

Labo Équité Climat
385 rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec)
H2X 1E3
laboequiteclimat.ca



labo
équité
climat

Enjeux de la sécheresse et des systèmes hydriques municipaux au Québec

Kossivi Fabrice Dossa, Jean-François Bissonnette et Marc-André Bourgault

Juillet 2025

Rapport de recherche

Sommaire exécutif

Face aux effets croissants des changements climatiques, les enjeux liés à la disponibilité de l'eau douce prennent une importance stratégique, notamment au Québec. Si les inondations ont fait l'objet de nombreuses études et politiques, les épisodes de sécheresse, bien que de plus en plus fréquents et intenses, demeurent encore peu documentés. Or, ils représentent une menace croissante pour les systèmes d'approvisionnement en eau potable en contexte municipal. Cette recherche vise à contribuer au développement de connaissances sur la sécheresse au Québec. À partir d'une revue de presse et d'une exploration de la littérature scientifique et grise, le projet a utilisé des données gouvernementales et hydrologiques (notamment celles d'Ouranos) pour analyser la vulnérabilité des municipalités québécoises face à la sécheresse, en lien avec leurs systèmes d'approvisionnement en eau potable.

L'analyse statistique, fondée sur des indicateurs clés de sécheresse (durée, sévérité, SSI minimal, étendue spatiale), a permis d'identifier trois classes de municipalités selon leur exposition au stress hydrique. Une analyse en composantes principales (ACP) et un clustering hiérarchique ont révélé que les municipalités les plus vulnérables subissent des épisodes plus longs et plus sévères. Parallèlement, une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été menée pour explorer les liens entre les types d'approvisionnement en eau (souterrains, de surface, mixtes) et les régions administratives.

Les résultats montrent que 63 % des municipalités dépendent majoritairement des eaux souterraines, souvent plus sensibles aux sécheresses prolongées. Les municipalités les plus affectées par la sécheresse reposent souvent sur des systèmes d'approvisionnement souterrains vulnérables, tandis que celles moins touchées bénéficient d'une diversité de sources (lacs, rivières, fleuve Saint-Laurent), leur conférant une meilleure résilience. Le croisement des analyses a mis en évidence une corrélation forte entre les niveaux d'exposition à la sécheresse et les formes d'approvisionnement en eau. L'étude souligne la nécessité d'une gestion intégrée, d'une diversification des sources, et d'investissements ciblés dans les zones à haut risque pour améliorer la sécurité hydrique face aux défis climatiques futurs.

Un second rapport viendra compléter ces résultats sous la forme d'une étude exploratoire. Il portera sur la manière dont des acteurs territoriaux clés perçoivent les dynamiques d'équité et d'iniquité socio-territoriales en lien avec les enjeux de déficit hydrique dans diverses régions du Québec.

Table des matières

1 Introduction.....	5
2 Problématique	6
3 Analyse spatio-temporelle de la sécheresse et évaluation des systèmes hydriques municipaux au Québec.....	8
3.1 Méthodologie.....	8
3.1.1 Méthode de collecte des données.....	8
3.1.2 Traitement et analyse des données.....	9
3.2 Résultats de l'analyse	10
3.2.1 Analyse de la sécheresse dans une perspective de gestion durable.....	10
3.2.2 Évaluation des systèmes d'approvisionnement en eau	13
3.2.3 Stratégie de gestion et de mitigation	16
4 Synthèse des résultats	17
5 Conclusion.....	20
6 Bibliographie	21

Liste des figures

Figure 1 : Dendrogramme issu de l'ACP	10
Figure 2 : Analyse comparative des municipalités face à la sécheresse : cas des municipalités les plus touchées et des moins touchées	12
Figure 3 : Catégorie d'installation de production en eau dans les municipalités de Québec	13
Figure 4 : Distribution des types d'approvisionnement en eau dans la province de Québec	14
Figure 5 : Analyse factorielle des correspondances (AFC) montrant la répartition régionale des types d'approvisionnement dans la province de Québec	15
Figure 6 : Analyse Factorielle des Correspondances des modalités d'approvisionnement en eau en fonction des groupes de municipalités au Québec	16
Figure 7 : Stratégie de gestion et de mitigation	17

Liste des tableaux

Tableau 1 : Contributions des indicateurs de sécheresse à la discrimination des classes	10
Tableau 2 : Valeurs moyennes des indicateurs de sécheresse par classe de municipalités	11

Liste des acronymes et abréviations

ACP	Analyse en Composantes Principales
AFC	Analyse Factorielle des Correspondances
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMM	Organisation météorologique mondiale
SSI	Indice de Sévérité Standardisé

1 Introduction

La sécheresse est un phénomène climatique majeur, se manifestant par une période prolongée de précipitations inférieures à la normale, engendrant un déficit en eau significatif (Canada, 2022). Ce phénomène, dont l'occurrence s'intensifie à l'échelle mondiale sous l'effet des changements climatiques, affecte l'équilibre des écosystèmes, compromet la disponibilité de l'eau potable et fragilise les systèmes agricoles et industriels (GIEC, 2021). Selon l'Organisation mondiale de la santé, une situation de stress hydrique est déclarée lorsque la quantité d'eau disponible tombe sous le seuil de 1 700 m³ par personne et par an, et un manque d'eau est constaté à partir de 1 000 m³ (Mailhot & Duchesne, 2005).

Bien que le Québec dispose d'environ 3 % des ressources mondiales en eau douce renouvelable et que ses prélèvements restent faibles en comparaison aux pays de l'OCDE (Mailhot et al., 2008), certaines de ses régions notamment en périphérie des grands centres urbains subissent des épisodes de sécheresse préoccupants. Ces événements climatiques entraînent des répercussions multiples : baisse des rendements agricoles, diminution du niveau des réservoirs, stress des écosystèmes aquatiques, multiplication des feux de forêt, et vulnérabilité de certaines infrastructures hydriques (Célicourt et al., 2023). Par ailleurs, de nombreux réseaux municipaux au Québec s'appuient principalement sur des sources d'eau de surface, qui se révèlent particulièrement vulnérables durant les périodes d'étiage (Da Silva et al., 2020).

Ce paradoxe entre abondance perçue et vulnérabilité réelle appelle une analyse fine et territorialisée du risque. Le Québec, bien qu'avantagé sur le plan hydrique à l'échelle globale, présente des inégalités d'exposition et des capacités d'adaptation très variables entre

municipalités (Léveque, 2020). Selon Morse et Turcotte (2018), plusieurs collectivités n'ont ni les ressources techniques ni les outils de planification nécessaires pour répondre efficacement aux sécheresses, révélant une fragilité structurelle des systèmes municipaux. La dépendance à une seule source d'approvisionnement (souvent souterraine ou de surface), la vétusté des infrastructures ou l'absence de plans de contingence exacerbent ces vulnérabilités. Dès lors, la sécheresse s'impose non seulement comme un enjeu environnemental, mais aussi comme une question d'équité territoriale et de justice hydrique.

Malgré ces constats, la sécheresse demeure encore marginalement étudiée au Québec (Da Silva et al, 2022 ; Bourgault et Maheu, 2023). Peu de travaux ont cartographié les zones les plus exposées au stress hydrique ni évalué, de manière comparative, la robustesse des systèmes municipaux d'approvisionnement en fonction de leur type (eaux de surface, souterraines ou mixtes). L'absence de connaissances différenciées et d'outils d'aide à la décision limite aujourd'hui la capacité d'action des acteurs locaux. Cela soulève une question centrale : comment évaluer objectivement la vulnérabilité hydrique des municipalités québécoises face à la sécheresse, et quelles en sont les implications en termes d'équité territoriale ?

Dans ce contexte, le présent rapport rend compte des avancées réalisées dans le cadre d'une étude menée au sein du Labo Équité-Climat, avec le soutien d'Ouranos et de Mitacs. Cette recherche vise à analyser, d'une part, les dynamiques spatio-temporelles de la sécheresse au Québec et, d'autre part, à évaluer la robustesse et la vulnérabilité des systèmes municipaux d'approvisionnement en eau.

Plus précisément, ce rapport de mi-parcours présente les résultats intermédiaires liés aux deux premiers objectifs de l'étude :

O Identifier les zones les plus affectées par la sécheresse au Québec, à partir de l'analyse des tendances climatiques et hydrologiques;

O Évaluer les systèmes d'approvisionnement en eau municipaux, en étudiant leur résilience face aux épisodes de sécheresse et leur lien avec la disponibilité de la ressource.

En s'appuyant sur une méthodologie mixte mobilisant des sources scientifiques, gouvernementales et des données issues de la littérature grise, ce travail entend éclairer les vulnérabilités actuelles afin de nourrir, dans un second temps, une réflexion plus large sur l'équité d'accès à l'eau et les stratégies d'adaptation durable à l'échelle municipale.

