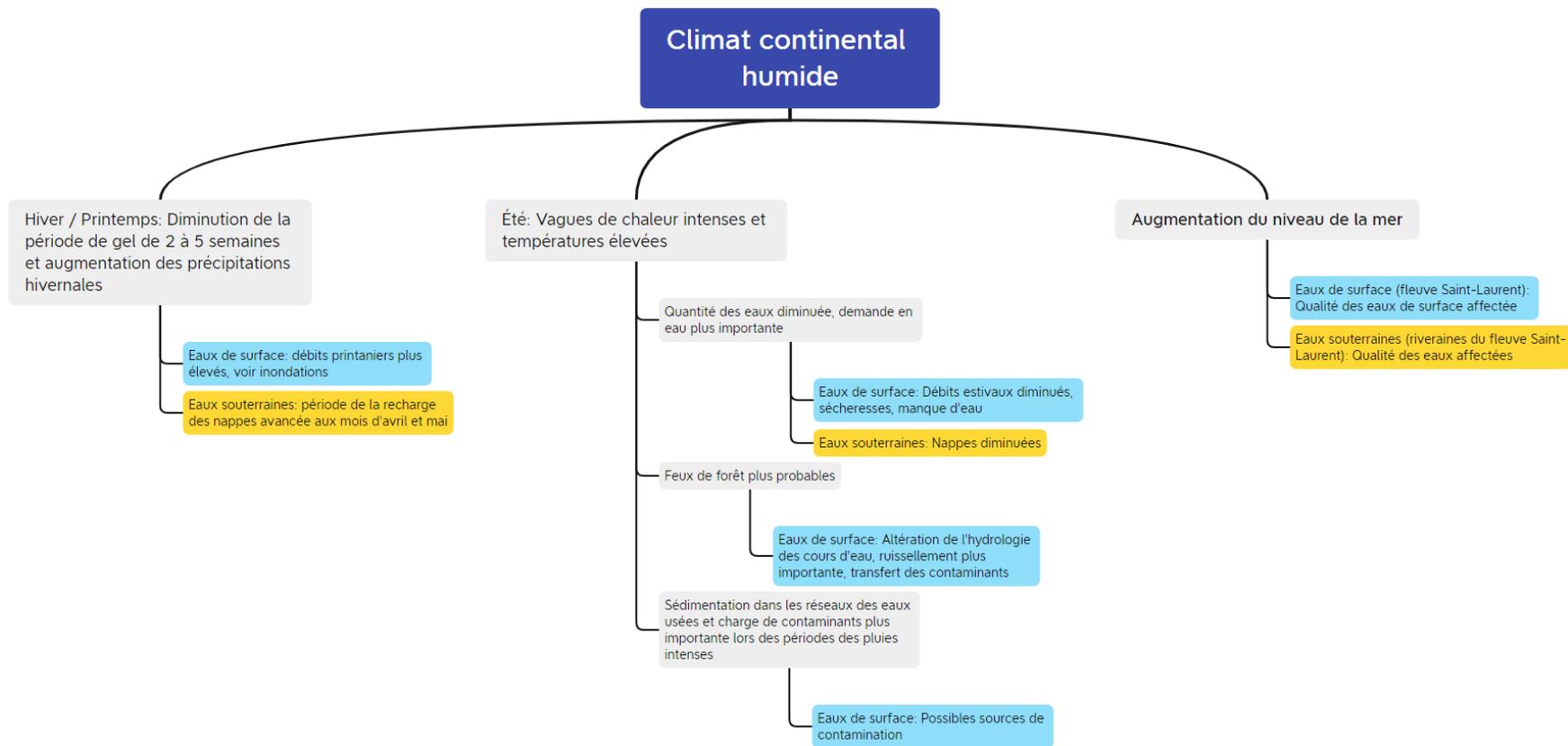


Figure 8 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable du climat continental humide

4.3. Climat océanique et continental humide

4.3.1. Les changements attendus pour le climat océanique et continental humide

Selon les projections, tout comme pour le climat continental, il est prévu que la période de gel sera réduite de 2 à 5 semaines par an (2). Cette diminution sera accompagnée d'une baisse de l'équivalent en eau de neige, tandis que les précipitations totales en hiver augmenteront, tout comme les débits printaniers, particulièrement pour le climat océanique et continental humide. En revanche, les débits estivaux connaîtront une diminution. Le tableau 4 résume les changements principaux attendus pour le climat océanique et continental humide.

Tableau 4 : Évolution des aléas climatiques – climat océanique et continental humide

Les aléas climatiques		Climat océanique et continental humide	
Légende :		Hiver / Printemps (de décembre à mai)	Été / Automne (de juin à octobre)
↑ augmentation	↓ diminution		
↑↑ augmentation importante	↓↓ diminution importante		
0 pas de changement	NA non applicable		
	ND données non disponibles		
Précipitations			
Précipitations sous forme de neige		↓	NA
Précipitations totales		↑	0
Pluies intenses		↑	↑↑
Température			
Températures saisonnières		↑	↑
Températures minimales		↑↑	ND
Températures maximales		ND	↑
Longueur moyenne des vagues de chaleur		NA	↑
Longueur de la période de gel		↓	NA
Cycles de gel-dégel (intensité et fréquence)		↑	↓
Variations aux débits des cours d'eau			
Débits maximaux journaliers		↓	↑↑
Débits moyens		↑	↓
Inondations		↑↑	↑
Sécheresse		↓↓	↑↑
Autres impacts			
Fonte du pergélisol		NA	NA
Radiation UV		↓	↓
Évapotranspiration		ND	↑
Feux de forêt		ND	↑

4.3.2. Les impacts attendus pour le climat océanique et continental humide

L'augmentation du niveau de la mer sera l'une des préoccupations majeures dans ce contexte climatique, pouvant affecter la qualité des eaux de surface et souterraines. Cependant, d'autres conséquences des changements climatiques pourraient compenser cet effet, comme la fonte des glaces et des neiges qui diluerait la salinité provenant de la mer (2). Dans un climat océanique et continental humide, la vulnérabilité des sources d'eau potable est également accrue en raison de l'augmentation de la demande en eau induite par la hausse des températures, tant de la part de l'industrie que de l'agriculture et de la population. Par conséquent, il existe un risque croissant de pénurie d'eau (2).

Pour la plupart des rivières du sud du Québec, on prévoit une diminution des débits moyens durant l'été, le printemps et l'automne, bien que les pluies intenses en automne et en été entraîneront une augmentation des débits maximaux pendant ces saisons (5). Cela entraînera un risque accru d'inondation, qui pourrait être exacerbé par les changements dans l'occupation des sols, tels que l'urbanisation et l'agriculture intensive (2).

