



Outils d'évaluation de la vulnérabilité des eaux de surface aux changements du climat

- Étude de la portée -

Rapport final

Rédaction : Ianis Delpla, Manuel J. Rodriguez

Octobre 2021

Table des matières

1. Problématique.....	3
2. Question initiale.....	3
3. Protocole de recherche bibliographique.....	4
3.1. Langue de la recherche	4
3.2. Période.....	4
3.3. Bases de données utilisées pour la recherche de littérature	4
3.4 Mots clés de recherche	5
3.5 Critères de sélection et d'exclusion.....	6
3.6 Critères d'évaluation de la qualité des études.....	7
4. Revue de la littérature grise et scientifique.....	8
4.1 Littérature scientifique.....	8
4.2. Littérature grise	9
5. Sélection des méthodes et des outils.....	11
5.1 Analyse de la qualité des études	11
5.2 Principales caractéristiques des études sélectionnées.....	12
5.3 Présentation des outils sélectionnés.....	13
5.4 Accessibilité des données et transférabilité au contexte québécois.....	18
Conclusion.....	19
Références bibliographiques.....	20
Références des études et rapports sélectionnés pour la revue de littérature.....	20
Annexe 1 Plan de travail proposé et échéancier	25
Annexe 2 Tableau de synthèse des résultats de l'étude de la portée.....	26

1. Problématique

Dans le cadre de la démarche d'analyse de la vulnérabilité pour un site de prélèvement d'eau de surface, le Règlement sur le Prélèvement des Eaux et leur Protection (RPEP) prévoit la détermination de la vulnérabilité intrinsèque des eaux exploitées selon six indicateurs, ainsi que l'inventaire des éléments susceptibles d'affecter la qualité et la quantité des eaux exploitées. Ces deux aspects de la démarche d'analyse de la vulnérabilité peuvent être affectés par les effets des changements climatiques.

Il est essentiel d'identifier, de caractériser et d'évaluer les outils existants (modèles quantitatifs et qualitatifs, systèmes d'aide à la décision, indicateurs, cadres conceptuels, etc.) afin de pouvoir évaluer la vulnérabilité¹ des sources en eau potable aux changements climatiques et de permettre ainsi de compléter et d'enrichir la démarche d'analyse de la vulnérabilité.

À notre connaissance, aucune revue de la littérature n'a été réalisée à ce sujet. L'objectif de ce mandat est de faire une revue de littérature (étude de la portée, ou *scoping review*) pour recenser les outils existants à l'échelle internationale intégrant l'évaluation de la vulnérabilité des sources d'eau potable aux changements climatiques (CC) (Annexe 1).

2. Question initiale

La question a été formulée sur la base des éléments structurants PICO/PECO (Population, Intervention/Exposition, Comparateur/Outcomes) (Livoreil, 2018) :

Population : sources d'eau de surface (qualité et quantité)

Intervention / Exposition : outils d'évaluation

Comparateur : outils spécifiques adaptables au Québec

Conséquences : meilleure prise en compte des CC dans les évaluations de vulnérabilité

Ainsi formulée, la question à laquelle répond cette revue est la suivante :

Existe-t-il des outils déjà disponibles et potentiellement transposables au contexte du Québec pour mieux prendre en compte la vulnérabilité qualitative des sources d'eau potable aux changements climatiques?

¹ Définie dans ce mandat comme étant l'aptitude d'un milieu (eau) à subir un dommage (modification de sa qualité) à la suite d'un évènement, naturel ou anthropique.

3. Protocole de recherche bibliographique

Cette section présente la stratégie et la méthode de recherche des articles et des rapports en lien avec la question initiale. Le travail porte sur une étude de la portée (ou *scoping review*) de la littérature scientifique et de la littérature grise.

3.1. Langue de la recherche

La recherche est faite uniquement en anglais et en français, qui sont les langues maternelles et de travail des auteurs de ce rapport, afin d'éviter les délais et les coûts reliés à l'embauche d'un traducteur.

3.2. Période

La période couverte par la revue est du 1^{er} janvier 1980 (période d'émergence du sujet changements climatiques comme problématique d'intérêt scientifique) au 1^{er} janvier 2021 (date de début du mandat).

3.3. Bases de données utilisées pour la recherche de littérature

Littérature scientifique :

- Web of science (littérature scientifique indexée, exclut la littérature grise);
- Elsevier Compendex (actes de conférence inclus);
- EBSCO Host : Academic search premiere.

Littérature grise² (Québec, Canada et États-Unis) :

- Université Laval (Sofia : thèses, maîtrises, actes de conférence au Québec) et Thèses Canada (thèses au Canada);
- Moteur de recherche Google : rapports municipaux et gouvernementaux (villes, provinces, états (ministères)), rapports techniques, documents de travail et d'orientation;
- Sites internet du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), de l'Organisation des Nations Unies (United Nations Environment Program- UNEP, United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC);

² La littérature grise regroupe tous les documents, papier ou électroniques, qui ne sont pas contrôlés par des maisons d'édition, c'est-à-dire l'information produite par les gouvernements, les instances d'enseignement et de recherche (thèses et mémoires), du commerce et de l'industrie et les actes de conférence.

- Sites internet des Ministères de l'Environnement des pays et des provinces concernés : United States Environmental Protection Agency (USEPA), Environnement Canada, California EPA (CALEPA), Ontario, Colombie-Britannique, etc.

3.4 Mots clés de recherche

Les mots clés incluent les mots présents dans l'objectif du mandat (*tools, vulnerability, source water, climate change, water quality*), ainsi que des mots clés les décrivant plus précisément (*floods, droughts* etc. pour *climate change*). La liste et la combinaison de mots clés a été définie et validée en collaboration avec M. Frédéric Bergeron, bibliothécaire de l'Université Laval spécialisé en synthèse des connaissances, en respectant les règles données dans les directives PRISMA (Moher et al., 2009) :

- un spécialiste de l'information scientifique (bibliothécaire) participe à tous les projets de revue;
- la recherche d'information se fait dans au moins deux bases de données;
- une redondance dans les mots clés est appliquée;
- la liste des mots clés est coécrite et/ou validée par une autre personne.

Un exemple de combinaison de mots clés de recherche utilisés sur la base de données Web of science est présenté ci-dessous :

TS=(Approach OR Framework OR "frame work" OR Method* OR Scheme OR Tool* OR measur* OR instrument* OR questionnaire OR scale OR model*)*

TS=(Risk OR Vulnerab*)*

TS=((Climat NEAR/3 Change*) OR "Global warming*" OR (Rising NEAR/2 temperature*) OR (Greenhouse NEAR/3 effect) OR "Extreme Event*" OR "Heat wave*" OR "Extreme heat" OR "Extreme cold" OR Fire* OR Drought* OR Flood* OR "Extreme precipitation*" OR "Variable precipitation*" OR "Heavy rain*" OR Storm* OR "High wind*" OR Hurricane* OR "Sea level rise" OR "freeze thaw cycle*" OR "drought rewetting cycle*")*

TS = (water NEAR/3 (source OR protection OR suppl*))*

TS= ("Water quality" OR "Water quantity")

La recherche en français a été effectuée avec les mots clés suivants :

Approch OR Cadre* OR Méthod* OR Schéma* OR Outil* OR mesur* OR instrument* OR questionnaire OR échelle OR Modél*)*

(Risque OR Vulnérab*)*

((Changement NEAR/3 Climat*) OR "Réchauffement Climat**" OR (Augmentation NEAR/2 température*) OR (Effet NEAR/3 serre) OR "Évènement* extrême*" OR "Vague* de chaleur" OR "Chaleur extrême" OR "Froid extrême" OR Feu* OR Sècheresse* OR Inondation* OR "Précipitation* extrême" OR "Variab* NEAR/2 précipitation*" OR "Pluie* intense*" OR Tempête* OR "Fort* vent*" OR Ouragan* OR "Augmentation NEAR/2 niveau de la mer" OR "Cycle* NEAR/2 gel dégel*" OR "Cycle sècheresse* réhumidification*")*

((source OR protection OR approvisionnement*) NEAR/3 eau)*

("Qualité NEAR/3 eau" OR "Quantité NEAR/3 eau")

3.5 Critères de sélection et d'exclusion

Les règles concernant la sélection des études pour une revue systématique ont été proposées dans (INESSS, 2013) et sont détaillées ci-dessous :

- la sélection des études à inclure dans la revue systématique est basée sur des critères de sélection préétablis;
- les décisions relatives à l'inclusion ou à l'exclusion des études sont documentées;
- les étapes de sélection sont documentées dans un diagramme de flux qui indique le nombre d'études retenues et le nombre d'études rejetées à chacune des étapes de sélection;
- la liste des études exclues à la suite d'une lecture de l'article complet est dressée. Elle indique les raisons de leur exclusion;
- la qualité des études incluses dans la revue systématique est évaluée à partir de critères prédéfinis;
- les données sont extraites à l'aide d'un formulaire spécifique.