Le présent rapport est structuré en plusieurs sections. Il débute par la présentation de la problématique, qui porte sur les vulnérabilités différenciées des municipalités face à la sécheresse et sur les limites des systèmes d'approvisionnement en eau dans un contexte de changements climatiques. Cette section introduit les principaux enjeux liés à la gestion durable de la ressource et aux inégalités territoriales d'adaptation. Elle est suivie par une description détaillée de la méthodologie adoptée, puis par une analyse des résultats, organisée autour de trois axes : l'exposition au stress hydrique, l'évaluation des infrastructures d'approvisionnement en eau, et les stratégies de gestion et de mitigation. Une synthèse des résultats permet ensuite de faire ressortir les éléments les plus significatifs, avant de conclure sur les principaux constats et les pistes d'action à envisager.

2 Problématique

La sécheresse, en tant que phénomène climatique extrême, constitue aujourd'hui un enjeu croissant pour les sociétés contemporaines, tant en raison de ses impacts environnementaux que de ses implications socioéconomiques (GIEC, 2023, Chiang et al., 2023). Dans le contexte du Québec, traditionnellement perçu comme un territoire hydriquement favorisé en raison de l'abondance apparente de ses ressources en eau douce, la question de la sécheresse a longtemps été reléguée au second plan dans les politiques publiques et la recherche scientifique (Canada, 2022). Toutefois, l'accélération des changements climatiques et la multiplication d'épisodes de sécheresse au cours des dernières décennies révèlent une réalité plus contrastée (OMM, 2021). Certaines régions, notamment en périphérie des grands centres urbains, commencent à subir de

manière récurrente des déficits hydriques aux conséquences multiples : baisse des débits fluviaux, diminution du niveau des nappes, stress sur les écosystèmes aquatiques, pression accrue sur les infrastructures d'approvisionnement et conflits d'usage entre les différents secteurs (agriculture, industrie, consommation domestique, etc.) (GIEC, 2021).

Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de dépasser l'image homogène d'un Québec à l'abri du stress hydrique pour adopter une lecture différenciée, fine et territorialisée de la vulnérabilité à la sécheresse. En effet, les conditions d'exposition et les capacités d'adaptation varient considérablement d'une municipalité à l'autre, en fonction de nombreux facteurs : caractéristiques climatiques locales, structure des systèmes d'approvisionnement, nature des sources utilisées (eaux de surface, souterraines ou



mixtes), état des infrastructures, mécanismes de gouvernance, ressources financières et humaines disponibles, etc. (Canada, 2024). Très peu d'études ont documenté avec précision les disparités territoriales au Québec, où la gestion des aléas hydrométéorologiques se concentre surtout sur les grands cours d'eau, en raison de la forte densité humaine dans les basses terres (Besnard et al., 2023).

L'un des premiers enjeux de cette recherche est donc de cartographier les dynamiques spatio-temporelles de la sécheresse au Québec, en identifiant les zones géographiques les plus affectées par ce phénomène. Cela implique une analyse rigoureuse des tendances climatiques et hydrologiques à partir d'indicateurs pertinents (précipitations, température, indices de sécheresse, niveaux des réservoirs et évolution des niveaux des eaux de surface et souterraines), afin de cerner l'évolution du phénomène dans l'espace et dans le temps (Mailhot et al., 2017). Une telle démarche permet non seulement de localiser les territoires à risque, mais aussi de nourrir des processus de veille et d'alerte plus efficaces à l'échelle municipale et régionale (Diaconescu et al., 2017).

Le second enjeu, complémentaire au premier, consiste à évaluer la robustesse et la vulnérabilité des systèmes municipaux d'approvisionnement en eau face aux épisodes de sécheresse. Il s'agit ici de comprendre dans quelle mesure la configuration des réseaux, le type de sources mobilisées, la diversité des approvisionnements ou encore la présence (ou l'absence) de plans de contingence influencent la capacité d'un territoire à répondre à une situation de stress hydrique (Jalliffier-Verne et al., 2017 ; Néron, 2020 ; Duhamel, 2022). Certaines municipalités, par exemple, dépendent exclusivement d'une source unique d'approvisionnement (souvent

une prise d'eau en rivière ou un puits artésien), ce qui les rend particulièrement sensibles aux variations saisonnières ou aux phénomènes extrêmes (MELCC, 2018). D'autres ont développé des systèmes plus diversifiés ou redondants, leur permettant une plus grande résilience (Brown, C. et al., 2019). L'évaluation de cette robustesse implique donc une analyse croisée de données techniques, climatiques et territoriales, dans une perspective comparative et structurée.

Ces deux dimensions, caractérisation des dynamiques de sécheresse et évaluation des systèmes d'approvisionnement, constituent les fondements de cette recherche. Elles permettent d'interroger la capacité du Québec à faire face, à l'échelle municipale, aux transformations hydriques en cours et à venir (Marchau et al., 2019). Au-delà de la simple compréhension du phénomène, ce travail vise à outiller les acteurs locaux, en leur fournissant des données différenciées et des indicateurs de vulnérabilité utiles à la planification et à l'adaptation. Dans un contexte de rareté croissante de l'eau à l'échelle mondiale, cette réflexion revêt une importance particulière pour assurer une gestion équitable, durable et anticipée de la ressource hydrique.

En somme, la présente recherche part d'un double constat : d'une part, la sécheresse est un phénomène réel, croissant et différencié au sein du Québec ; d'autre part, les capacités municipales de réponse sont inégales et insuffisamment documentées. Dès lors, comment identifier les zones les plus affectées par la sécheresse à l'échelle du Québec et évaluer de manière rigoureuse la résilience des systèmes d'approvisionnement en eau des municipalités face à ces événements climatiques ? Cette interrogation constitue le fil conducteur du présent rapport à mi-parcours.



3 Analyse spatio-temporelle de la sécheresse et évaluation des systèmes hydriques municipaux au Québec

Cette section du rapport présente d'abord la méthode suivie pour collecter et analyser les données relatives à la sécheresse et à l'approvisionnement en eau. Ensuite, les résultats sont structurés en trois grandes étapes : d'une part, l'identification des municipalités les plus exposées à la sécheresse selon différents indicateurs ; d'autre part, l'analyse des systèmes d'approvisionnement en eau et leur lien avec la vulnérabilité observée et enfin les stratégies de gestion et de mitigation. L'ensemble vise à mieux comprendre comment les caractéristiques hydriques locales influencent la résilience des territoires face aux épisodes de sécheresse.

3.1 Méthodologie

3.1.1 Méthode de collecte des données

Afin de cerner les enjeux liés à la sécheresse au Québec, une revue de presse a été réalisée pour mettre en lumière les problématiques majeures soulevées par les épisodes de déficit hydrique dans la province. Comme le souligne Pozniak et al. (2023), l'analyse de contenu appliquée aux médias constitue une méthode efficace pour dégager des tendances discursives et des préoccupations sociales autour d'un enjeu donné. Les données mobilisées pour cette étude proviennent principalement de sources gouvernementales et scientifiques librement accessibles, notamment des bases de données hydrologiques secondaires issues des modélisations et fournies par Ouranos (2022), en complément d'informations issues de la littérature grise et scientifique (Québec Science, 2023; Gouvernement du Québec,

2022). Ces données comprennent des renseignements détaillés sur les installations municipales de production d'eau potable, les types d'approvisionnement en eau utilisés, ainsi que plusieurs indicateurs de sécheresse calculés à l'échelle municipale. Ce choix méthodologique s'inscrit dans une tendance croissante observée dans plusieurs disciplines, notamment les sciences sociales et les études en affaires internationales, où l'usage de données secondaires supplante progressivement celui des données primaires (Nielsen et al., 2020; Aguinis et al., 2020). Cette évolution reflète une volonté d'exploiter des bases de données existantes pour analyser des phénomènes à l'échelle régionale, dans un souci de rigueur, de faisabilité et d'efficience (Aguinis et al., 2020 ; Cerar et al., 2021).

L'analyse repose sur un corpus de données couvrant une période de 53 ans (1970-2022), structurées sous forme de jeux de données pour permettre des traitements statistiques robustes. Ce choix d'une période étendue s'inscrit dans une démarche diachronique, permettant de mettre en évidence les transformations structurelles à long terme. Comme le souligne Siouffi (2012), la diachronie ne se limite pas à une simple comparaison temporelle, mais implique une réflexion sur les répercussions profondes de l'évolution dans les systèmes étudiés. Quatre indicateurs ont été retenus afin de caractériser les conditions de sécheresse dans les municipalités du Québec, en accord avec les recommandations méthodologiques de Vicente-Serrano et al. (2012) :

- L'indice de sévérité standardisé (SSI);
- La durée des épisodes de sécheresse (en mois);



- Le SSI minimal (valeur la plus basse observée);
- L'étendue spatiale de la sécheresse (pourcentage du réseau fluvial affecté).

L'analyse porte également sur les réseaux de distribution d'eau à l'échelle municipale. Toutefois, comme le mettra en évidence un second rapport sous la forme d'une étude exploratoire, dans plusieurs municipalités rurales, un grand nombre de résidences ne sont pas raccordées aux réseaux et dépendent de puits individuels, ce qui accroît leur vulnérabilité. Cette étude complémentaire portera notamment sur la manière dont des acteurs territoriaux clés perçoivent les dynamiques d'équité et d'iniquité socio-territoriales liées aux enjeux de déficit hydrique dans diverses régions du Québec.