Les changements significatifs dans la recharge des nappes phréatiques dépendront de l'équilibre entre les gains en hiver et les pertes pendant le reste de l'année. Des températures plus chaudes en hiver augmenteront la disponibilité d'eau liquide, favorisant possiblement la recharge des eaux souterraines. Cependant, des températures plus chaudes pendant le reste de l'année réduiront la quantité d'eau disponible pour la recharge. Par conséquent, les changements annuels de la recharge dépendront de la capacité de l'augmentation hivernale à compenser la diminution pendant le reste de l'année (20). La fonte des neiges plus précoce, généralement en mars-avril, modifiera la période de recharge des nappes phréatiques. Ces changements auront des répercussions significatives sur la disponibilité de l'eau et la gestion des ressources hydriques dans les régions concernées; cependant, les effets seront moins marqués pour les eaux souterraines que pour les eaux de surface (2).

La figure 9 résume les impacts principaux observés pour le climat océanique et continental humide.

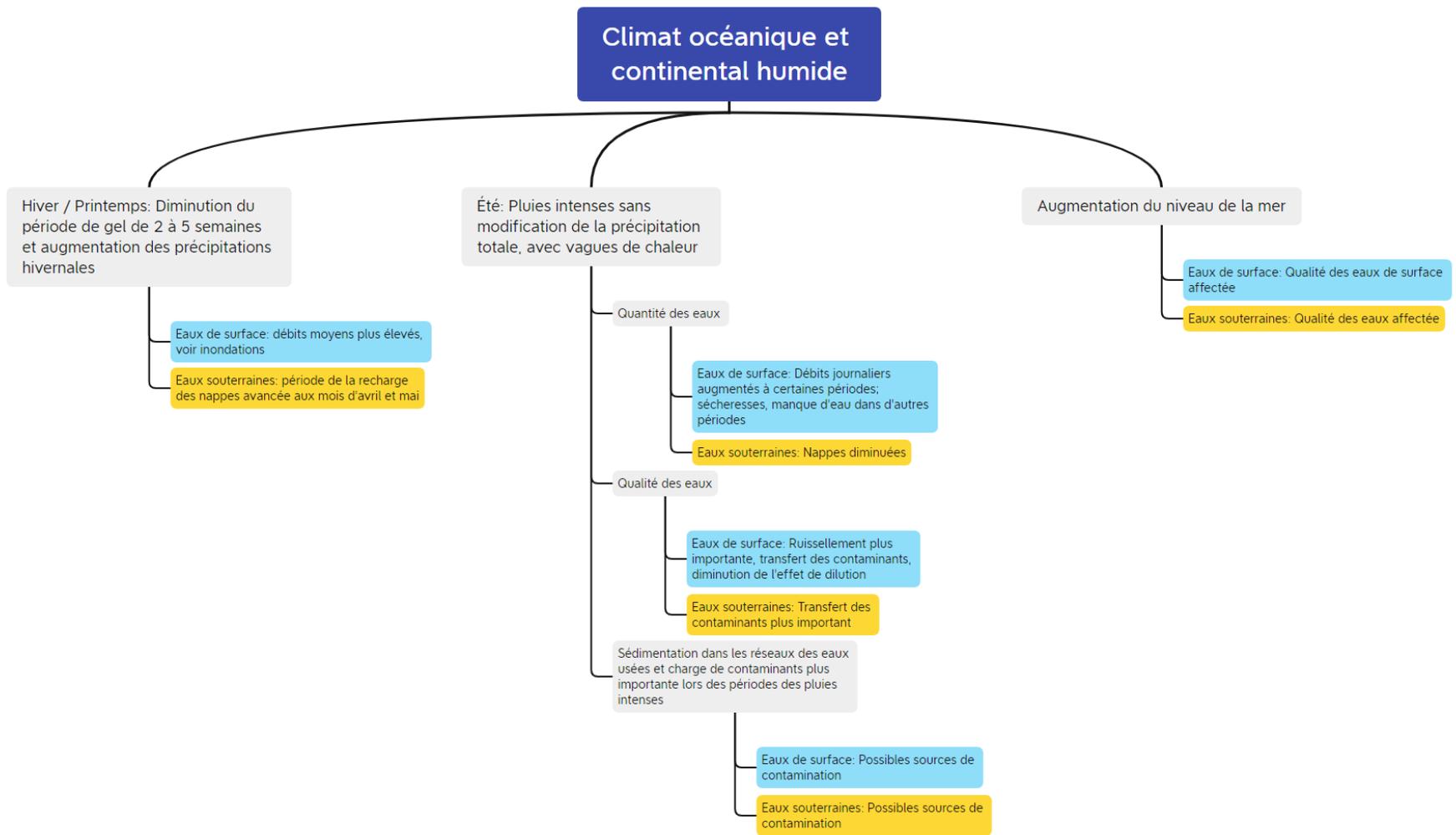


Figure 9 : Les impacts spécifiques des aléas climatiques sur les sources d'eau potable du climat océanique et continental humide

5. Études de cas

Dans cette section dédiée aux études de cas, nous exposons les réalités vécues par plusieurs municipalités face à l'impact grandissant des changements climatiques sur leurs sources d'eau potable. Chacun de ces cas fictifs, basés sur des cas réels et représentatifs de la pression réelle exercée par les changements climatiques, présente un système unique et des défis particuliers liés à l'eau. Cependant, ces scénarios partagent tous une préoccupation commune : la sécurité de l'approvisionnement en eau potable.

Nous allons explorer le contexte de chaque municipalité en mettant en lumière sa situation géographique, sa taille, sa population et ses caractéristiques relatives aux sources d'eau. Ensuite, nous allons présenter les aléas climatiques auxquels elles ont dû faire face, qu'il s'agisse d'inondations, de sécheresses ou de changements dans les régimes de précipitations. Ces aléas ont eu des répercussions directes sur la disponibilité et la qualité de l'eau potable.

Avant tout, nous exposerons les mesures et les solutions que ces municipalités ont adoptées pour répondre à ces défis climatiques. Cela englobe une variété d'approches à court et à long terme :

- des mesures de protection des sources (p. ex., la sensibilisation des citoyens à la préservation de l'eau, le suivi de la qualité de l'eau brute, la mise en place de systèmes de gestion de l'eau usée ou pluviale plus efficaces, etc.);
- des mesures d'urgence (p. ex., la nouvelle installation de prélèvement d'appoint ou d'urgence, la sécurisation des systèmes électrique et de communication, la prévention ou la préparation aux sinistres);
- des mesures d'adaptation du traitement de l'eau (p. ex., le développement de nouvelles infrastructures de traitement de l'eau).