En fonction de ces règles, les critères d'exclusion suivants ont été retenus :

Critères d'exclusion – 1^{re} étape

- commentaires, éditoriaux, revue de littérature, ou méta-analyses (revue des études primaires);
- études publiées dans une autre langue que l'anglais et le français;
- études ne décrivant pas de paramètres de qualité de l'eau ou d'aspects hydrologiques liés à un ou des paramètres de qualité de l'eau;

- études portant sur un type de source d'eau autre qu'une eau de surface (eau souterraine à l'exception des aquifères côtiers et karstiques, eau marine, eau de pluie, eau traitée, eau distribuée, eaux usées, eau récréative).;
- études où le lien entre les changements climatiques (ou une des variables climatiques) et la qualité et la quantité de l'eau n'est pas explicitement décrit.

Critères d'exclusion – 2^e étape

- études n'incluant pas d'analyse de la vulnérabilité à une composante des changements climatiques ou bien pour lesquelles la vulnérabilité est évaluée pour un autre facteur que les changements climatiques (risque industriel, sismique, ou autre);
- études où la vulnérabilité n'est pas définie comme ayant un lien avec un aspect qualitatif. et/ou quantitatif d'une source d'eau (p. ex. vulnérabilité d'un procédé de traitement de potabilisation);
- études où les outils d'évaluation de la vulnérabilité ne sont pas présentés et décrits;
- études dont les outils d'évaluation sont présentés dans une autre étude déjà sélectionnée;
- études dont les articles ne sont pas disponibles au téléchargement.

3.6 Critères d'évaluation de la qualité des études

Les dix critères d'évaluation de la qualité d'une étude qualitative (d'après le Critical Appraisal Skills Programme (CASP, 2017)) sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Critères d'évaluation de la qualité des études. Critical Appraisal Skills Programme – Qualitative Research (CASP, 2017)

Critère	Valeur
Les objectifs de l'étude ont-ils été clairement énoncés?	Oui; non; impossible à évaluer
La méthodologie qualitative est-elle indiquée?	Oui; non; impossible à évaluer
La méthodologie était-elle bien adaptée à l'objectif de l'étude?	Oui; non; impossible à évaluer
La stratégie de recrutement était-elle bien adaptée à l'objectif de l'étude?	Oui; non; impossible à évaluer
Le mode de collecte des données était-il bien adapté à la question à l'étude?	Oui; non; impossible à évaluer
A-t-on accordé au lien entre le chercheur et les participants l'importance nécessaire?	Oui; non; impossible à évaluer
Le chercheur a-t-il pris en considération les enjeux éthiques?	Oui; non; impossible à évaluer
Le processus d'analyse des données était-il suffisamment rigoureux?	Oui; non; impossible à évaluer
Les résultats de l'étude sont-ils énoncés clairement?	Oui; non; impossible à évaluer
Quelle est la valeur de l'étude?	Oui; non; impossible à évaluer
Note numérique (sur 10)	Oui =1, Non =0

La qualité des études est jugée selon l'échelle suivante :

- Élevée (9-10)
- Moderée (6-8)
- Faible (4-5)
- Très faible (<4)

Ces critères sont pertinents pour évaluer des articles portant sur une recherche qualitative et sont choisis pour notre évaluation de la qualité des études.

D'autres biais classiques peuvent être identifiés dans les études (Livoreil, 2018) :

- biais dans l'analyse : le biais de confirmation, c'est-à-dire publication sélective des résultats (*selective outcome reporting* ou *cherry picking*) qui favorise la publication d'études aux résultats statistiquement significatifs selon leur nature et le fait qu'ils soient positifs ou négatifs, au détriment des résultats non significatifs ou même défavorables à une intervention expérimentale;
- biais liés aux conflits d'intérêts et associés aux financements;
- biais dans la collecte des données : le biais d'attrition;
- biais associés à l'influence de l'observateur.

Ces biais seront évalués si nécessaire dans la revue de la littérature.

4. Revue de la littérature grise et scientifique

4.1 Littérature scientifique

La recherche d'articles a été effectuée le 23 février 2021 sur les quatre bases de données de recherche. Les résultats de la recherche sont présentés dans le Tableau 2. La base de données GreenFILE n'a pas été retenue pour les étapes subséquentes compte tenu du faible nombre d'articles identifiés. Il est à noter que la recherche en français ne donne pas de résultats dans ces bases de données.

Tableau 2. Résultats de la recherche de littérature scientifique

Base de données	Résultats (n)
Web of science	386
Elsevier Compendex	667
GreenFILE	51
Academic Search Premier	111
Total (avec doublons)	1215
Total (sans doublons)	889

Après suppression des doublons sur les trois bases de données, la recherche de la littérature scientifique donne **889 résultats**.

La première sélection a été réalisée en appliquant les critères d'exclusion définis pour la 1^{ère} étape après lecture des titres et mots clés, ainsi que des résumés en cas de doute. Il est à remarquer que la recherche a fait ressortir un grand nombre d'articles sur les plans d'adaptation aux changements climatiques pour les exploitants d'usines de traitement d'eau. Ceux-ci n'ont pas été retenus, car ils ne constituent pas un outil permettant d'aider à évaluer la vulnérabilité des sources d'eau potable aux CC, bien que ces outils puissent faire partie d'un plan d'adaptation.

À l'issue de cette première sélection, les articles sélectionnés ont été téléchargés pour une lecture approfondie. Des 106 articles sélectionnés, 11 n'étaient pas disponibles au téléchargement, et 51 ont été exclus en appliquant les critères d'exclusion définis pour la 2^{ème} étape. Ainsi, **44 articles** issus de la littérature scientifique publiés entre 1999 et 2021 ont été retenus pour une revue approfondie (Figure 2).

4.2. Littérature grise

La revue de littérature grise a été effectuée entre le 12 et le 18 mars 2021. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Résultats de la recherche de littérature grise.

Base de données	Nombre de rapports	Commentaires
Base de données de l'Université Laval (Sofia)	2	Recherche faite en français. Deux articles scientifiques trouvés
Base de données Thèses Canada	0	Recherche faite en français et en anglais
GIEC	0	
UNFCCC	2	Nombre de mots clés possibles réduit dans le moteur de recherche
UNEP	0	Moteur de recherche peu spécifique conduisant à un nombre de résultats trop important, nombre de mots clés possibles réduit
OMS	1	
Ministères de l'Environnement	USEPA : 3 documents Environnement Canada : 0 Colombie-Britannique : 0 Ontario : 1 Alberta : 0 Manitoba : 0 Nouveau-Brunswick : 0 Nouvelle-Écosse : 1 Terre-Neuve et Labrador : 1 Yukon : 0 Californie : 2 New York : 0	Moteurs de recherche peu spécifiques conduisant à un nombre de résultats trop important; nombre de mots clés possibles réduit Recherche faite par mots clés sur Google et dans les pages sur l'eau et les changements climatiques des sites Web
Total	11	La recherche a permis de trouver deux articles scientifiques (base de données Sofia) qui ont été inclus dans les résultats de la revue de littérature scientifique, ce qui explique le chiffre de 11 rapports sélectionnés au total

Après l'étape de lecture approfondie des rapports, trois documents ont été écartés, ce qui porte à huit le nombre final de rapports issus de la revue de littérature grise.