3.1.2 Traitement et analyse des données

Pour identifier les profils types de municipalités selon leur niveau d'exposition à la sécheresse, une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée aux quatre indicateurs de sécheresse mentionnés ci-dessus. Les scores factoriels issus de l'ACP ont ensuite été utilisés comme base pour une analyse de regroupement hiérarchique (clustering). Cette méthode a permis de classer les municipalités en trois grandes classes présentant des caractéristiques distinctes en matière de sécheresse des eaux de surface. Le dendrogramme a été produit pour faciliter la visualisation et la validation des groupes. Cette approche de classification hiérarchique est couramment utilisée pour définir les divisions climatiques (Gader et al., 2020 ; Li et al., 2015).

Une analyse de la contribution de chaque indicateur à la formation des classes a été effectuée afin de comprendre les variables les plus discriminantes dans l'exposition à la sécheresse. Les valeurs moyennes des indicateurs pour chaque classe de municipalités ont été calculées et comparées à

la moyenne globale pour mettre en évidence les écarts significatifs. Pour illustrer les disparités entre les classes, une analyse comparative a été menée sur des cas représentatifs. Cette méthodologie a permis d'identifier les zones les plus vulnérables à la sécheresse au Québec, tout en mettant en lumière les différences structurelles entre les municipalités. Cette technique a été aussi adoptée par van der Wiel et al. (2023).

Une analyse descriptive a été réalisée pour établir la fréquence et la distribution des différentes modalités d'approvisionnement à l'échelle provinciale. Cette étape a permis de dresser un portrait général des pratiques d'approvisionnement en eau à partir de tableaux de fréquences et de visualisations graphiques (histogrammes, diagrammes circulaires). Afin d'explorer les relations entre les types d'approvisionnement et les régions administratives, une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été conduite, facilitant ainsi l'interprétation conjointe des préférences régionales et des formes d'approvisionnement. Cette approche multivariée permet de représenter visuellement les proximités et oppositions entre modalités, ce qui en fait un outil particulièrement adapté à l'étude des systèmes complexes de gestion de l'eau. Elle a déjà été utilisée, notamment par Lagoye et al. (2022), pour analyser les perceptions des acteurs autour de la gouvernance de l'eau selon leur profil socioprofessionnel et socioculturel, soulignant ainsi sa pertinence dans le champ des études hydriques. Une dernière étape a consisté à croiser les résultats de l'AFC et de l'ACP afin d'examiner les relations entre les modalités d'approvisionnement en eau et les niveaux de vulnérabilité identifiés. Ce croisement a permis une lecture intégrée des dynamiques territoriales de l'approvisionnement en eau face aux enjeux climatiques.



3.2 Résultats de l'analyse

3.2.1 Analyse de la sécheresse dans une perspective de gestion durable

Cette sous-section examine la variabilité de la sécheresse à travers une classification des municipalités selon leur niveau d'exposition. Elle présente (i) le nombre optimal de classes, (ii) la contribution des indicateurs retenus, (iii) les profils moyens par classe, ainsi que (iv) les municipalités les plus et les moins touchées.

- **Identification du nombre de classe de municipalités présentant les niveaux de sécheresse différents**

L'analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur quatre indicateurs de sécheresse (indice de sévérité standardisé (SSI), la durée de la sécheresse (Duration), le SSI le plus bas (Lowest.SSI) et le pourcentage de la longueur totale du réseau de rivière en sécheresse (spatial extent) a permis d'identifier trois grandes catégories de municipalités avec des caractéristiques distinctes en matière de sécheresse (Figure 1). Cette catégorisation corrobore les travaux de Van Loon (2015), qui souligne la diversité des sécheresses selon leur intensité, leur durée, et leur extension spatiale, appelant à des approches d'analyse intégrée.

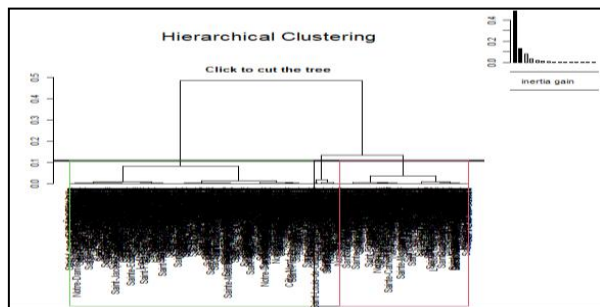


Figure 1 : Dendrogramme issu de l'ACP

- **Contribution des indicateurs**

Les deux premiers indices, notamment la durée et l'indice SSI, sont les plus discriminants et contribuent de manière significative ($p < 0,05$)

à la distinction des trois classes de municipalités, avec des contributions respectives de 80,9% et 82,1% (Tableau 1). Ce constat est cohérent avec les travaux de Vicente-Serrano et al. (2012), qui soulignent l'importance du SSI dans l'évaluation de la sévérité et de la persistance des sécheresses, particulièrement dans les contextes à forte variabilité climatique. En revanche, les indices Lowest.SSI et spatial extent, bien que significatifs ($p < 0,05$), ont faiblement contribué, soit respectivement 6,2% et 1,3%. Cela pourrait être attribué à leur variabilité locale ou à une moindre sensibilité temporelle, comme le suggèrent Stahl et al. (2016) dans leur analyse des sécheresses à l'échelle européenne. Ces résultats mettent en évidence l'importance des indices de sévérité et de la durée d'observation de la sécheresse dans la caractérisation et la discrimination des conditions de sécheresse à travers les municipalités. Ceci souligne donc que ces deux indicateurs sont les principaux moteurs des variations observées dans les données.

Tableau 1 : Contributions des indicateurs de sécheresse à la discrimination des classes

Index drought	Contribution (%)	P-value
Duration	0,809	0,000
Severity	0,821	0,000
Lowest_SSI	0,062	5,95e-16
Spatial extent	0,013	7,84e-04

- **Indicateurs moyens des municipalités constituant les différentes classes**

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des quatre indicateurs de sécheresse pour les trois classes de municipalités identifiées par l'ACP. En effet, les municipalités de la première classe sont les plus gravement touchées par la sécheresse. Elles affichent une durée moyenne des événements de sécheresse supérieure à 4 mois, une valeur nettement au-dessus de la

moyenne globale dans l'ensemble des municipalités de Québec (3,25 mois). La sévérité moyenne des municipalités de cette classe a atteint -6,7, indiquant une intensité plus importante comparée à la moyenne globale (-5,18). De plus, l'indice SSI le plus bas dans cette classe est de -1,915 en moyenne, légèrement inférieur aussi à la moyenne globale (-1,876). Enfin, l'étendue spatiale moyenne est de 87,9%, encore plus élevée que la moyenne globale (83,2%). Ces valeurs montrent qu'il s'agit de la classe des municipalités subissant les épisodes de sécheresse les plus longs et les plus évènements, avec une étendue plus large. De nombreuses études soulignent en effet que la sévérité et la durée des sécheresses sont parmi les caractéristiques les plus impactantes pour les écosystèmes et les populations (Mishra & Singh, 2010; Van Loon, 2015).

Les municipalités de la deuxième classe présentent des valeurs moyennes intermédiaires avec une durée moyenne de 3,4 mois et une sévérité moyenne de -5,4, ce qui les places en dessous de la sévérité des municipalités de la classe 1 mais au-dessus de celle de la classe 3. Cette classe représente donc les municipalités affectées par la sécheresse. Ces zones pourraient être considérées comme des territoires en transition, susceptibles de basculer vers une exposition plus forte ou plus faible selon les conditions climatiques futures et les stratégies locales de gestion (Vicente-Serrano et al., 2012). En revanche, la troisième classe regroupe les municipalités les moins touchées par la sécheresse. Elles ont une durée moyenne de sécheresse d'environ trois (03) mois, en dessous de la moyenne globale. La sévérité est aussi moindre, avec une valeur moyenne de 5. L'indice SSI le plus bas est en moyenne de -2 environ et l'étendue spatiale moyenne est de 82,3%, toutes deux légèrement inférieures à la moyenne globale. Ces valeurs indiquent qu'il s'agit de la classe des municipalités subissant

les épisodes de sécheresse les plus courts et les moins sévères comparativement aux autres classes. Cela pourrait s'expliquer par une moindre variabilité climatique régionale (Lloyd-Hughes, 2014).