Ainsi, les solutions envisagées ou déjà mises en place peuvent s'inscrire dans des processus formels de planification recommandés par le gouvernement aux municipalités, comme le plan de protection des sources (48), le plan de sécurité civile (49) ou le plan d'adaptation aux changements climatiques (50). Dans les cas présentés, l'accent est mis sur les exemples de solutions concrètes et non sur la manière de les intégrer dans les processus de planification.

En examinant ces études de cas, nous aurons l'occasion de découvrir comment les collectivités locales ont adapté leurs pratiques et leur infrastructure pour garantir la durabilité de leur approvisionnement en eau potable dans un contexte de changements climatiques en constante évolution. Ces cas concrets offrent des exemples intéressants pour orienter les actions futures en matière de gestion de l'eau et d'atténuation des effets des changements climatiques au Québec.

5.1. Étude de cas – Municipalité A³

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ A

TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 23 000 habitants

TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Eau de surface (réservoirs) et eau souterraine

ENVIRONNEMENT (AIRES IMMÉDIATE ET INTERMÉDIAIRE) : Forestier et milieux humides

CLIMAT : Continental humide

ALÉAS VÉCUS : Précipitations extrêmes

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

Les précipitations extrêmes liées aux changements climatiques ont engendré des perturbations significatives dans la qualité de l'eau disponible de la municipalité **A**. Les épisodes de pluies intenses ont entraîné **une hausse notable du carbone organique total (COT) ainsi que de la turbidité** de l'eau, rendant difficile, voire impossible, l'utilisation des prises d'eau de surface. Cette situation critique a forcé la municipalité à étudier la possibilité d'exploiter des sources d'eau souterraine pour garantir l'approvisionnement en eau potable. Les infrastructures de traitement devaient désormais faire face à **des variations plus fréquentes et intenses de la qualité de l'eau brute**, ce qui affectait leur efficacité et leur capacité à produire une eau potable conforme aux normes en vigueur.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

Stratégies à court terme : À court terme, des mesures correctives ont été mises en œuvre pour atténuer les effets immédiats des événements météorologiques extrêmes. Cela inclut **l'amélioration des systèmes de surveillance en temps réel des paramètres de la qualité de l'eau brute** (p. ex., la turbidité) et la mise en place de **protocoles d'intervention d'urgence** pour ajuster rapidement les procédés de traitement en fonction des variations de la qualité de l'eau brute et en se basant sur des seuils critiques de concentration des paramètres suivi en continu.

Stratégies à long terme : À plus long terme, des mesures structurelles et stratégiques ont été planifiées pour anticiper les changements climatiques. Cela englobe la **diversification des sources d'eau** par des investissements dans des infrastructures de stockage et de traitement adaptées aux conditions changeantes. Par exemple, la construction **de réservoirs de rétention pour réguler le débit des pluies abondantes et la mise en place de systèmes de gestion durable des eaux pluviales** pour alléger la charge sur les sources d'eau de surface. De plus, la stratégie à long terme

³ Les références utilisées pour cette fiche : (60; 61; 62)

met l'accent sur la mise en œuvre de **pratiques de conservation de l'eau et de sensibilisation** à la gestion durable de cette ressource vitale. Encourager l'adoption de technologies et de pratiques économes en eau (p. ex., par l'installation de compteurs d'eau), ainsi que l'implication active de la communauté dans la protection et la préservation des sources d'eau, contribue à réduire la pression sur les ressources en eau et à assurer leur disponibilité future.

5.2. Étude de cas – Municipalité B⁴

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ B

TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 66 000 habitants

TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Eau de surface (lac)

ENVIRONNEMENT (AIRES IMMÉDIATE ET INTERMÉDIAIRE) : Agricole et urbain

CLIMAT : Continental humide

ALÉAS VÉCUS : Températures élevées, sécheresses, pluies extrêmes

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

Pour la municipalité **B**, les changements climatiques ont fortement affecté la source d'eau potable, située dans un environnement mixte entre zones agricoles et urbaines. Les températures élevées, les fortes précipitations et les sécheresses ont créé divers défis, affectant la **disponibilité de la source et augmentant les risques d'inondations**. Les cycles de gel-dégel ont **endommagé les infrastructures** souterraines, causant des ruptures dans les canalisations d'eau potable. De plus, les fortes pluies ont entraîné des interruptions dans l'approvisionnement en eau, tandis **que la présence d'algues** a altéré le goût et la qualité de l'eau potable. **Les plaintes des consommateurs sur le goût de l'eau ont augmenté**, reflétant l'impact direct des changements climatiques. Globalement, la source d'eau potable de la ville a été confrontée à des problèmes multiples résultant des variations climatiques, rendant la gestion de l'approvisionnement en eau plus complexe.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

Stratégie à court terme : La municipalité **B**, consciente des enjeux liés aux changements climatiques, a élaboré une stratégie d'adaptation pour garantir la stabilité de son approvisionnement en eau. Cette stratégie repose sur une **hiérarchisation des risques, identifiant les éléments les plus vulnérables face aux événements climatiques**.

⁴ Les références utilisées pour cette fiche : (67; 66; 65)

Les priorités se sont concentrées sur des aspects critiques, tels que les **systèmes de communication, les transformateurs et les lignes de transmission**, en raison des risques de foudre. Un autre point crucial était la **prise d'eau d'urgence**, en prévision d'une éventuelle baisse du niveau du lac. En réaction à ces priorités, des mesures concrètes ont été prises pour renforcer la résilience du système d'approvisionnement en eau. L'acquisition de **génératrices** portables vise à prévenir les interruptions de courant, assurant une alimentation électrique de secours.

Stratégie à long terme : Cette stratégie a induit un changement opérationnel profond dans la municipalité. Le personnel **intègre désormais systématiquement les effets potentiels des changements climatiques dans les opérations et la planification**, adoptant ainsi une approche proactive face aux conditions climatiques extrêmes. Cet ajustement significatif reflète une réponse stratégique aux défis des changements climatiques, visant à sécuriser durablement l'approvisionnement en eau de la municipalité. Des mesures d'adaptation, telles que le verdissement des bandes riveraines, la sensibilisation du milieu agricole, ainsi que l'évolution de la réglementation, ont été mises en place.

Cette évolution culturelle va au-delà des ajustements opérationnels, devenant un élément central de la philosophie organisationnelle. Elle se traduit par **une sensibilité accrue aux signes avant-coureurs des changements climatiques**, renforçant la réactivité aux conditions météorologiques extrêmes. L'engagement à long terme va même jusqu'à la recherche d'occasions innovantes pour renforcer la résilience de l'approvisionnement en eau, faisant de la municipalité une pionnière dans la gestion responsable de ses ressources hydriques.