De nombreuses études utilisent des démarches pour évaluer les risques sur l'approvisionnement en eau potable; cependant, il est à noter que les évaluations de risque portent souvent sur un risque d'accident (déversement, accident de transport,) ou sismique, et non sur un risque en matière de changements climatiques. Les plans et stratégies d'adaptation aux changements climatiques ne sont pas considérés, bien qu'ils soient nombreux dans la revue de la littérature grise. Les outils de gestion ou plans de gestion des risques ne sont pas considérés.

Le nombre d'articles retenus par année de publication est présenté à la Figure 1. Un intérêt scientifique croissant envers le sujet se dessine depuis le début de la décennie 2010.

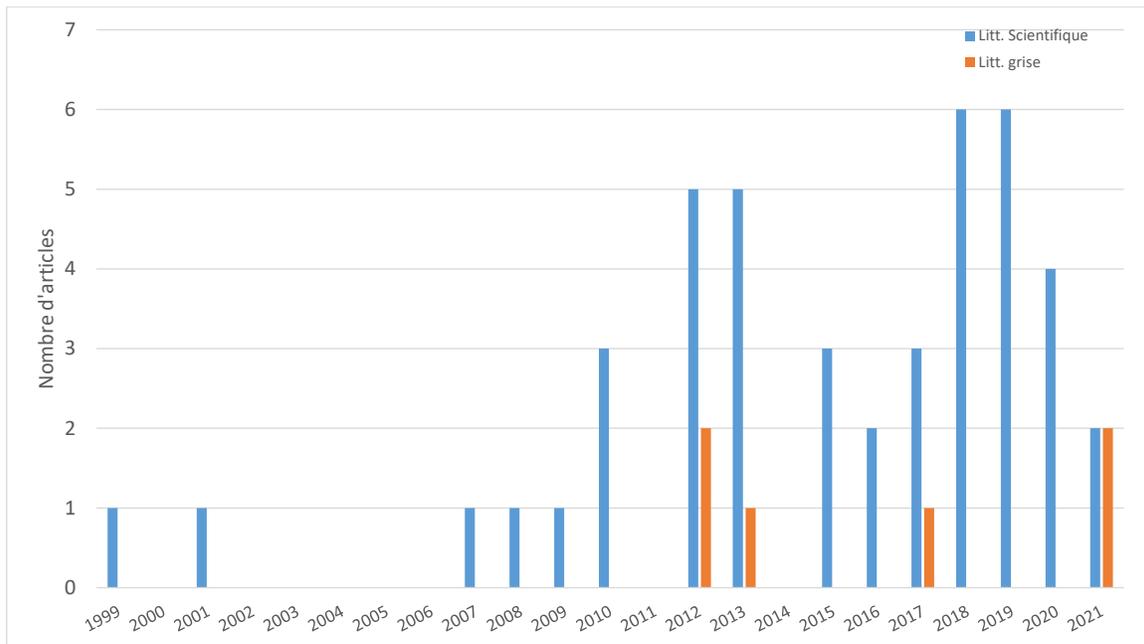


Figure 1. Nombre d'articles retenus par année de publication.

La Figure 2 présente les résultats de la revue de littérature scientifique et de la littérature grise, ainsi que les motifs d'exclusion des études.

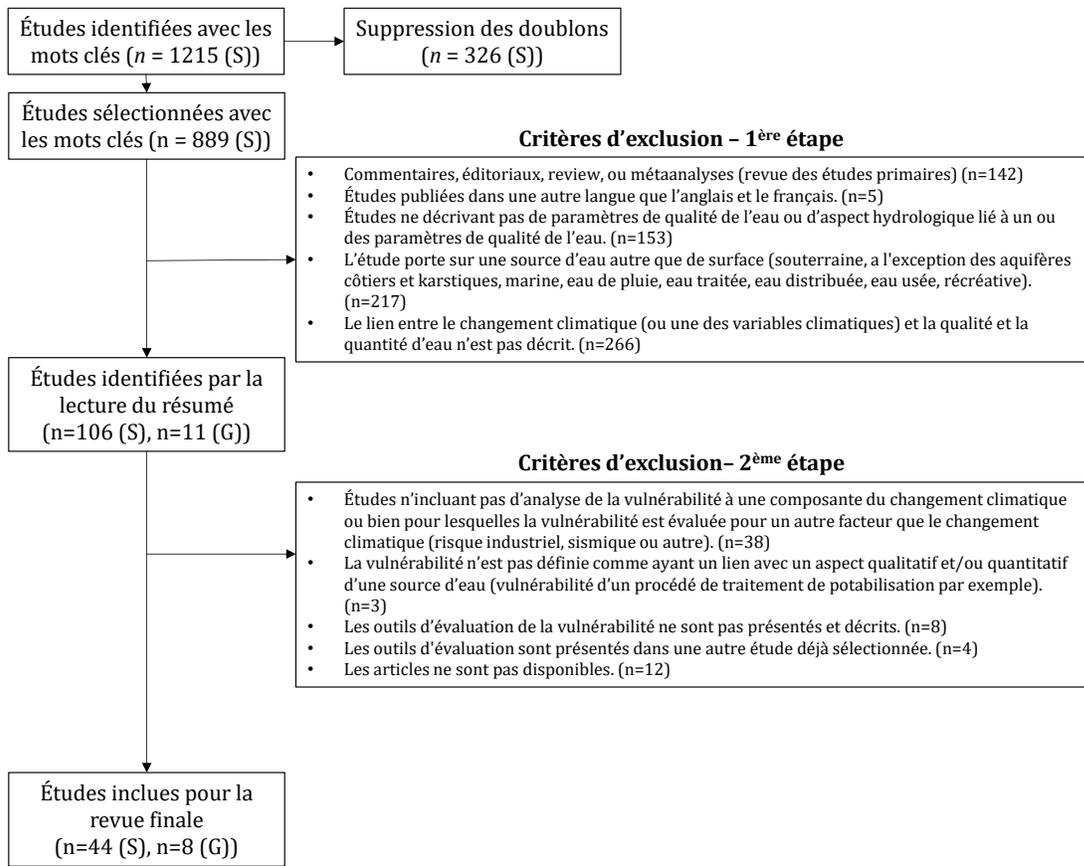


Figure 2. Résultats de la recherche de données (S : littérature scientifique; G : littérature grise).

Le motif principal d'exclusion des études est l'absence de description du lien entre les changements climatiques (ou leurs effets) et la qualité/quantité de l'eau (n=266), ainsi que le fait que l'étude porte sur une ressource autre que de surface ou sur une eau souterraine côtière (n=217).

5. Sélection des méthodes et des outils

5.1 Analyse de la qualité des études

Trois des critères d'évaluation de la qualité³ des études sur les dix choisis n'ont pu être appliqués, car les études ne faisaient pas appel à des animaux ou à des humains pour la production de données. La note finale a néanmoins été recalculée sur 10. La grille d'évaluation est par ailleurs spécialement adaptée aux études scientifiques et n'a pas pu, en conséquence, être utilisée pour évaluer les études issues de la littérature grise.

³ D'après les définitions données par le Critical Appraisal Skills Programme (CASP, 2017)

Après l'application de ces critères d'évaluation, il ressort que la grande majorité des études scientifiques sont de qualité modérée à élevée, avec 37 études (84 %) ayant une note supérieure à 6/10. Il est à noter que certaines études se sont vu attribuer des notes faibles quant à leur qualité, car il s'agit d'articles de conférence relativement courts où la méthodologie est très peu décrite. Il est à noter également que très peu d'études font une analyse rigoureuse de la qualité des données qui sont utilisées.