Tableau 2 : Valeurs moyennes des indicateurs de sécheresse par classe de municipalités

Index drought	Mean in class	Overall mean	Sd in class	Overall sd	P value
Class 1					
Duration	4,193	3,249	0,343	0,487	0,000
Severity	-6,70	-5,184	0,551	0,758	0,000
Lowest_SSI	-1,915	-1,876	0,065	0,067	3,05e-12
Spatial extent	0,879	0,832	0,135	0,154	1,918e-04
Class 2					
Duration	3,403	3,249	0,191	0,487	2,918e-21
Severity	-5,40	-5,184	0,287	0,758	1,329e-17
Lowest_SSI	-1,881	-1,876	0,067	0,067	0,000
Spatial extent	0,828	0,832	0,173	0,154	0,000
Class 3					
Duration	2,828	3,249	0,185	0,487	0,000
Severity	-4,541	-5,184	0,261	0,758	0,000
Lowest_SSI	-1,862	-1,876	0,063	0,067	1.542e-10
Spatial extent	0,823	0,832	0,135	0,154	0,000

o Principales municipalités les plus touchées et les moins touchées

Les municipalités les plus touchées par la sécheresse ont été logiquement identifiées dans la classe 1 et comprennent surtout Duparquet, Petite Rivière Saint François (PRSF), Saint Joachim, Saint-Louis-de-Gonzague-du-Cap-Tourmente (Saint-Louis), Saint-Tite des

Caps, Saint-Lin-Laurentides, Saint-Cyrille-de-Wendover, Sainte-Cécile-de-Whitton, Upton, Sainte-Marie-Madeleine, Hope, Hope Town, La Trinité-des-Monts, Lemieux, Manseau, Saint-Louis-de-Blandford et Lanoraie, affichant des niveaux de sévérité extrêmement élevés, avec des indices de sévérité variant autour de -8,36 (Saint-Tite des Caps) à environ -8 (Duparquet) (Figure 2). Ces résultats confirment les constats de Yusa et al. (2015), selon lesquels les régions sujettes aux sécheresses extrêmes tendent à afficher des durées prolongées, des déficits hydriques cumulatifs, ainsi qu'une couverture spatiale élargie. Ces résultats sont accompagnés de durées moyennes de déficit hydrique dépassant les 5 mois et des plus bas indices SSI relativement élevés avec une étendue spatiale largement affectée, atteignant 100% dans la plupart des cas. Ces municipalités montrent une vulnérabilité significative aux sécheresses prolongées et sévères, nécessitant une gestion proactive des ressources en eau et des mesures d'adaptation robustes.

Plus largement, les zones géographiques les plus durement affectées incluent : les Basses-terres du Saint-Laurent ; les régions méridionales du Québec, en particulier certaines municipalités de l'Estrie (comme

Bolton-Ouest), de la Montérégie (Dunham, Saint-Ignace-de-Stanbridge) ; et le Centre-du-Québec et Chaudière-Appalaches. Ces résultats s'inscrivent dans la continuité des travaux de Bonsal et al. (2013), qui ont observé une intensification des sécheresses dans le sud du Québec en lien avec les changements climatiques et une pression croissante sur les ressources en eau.

En contraste, les municipalités les moins touchées ont été identifiées dans la classe 3. Il s'agit notamment de Sainte-Marie-Madeleine, Hope, Hope Town, la Trinité des Monts, Lemieux, Manseau, Saint-Louis-de-Blandford, présentant des indices de sévérités plus modérés, oscillant autour de -4. Ces municipalités ont des durées moyennes de sécheresse plus courtes, généralement inférieures à 3 mois, et montrent des niveaux d'impact plus limités sur leurs réseaux fluviaux, avec des étendues spatiales plus modestes. Cette résilience relative face à la sécheresse indique des conditions environnementales potentiellement plus favorables et des impacts socio-économiques moindres, bien que des stratégies de gestion de l'eau restent essentielles pour ramener les indices en dessous du seuil de sévérité (-1,5) (Wheeler et von Braun, 2013).

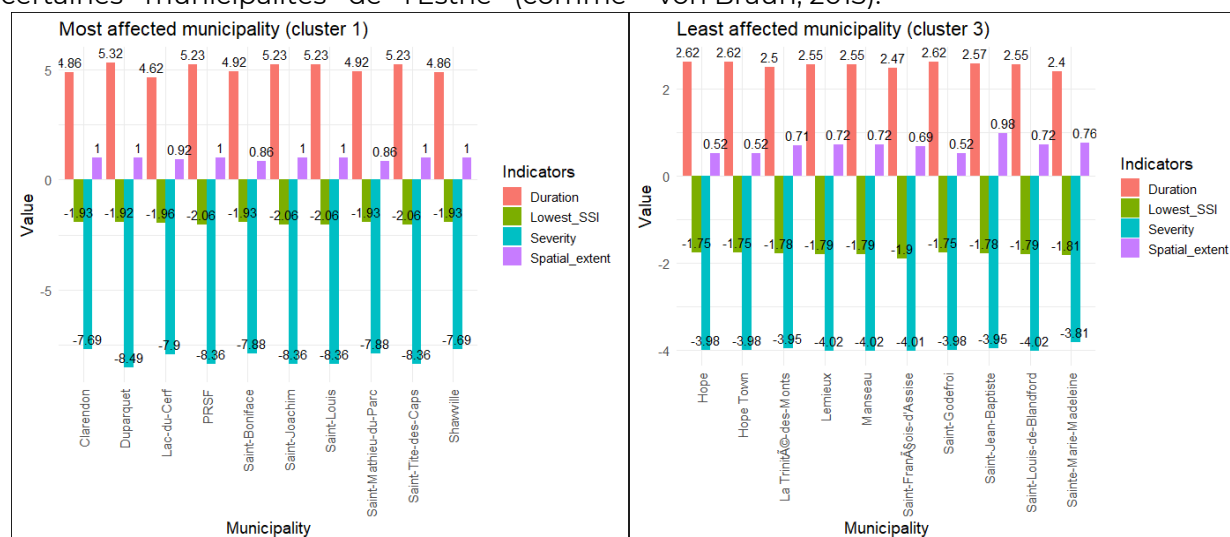


Figure 2 : Analyse comparative des municipalités face à la sécheresse : cas des municipalités les plus touchées et des moins touchées

3.2.2 Evaluation des systèmes d'approvisionnement en eau

En identifiant les municipalités les plus exposées à la sécheresse selon plusieurs indicateurs clés, cette première étape pose les bases d'un diagnostic territorial rigoureux. Il apparaît crucial d'examiner les dispositifs techniques et institutionnels mis en place pour l'approvisionnement en eau dans les différentes municipalités. Cette section propose ainsi une évaluation détaillée des systèmes d'approvisionnement en eau, à travers la catégorisation des installations de production, l'analyse des types de sources hydriques, et leur articulation avec les niveaux d'exposition à la sécheresse.

○ Catégorisation des installations de production

Les résultats de l'analyse des systèmes d'approvisionnement en eau des municipalités de la province de Québec révèlent que la majorité des installations de production d'eau potable sont approvisionnées par des sources souterraines, représentant 63 % des installations (Figure 3). Les installations utilisant des sources de surface constituent 32 %, du total tandis que 6 % des installations sont approvisionnées par des sources souterraines considérées de surface, c'est-à-dire des sources souterraines influencées directement par l'eau de surface. Cette prépondérance des sources souterraines comme principale catégorie d'approvisionnement indique une forte dépendance des municipalités à l'égard des nappes phréatiques pour répondre à leurs besoins en eau potable. Le choix des sources souterraines suggère que ces dernières sont perçues comme étant plus protégées contre les contaminants de surface, offrant ainsi une eau de meilleure qualité. Ces résultats sont corroborés par ceux de Bouraoui et al. (2004) qui stipule que cette prédominance des nappes phréatiques s'explique par plusieurs

facteurs, notamment la perception de leur meilleure qualité sanitaire, leur protection naturelle contre les contaminants et leur disponibilité relativement stable face aux variations climatiques saisonnières. Les eaux souterraines sont souvent considérées comme moins vulnérables aux pollutions ponctuelles ou diffuses et nécessitent généralement un traitement moins intensif que les eaux de surface (Gouvernement du Québec, 2021). Toutefois, cette diversité des sources, avec une utilisation notable des eaux de surface (32 %), souligne l'importance d'une gestion intégrée et durable des ressources en eau pour garantir un approvisionnement fiable et sûr pour les populations locales.

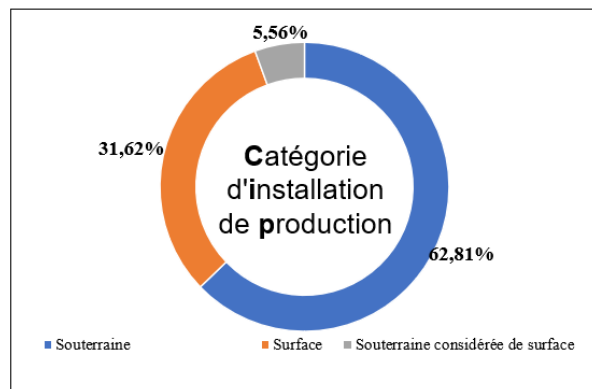


Figure 3 : Catégorie d'installation de production en eau dans les municipalités de Québec

○ Type d'approvisionnement

Les résultats de l'appréciation des types d'approvisionnement montrent que les puits tubulaires dominants, représentent 56 % des approvisionnements en eau. Ces puits, creusés par une foreuse et équipés d'une pompe submersible, sont souvent préférés pour leur capacité à accéder à des eaux souterraines profondes et relativement protégées contre les contaminants de surface. Cette tendance est cohérente avec les travaux de Villholth (2013), qui souligne que les eaux souterraines sont souvent perçues comme une source plus fiable et résiliente face aux changements

climatiques, notamment en période de sécheresse. Les rivières (17 %) et les lacs (6 %) suivent, représentant les principales sources d'eau de surface. En particulier, les apports des rivières peuvent fortement fluctuer en fonction de la température et des précipitations saisonnières (Bakker, 2012). Le fleuve Saint-Laurent, utilisé par 6 % des installations, est une source majeure et fiable, tandis que les sources à drains horizontaux (4 %) et les puits de surface (1 %) proviennent de l'eau souterraine captée de manière plus traditionnelle et à faible profondeur. Ces données corroborent ceux rapportés par le Gouvernement du Québec (2024), selon lesquels le fleuve Saint-Laurent est soumis à des pressions croissantes telles que la pollution industrielle, les variations du niveau d'eau et l'urbanisation des zones riveraines. Par ailleurs, bien que les sources à drains horizontaux et les puits de surface soient en déclin en termes d'utilisation, ces infrastructures demeurent présentes dans les milieux ruraux ou faiblement urbanisés, où elles continuent de jouer un rôle non négligeable dans l'approvisionnement en eau potable (Duhamel, 2022).