5.3. Étude de cas – Municipalité C⁵

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ C

TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 85 000 habitants

TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Deux sources d'eau de surface et une source souterraine

ENVIRONNEMENT DE LA SOURCE D'EAU : Forestier, milieu côtier

CLIMAT : Océanique et continental humide

ALÉAS VÉCUS : Inondations, sécheresses, augmentation du niveau de la mer

⁵ Les références utilisées pour cette fiche : (63)

Les changements climatiques exercent des impacts significatifs sur l’approvisionnement en eau potable de la municipalité C, qui dépend de trois sources d’eau distinctes : deux sources de surface et une source d’eau souterraine. Les variations climatiques observées ont eu des répercussions directes sur la disponibilité et la qualité de ces sources.

L’augmentation des précipitations hivernales sous forme de pluie combinée à la baisse des précipitations estivales a créé un déséquilibre saisonnier dans le régime de précipitations. Cela a entraîné **des pénuries d’eau aux trois sources d’eau potable**, compromettant ainsi la disponibilité d’eau potable pendant les mois les plus secs de l’année. L’augmentation des inondations hivernales a également augmenté le risque de **contamination de la source d’eau potable souterraine**.

La diminution du manteau neigeux dans les montagnes a affecté les débits printaniers. Ceux-ci étant plus faibles, et les débits hivernaux étant plus élevés, la **capacité de renouvellement des sources de surface était compromise**. Les sécheresses majeures vécues dans les années 1980 et 1990 ont déjà mis en lumière la vulnérabilité de la municipalité aux conditions climatiques extrêmes, soulignant la fragilité de l’approvisionnement en eau potable.

De plus, l’augmentation du niveau de la mer a aggravé la **salinisation de l’eau souterraine**, réduisant ainsi sa qualité et sa potabilité.

En somme, les effets des changements climatiques sur l’approvisionnement en eau potable de la municipalité C sont complexes et interconnectés. Ils remettent en question la durabilité et la fiabilité des sources d’eau, compromettant ainsi la capacité de la municipalité à répondre aux besoins de sa population.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

Pour répondre aux défis urgents posés par les changements climatiques, notamment le problème de salinisation affectant l’approvisionnement en eau souterraine de la municipalité C, une série de mesures stratégiques a été mise en place en deux niveaux distincts reflétant leur degré d’urgence et d’impact.

Stratégies à court terme : Au premier niveau, des actions immédiates ont été entreprises pour **augmenter la capacité de stockage** du réservoir de l’usine de traitement pour stocker l’eau issue de la source souterraine. **Le suivi de la qualité de l’eau souterraine a été intensifié** pour anticiper les variations liées à la salinité. De plus, **les débits prélevés ont été adaptés**, surtout dans les périodes où la concentration de sel est plus élevée, de manière à réduire l’intrusion d’eau salée. Ces mesures ont contribué à couvrir les déficits potentiels d’approvisionnement à court terme, offrant un soulagement immédiat à la communauté face aux contraintes actuelles.

Stratégies à long terme : Dans un deuxième temps, des mesures plus complexes ont été déployées pour **optimiser l'utilisation des ressources disponibles** et renforcer la résilience à long terme. La **recherche de nouveaux sites de prélèvement en eau souterraine**, éloignés de la côte et moins sujets à la salinisation, a été envisagée, et de nouveaux puits ont été forés dans des zones moins exposées à ce problème.

De plus, **des programmes de conservation** supplémentaires ont été envisagés, mettant l'accent sur la préservation de l'eau et la réduction de la demande, notamment en encourageant des pratiques plus économes en eau dans la communauté. Finalement, la mise en place de **règlements municipaux** spécifiques a renforcé la restriction des usages en cas de pénurie d'eau.

5.4. Étude de cas – Municipalité D

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ D

TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 800 habitants

TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Eau souterraine

ENVIRONNEMENT (AIRES IMMÉDIATE ET INTERMÉDIAIRE) : Rural

CLIMAT : Continental humide

ALÉAS VÉCUS : Sécheresses récurrentes

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

L'approvisionnement en eau potable de la municipalité **D** provient d'une source d'eau souterraine à partir d'un aquifère confiné captant l'eau dans le roc. Plusieurs citoyens, non reliés à l'aqueduc municipal, ainsi que de nombreux puits servant à l'irrigation agricole, s'approvisionnent dans le même aquifère. L'eau souterraine est d'excellente qualité et elle est traitée uniquement de façon préventive par désinfection au chlore.

Les aléas climatiques, tels que les précipitations extrêmes et les inondations, ainsi que les activités agricoles, ont peu de répercussions sur la qualité de l'eau souterraine prélevée. Cependant, en termes de quantité, **la capacité de l'aquifère est plutôt limitée et une baisse des niveaux d'eau dans les puits municipaux est observée** depuis quelques années. En effet, les épisodes de sécheresse répétés des dernières années ont contribué à diminuer la recharge de l'aquifère régional et à augmenter la demande en eau.

Sous ces nouvelles conditions climatiques, les besoins en eau pour les usages personnels (p. ex., hydratation, jardinage, etc.) ont augmenté de façon significative, augmentant par le fait même la pression sur les infrastructures d'approvisionnement en eau municipal. Ainsi, la municipalité a donc été obligée de demander à plusieurs reprises à ses citoyens **de limiter leur consommation**

d'eau potable pour certains usages (p. ex., remplissage de piscine, arrosage des pelouses, etc.). Elle a également dû investir pour faire venir de l'eau par camion-citerne durant l'été pour pallier les pointes de consommation.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

Pour répondre à ces nouveaux défis, la municipalité **D** a implanté sur son territoire des mesures d'adaptation pour garantir à ses citoyens un approvisionnement en eau potable adéquat et durable qui tient compte des ressources financières disponibles. Étant donné qu'il s'agit d'un aquifère confiné dont la zone de recharge régionale est très éloignée, il est difficile de mettre des mesures en œuvre sur son territoire pour préserver la source d'approvisionnement. Les mesures d'adaptation prévues ne pourront s'appliquer qu'à partir du site de prélèvement d'eau.