5.2 Principales caractéristiques des études sélectionnées

Concernant le lieu des études sélectionnées dans la revue de littérature scientifique (n=44), quatorze études ont été conduites aux États-Unis (31 %), douze en Europe (27 %), neuf en Asie (trois en Chine, trois en Inde/au Bangladesh et deux en Iran) et trois en Australie. Dans la littérature grise, la majorité des rapports sont appliqués dans la zone de l'Amérique du Nord, ce qui est attendu compte tenu des critères choisis pour la recherche bibliographique. Les autres rapports sont des approches ou des cadres conceptuels qui sont transposables à différents contextes géographiques.

Les bassins versants à l'étude dans les documents sélectionnés ont une superficie comprise entre 30 km² et 1 612 000 km² (Gange-Brahmapoutre), la majorité des bassins versants ayant une taille inférieure à 6000 km² (soit approximativement la taille du bassin versant de la rivière Chaudière au Québec).

Les paramètres de qualité de l'eau les plus étudiés sont la turbidité, les solides en suspension, la température, les nitrates, la chlorophylle a et les chlorures. Trois publications utilisent des indices de qualité de l'eau.

Les types de masse d'eau les plus représentés sont les rivières et les fleuves (n=25), suivis des lacs (n=7), puis de ressources mixtes (eau de surface et souterraine, canal, milieu humide : n=7). L'échelle d'application des outils est le plus souvent le bassin versant (n=32), suivi par la région (c.-à-d. province, État des États-Unis, île) ou le pays (n=12). Deux études ont été conduites à l'échelle d'une municipalité. Les études ont été conduites dans des climats très différents, allant d'aride à tropical en passant par méditerranéen et tempéré. Le climat le plus représenté dans les études, d'après la classification de Köppen, est le climat océanique de type tempéré chaud (Cfb) (n=13), suivi par le climat subtropical humide (Cfa) (n=6). Cinq études ont été réalisées dans un climat continental humide à été tempéré (Type Dfb : région des Grands Lacs, États du Minnesota et de New York), soit un climat similaire à celui du sud du Québec.

5.3 Présentation des outils sélectionnés

Un tableau de synthèse pour chaque type de littérature (scientifique et grise) est joint à ce rapport en Annexe 2. Les lecteurs sont invités à s’y référer pour connaître les détails des informations synthétisées dans ce rapport.

Littérature scientifique

Les 44 articles sélectionnés lors de la revue de littérature scientifique et publiés entre 1999 et 2021 proposent une large diversité d’outils (Tableau 4).

Tableau 4. Synthèse des outils sélectionnés à la suite de la revue de littérature scientifique (n=44).

Catégorie d’outils		Nombre total	Auteurs
Ensemble de modèles		28	Bertone et al., Buchanan et al., Blauhut et al., Bussi et al., Cheng et al., 2007; Cheng et al., 2009; Coffey et al.; Demeter et al.; Garnier et al.; Hashempour et al.; Jin et al.; Labeau et Ballard; Moe et al.; Mohammed et al.; Mortazavi-Naeini et al.; Mukundan et al.; Nyman et al.; Prinsen et al.; Rasmussen et al.; Tariq et al.; Thorne and Fenner; Towler et al., 2010; Towler et al., 2013; Whitehead et al.; Wu et al.; Yaghoubi et al; Zhang; Zhao et al.
Évaluation du risque		5	Arreguin-Cortes et al., 2019; Carvalho de Melo et al.; 2021, Carvalho et al., 2019; Chang et al., 2013; Shamsuzzoha et al., 2018
Évaluation de la vulnérabilité		3	Hurd et al., 1999; Kanakoudis et al., 2017; Men and Liu, 2018
Approche multicritère		1	Kim and Chung, 2013
Cadre conceptuel		1	Quinn et al., 2001
Méthodes mixtes	Télé-détection, évaluation du risque, indices	3	Chang et al., 2010a; Chang et al., 2010b; Duan et al., 2017
	Méthode multicritère, modèles	2	Debnath et al., 2015; Giri et al., 2020
	Guide, logiciels	1	Baranowski, 2012

Les études basées exclusivement sur des ensembles de modèles sont majoritaires (28/44, 64 %). D’une manière générale, ces outils sont constitués d’une suite de modèles imbriqués, dont la structure inclut tout d’abord différents scénarios de changements climatiques et/ou d’occupation du sol, un modèle qui traduit les scénarios en modifications d’émissions de gaz à effet de serre (GES) et de paramètres climatiques (précipitations et températures, sous forme de moyenne ou de percentiles minimum ou maximum), un modèle qui estime les modifications hydrologiques résultantes, ainsi qu’un modèle qui estime les effets sur la qualité de l’eau naturelle ou les transferts de charges de polluants. Il est à noter que la

majorité des études utilisent le scénario d'émission RCP8.5, qui est le scénario du GIEC proposant les émissions de GES les plus élevées (GIEC, 2013) et ayant ainsi le plus d'impact sur la hausse des températures et des événements extrêmes, et que certaines études n'évaluent que ce scénario (Coffey et al., 2020; Mohamed et al., 2019; Whitehead et al., 2018). Dans ces études basées sur des suites de modèles, des modèles déjà établis et reconnus dans la communauté scientifique pour modéliser l'hydrologie ou la qualité de l'eau comme INCA (Integrated Catchment Model) ou SWAT (Soil and Water Assessment Tool) sont régulièrement utilisés par les auteurs (INCA : Bussi et al., 2018; Jin et al., 2012; Moe et al., 2016; Mortazavi-Naeni et al., 2019; Whitehead et al., 2018. SWAT : Giri et al., 2020; Mohamed et al., 2019; Wu et al., 2012). Certaines études cherchent aussi à évaluer ensuite les répercussions sur la chaîne de production d'eau potable (Hashempour et al., 2020; Nyman et al., 2019; Thorne and Fenner, 2008).

La méthode d'évaluation du risque est le second type d'outil qui est le plus retrouvé dans la revue de littérature. Ce type d'outil intègre dans plusieurs études une identification des événements météorologiques passés (dangers) et de leurs impacts sur la source d'eau potable et l'approvisionnement en eau couplée à une évaluation des risques sur la base de critères tels que la sévérité et la probabilité d'occurrence des dangers identifiés (Arreguin-Cortes et al., 2019; Carvalho de Melo et al., 2021; Carvalho et al., 2019). On retrouve une démarche inspirée des plans de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau (PGSSE) adaptée aux dangers liés aux événements climatiques (Shamsuzzoha et al., 2018). Dans cette étude, les auteurs identifient plusieurs dangers liés au climat dans l'approvisionnement en eau potable, puis notent ces dangers en termes de gravité et de probabilité, pour produire une note de risque finale. Cet outil présente l'avantage d'être relativement simple, d'être souple et ainsi de pouvoir être adapté à chaque cas d'étude.

Les évaluations de la vulnérabilité ont été distinguées comme outils ici, car elles ont la particularité de s'intéresser aussi à la capacité d'adaptation à un danger du territoire à l'étude sans évaluer la probabilité de survenue de ce danger. Ce type d'outil constitue également une approche intégratrice relativement souple d'utilisation. Les études retenues visent soit à évaluer la vulnérabilité en fonction d'indicateurs globaux validés par des panels d'experts (Hurd et al., 1999) ou en se basant sur des approches reconnues comme l'approche DPSIR (facteurs, pressions, état, impact, réponses; p. ex. Kanakoudis et al., 2017; Men and Liu, 2018).

Il est à noter que les méthodes d'analyse multicritères sont aussi ressorties comme approches pour évaluer la vulnérabilité des sources d'eau aux effets des changements climatiques. Une étude est entièrement basée sur cette approche qui permet à un groupe d'experts sélectionné pour ses compétences de définir les paramètres les mieux adaptés pour évaluer la vulnérabilité de la qualité de l'eau, puis de définir l'importance relative (pondération) de chacun des paramètres afin de pouvoir les agréger dans un seul indice (Kim and Chung, 2013). Les méthodes multicritères, telles que les processus d'analyse hiérarchique (AHP), sont aussi utilisées en combinaison avec d'autres outils de modélisation (Debnath et al., 2015; Giri et al., 2020). Enfin, plusieurs études font appel à des panels d'experts (Bertone et al., 2016; Hurd et al., 1999) pour l'identification d'indicateurs de la vulnérabilité des ressources en eau aux effets des changements climatiques (sècheresses, pluies intenses, etc.).