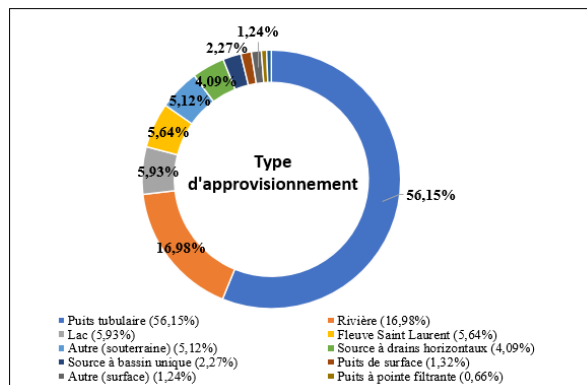


Figure 4 : Distribution des types d'approvisionnement en eau dans la province de Québec

o Analyse des systèmes d'approvisionnement en eau par municipalités

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) montrent une répartition distincte des types d'approvisionnement en eau selon les régions de la province de Québec. La région administrative de Montréal dépend principalement du fleuve Saint-Laurent, une source d'eau de surface significative et relativement stable, bien que vulnérable à la pollution et aux variations saisonnières. Des études ont démontré que le fleuve est sensible à la hausse de la température et à la baisse du débit printanier, affectant notamment les prises d'eau potable en période d'étiage (ECCC, 2022). Les régions administratives de Montérégie et Laval utilisent principalement les rivières, qui, bien qu'abondantes, sont également sensibles aux sécheresses et peuvent voir leur débit réduit pendant les périodes de sécheresse. Les récentes sécheresses ont réduit les niveaux de nombreux cours d'eau, provoquant des restrictions d'usage de l'eau dans plusieurs municipalités (Ouranos, 2021). Les régions de l'Estrie, de la Côte-Nord, des Laurentides et du Nord-du-Québec s'approvisionnent principalement dans les lacs, ce qui offre une certaine stabilité mais nécessite une gestion prudente pour éviter les impacts négatifs de la sécheresse. Toutefois, la régulation naturelle de ces lacs est parfois insuffisante face à des sécheresses prolongées, en particulier lorsque l'évaporation estivale excède les apports en eau (Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs 2023).

Les régions de la Mauricie, de l'Outaouais, de Lanaudière, de Chaudière-Appalaches, de la Capitale-Nationale et de Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine présentent une diversité d'approvisionnements, incluant les sources à bassin unique, les puits tubulaires et d'autres

sources souterraines et de surface. Cette diversité peut offrir une résilience accrue face aux sécheresses, car elle permet de puiser dans différentes sources selon la disponibilité. Cette pluralité de sources permet en effet de basculer entre des options d'alimentation selon la disponibilité ou la qualité de l'eau (INSPQ, 2021). Cependant, les régions d'Abitibi-Témiscamingue, qui utilisent des puits de surface, des puits rayonnants et des puits à pointe filtrante, peuvent être plus vulnérables en période de sécheresse en raison de la nature peu profonde de ces sources. Ces installations, par leur nature peu profonde, sont rapidement affectées par les baisses de nappe phréatique ou l'assèchement des cours d'eau (Gouvernement du Québec, 2024). Enfin, l'utilisation généralisée des sources à drains horizontaux surtout dans la région Saguenay Lac Saint Jean et au Centre du Québec, indique une méthode d'approvisionnement commune et fiable pour la plupart des municipalités de ces régions, offrant un certain niveau de protection contre les pénuries d'eau en période de sécheresse. Ces constats rejoignent ceux de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, 2020) qui recommande une gestion intégrée et territoriale des ressources hydriques pour assurer un accès équitable et durable à l'eau, tout en tenant compte des inégalités régionales et des vulnérabilités croissantes.

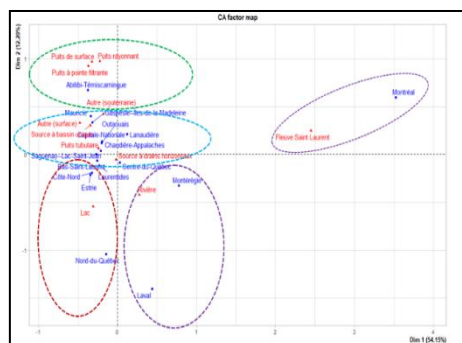


Figure 5: Analyse factorielle des correspondances montrant la répartition régionale des types d'approvisionnement dans la province de Québec

o Caractérisation des municipalités québécoises selon la sécheresse et les types d'approvisionnement en eau

La figure 6 montre des relations significatives entre les groupes de municipalités constitués par l'ACP et les types d'approvisionnement utilisés dans les différentes régions. En effet, les municipalités du cluster 1, considérées comme les plus touchées par la sécheresse, utilisent notamment les puits rayonnants, les sources à bassin unique et d'autres captages souterrains. Il en résulte que même si ces formes d'approvisionnement sont robustes, elles peuvent être exposées à une sécheresse prolongée en raison de leur vulnérabilité aux baisses prolongées et lentes de la nappe phréatique (INSPQ, 2021).

En ce qui concerne le groupe 2 composé de municipalités moyennement impactées, l'AFC indique une préférence pour les puits de surface et les puits tubulaires. Cela montre également que les puits de surface, même s'ils sont facilement accessibles, sont impactés directement par les changements saisonniers et les niveaux d'eau souterraine, diminuant leur performance pendant les périodes de sécheresse. En revanche, les puits tubulaires pourraient offrir une solution plus fiable en puisant à des profondeurs plus grandes, bien qu'ils pourraient être plus vulnérables aux baisses prolongées du niveau de la nappe phréatique. Les municipalités de ce groupe profitent d'une plus grande résistance que celles du groupe 1. Cependant, la présence des indices d'une situation hydrique préoccupante mettent en évidence la nécessité d'améliorations dans ces municipalités pour une meilleure gestion des défis climatiques (Yusa et al., 2015).

Par rapport aux municipalités du cluster 3, considérées comme les moins touchées par la sécheresse comparativement aux deux précédents, l'AFC signale une forte utilisation des ressources en eau de surface comme les

rièrres et les lacs, ainsi que des systèmes comme les puits à pointe filtrante, les sources à drains horizontaux et d'autres captages de surface. Ces résultats indiquent que ces méthodes d'approvisionnement présentent une plus grande capacité de récupération en raison d'une recharge plus rapide et d'une disponibilité constante, souvent renforcée par des infrastructures de gestion des eaux de surface (Wheeler et von Braun, 2013).

Dans cette situation, il serait utile d'investir dans les infrastructures telles que des barrages et des réservoirs pour améliorer la gestion de l'approvisionnement en eau contre les défis de la sécheresse et renforcer la résilience des municipalités. En outre, une variation des origines des approvisionnements, comprenant des techniques de collecte d'eau souterraine et de surface, pourrait diminuer la dépendance envers une seule source exposée au risque. En conclusion, il est important de promouvoir des actions de préservation de l'eau et des projets de reboisement basés sur les espèces locales adaptées au contexte hydrologique et pouvant permettre d'améliorer l'infiltration de l'eau dans les sols et réduire le ruissellement et l'érosion. En effet, la stratégie de reboisement est considérée comme une approche permettant de maximiser la recharge des eaux souterraines surtout dans les régions tropicales saisonnièrement sèches (Ilstedt et al., 2016).

Remarque : Les municipalités suivantes n'ont pas été retrouvées dans les données disponibles sur les sites visités : Bolton-Ouest (Estrie), Dunham (Montérégie), Saint-Ignace-de-Stanbridge (Montérégie), Sainte-Cécile-de-Whitton, Saint-Louis-de-Gonzague-du-Cap-Tourmente, Hope, Hope Town, la Trinité des Monts, Lemieux et Saint-Louis-de-Blandford.