Stratégies à court terme : En premier lieu, la municipalité a mis en place **un programme de sensibilisation** pour renforcer et encourager la population à préserver l'eau et éviter le gaspillage. Ce programme s'adresse à la fois aux citoyens, aux entreprises desservies par l'aqueduc et aux autres utilisateurs des puits. De l'information sur les pratiques exemplaires (p. ex., la récupération des eaux de pluie) à suivre pour réduire la consommation en eau potable est disponible sur le site internet de la municipalité. Parallèlement, **la municipalité a augmenté le nombre de visites de ses inspecteurs et a renforcé l'application de sa réglementation dans les périodes critiques de restriction des usages de l'eau.**

En deuxième lieu, la municipalité a examiné ses options pour **améliorer son système d'approvisionnement et de distribution d'eau potable**. Les premières interventions à considérer concernaient les puits municipaux. Les recommandations du **programme d'entretien**, qui avaient été reportées jusqu'à maintenant, ont été mises en œuvre. Des **travaux de réhabilitation ont donc été effectués sur les puits municipaux** afin de retirer les dépôts minéraux qui se sont accumulés au cours des dernières années sur les équipements de pompage ou qui auraient pu obstruer l'écoulement de certaines fractures productives interceptées par le puits dans l'aquifère du roc. Ces travaux ont permis de rétablir la performance des ouvrages de captage à un niveau comparable à leur capacité initiale. Par la même occasion, **des sondes automatiques de suivi des niveaux d'eau ont été installées dans les puits principaux et des puits d'observation** pour servir de système d'alerte pour être en mesure de détecter rapidement une tendance à la baisse du niveau des eaux souterraines. En parallèle aux travaux de réhabilitation, **une analyse des fuites** sur le réseau d'aqueduc a été complétée pour assurer un meilleur contrôle de la demande en eau.

Stratégies à long terme : Finalement, la municipalité a décidé d'examiner **d'autres options d'approvisionnement en eau** pour ses citoyens qui sont desservis par le réseau d'aqueduc. Ainsi, la possibilité d'aménager de nouveaux puits, même à l'extérieur des limites de la municipalité, a été évaluée, de même que l'utilisation d'un aquifère contenant une eau de moins bonne qualité. L'option de construire une prise d'eau de surface dans une rivière à proximité de la municipalité a aussi été examinée. Cependant, il s'agit de solutions à long terme qui nécessiteront des

investissements substantiels en termes d'équipement et de conduites, ainsi que pour la mise en place de technologies de traitement d'eau supplémentaires.

5.5. Étude de cas – Municipalité E⁶

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ E
TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 113 000 habitants
TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Eau de surface (cours d'eau)
ENVIRONNEMENT (AIRES IMMÉDIATE ET INTERMÉDIAIRE) : Urbain
CLIMAT : Continental humide
ALÉAS VÉCUS : Précipitations extrêmes, inondations

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

La municipalité E dépend d'une source d'eau potable de surface en milieu urbain avec un système de gestion des eaux usées de type unitaire, combinant eaux pluviales et eaux usées dans un même réseau d'égouts. Les changements climatiques, provoquant des précipitations extrêmes et des inondations plus fréquentes, ont accentué les défis de gestion des eaux usées, submergeant le réseau d'égouts lors d'événements pluvieux critiques. **Les débordements résultants ont directement contaminé la source d'eau** potable de la ville avec des eaux usées non traitées, mettant la santé publique en danger en raison de la présence de contaminants microbiens. Récemment, **des inondations ont également endommagé les installations de traitement d'eau potable**, compromettant la distribution d'eau potable en raison de dommages aux équipements.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

Stratégies à court terme : Pour atténuer les effets des fortes pluies et minimiser les risques de débordement des égouts et de contamination de la source d'eau potable, la municipalité E a mis en œuvre plusieurs mesures. **L'installation de systèmes de gestion durable des eaux pluviales, tels que des bassins de rétention et des espaces verts perméables**, s'inscrit dans une stratégie proactive de préservation de la qualité de l'eau. En réduisant le volume d'eau entrant pendant les pluies intenses, cette mesure contribue à diminuer les risques de surcharge du système. De plus, les investissements dans **la modernisation et l'expansion du réseau d'égouts** augmentent la capacité de traitement, renforçant la résilience du système face aux événements climatiques

⁶ Les références utilisées pour cette fiche : (64)

extrêmes. Les réservoirs temporaires, intégrés à cette modernisation, offrent une solution de stockage d'urgence pour prévenir les débordements et les pollutions lors de précipitations intenses.

Stratégies à long terme : Pour maintenir l'efficacité de la station de traitement d'eau potable face aux conditions climatiques extrêmes, la municipalité a entrepris un projet majeur de rénovation et de renforcement de sa structure, garantissant ainsi la continuité de l'approvisionnement en eau potable pendant de tels événements. À plus long terme, reconnaissant l'importance de garantir la résilience de ses infrastructures face aux changements climatiques, la municipalité envisage de **renforcer physiquement la station de traitement d'eau potable** en raison des inondations récurrentes. Une conception robuste assure la pérennité de la production d'eau potable, même en cas de conditions climatiques difficiles. Une option supplémentaire est la **création d'une station de traitement d'eau auxiliaire** pour garantir une réserve d'approvisionnement en eau potable en cas de défaillance des autres installations, renforçant ainsi la sécurité et la fiabilité de l'approvisionnement, même en période de perturbation.

D'autre part, la municipalité **E** a également établi des **liens d'urgence avec des systèmes de distribution d'eau de municipalités voisines**, créant une alliance solide pour partager les ressources en eau potable en cas de crise, assurant ainsi la stabilité de l'approvisionnement en eau même dans des situations difficiles.

5.6. Étude de cas – Municipalité F

FICHE D'IDENTIFICATION DE LA MUNICIPALITÉ F

TAILLE DE LA MUNICIPALITÉ : 25 000 habitants

TYPE(S) DE SOURCE D'EAU : Eau souterraine

ENVIRONNEMENT (AIRES IMMÉDIATE ET INTERMÉDIAIRE) : Urbain et rural

CLIMAT : Continental humide

ALÉAS VÉCUS : Précipitations extrêmes, inondations, sécheresses récurrentes

LES ALÉAS CLIMATIQUES VÉCUS ET LEURS IMPACTS SUR LA RESSOURCE EAU

La municipalité **F**, située à proximité des grands centres urbains, connaît une croissance démographique et économique significative. Son approvisionnement en eau potable provient exclusivement de sources souterraines dans un aquifère granulaire vulnérable à la contamination

de surface (DRASTIC élevé). Le traitement de l'eau inclut la filtration pour éliminer le fer et le manganèse, suivie de la désinfection au chlore.

Les précipitations extrêmes, les inondations et les sécheresses sont des événements de plus en plus fréquents en raison des changements climatiques. Certaines activités anthropiques répertoriées dans le rapport d'analyse de vulnérabilité représentent un risque sur la quantité et la qualité de l'eau disponible pour l'approvisionnement en eau potable de la municipalité. Ces nouvelles conditions et enjeux identifiés représentent un défi en matière de gestion du territoire pour ce qui est d'assurer la disponibilité de l'eau souterraine en quantité suffisante et de qualité adéquate pour l'approvisionnement en eau potable.