Le cadre conceptuel qui a été sélectionné dans cette revue de littérature n'est pas accompagné d'un cas d'application concret (Quinn et al., 2001). Cependant, celui-ci présente un intérêt en tant qu'outil pour évaluer les modifications de qualité de l'eau en fonction de différents scénarios de changements climatiques.

Enfin, parmi les outils identifiés, on peut également noter ceux basés sur des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau à long terme, par exemple par imagerie satellite (Chang et al., 2010a; 2010b; Duan et al., 2017), qui permettent aussi de dégager des tendances d'évolution de la qualité en fonction des changements d'occupation du sol et du climat et de tirer des données d'observations entre des événements climatiques extrêmes (sècheresses, fortes pluies) et leurs impacts sur la qualité de l'eau.

Au-delà de l'approche par type d'outil, il convient de souligner que certains articles ont pour objectif d'identifier des paramètres de qualité de l'eau prioritaires pour l'évaluation de la vulnérabilité des masses d'eau de surface aux changements climatiques. Ainsi, deux études proposent l'oxygène dissous comme indicateur de suivi (Debnath et al., 2015; Hurd et al., 1999), avec parfois des seuils de tolérance (Hurd et al., 1999). De plus, les nutriments, la température et la survenue de blooms algaux sont également présentés comme des indicateurs pertinents de la sensibilité des eaux superficielles au climat.

Littérature grise

Les outils identifiés lors de la recherche de littérature grise sont similaires à ceux identifiés dans la littérature, mais ils sont relativement peu nombreux. Dans ces études, on retrouve majoritairement des évaluations de risque (trois études) (Tableau 5).

Tableau 5. Synthèse des outils sélectionnés à la suite de la revue de littérature grise.

Outils	Nombre	Auteurs
Évaluation des risques	3	Emergency Management Ontario (EMO), 2012; OMS, 2017; USEPA, 2021
Modèles	2	Cal-Adapt, 2021; USEPA, 2013
Évaluation environnementale	1	Nova Scotia Environment & Dalhousie University
Guide méthodologique	1	Natural Resources Canada & the Government of Newfoundland and Labrador, 2012
Mixte (modèle et processus)	1	UNFCCC

Dans les approches d'évaluation des risques, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) propose une version mise à jour des PGSSE, adaptée pour inclure l'identification des dangers et l'évaluation des risques liés aux événements climatiques (Modules 3 et 4 du PGSSE; OMS, 2017). Cette approche est particulièrement pertinente pour identifier et classer les risques liés au climat selon leur probabilité et leur gravité pour une source d'eau potable. L'USEPA a développé l'outil Climate Resilience Evaluation and Awareness Tool (CREAT), qui est une application d'évaluation des risques pour les usines de traitement d'eau potable avec un accès restreint aux utilisateurs autorisés (USEPA, 2021). L'outil CREAT fournit des informations locales sur les changements climatiques afin d'aider les gestionnaires d'usine à identifier les problématiques actuelles et à examiner comment celles-ci peuvent être exacerbées par les changements climatiques dans leur région. Ensuite, l'application permet de considérer plusieurs scénarios (précipitations, températures, hydrologie) représentant une gamme de conditions climatiques futures possibles et les menaces potentielles que ces conditions pourraient générer. Cet outil propose par ailleurs une évaluation économique des risques liés aux changements climatiques. L'outil CREAT fait partie d'une initiative de l'USEPA appelée Creating Resilient Water Utilities (CRWU) qui vise à fournir aux gestionnaires d'usine des outils pratiques, ainsi que la formation et l'assistance technique nécessaires pour accroître la résilience aux changements climatiques. Enfin, Emergency Management Ontario propose une matrice d'évaluation des risques (conséquence*fréquence*modification du risque), qui inclut la variable « modification du risque » (changement de fréquence + changement de vulnérabilité) visant à faire des projections du risque dans un avenir proche, donc dans un

contexte de changements climatiques, plutôt que de s'appuyer uniquement sur la fréquence et les conséquences des événements passés, comme dans les méthodes classiques d'évaluation du risque (EMO, 2012).

La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est aussi proposée dans plusieurs rapports comme un outil permettant d'évaluer la vulnérabilité des ressources en eau aux effets des changements climatiques (OMS, 2017; UNFCCC).

Concernant les modèles, la revue de littérature a permis d'identifier un outil Web cartographique qui présente les évolutions du climat attendues pour tous les bassins versants de Californie (Cal-Adapt, 2021), accessible en un clic sur le Web. Elle a également identifié un autre outil cartographique qui caractérise la sensibilité du débit, des nutriments (azote et phosphore) et de la charge sédimentaire dans vingt grands bassins versants américains à une série de scénarios de changements climatiques et de développement urbain au milieu du 21^e siècle (USEPA, 2013) et qui utilise aussi le modèle SWAT (Figure 3). Cet outil a été déployé dans plusieurs bassins versants représentatifs d'une diversité de climats et d'occupation du sol, mais ne permet pas d'effectuer des prédictions adaptées au cas d'étude de l'utilisateur.

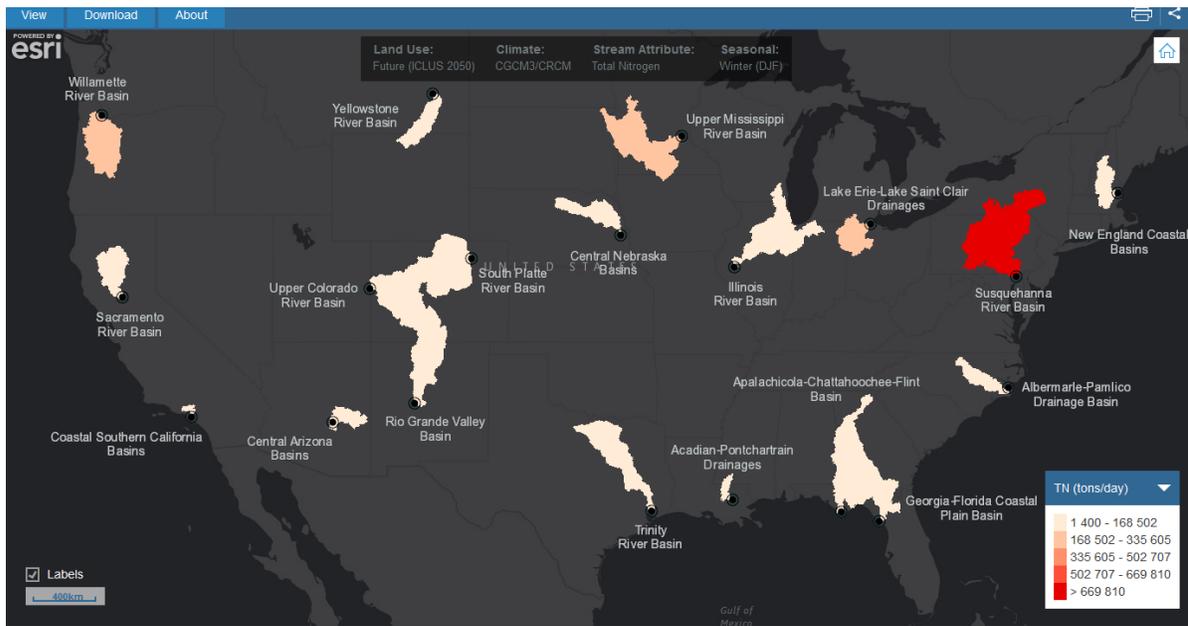


Figure 3. Capture d'écran du site The 20 Watershed tool, présentant la variation en azote total en hiver pour la période 2041-2070. Source : <https://20watersheds.epa.gov/20watersheds/#v=map&b=dark-gray&x=-101.70&y=38.83&l=4&m=1&a=1&isv=TSS&lu=L1&cs=W1&mv=Deltas&sn=DIF&alias=home&iw=false>

Un autre exemple de modèle identifié (UNFCCC) est le modèle WEAP (Water Evaluation And Planning system), développé par le Stockholm Environment Institute, qui est un logiciel

adoptant une approche intégrée de la planification des ressources en eau et pouvant évaluer de manière locale la qualité de l'eau en appliquant différents scénarios d'hydrologie et de développement économique (<https://www.weap21.org/>). Cet outil peut ainsi être adapté au cas d'étude particulier d'une municipalité.