3.2.3 Stratégie de gestion et de mitigation

Face aux vulnérabilités identifiées et aux risques accrus liés à la sécheresse dont il a été question dans les sections précédentes, il devient essentiel de s'intéresser aux réponses institutionnelles et aux actions mises en œuvre pour renforcer la résilience hydrique des territoires. La section suivante présente les principales stratégies de gestion et de mitigation adoptées ou envisagées au Québec pour faire face à ces enjeux. Actuellement, la gestion intégrée des ressources en eau comprend une surveillance continue des niveaux d'eau des rivières, des lacs et des réservoirs via un réseau de stations hydrométriques, permettant d'adapter la gestion des barrages pour minimiser les impacts sur l'agriculture, l'industrie et les écosystèmes (Laliberté & Desjardins, 1999). La figure 7 ci-dessous relate les stratégies de gestion et de mitigation.

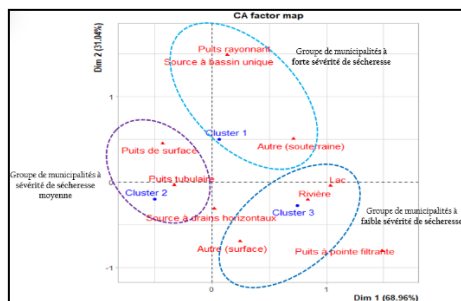


Figure 6 : Analyse Factorielle des Correspondances des modalités d'approvisionnement en eau en fonction des groupes de municipalités au Québec

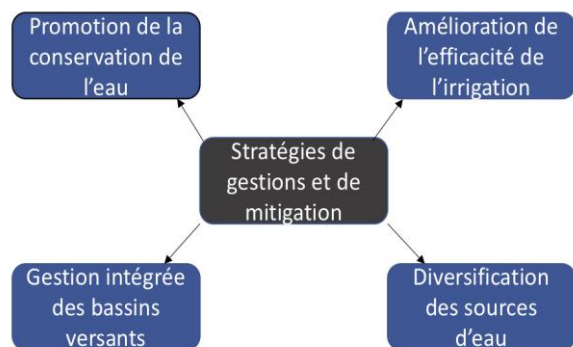


Figure 7: Stratégie de gestion et de mitigation

Les propositions futures incluent l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation par des techniques plus durables, la diversification des sources

d'eau en réutilisant les eaux usées traitées, et la gestion intégrée des bassins versants via une collaboration accrue entre les acteurs locaux (Laliberté & Desjardins, 1999). En outre, la promotion de la conservation de l'eau à tous les niveaux et l'intégration de stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans les politiques publiques sont essentielles pour renforcer la résilience du Québec (Shields, 2022). Ces mesures visent à assurer une gestion durable des ressources en eau, à préserver les écosystèmes et à répondre aux besoins socio-économiques des communautés.

4 Synthèse des résultats

Cette synthèse met en lumière les principaux enseignements issus de l'analyse, en consolidant les résultats les plus significatifs sur l'exposition des municipalités à la sécheresse, les vulnérabilités associées aux systèmes d'approvisionnement en eau, ainsi que les dynamiques territoriales d'adaptation. Elle permet ainsi de dégager les tendances majeures et de guider les réflexions sur les stratégies de gestion durable de la ressource hydrique.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de distinguer trois grandes classes de municipalités québécoises selon leur niveau d'exposition à la sécheresse, en s'appuyant sur quatre indicateurs : la durée moyenne, la sévérité, le SSI minimal et l'étendue spatiale des épisodes secs. La classe 1, qui regroupe les municipalités les plus exposées, se caractérise par des épisodes de sécheresse prolongés (durée moyenne supérieure à 4 mois), sévères ($SSI < -2$) et spatialement étendus. On retrouve notamment dans ce groupe des municipalités situées dans les régions du Centre-du-Québec, de Chaudière-Appalaches et de l'Estrie, où la

dépendance à des captages souterrains fragiles et la faible diversification des sources d'approvisionnement aggravent la vulnérabilité (Ouranos, 2022). Cette configuration reflète une forte sensibilité climatique et une exposition élevée aux pénuries hydriques, notamment durant les étés chauds et secs, accentués par le réchauffement climatique (Montcoudiol et al., 2015). La classe 2 rassemble des municipalités moyennement affectées, où la durée des sécheresses est généralement inférieure à 3 mois, mais avec des sévérités modérées et une distribution géographique plus localisée. Ce groupe comprend des localités telles que celles des régions de Lanaudière, de la Mauricie et du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ces territoires, souvent approvisionnés par des puits de surface et des systèmes mixtes, restent vulnérables aux variations saisonnières du niveau de la nappe phréatique, mais bénéficient d'une résilience intermédiaire fondée sur une meilleure capacité de recharge et un encadrement réglementaire plus stable (MELCC, 2021 ; Adombi et al., 2024). Enfin, la classe 3, composée de municipalités

relativement moins touchées, présente des épisodes de sécheresse courts, peu sévères et limités dans l'espace. Elle inclut plusieurs municipalités des régions de la Côte-Nord, de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et de l'Abitibi-Témiscamingue, où l'accès aux eaux de surface (lacs, rivières) et l'existence d'infrastructures de gestion renforcent la capacité de réponse face aux stress hydriques (Wheeler et von Braun, 2013).

Ces résultats soulignent la diversité des vulnérabilités régionales et appellent à des stratégies différenciées d'adaptation. Dans les zones les plus à risque (classe 1), il devient crucial de renforcer les capacités locales en gestion intégrée de l'eau, d'investir dans des infrastructures de stockage et de régulation, et de favoriser la diversification des sources d'approvisionnement (Gouvernement du Québec, 2020). Les municipalités de la classe 2 doivent quant à elles améliorer la surveillance de leurs systèmes d'approvisionnement et anticiper les effets cumulatifs d'un stress hydrique prolongé. Pour les territoires de la classe 3, bien que relativement épargnés, une vigilance proactive reste nécessaire pour faire face aux effets croissants du changement climatique à moyen terme (Ouranos, 2022).

Les données révèlent une forte dépendance des municipalités québécoises aux eaux souterraines, avec 62,81 % d'entre elles utilisant cette ressource pour l'approvisionnement en eau potable (Gouvernement du Québec, 2020). Ce constat corrobore les données du Gouvernement du Québec (2024), selon lesquelles environ 65 % des municipalités s'alimentent en eau souterraine, bien que cela ne représente que 27 % de la population totale. Cette préférence s'explique par la bonne qualité intrinsèque de l'eau souterraine, sa proximité avec les lieux de consommation, et son coût d'exploitation relativement bas (Armand, 2009 ; Latulippe, 1999).

Cependant, cette dépendance aux nappes phréatiques n'est pas sans risque, surtout dans un contexte de variabilité climatique accrue. Comme le rappellent Charron et al. (2019) et le Centre d'information sur l'eau (2019), la sécheresse compromet la recharge naturelle des nappes, notamment en été et en automne, lorsque l'évapotranspiration est maximale (Armand, 2009 ; Duhamel, 2022). Ainsi, la corrélation observée entre les types d'approvisionnement et les niveaux de sécheresse mise en évidence par l'analyse factorielle des correspondances illustre une vulnérabilité structurelle importante : les municipalités les plus touchées par la sécheresse reposent fréquemment sur des captages sensibles à la baisse des nappes, tels que les puits rayonnants, les sources à bassin unique, ou les puits de surface.

Ce phénomène s'inscrit dans une dynamique inquiétante, car les municipalités ayant une faible diversification des sources d'eau font face à un risque accru de rupture d'approvisionnement lors d'événements climatiques extrêmes. Le British Geological Survey (2022) souligne que les eaux souterraines pourraient jouer un rôle d'assurance contre le changement climatique, à condition d'être gérées de manière durable. Or, Québec Science (2023) déplore que ces ressources soient encore souvent mal surveillées et mal protégées.

À l'inverse, les municipalités moins affectées par la sécheresse bénéficient d'une plus grande diversité d'approvisionnement, notamment en eau de surface. Cette diversité constitue un facteur de résilience majeur. En effet, même si l'eau de surface est plus vulnérable à la contamination et nécessite un traitement plus coûteux (Latulippe, 1999), sa recharge est plus rapide et sa disponibilité peut être mieux contrôlée à travers des infrastructures de gestion, comme les réservoirs et les barrages (MELCC, 2020). Les municipalités de ce groupe exploitent



également des techniques d'approvisionnement innovantes comme les sources à drains horizontaux ou les puits à pointe filtrante, qui semblent plus adaptables aux fluctuations saisonnières (Wheeler et von Braun, 2013).

L'analyse met également en évidence une hiérarchisation des vulnérabilités :

- le cluster 1, le plus exposé à la sécheresse, combine des systèmes fragiles et une forte dépendance à une seule source ;
- le cluster 2 montre une certaine capacité d'adaptation, mais reste exposé à des risques importants, notamment lors de sécheresses prolongées ;
- le cluster 3, enfin, apparaît comme le plus résilient grâce à une stratégie

d'approvisionnement mixte et à des infrastructures renforcées.

Ces résultats rejoignent les travaux de Yusa et al. (2015) qui soulignent que la résilience climatique des systèmes d'approvisionnement dépend largement de leur diversité et de leur capacité à se régénérer rapidement après un stress hydrique. Ils confirment également l'urgence, pour certaines municipalités, de revoir leurs systèmes d'approvisionnement, d'investir dans des infrastructures hybrides (eaux souterraines + surface), et de mettre en place des mesures d'adaptation telles que la réduction des pertes, la réutilisation des eaux usées traitées ou la recharge artificielle des nappes.