En effet, les épisodes de précipitations extrêmes et l'imperméabilisation des surfaces dans les secteurs urbanisés ont favorisé le ruissellement rapide de l'eau vers les rivières, **ce qui a diminué la recharge naturelle de l'aquifère granulaire. La qualité de l'eau de ruissellement et d'infiltration pour la recharge a pu également être affectée** à la suite du développement des activités anthropiques résidentielles et industrielles. Quant aux inondations, elles pourraient restreindre l'usage de certains puits situés à faible élévation ou près des cours d'eau dans le cas où ces zones seraient submergées.

À l'opposé, les périodes de sécheresse représentent un risque de **déficit hydrique**. Les aquifères granulaires peuvent être plus sensibles à l'absence de précipitations ou aux faibles précipitations, qui vont réduire la recharge. Ces événements peuvent abaisser les niveaux de la nappe phréatique, ce qui peut engendrer des problèmes de capacité dans les puits d'approvisionnement en eau potable et même dénoyer les équipements de pompage. De plus, les puits privés de faible profondeur, souvent aménagés dans les aquifères granulaires, sont aussi très sensibles aux baisses du niveau des eaux souterraines. C'est également le cas des écosystèmes terrestres et aquatiques qui sont en lien avec les eaux souterraines. En effet, une baisse de niveau d'eau peut engendrer une dégradation de l'écosystème. Une suite d'années plus sèches peut rendre les conditions encore plus critiques.

LES STRATÉGIES MISES EN PLACE

La municipalité **F** a commencé un processus de réflexion pour la mise en place de différentes mesures d'adaptation pour garantir l'approvisionnement en eau potable de sa population et des autres usagers de la ressource sur son territoire.

Stratégies à court terme : En premier lieu, la municipalité a instauré **un programme de sensibilisation** visant à encourager la population à utiliser l'eau de manière plus responsable et à prévenir le gaspillage, parmi d'autres actions de la Stratégie d'économie d'eau potable (51). Des informations sur les meilleures pratiques, adaptées aux besoins et habitudes variés des usagers, sont disponibles sur le site internet de la municipalité. Parallèlement, la municipalité a renforcé **l'application de ses réglementations** en restreignant certains usages de l'eau potable, notamment en ce qui concerne l'arrosage des pelouses.

Des interventions ont également été effectuées sur les installations de prélèvement d'eau et de distribution d'eau potable. Celles-ci ont concerné les puits municipaux, où un **programme d'entretien des crépines et de tubage des puits**, ainsi que des équipements de pompage, a été mis en œuvre dans le but de rétablir la performance des ouvrages de captage à un niveau comparable à leur capacité initiale. Simultanément, **des sondes automatiques** ont été déployées dans les puits principaux ainsi que dans des puits d'observation. Cela permet de détecter promptement toute diminution des niveaux d'eau souterraine et de mettre en œuvre le plan d'urgence de la municipalité en cas de pénurie d'eau. Des travaux de recherche et de colmatage des fuites ont aussi été réalisés sur le réseau d'aqueduc et des mesures de correction sont prévues au cours des prochaines années.

Stratégies à long terme : La municipalité a aussi examiné **d'autres alternatives d'approvisionnement en eau potable**, mais l'utilisation des eaux souterraines demeure la meilleure option. Quelques secteurs de l'aquifère granulaire peuvent encore être exploités par l'aménagement de nouveaux puits afin de mieux distribuer les pressions sur l'aquifère. De plus, la ville a examiné la possibilité de relier à l'aqueduc municipal des secteurs de la ville non desservis où l'assèchement des puits résidentiels est régulièrement observé l'été. Ainsi, de concert avec la MRC, la municipalité souhaite **préserver ces portions du territoire et limiter les développements les affectant** afin d'assurer la pérennité de la ressource dans ces secteurs. De même, le potentiel d'utilisation de l'aquifère du roc sous-jacent aux dépôts granulaires sera examiné et des puits pourraient y être aménagés, notamment pour remplacer certains puits de surface plus vulnérables aux aléas climatiques. De même, l'option **de raccorder un secteur de la municipalité à l'aqueduc d'une municipalité voisine sera aussi examinée**.

Compte tenu du contexte hydrogéologique, une étude sera réalisée pour évaluer la faisabilité **d'aménager des infrastructures pour la recharge artificielle de l'aquifère granulaire**. Dans un même ordre d'idées, on effectuera une réflexion sur l'aménagement futur du territoire. En effet, une attention sera portée envers la **préservation des aires de recharge de l'aquifère granulaire** ou, lorsque possible, la réhabilitation de ces dernières. Ces activités permettront à terme de sécuriser ou d'améliorer la recharge des aquifères, notamment lors des épisodes de précipitations extrêmes. Néanmoins, il s'agit d'une stratégie à long terme qui pourrait permettre de retarder ou d'éviter des investissements substantiels pour l'achat d'équipement et de conduites d'eau potable ou pour l'ajout de nouvelles technologies de traitement d'eau.

6. Conclusions

Les preuves scientifiques et les observations récentes sont indéniables : les changements climatiques ont déjà un impact significatif sur les ressources en eau potable au Québec et cet impact devrait s'intensifier à l'avenir. L'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre perturbe les *variables climatiques*, telles que la température, les précipitations et l'évapotranspiration, ce qui entraîne des conséquences directes sur le cycle hydrique et donc sur la qualité et la quantité de l'eau.

L'augmentation de la température de l'air, la modification des cycles de gel-dégel, l'élévation du niveau de la mer, les précipitations extrêmes, les sécheresses et les feux de forêt sont des aléas climatiques qui ont un impact sur les sources d'eau potable. Ces impacts se manifestent au travers de changements dans la quantité et la qualité de l'eau disponible, mettant en péril la continuité et l'efficacité des services d'approvisionnement en eau potable, ce qui entraîne des répercussions sur la santé publique et sur les coûts municipaux.

Depuis les années 2000, le Québec a ressenti les impacts des changements climatiques. Ces changements ont entraîné des étés de plus en plus chauds et des hivers moins rigoureux. Les schémas de précipitations ont également évolué, se traduisant par des épisodes de pluie plus fréquents et plus intenses, ce qui a accentué les risques d'inondations. De plus, la qualité des eaux de surface a été compromise par divers facteurs tels que la pollution et les fortes pluies, générant des préoccupations en matière de santé publique. La fonte précoce des neiges a exacerbé les inondations printanières, tandis que les étés plus secs ont intensifié les sécheresses estivales. Selon les projections, ces défis devraient devenir encore plus fréquents et plus intenses à l'avenir, il est donc crucial de s'y préparer.