Enfin, certains outils spécifiques ont aussi pu être relevés suite à l'analyse des résultats de la recherche de littérature grise, comme un guide méthodologique pour aider les gestionnaires de l'eau à évaluer la vulnérabilité de l'approvisionnement en eau face aux changements climatiques (Natural Resources Canada & the Government of Newfoundland and Labrador, 2012), ou une évaluation environnementale pour évaluer les zones prioritaires en Nouvelle-Écosse où des menaces significatives (de type CC) et des prélèvements d'eau importants exigent des mesures supplémentaires et des efforts de protection et de conservation (Nova Scotia Environment & Dalhousie University).

5.4 Accessibilité des données et transférabilité au contexte québécois

La transférabilité de l'outil dans le contexte québécois a été évaluée sur la base de trois critères qui semblent essentiels pour juger de sa capacité à être utilisé : accessibilité des bases de données, complexité de la mise en œuvre de l'outil (c.-à-d. recours à la prise en main de différents modèles et utilisation de nombreuses sources de données) et cadre réglementaire sur l'eau (inclusion du paramètre de qualité dans le programme de suivi, ou absence de paramètre défini/d'indice agrégé). Globalement, aucun outil n'est directement transférable au contexte québécois. En effet, la plupart des outils présentent une complexité d'appropriation liée à la diversité (et à la complexité) des différents modèles statistiques utilisés (p. ex. approches bayésiennes), ainsi qu'une large diversité de données d'entrée nécessaires pour leur utilisation (agricoles, hydrologiques, climatiques, utilisation du sol, géologiques, hydrographiques, etc.). Cependant, la plupart des données sont issues de réseaux de surveillance nationaux (province ou état) comme l'occupation du sol ou l'hydrologie, et beaucoup de données sont en libre accès sur des serveurs de partage (hydrologie, qualité de l'eau, modèles climatiques). En l'état, l'accessibilité à des données similaires à celles du Québec ne présente pas d'enjeux majeurs, sauf pour des données de rejets de stations d'épuration, certaines données concernant les rejets issus des activités agricoles, ou les données de fertilisation des sols. La majorité des études portent aussi sur des paramètres de qualité de l'eau qui sont réglementés au Québec (p. ex. phosphore total, turbidité).

Conclusion

Cette revue de littérature a permis d'identifier un ensemble d'outils intégrant l'évaluation de la vulnérabilité qualitative des sources d'eau potable aux changements climatiques (cf. les tableaux joints à ce rapport en Annexe 2). Ce travail a permis de confirmer l'existence de certains outils préalablement identifiés, tels que les ensembles de modèles, pour évaluer la vulnérabilité des ressources en eau à différents scénarios de changement du climat et/ou d'occupation du sol. D'autres outils ont émergé, comme les PGSSE, qui sont des approches de l'évaluation du risque adaptables à chaque cas d'étude dont la flexibilité est intéressante pour des gestionnaires de l'eau potable qui souhaitent mieux intégrer les risques liés aux changements climatiques. De plus, des logiciels intégrés accessibles en ligne comme CREAT ou WEAP pourraient permettre de produire une prédiction utile pour l'utilisateur selon plusieurs scénarios et constituent des outils d'aide à la décision directement utilisables et adaptables à un système d'approvisionnement en eau potable particulier. Ces outils sont à accès restreint, et il n'a donc pas été possible de les tester directement lors de ce mandat. Il serait intéressant d'essayer ces outils lors de futurs travaux de recherche.

Certaines autres perspectives de travaux peuvent être mises en évidence à la suite de ce travail de revue de la littérature. Tout d'abord, il semble nécessaire de mieux évaluer les trajectoires d'évolution de l'occupation du sol et les modifications du climat à l'échelle locale pour le Québec, afin d'avoir des outils locaux pour évaluer la vulnérabilité des sources d'eau potable. Par ailleurs, bien que le mandat de cette revue ait été limité à l'aspect qualitatif de l'effet des changements climatiques sur les ressources en eau, il apparaît nécessaire d'inclure également l'aspect quantitatif (sècheresse, inondations) dans le recensement des outils disponibles pour évaluer la vulnérabilité des prises d'eau.

Références bibliographiques

Critical Appraisal Skills Programme (CASP) Qualitative Research Checklist 13.03.17

GIEC, 2013 : Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.

Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS). Les normes de production des revues systématiques. Guide méthodologique. Document rédigé par Valérie Martin et Jolianne Renaud sous la direction de Pierre Dagenais. Montréal, Qc : INESSS; 2013. 44p.

Livoreil B. (2018). La Revue systématique. 2e édition. Paris, France : FRB, 36 p.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Ann Intern Med.* 2009;151:264-269.

Références des études et rapports sélectionnés pour la revue de littérature

Littérature scientifique (n=44)

Arreguin-Cortes, Felipe; Raul Saavedra-Horita, J.; Manuel Rodriguez-Varela, J.; Tzatchkov, Velitchko G.; Cortez-Mejia, Petronilo E.; Llaguno-Guilberto, Oscar J.; Sainos-Candelario, Arizabeta; Sandoval-Yoval, Luciano; Ortega-Gaucin, David; Yuri Mendoza-Cazares, E.; Navarro-Barraza, Salvador . Municipal level water security indices in Mexico, 2019. *Sn Applied Sciences*, 10.1007/s42452-019-1180-2, 1194, 10, 1.

Baranowski, Curt. Climate ready water utilities: Helping the water sector adapt to a changing hydrologic cycle, 2012. 85th Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conference, WEFTEC 2012, September 29, - October 3, 2012, 10.2175/193864712811725465, 1893-1896, 3

Bertone, Edoardo; Sahin, Oz; Richards, Russell; Roiko, Anne. Extreme events, water quality and health: A participatory Bayesian risk assessment tool for managers of reservoirs, 2016. *Journal of Cleaner Production*, 10.1016/j.jclepro.2016.06.158, 657-667, 135

Blauhut, Veit; Gudmundsson, Lukas; Stahl, Kerstin. Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts, 2015. *Environmental Research Letters*, 10.1088/1748-9326/10/1/014008, 14008, 1, 10

Buchanan, Brian P.; Archibald, Josephine A.; Easton, Zachary M.; Shaw, Stephen B.; Schneider, Rebecca L.; Walter, M. Todd. A phosphorus index that combines critical source areas and transport pathways using a travel time approach, 2013. *Journal of Hydrology*, 10.1016/j.jhydrol.2013.01.018, 123-135, 486

Bussi G., Paul G. Whitehead, Cayetano Gutiérrez-Cánovas, José L. J. Ledesma, Steve J. Ormerod, Raoul-Marie Couture. Modelling the effects of climate and land-use change on the hydrochemistry and ecology of the River Wye (Wales), 2018. *Science of the Total Environment*, 733-743, 627.