5 Conclusion

La situation hydrique au Québec, caractérisée par des variations saisonnières marquées et par les effets croissants des changements climatiques, exige une gestion rigoureuse et proactive des ressources en eau. Les rivières, lacs et réservoirs jouent un rôle fondamental dans l'approvisionnement, la régulation des débits et la préservation des écosystèmes aquatiques. Toutefois, la sécheresse accentue les pressions sur le système hydrique : elle compromet la recharge des nappes phréatiques, intensifie le recours aux eaux souterraines et fragilise les équilibres écologiques. La présence de contaminants tels que les nitrates, les pesticides, les métaux lourds, les bactéries et les virus renforce ces enjeux, soulignant la nécessité d'une surveillance continue et de mesures de gestion adaptées.

À ce jour, la réponse à ces défis repose sur une approche de gestion intégrée des ressources en eau, accompagnée d'une surveillance constante des niveaux des cours d'eau, des lacs et des réservoirs. Cette stratégie permet d'anticiper les épisodes critiques et d'adapter la gestion des infrastructures hydrauliques afin de minimiser les impacts sur les secteurs agricoles, industriels et naturels. Parallèlement,

plusieurs pistes d'action sont envisagées pour renforcer la résilience hydrique : amélioration de l'efficacité de l'irrigation, diversification des sources d'approvisionnement, gestion intégrée des bassins versants, promotion des pratiques de conservation de l'eau et intégration systématique des mesures d'adaptation aux changements climatiques.

Pour assurer une gestion durable et équitable de l'eau, il est impératif de poursuivre le développement et la mise en œuvre de stratégies intégrées et adaptatives. Ces stratégies doivent permettre de faire face non seulement aux enjeux actuels, mais aussi de mieux préparer les communautés et les écosystèmes aux défis futurs liés aux sécheresses prolongées et à la variabilité climatique.

Dans cette optique, un second rapport est prévu sous la forme d'une étude exploratoire, qui analysera les perceptions locales de la gestion de l'eau ainsi que les enjeux d'équité et d'iniquité socio-territoriales qui y sont associés. Cette étude visera à identifier les facteurs influençant ces dynamiques, en s'appuyant sur des observations de terrain et des données recueillies dans différentes municipalités du Québec.



6 Bibliographie

- Adombi, A. V., Chesnaux, R., & Boucher, M.-A. (2024). Vers une méthodologie pour explorer les tendances historiques du niveau des eaux souterraines et leur origine : le cas du Québec, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 83, 183. <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11466-9>
- Aguinis, H., Cummings, C., Ramani, R. S., & Cummings, T. G. (2020). “An A is an A”: The new bottom line for valuing academic research. *Academy of Management Perspectives*, 34(1), 135–154.
- Armand, F. (2009). *Évaluation des captages futurs en eau souterraine par les municipalités au Québec*. <https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/1445/1/030107084.pdf>
- Audet, K., da Silva, L., Tarte, D., & Rondeau-Genesse, G. (2024). *CASCADES: Conséquences Attendues Survenant en Contexte d'Aggravation des Déficits d'Eau Sévères au Québec*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/cascades>
- Bakker, K. (2012). Sécurité de l'eau : défis et opportunités de recherche. *Science*, 337, 914–915. <https://doi.org/10.1126/science.1226337>
- Banton, O., Cellier, I., Martin, D., Martin, M., & Samson, J.-C. (1995). *Contexte social de la gestion des eaux souterraines au Québec*. <https://espace.inrs.ca/id/eprint/594/1/R000441.pdf>
- Beaudet, R. (1999). *Les eaux souterraines*. <https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/lesdocumdeposes/gene108-1.pdf>
- Besnard, C., Bilé, V., Delisle Thibeault, A., Buffin-Bélanger, T., & Biron, P. (2023). Outils d'aide semi-automatisés pour l'identification des tronçons de cours d'eau sujets à obstruction et constriction—(Constrictor)—RA3 (Rapport d'étape RA3). Rapport remis au MSP.
- Biron, S. (2016). *Comparaison des caractéristiques de la sécheresse hydrologique des niveaux d'eaux moyens annuels du fleuve Saint-Laurent et du lac Ontario en relation à vecles indices climatiques*. <https://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/8017/1/031624562.pdf>
- Bonsal, B. R., Aider, R., Gachon, P., & Lapp, S. (2013). An assessment of Canadian prairie drought: past, present, and future. *Climate Dynamics*, 41(2), 501–516. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1422-0>
- Bouraoui, F., Grizzetti, B., Granlund, K., et al. (2004). Impact du changement climatique sur le cycle de l'eau et les pertes en nutriments dans un bassin versant finlandais. *Climatic Change*, 66, 109–126. <https://doi.org/10.1023/B:CLIM.0000043147.09365.e3>

Bourgault, M.-A., & Maheu, A. (2023). ÉTIAGE : Évolution des sécheresses hydrologiques dans le Québec méridional face aux changements climatiques. Projet Ouranos (2023–2025).

British Geological Survey. (2022). *Eaux souterraines: La réponse mondiale ignorée face au changement climatique*. <https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/2022-03/Eaux%20souterraines%20La%20reponse%20mondiale%20ignoree%20face%20au%20changement%20climatique.pdf>

Brown, C., Steinschneider, S., Ray, P., Wi, S., Basdekas, L., & Yates, D. (2019). Decision Scaling (DS): Decision support for climate change. In V. A. W. J. Marchau, W. E. Walker, P. J. T. M. Bloemen, & S. W. Popper (Eds.), *Decision making under deep uncertainty: From theory to practice* (pp. 255–287). Cham: Springer International Publishing.

Canada, A. et A. (2024). *Conditions de sécheresse actuelles*. <https://agriculture.canada.ca/fr/production-agricole/meteo/outil-surveillance-secheresses-au-canada/conditions-secheresse-actuelles>

Canada, L. and A. (2022, September 1). *Item – Theses Canada*. <https://library-archives.canada.ca/eng/services/services-libraries/theses/Pages/item.aspx?idNumber=1032921307>

Canada, R. naturelles. (2015, September 10). *Sécheresse*. Ressources naturelles Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/secheresse/17773>

Célicourt, P., Rousseau, A., Kabore, P., & Gumiere, S. (2023). *ProjectEau: Projection multisectorielle et multifactorielle des besoins en eau futurs du Québec à l'aide d'un système hydroinformatique*. Ouranos. <https://www.ouranos.ca/fr/projets/projecteau>

Centre d'Information sur l'eau. (2019, June 5). *Les nappes phréatiques, des réservoirs naturels d'eaux souterraine*. <https://www.cieau.com/connaitre-leau/leau-dans-la-nature/les-nappes-phreatiques-comment-se-forment-elles-et-ou-les-trouve-t-on/>

Cerar, J., Nell, P. C., & Reiche, B. S. (2021). The declining share of primary data and the neglect of the individual level in international business research. *Journal of International Business Studies*, 52, 1365–1374. <https://doi.org/10.1057/s41267-021-00451-0>

Charron, I., Beauchemin, A., Blais-Gagnon, A., Delmotte, S., Ducruc, S., Agéco, G., Dugré, D., Landry, F., Jegou, G., & Michaud, A. (2019). *ÉQUIPE DE RÉALISATION*.

Commission de Coopération Environnementale. (2021). *Guide des indices et indicateurs de sécheresse utilisés en Amérique du Nord*.



<http://www.cec.org/files/documents/publications/11872-guide-drought-indices-and-indicators-used-in-north-america-fr.pdf>

Chiang, F., Mazdiasni, O., & AghaKouchak, A. (2021). Evidence of anthropogenic impacts on global drought frequency, duration, and intensity. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22314-w>

Da Silva, L., K. Pineault et G. Rondeau-Genesse. 2020. Vulnérabilité des sources d'approvisionnement en eau potable du territoire de la CMQ face aux changements climatiques. Ouranos, 88 pages.

Da Silva, L., Audet, K., & Tarte, D. (2022). CASCADES – Conséquences attendues survenant en contexte d'aggravation des déficits d'eau sévères au Québec. Présentation, session Disponibilité en eau, Ouranos Symposium.

Diaconescu, E. P., Mailhot, A., Brown, R., & Chaumont, D. (2017). Evaluation of CORDEX-Arctic daily precipitation and temperature-based climate indices over Canadian Arctic land areas. *Soumis à Climate Dynamics*.

Duhamel, F.-X. (2022, May 30). Le sud du Québec manque d'eau. *La Presse*. <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2022-05-30/le-sud-du-quebec-manque-d-eau.php>

Gader, K., Gara, A., Vanclooster, M., Khlifi, S., & Slimani, M. (2020). Drought assessment in a south Mediterranean transboundary catchment. *Hydrological Sciences Journal*, 65(8), 1300-1315. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1747621>

Gauthier-Pinsonneault, M., Denis, M., Delormes, S., Claveau, S., Tomi-Morin, G., Toubal, L. G. T., Dubé, J., Bélanger, M., Mutti, G., Demers, S., & Lemay-Borduas, F. (2015). *Assistants terrain et professionnels*.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Changement climatique 2021 – Les fondements scientifiques physiques : Contribution du Groupe de travail I au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat . Cambridge University Press ; 2023.