Par conséquent, l'adaptation devient primordiale pour faire face à ces défis croissants et pour assurer la résilience des communautés face aux changements climatiques à venir. Des mesures correctives et, surtout, préventives sont nécessaires pour faire face aux variations de la qualité de l'eau brute, diversifier les sources d'approvisionnement, promouvoir la conservation de l'eau, planifier le développement et l'aménagement du territoire et renforcer la résilience des infrastructures et des communautés. Les processus de planification recommandés par le gouvernement, tels que le plan de protection des sources, le plan d'adaptation aux changements climatiques et le plan de sécurité civile, sont des outils qui guident les municipalités dans cette réflexion.

En somme, les changements climatiques ne sont plus une hypothèse lointaine, mais une réalité tangible qui nécessite des actions immédiates. Les efforts conjoints des autorités municipales, des scientifiques et de la société civile sont indispensables pour garantir la disponibilité d'une eau potable de qualité pour les générations futures au Québec.

7. Glossaire

Aléa : Phénomène susceptible d’occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l’environnement.

Aléas climatiques : Phénomènes météorologiques extrêmes tels que tempêtes, inondations, sécheresses, etc., susceptibles d’affecter les conditions climatiques normales.

Aquifères : Formations souterraines de roches perméables ou de matériaux meubles qui constituent des réservoirs d’eau souterrains.

Changements climatiques : Modifications à long terme des conditions atmosphériques, notamment des températures, des précipitations et des événements climatiques extrêmes.

Changements hydroclimatiques : Altérations dans la distribution temporelle et spatiale des ressources en eau dues aux changements climatiques.

Climat : Conditions atmosphériques moyennes d’une région, y compris les variations saisonnières et à long terme.

Condensation : Passage de la vapeur d’eau à l’état liquide, formant des nuages ou de la rosée.

Écoulement souterrain : Déplacement de l’eau à travers les couches du sol et les roches souterraines.

ESSIDES : Eaux souterraines sous l’influence directe des eaux de surface

Évaporation : Processus par lequel l’eau liquide se transforme en vapeur d’eau en raison de l’énergie solaire.

Évapotranspiration : Somme de l’évaporation de l’eau du sol et de la transpiration des plantes.

Filtration sur berge : Processus naturel où l’eau traverse le sol le long des rives, ainsi filtrée naturellement.

Gaz à effet de serre : Gaz, tels que le dioxyde de carbone et le méthane, qui contribuent au réchauffement de la planète en piégeant la chaleur.

Infiltration : Processus par lequel l’eau pénètre dans le sol depuis la surface.

Mesures d'adaptation : Stratégies et actions visant à atténuer les impacts négatifs des changements climatiques.

Nappes phréatiques : Réservoirs d'eau souterraine qui alimentent les puits et les sources.

Pergélisol : Sol qui reste gelé pendant la majeure partie de l'année.

Précipitation : Toute forme d'eau, liquide ou solide, qui tombe de l'atmosphère vers la Terre.

RCP8.5 : Scénario climatique qui représente un futur où les émissions de gaz à effet de serre continuent d'augmenter à un rythme élevé.

Résurgence : Émergence d'eau souterraine à la surface, formant des sources.

Résilience : Capacité d'un système à absorber les perturbations et à retrouver son équilibre.

Ruissellement : Déplacement de l'eau à la surface du sol, souvent après des précipitations.

Trajectoires communes d'évolutions socioéconomiques : Scénarios décrivant les tendances futures possibles en termes de développement économique et social.

Variables climatiques : Paramètres tels que la température, l'humidité, le vent, etc., qui caractérisent l'état du climat dans une région donnée.

8. Références bibliographiques

1. **IPCC.** *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* s.l. : Cambridge University Press, 2022. p. 3056.
2. **Leveque, B., et al.** Impact of climate change on the vulnerability of drinking water intakes in a northern region. *Sustainable Cities and Society.* 2021, 66, p. 102656.
3. **IPCC.** *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA : Cambridge University Press. p. 3056.
4. **Werndl, C.** On defining climate and climate change. *The British Journal for the Philosophy of Science.* 2016.
5. **Ouranos.** *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec.* Montréal, Québec : s.n., 2015. p. 415.
6. **IPCC.** [En ligne] 01 05 2023. ipcc.ch.
7. **Gouvernement du Canada.** Causes des changements climatiques. [En ligne] 03 2019. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/changements-climatiques/causes.html>.
8. **Simonovic, S. P.** Bringing Future Climatic Change into Water Resources Management Practice Today. *Water Resources Management.* 2017, 31, pp. 2933–2950.
9. **Huet, Sylvestre.** *Le GIEC. Urgence Climat.* Paris : Éditions Tallandier, 2023.
10. **CCME et Santé Canada.** De la source au robinet : l'approche à barrières multiples pour de l'eau potable saine. 2002, p. 13.
11. **MELCCFP.** *Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec.* 2018.
12. **Baudron, P.** *Filtration sur berge: Une source d'eau potable hybride surface/souterrain.* 2020.
13. **Labelle, L., Baudron, P., Barbecot, F., Bichai, F. et Masse-Dufresne, J.** Identification of riverbank filtration sites at watershed scale: A geochemical and isotopic framework. *Science of the Total Environment.* 2023, Vol. 864.
14. **Baudron, P., Labelle, L. et Masse-Dufresne, J.** *Identification des sites de prélèvement d'eau souterraine en situation de filtration sur berge et exploration d'indicateurs de leur vulnérabilité face aux changements climatiques par un suivi temporel géochimique et isotopique.* Polytechnique Montréal. 2022.
15. **MELCCFP.** Guide de conception des installations de production d'eau potable. 2019.

16. **INSPQ.** *Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation.* 2021.
17. **Kulshreshtha, S.** Climate change and water resources: a case study of the canadian prairie region. *Int. J. of Safety and Security Eng.* 2014, Vol. 4, 3, pp. 207–220.
18. **Liu, J., et al.** Past and Future Changes in Climate and Water Resources in the Lancang–Mekong River Basin: Current Understanding and Future Research Directions. *Engineering.* 2022, Vol. 13, pp. 144–152.
19. **Whitehead, P.G., et al.** A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences.* 2009, Vol. 54, 1, pp. 101-123.
20. **Dubois, E.** *Impact of global changes on groundwater recharges in cold and humid climate, case study in southern Quebec (Canada).* UQÀM. 2022.
21. **Larocque, M., et al.** *Recharge des aquifères et contribution des eaux souterraines aux débits de base des cours d'eau - conditions passées, actuelles et futures en présence de changements climatiques.* UQÀM. 2021.
22. **Taylor, R. G., et al.** Ground water and climate change. *Nature Climate Change.* 2013, Vol. 3, pp. 322-329.
23. **Howard, G., et al.** Climate Change and Water and Sanitation: Likely Impacts and Emerging Trends for Action. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2016, 41, pp. 253–276.
24. **MELCCFP.** De la source au robinet: la stratégie appliquée. 2023.
25. **Boholm, A. et Prutzer, M.** Experts' understandings of drinking water risk management in a climate change scenario. *Climate Risk Management.* 2017, 16, pp. 133-144.
26. **Cromwell III, J. E., Smith, J. B. et Raucher, R. S.** No Doubt About Climate Change and Its Implications for Water Suppliers. *Journal AWWA.* September 2007, Vol. 99, 9, pp. 112-117.
27. **Therrien, R., Delottier, H. et Paradis, D.** *Simulation de l'impact des variations climatiques sur les eaux souterraines et les eaux de surface: contribution au développement d'outils de gestion de l'eau.* Université Laval. 2021.
28. **Peterson, T. C., et al.** Changes in weather and climate extremes: State of knowledge relevant to air and water quality in the United States. *Journal of the Air & Waste Management Association.* 2012, Vol. 64, 2, pp. 184-197.
29. **Delpla, I., et al.** Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International.* 2009, 35, pp. 1225–1233.
30. **Sterk, A., et al.** Direct and Indirect Effects of Climate Change on the Risk of Infection by Water-Transmitted Pathogens. *Environmental Science and Technology.* 2013, 47, pp. 12648-12660.
31. **Hofstra, N.** Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen concentrations in surface water. *Current Opinion in Environmental Sustainability.* 2011, 3, pp. 471–479.