- Carvalho de Melo, Marilia; Formiga-Johnsson, Rosa Maria; Soares de Azevedo, Jose Paulo; de Oliveira Nascimento, Nilo; Lisboa Vieira Machado, Fabricio; Leal Pacheco, Fernando Antonio; Sanches Fernandes, Luis Filipe. A raw water security risk model for urban supply based on failure mode analysis, 2021. *Journal of Hydrology*, 10.1016/j.jhydrol.2020.125843, 593.
- Carvalho, M.; Martins, B.; Coelho, J. P.; Broco, N.; Ribeiro, A. K.; Magalhaes, A.; Luis, A. Climate change adaptation: a pragmatic approach for assessing vulnerability, 2019. *Water Practice and Technology* 10.2166/wpt.2018.122 172-177, 1, 14
- Chang, Heejun; Jung, Il-Won; Strecker, Angela; Wise, Daniel; Lafrenz, Martin; Shandas, Vivek; Moradkhani, Hamid; Yeakley, Alan; Pan, Yangdong; Bean, Robert; Johnson, Gunnar; Psaris, Mike. Water Supply, Demand, and Quality Indicators for Assessing the Spatial Distribution of Water Resource Vulnerability in the Columbia River Basin, 2013. *Atmosphere-Ocean*, 10.1080/07055900.2013.777896, 339-356, 4, 51
- Chang, Ni-Bin; Yang, Y. Jeffrey; Daranpob, Ammarin. Middle-term metropolitan water availability index assessment based on synergistic potential of multi-sensor data, 2010, *Journal of Applied Remote Sensing*, 10.1117/1.3386582, 43519, 4
- Chang, Ni-Bin; Yang, Y. Jeffrey; Goodrich, James A.; Daranpob, Ammarin. Development of the Metropolitan Water Availability Index (MWAI) and short-term assessment with multi-scale remote sensing technologies, 2010. *Journal of Environmental Management* 10.1016/j.jenvman.2010.02.024, 1397-1413, 6, 91
- Cheng, X.; Benke, K.; Reid, M.; Christy, B.; Weeks, A.; Heislors, D. An integrated modelling approach to balancing trade-off issues in natural resource management, 2009. 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, Proceedings, 3992-3998.
- Cheng, X.; Christy, B.; Jarwal, S.; Weeks, A. Effect of landuse change and climate variation on stream flow and salinity in south-eastern Murray-Darling basin, Australia, 2007. 2007 International Congress on Modelling and Simulation - Land, Water and Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability, MODSIM 2007, December 10, 2007 - December 13, 2007, 1623-1629.
- Coffey, Rory; Butcher, Jonathan; Benham, Brian; Johnson, Thomas Modeling the effects of future hydroclimatic conditions on microbial water quality and management practices in two agricultural watersheds, 2020. *Transactions of the ASABE*, 10.13031/TRANS.13630, 753-770, 3, 63
- Debnath, Animesh; Majumder, Mrinmoy; Pal, Manish. A Cognitive Approach in Selection of Source for Water Treatment Plant based on Climatic Impact, 2015. *Water Resources Management*, 10.1007/s11269-015-0918-x, 1907-1919, 6, 29
- Demeter, Katalin; Derx, Julia; Komma, Jurgen; Parajka, Juraj; Schijven, Jack; Sommer, Regina; Cervero-Arago, Silvia; Lindner, Gerhard; Zoufal-Hruza, Christa M.; Linke, Rita; Savio, Domenico; Ixenmaier, Simone K.; Kirschner, Alexander K.T.; Kromp, Harald; Blaschke, Alfred P.; Farnleitner, Andreas H.. Modelling the interplay of future changes and wastewater management measures on the microbiological river water quality considering safe drinking water production, 2021. *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2020.144278, 768
- Duan, Hongtao; Tao, Min; Loiselle, Steven Arthur; Zhao, Wei; Cao, Zhigang; Ma, Ronghua; Tang, Xiaoxian. MODIS observations of cyanobacterial risks in a eutrophic lake: Implications for long-term safety evaluation in drinking-water source, 2017. *Water Research*, 10.1016/j.watres.2017.06.022, 455-470, 122
- Garnier, Josette; Ramarson, Antsiva; Billen, Gilles; They, Sylvain; Thiery, Dominique; Thieu, Vincent; Minaudo, Camille; Moatar, Florentina, Nutrient inputs and hydrology together determine biogeochemical status of the Loire River (France): Current situation and possible future scénarios, 2018. *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2018.05.045, 609-624, 637-638.

- Giri, Subhasis; Lathrop, Richard G.; Obropta, Christopher C. Climate change vulnerability assessment and adaptation strategies through best management practices, 2020. *Journal of Hydrology*, 10.1016/j.jhydrol.2019.124311, 580
- Hashempour, Yalda; Nasser, Mohsen; Mohseni-Bandpei, Anoushirvan; Motesaddi, Saeed; Eslamizadeh, Mohsen. Assessing vulnerability to climate change for total organic carbon in a system of drinking water supply, 2020. *Sustainable Cities and Society*, 10.1016/j.scs.2019.101904, 101904, 53
- Hurd, B.; Leary, N.; Jones, R.; Smith, J. Relative regional vulnerability of water resources to climate change, 1999. *Journal of the American Water Resources Association*, 10.1111/j.1752-1688.1999.tb04224.x 1399-1409, 6, 35
- Jin, Li; Whitehead, Paul G.; Futter, Martyn N.; Lu, Zunli. Modelling the impacts of climate change on flow and nitrate in the River Thames: assessing potential adaptation strategies, 2012. *Hydrology Research*, 10.2166/nh.2011.080, 902-916, 6, 43.
- Kanakoudis, Vasilis; Tsitsifli, Stavroula; Papadopoulou, Anastasia; Curk, Barbara Cencur; Karleusa, Barbara. Water resources vulnerability assessment in the Adriatic Sea region: the case of Corfu Island, 2017. *Environmental Science and Pollution Research*, 10.1007/s11356-017-9732-8, 20173-20186, 25, 24
- Kim, Yeonjoo; Chung, Eun-Sung. Assessing climate change vulnerability with group multi-criteria decision making approaches, 2013. *Climatic Change*, 10.1007/s10584-013-0879-0, 301-315, 2, 121
- LaBeau, Meredith Ballard. Integrated assessment of anthropogenic, climate, and policy induced changes of phosphorus export in the United States Laurentian Great Lakes watersheds, 2012.
- Men, Baohui; Liu, Haoyue. Water resource system vulnerability assessment of the Heihe River Basin based on pressure-state-response (PSR) model under the changing environment, 2018. *Water Science and Technology: Water Supply*, 10.2166/ws.2018.017 1956-1967, 6, 18
- Moe, S. Jannicke; Haande, Sigrid; Couture, Raoul-Marie. Climate change, cyanobacteria blooms and ecological status of lakes: A Bayesian network approach, 2016. *Ecological Modelling*, 10.1016/j.ecolmodel.2016.07.004, 330-347, 337
- Mohammed, Hadi; Longva, Andreas; Seidu, Razak Impact of climate forecasts on the microbial quality of a drinking water source in Norway using hydrodynamic modeling, 2019. *Water (Switzerland)*, 10.3390/w11030527, 3, 11
- Mortazavi-Naeini, Mohammad; Bussi, Gianbattista; Elliott, J. Alex; Hall, Jim W.; Whitehead, Paul G. Assessment of Risks to Public Water Supply From Low Flows and Harmful Water Quality in a Changing Climate, 2019. *Water Resources Research*, 10.1029/2018WR022865, 10386-10404, 12, 55.
- Mukundan, R.; Scheerer, M.; Gelda, R.K.; Owens, E.M. Probabilistic estimation of stream turbidity and application under climate change scénarios, 2018. *Journal of Environmental Quality*, 10.2134/jeq2018.06.0229, 1522-1529, 6, 47
- Nyman, Petter; Yeates, Peter; Langhans, Christoph; Scharer, Cristine; Noske, Philip J.; Lane, Patrick N.J.; Haydon, Shane; Sheridan, Gary J. A novel approach for determining risk of water supply disruptions due to post-wildfire debris flows, 2019. 7th International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Monitoring, Modeling, and Assessment, June 10-June 13, 2019, 532-538
- Prinsen, Geert; Weiland, Frederiek Sperna; Ruijgh, Erik. The Delta Model for Fresh Water Policy Analysis in the Netherlands, 2015. *Water Resources Management*, 10.1007/s11269-014-0880-z, 645-661, 2, 29
- Quinn, N. W. T.; Miller, N. L.; Dracup, J. A.; Brekke, L.; Grober, L. F. An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San