Gouvernement du Québec. (1999). *La gestion de l'eau au Québec*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/consultation/gestion-eau.pdf>

Gouvernement du Québec. (2020). *Rapport sur l'état des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques du Québec*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/rapport-eau/>



Gouvernement du Québec. (2024). *Eaux souterraines*.
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm>

Haguma, D., Leconte, R., & Brissette, F. (2015). Évaluation du régime hydrologique du bassin versant de la rivière Manicouagan, au Québec, dans le contexte des changements climatiques. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(2), 98–106. <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0085>

Hogg, E. H. (1997). *Temporal scaling of moisture and the forest-grassland boundary in western Canada—ScienceDirect*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192396023805>

ICI.Radio-Canada.ca, Z. J. et faits divers-. (2012, December 21). *Trois nouvelles municipalités, victimes de la sécheresse de l'été 2012, auront de l'aide de Québec*. Radio-Canada; Radio-Canada.ca. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/593130/aide-financiere-quebec-secheresse>

Ilstedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H. R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G., Sanou, J., Benegas, L., Murdiyarso, D., Laudon, H., Sheil, D. & Malmer, A. (2016). Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific reports*, 6(1), 21930. <https://doi.org/10.1038/srep21930>

INSPQ – Institut national de santé publique du Québec

Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Heniche, M., Madoux-Humery, A.-S., Autixier, L., ... Dorner, S. (2017). Modelling the impacts of global change on concentrations of *Escherichia coli* in an urban river. *Advances in Water Resources*, 108, 450–460. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.10.001>

Lagoye, G. S., Dossou-Yovo, A., & Hervé, K. K. (2022). Déterminants socio-économiques de la performance des ouvrages hydrauliques dans le département du Plateau (République du Bénin). *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, 7(2), 109–122. <https://www.jiste.org>

Laliberté, C., & Desjardins, J.-P. (1999). *Pour une gestion durable de l'eau au Québec*. <https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/archives/eau/docdeposes/memoires/memo231.pdf>

Lambert, P. S. (2011). *IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA DISPONIBILITÉ DE L'EAU DANS LE SUD DU QUÉBEC*.

Latulippe, J.-M. (1999). Exposé sur l'eau au Québec. *La Houille Blanche*. <https://doi.org/10.1051/lhb/1999023>



Le Devoir. (2022). *Les nouvelles banlieues ont soif* | Le Devoir. https://www.ledevoir.com/societe/transports-urbanisme/750615/urbanisme-les-nouvelles-banlieues-ont-soif?utm_source=recirculation&utm_medium=hyperlien&utm_campaign=corps_texte

Le Devoir. (2024). *Une conférence se penchera sur la gestion de l'eau à l'occasion des Assises de l'UMQ*. <https://www.ledevoir.com/environnement/813188/quand-or-bleu-vient-manquer>

Legros, S. (2013). *Commerce de l'eau: Présentation de principes permettant l'exploitation durable des ressources hydriques du Québec*. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7294/cufe_Legros_Stephane_essai376.pdf?seq

Lévesque, B. (2020). Analyse des vulnérabilités des prises d'eau potable de la rivière des Mille Îles (Québec) aux étiages estivaux en contexte de changements globaux par une approche ascendante [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/5253/>

Li, X., Zhou, W., and Chen, Y.D., 2015. Assessment of regional drought trend and risk over China: a drought climate division perspective. *Journal of Climate*, 28 (18), 7025–7037. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00403.1>

Lloyd-Hughes, B. (2014). The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 607–611. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1025-7>

Macé, M. (2021, February 8). *Qu'est-ce que le stress hydrique ? Comment y répondre ?* | Centre d'information sur l'eau. <https://www.cieau.com/eau-transition-ecologique/enjeux/quest-ce-que-le-stress-hydrique-comment-y-repondre/>

Mailhot, A., & Duchesne, S. (2005). Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 2*, Article Hors-série 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.1931>

Mailhot, A., Duchesne, S., Talbot, Rousseau, A. N., & Chaumont, D. (2008). *Approvisionnement en eau potable et santé publique: Projections climatiques en matière de précipitations et d'écoulements pour le sud du Québec*.

Mailhot, A., & Chaumont, D. (2017). Élaboration du portrait bioclimatique futur du Nunavik – Tome I. Rapport présenté au Ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs. Ouranos.



- Marchau, V. A. W. J., Walker, W. E., Bloemen, P. J. T. M., & Popper, S. W. (2019). Introduction. In V. A. W. J. Marchau, W. E. Walker, P. J. T. M. Bloemen, & S. W. Popper (Eds.), *Decision making under deep uncertainty: From theory to practice* (pp. 1–20). Cham: Springer International Publishing.
- Marciano, E. V., St-Laurent, F., & Joly, É. (2014). *La gestion de l'eau: Au Québec et dans le monde*.
- MELCC. (2018). Guide de réalisation des analyses de la vulnérabilité des sources destinées à l'alimentation en eau potable au Québec. <http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/prelevements/guide-analyse-vulnerabilite-dessources.pdf>
- MELCC. (2020). *Rapport sur l'état de l'eau et des écosystèmes aquatiques au Québec—Édition 2014*.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Montcoudiol, N., Molson, J., & Lemieux, J.-M. (2015). Groundwater geochemistry of the Outaouais Region (Québec, Canada): A regional scale study. *Hydrogeology Journal*, 23(2), 377–396.
- Morse, B. et B. Turcotte. 2018. Risque d'inondations par embâcles de glaces et estimation des débits hivernaux dans un contexte de changements climatiques (Volet A). Rapport présenté à Ouranos. [En ligne] <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-morse-rapportfinal.pdf>
- Néron, J.-F. (2020, June 17). *Manque d'eau historique à Québec*. Le Soleil. <https://www.lesoleil.com/2020/06/17/manque-deau-historique-a-quebec>
53be3a9f9df3c8e04bad7fcf94cfc922/
- Nielsen, B. B., Welch, C., Chidlow, A., Miller, S. R., et al. (2020). Fifty years of methodological trends in JIBS: Why future IB research needs more triangulation. *Journal of International Business Studies*, 51(9), 1478–1499.
- OMM. (2016). *Manuel des indicateurs et indices de sécheresse*. www.droughtmanagement.info.
- Ouranos. (2022). *Disponibilité et qualité de l'eau—Impacts*. <https://www.ouranos.ca/fr/thematiques-interet/disponibilite-qualite-eau-impacts>
- Pozniak, L., Luckerhoff, J., & Guillemette, F. (2023). Rédiger une thèse par insertion d'articles dans une démarche générale de méthodologie de la théorisation enracinée. *Enjeux et société*, 10(2), 17–47. <https://doi.org/10.7202/1110572ar>



- Québec Science. (2023, August 31). *L'eau souterraine, de plus en plus vulnérable au Québec*— Québec Science. <https://www.quebecscience.qc.ca/environnement/eau-souterraine-vulnerable-quebec/>
- Shields, A. (2022, August 10). *La crise climatique risque de provoquer des pénuries d'eau au Québec*. Le Devoir. <https://www.ledevoir.com/environnement/743166/la-crise-climatique-risque-de-provoquer-des-penuries-d-eau-au-quebec>
- SIOUFFI, G. (2012). Présentation. *Diachroniques*, 2, 7–26. <https://doi.org/10.4000/insaniyat.7888>
- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., De Stefano, L., Acácio, V., ... Van Lanen, H. A. J. (2016). Impacts of European drought events: Insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 801–819. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016>
- Statistique Canada. (2022, 23 septembre). La sécheresse fait reculer l'économie de la Saskatchewan en 2021. Statistique Canada. <https://www.statcan.gc.ca/o1/fr/plus/1852-la-secheresse-fait-reculer-leconomie-de-la-saskatchewan-en-2021>
- van der Wiel, K., Batelaan, T. J., & Wanders, N. (2023). Large increases of multi-year droughts in north-western Europe in a warmer climate. *Climate Dynamics*, 60(5), 1781-1800. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06373-3>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359–392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azorin-Molina, C., & Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate computation of a streamflow drought index. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 318–332. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000433)
- Villholth, K. G. (2013). Irrigation par les eaux souterraines pour les petits exploitants en Afrique subsaharienne : Synthèse des connaissances actuelles pour des résultats durables. *Water International*, 38(4), 369–391. <https://doi.org/10.1080/02508060.2013.821644>
- Weissenberger, S. (2015). *Les impacts des changements climatiques*. https://spip.telug.ca/env1110/squelettes/assets/pdf/module3/Module3_txt2.pdf
- Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341, 508–513. <https://doi.org/10.1126/science.1239402>
- WMO. (2021). Drought report calls for new management approach. <https://public.wmo.int/en/media/news/drought-report-calls-new-management-approach>



Yusa, A., Berry, P., Cheng, J. J., Ogden, N., Bonsal, B., Stewart, R., & Waldick, R. (2015). Climate change, drought and human health in Canada. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 8359–8412. <https://doi.org/10.3390/ijerph120708359>