32. **Lipczynska-Kochany, E.** Effect of climate change on humic substances and associated impacts of surface water and groundwater: A review. *Science of the Total Environment*. 2018, Vol. 640-641, pp. 1548-1565.
33. **Stephens, G. L., et al.** Earth's water reservoirs in a changing climate. *Proc. R. Soc. A*. 2020, Vol. 476, p. 20190458.
34. **Danilenko, A., Dickson, E. et Jacobsen, M.** Climate change and urban water utilities: challenges and opportunities. 2010.
35. **Lewis, J. E.** Climatic Change and its Effects on Water Resources for Canada: A Review. *Canadian Water Resources Journal*. 1989, Vol. 14, 1, pp. 34-55.
36. **Kohlitz, J., Chong, J. et Willets, J.** Rural Drinking Water Safety under Climate Change: The Importance of Addressing Physical, Social, and Environmental Dimensions. *Resources*. 2020, Vol. 9, 6, p. 77.
37. **Wade, S. D., Rance, J. et Reynard, N.** The UK Climate Change Risk Assessment 2012: Assessing the Impacts on Water Resources to Inform Policy Makers. *Water Resources Management*. 2013, 27, pp. 1085–1109.
38. **Li, Z. et Fang, H.** Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Review*. 2016, 163, pp. 94–117.
39. **Larocque, M., et al.** A review of simulated climate change impacts on groundwater resources in Eastern Canada. *Canadian Water Resources Journal*. 2018, Vol. 44, 1, pp. 22-41.
40. **Zhang, M.; et al.** Managing the forest-water nexus for climate change adaptation. *Forest Ecology and Management*. 2022, 525, p. 120545.
41. **Viviroli, D.; et al.** Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2011, 15, pp. 471–504.
42. **Riedel, T. et Weber, T.K.D.** Review: The influence of global change on Europe's water cycle and groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*. 2020, 28, pp. 1939-1959.
43. **O'salis.** <https://osalis.ca/>. [En ligne] [Citation : 14 08 2023.]
44. **Lemieux, J.M., et al.** *Portrait des ressources en eau souterraine des îles de la Madeleine: rapport scientifique*. 2022.
45. **INSPQ.** *Changements climatiques au Québec méridional: perceptions des gestionnaires municipaux et de la santé publique*. 2006.
46. **Scheili, A., Delpla, I. et Rodriguez, M.** *Connaissances des enjeux et des effets associés aux changements climatiques sur les sources d'eau potable*. 2022.
47. **Pagano, T., Bida, M. et Kenny, J. E.** Trends in Levels of Allochthonous Dissolved Organic Carbon in Natural Water: A Review of Potential Mechanisms under a Changing Climate. *Water*. 2014, 6, pp. 2862-2897.

48. **MELCCFP.** *Guide pour l'élaboration d'un plan de protection des sources d'eau potable.* 2022.
49. **Gouvernement du Québec.** Loi sur la sécurité civile. 2001.
50. **MELCCFP.** *Programme Climat Municipalité - Phase 2.* 2018.
51. **Gouvernement du Québec.** *Stratégie Québécoise d'économie d'eau potable.* 2019.
52. **Jung, A.-V., et al.** Microbial Contamination Detection in Water Resources: Interest of Current Optical Methods, Trends and Needs in the Context of Climate Change. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2014, 11, pp. 4292-4310.
53. **Hajek, O. L. et Knapp, A. K.** Shifting seasonal patterns of water availability: ecosystem responses to an unappreciated dimension of climate change. *New Phytologist.* 2022, 233, pp. 119-125.
54. **Olmstead, S. M.** Climate change adaptation and water resource management: A review of the literature. *Energy Economics.* 2014, Vol. 46, pp. 500-509.
55. **Shen, D.** Climate change and water resources: evidence and estimate in China. *Current Science.* 2010, Vol. 98, 8, pp. 1063-1068.
56. **Environnement et Changements Climatiques Canada.** Données climatiques. [En ligne] 2023. [Citation : 26 04 2023.] <https://donneesclimatiques.ca/>.
57. **Hagama, D., Leconte, R. et Brissette, F.** Évaluation du régime hydrologique du bassin versant de la rivière Manicouagan, au Québec, dans le contexte des changements climatiques. *Canadian Journal of Civil Engineering.* 2015, Vol. 42, 2, pp. 98-106.
58. **Kotttek, M., et al.** World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift.* 2006, Vol. 15, 3, pp. 259-263.
59. **Gouvernement du Québec.** Règlement sur la qualité de l'eau potable. 2022.
60. **USEPA.** *Case Study: Water and Wastewater Utilities Planning for Resilience - City of Keene, New Hampshire.* 2017.
61. **Keene, City of.** *Annual Water Quality Report - Reporting year 2020.* 2020.
62. **Vano, J.A., et al.** DOs and DON'Ts for using climate change information for water resource planning and management: guidelines for study design. *Climate Services.* 2018, 12, pp. 1-13.
63. **USEPA.** *Climate Change vulnerability assessments: four case studies of water utility practices.* 2011.
64. **Partnership for the Delaware Estuary.** *A National Estuary Program.* 2017.
65. **Knight, K.** *Upper Scioto River WaterShed, Vulnerability Assessment.* 2014.
66. **Ontario Clean Water Agency.** *Annual Performance Report - Union Water Supply System.* 2021.

67. **FCM.** *Using Better Data to Identify Climate Change-Related Infrastructure Vulnerabilities in Canadian Communities.* 2019.