- Joaquin Basin, California, 2001. *Advances in Environmental Research*, 10.1016/S1093-0191(01)00081-8, 309-317, 4, 5
- Rasmussen, P.; Sonnenborg, T.O.; Goncear, G.; Hinsby, K. Assessing impacts of climate change, sea level rise, and drainage canals on saltwater intrusion to coastal aquifer, 2013. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10.5194/hess-17-421-2013, 421-443, 1, 17
- Shamsuzzoha, Md.; Kormoker, Tapos; Ghosh, Rajan Chandra. Implementation of Water Safety Plan Considering Climatic Disaster Risk Reduction in Bangladesh: A Study on Patuakhali Pourashava Water Supply System, 2018. 7th International Conference on Building Resilience, ICBR 2017, November 27, 2017 - November 29, 2017, 10.1016/j.proeng.2018.01.075, 583-590, 212
- Tariq, Abdul; Lempert, Robert Jay; Riverson, John; Schwartz, Marla; Berg, Neil. A climate stress test of Los Angeles water quality plans, 2017. *Climatic Change*, 10.1007/s10584-017-2062-5, 625-639, 4, 144
- Thorne, O.M.; Fenner, R.A. Modelling the impacts of climate change on a water treatment plant in South Australia, 2008. *Water Science and Technology: Water Supply*, 10.2166/ws.2008.075, 305-312, 3, 8
- Towler, Erin; Rajagopalan, Balaji; Gilleland, Eric; Summers, R. Scott; Yates, David; Katz, Richard W. Modeling hydrologic and water quality extremes in a changing climate: A statistical approach based on extreme value theory, 2010. *Water Resources Research*, 10.1029/2009WR008876, 11, 46
- Towler, Erin; Rajagopalan, Balaji; Yates, David; Rodriguez, Alfredo; Scott Summers, R. Integrated approach to simulate stream water quality for municipal supply under a changing climate, 2013. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000766, 1432-1440, 12, 139
- Whitehead, Paul G.; Jin, Li; Macadam, Ian; Janes, Tamara; Sarkar, Sananda; Rodda, Harvey J. E.; Sinha, Rajiv; Nicholls, Robert J. Modelling impacts of climate change and socio-economic change on the Ganga, Brahmaputra, Meghna, Hooghly and Mahanadi river systems in India and Bangladesh, 2018. *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2018.04.362, 1362-1372, 636
- Wu, Yiping; Liu, Shuguang; Gallant, Alisa L. Predicting impacts of increased CO2 and climate change on the water cycle and water quality in the semiarid James River Basin of the Midwestern USA, 2012. *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2012.04.058, 150-160, 430
- Yaghoubi, Behrouz; Hosseini, Seyed Abbas; Nazif, Sara; Daghighi, Amin. Development of reservoir's optimum operation rules considering water quality issues and climatic change data analysis, 2020. *Sustainable Cities and Society*, 10.1016/j.scs.2020.102467, 63.
- Zhang, Hua. Development of integrated characterization, simulation and risk-assessment methodologies for examining the impacts of climate change on small prairie watersheds, 2012.
- Zhao, C.S.; Yang, Y.; Yang, S.T.; Xiang, H.; Zhang, Y.; Wang, Z.Y.; Chen, X.; Mitrovic, S.M. Predicting future river health in a minimally influenced mountainous area under climate change, 2019. *Science of the Total Environment*, 10.1016/j.scitotenv.2018.11.430, 1373-1385, 656.

Littérature grise (n=8)

- CAL-ADAPT, 2021. CALADAPT Local Climate Change Snapshot. <https://cal-adapt.org/tools/local-climate-change-snapshot/>
- Emergency Management Ontario, 2012. Ontario Provincial Hazard Identification and Risk Assessment.

Natural Resources Canada and the Government of Newfoundland and Labrador, 2012. 7 Steps to Assess Climate Change Vulnerability in Your Community Chapter 4 - Drinking Water Supply & Climate Change

Nova Scotia Environment and Dalhousie University. Nova Scotia Watershed Assessment Program, Part A – Initial Assessment Summary Report.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). CGE Hands-On Training Workshop For Vulnerability And Adaptation Assessment.

USEPA, 2013. The 20 Watershed tool.

<https://20watersheds.epa.gov/20watersheds/#v=map&b=dark-gray&x=-101.70&y=38.83&l=4&m=1&a=1&isv=TSS&lu=L1&cs=W1&mv=Deltas&n=DIF&alias=home&iw=false>, dernier accès le 28/09/2021

USEPA, 2021. Creating Resilient Water Utilities Tools (version 3.1).

<https://www.epa.gov/crwu/climate-resilience-evaluation-and-awareness-tool-creat-risk-assessment-application-water>, dernier accès le 28/09/2021

World Health Organization, 2017. Climate-resilient water safety plans: Managing health risks associated with climate variability and change. Geneva. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO

Annexe 1

Plan de travail proposé et échéancier

Étapes	Commentaire	Date limite
<ul style="list-style-type: none"> Réalisation d'une recherche de littérature préliminaire afin de vérifier le besoin de réaliser une revue de la littérature sur les outils disponibles pour évaluer les effets des changements du climat sur la qualité des eaux 	Étape préalable à la définition du mandat	Complété en novembre 2020
<ul style="list-style-type: none"> Identification de la problématique et des objectifs de la revue de la littérature 	Étape préalable à la définition du mandat	Complété en novembre 2020
<ul style="list-style-type: none"> <i>Réunion de démarrage, élaboration du compte rendu et proposition du plan de travail</i> 		29 janvier
<ul style="list-style-type: none"> Définition des mots clés de la recherche, de la période couverte, des langues (anglais et français), ainsi que des moteurs de recherche utilisés 		11 février
<ul style="list-style-type: none"> Définition des critères d'inclusion et d'exclusion, incluant les critères d'évaluation de la qualité des études 		11 février
<ul style="list-style-type: none"> Validation des mots clés choisis par un bibliothécaire de l'Université Laval spécialisé en synthèse des connaissances (Frédéric Bergeron) 		25 février
<ul style="list-style-type: none"> Élaboration d'un formulaire d'extraction des informations contenues dans les articles 		25 février
<ul style="list-style-type: none"> Réalisation de la revue de littérature scientifique (sélection des articles selon les critères d'inclusion et d'exclusion définis) 		15 mars
<ul style="list-style-type: none"> Évaluation de la qualité des études 		15 mars
<ul style="list-style-type: none"> Sélection des outils présentés dans les articles retenus 		15 mars
<ul style="list-style-type: none"> Rédaction et remise du bilan d'avancement 		15 mars
<ul style="list-style-type: none"> <i>Réunion de suivi (MELCC-Chaire)</i> 		15 mars
<ul style="list-style-type: none"> Analyse descriptive des outils sélectionnés (objectif de l'outil, type d'outil, zone d'application, type d'aléas climatiques, données utilisées, accessibilité) pour évaluer les effets des changements climatiques sur la qualité des eaux 	Sous forme de tableau de synthèse	15 avril
<ul style="list-style-type: none"> Analyse critique et exhaustive des outils identifiés, incluant leur transférabilité au contexte québécois, en fonction du cadre réglementaire (RPEP) et des bases de données disponibles 	Sous forme de tableau de synthèse	02 septembre
<ul style="list-style-type: none"> Rédaction et remise du rapport préliminaire incluant les différents éléments méthodologiques et les résultats obtenus (tableau de synthèse) 		13 septembre
<ul style="list-style-type: none"> Remise du rapport final 		20 septembre
<ul style="list-style-type: none"> <i>Réunion finale de présentation des résultats</i> 		20 septembre

Annexe 2

Tableau de synthèse des résultats de l'étude de la portée – Littérature scientifique et littérature grise

