

# GUIDE DE L'ATLAS HYDROCLIMATIQUE DU QUÉBEC MÉRIDIONAL

2022

**Coordination et rédaction**

Cette publication a été réalisée par la Direction principale des prévisions hydriques et de la cartographie du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) en collaboration avec Ouranos. Elle a été produite par la Direction des communications du MELCCFP.

Rédaction : Angelica Alberti-Dufort (Ouranos) et Raphaël Desjardins (Ouranos)

Coordination : Charles Malenfant (MELCCFP) et Ursule Boyer-Villemare (Ouranos)

Révision : Richard Turcotte, Édouard Mailhot et Jasmine Pelletier-Dumont (MELCCFP)

**Renseignements**

Visitez notre site Web : [www.environnement.gouv.qc.ca](http://www.environnement.gouv.qc.ca)

Ou écrivez-nous : [Atlas.hydroclimatique@environnement.gouv.qc.ca](mailto:Atlas.hydroclimatique@environnement.gouv.qc.ca)

Dépôt légal – 2022  
Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
ISBN 978-2-550-93500-1 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.

© Gouvernement du Québec – 2022

# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>viii</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>ix</b>
<b>Glossaire de l'Atlas hydroclimatique</b>	<b>x</b>
<b>Sommaire pour décideurs</b>	<b>xiii</b>
<b>Chapitre 1 : Un aperçu de l'Atlas</b>	<b>1</b>
1.1 L'Atlas hydroclimatique, de quoi s'agit-il?	1
1.2 L'Atlas hydroclimatique et l'adaptation aux changements climatiques	2
1.3 Comment l'Atlas est-il produit?	3
<b>Chapitre 2. Les outils de l'Atlas</b>	<b>6</b>
2.1 Outil 1 : Données des stations hydrométriques	7
2.2 Outil 2 : Portrait des débits historiques	8
2.3 Outil 3 : Indicateurs hydrologiques	9
<b>Chapitre 3. Comment utiliser l'Atlas?</b>	<b>17</b>
3.1 Démarche générale	17
3.2 Sélectionner le bon outil	18
3.3 Sélectionner un indicateur hydrologique en climat futur	18
3.4 Exemples d'utilisation de l'Atlas en contexte professionnel	20
<b>Chapitre 4. L'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques dans le Québec méridional</b>	<b>24</b>
4.1 Les causes des changements dans les débits des rivières	24
4.2 Les changements hydrologiques attendus	25
<b>Chapitre 5. Les limites et les perspectives de l'Atlas hydroclimatique</b>	<b>32</b>
5.1 Sources d'incertitudes	32
5.2 Les petits bassins versants, les rivières influencées et le nord du Québec	34
5.3 Que faire si je ne trouve pas de données en climat futur pour un tronçon de rivière?	34

5.4 Perspectives d'amélioration et de développement de l'Atlas et ses outils d'accompagnement _____	35
<b>Chapitre 6. Ressources complémentaires</b> _____	<b>36</b>
<b>Bibliographie</b> _____	<b>39</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Contextes d'usage de outils de l'Atlas hydroclimatique	6
<b>Tableau 2.</b> Caractérisation des types d'indicateurs (AN = annuel; HP = Hiver et Printemps; EA = Été et Automne)	10
<b>Tableau 3.</b> Sélection de l'outil	18
<b>Tableau 4.</b> Sélection d'un indicateur	19
<b>Tableau 5.</b> Faits saillants de l'Atlas hydroclimatique	26
<b>Tableau 6.</b> Suggestions de ressources complémentaires	36

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Réseau hydrographique couvert par l'Atlas. _____	1
<b>Figure 2.</b> Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques (Ouranos) _____	2
<b>Figure 3.</b> Démarche de simulation climatique et hydrologique _____	3
<b>Figure 4.</b> Carte des stations hydrométriques _____	7
<b>Figure 5.</b> Accéder aux données des stations hydrométriques _____	7
<b>Figure 6.</b> L'outil Portrait de l'Atlas hydroclimatique _____	8
<b>Figure 7.</b> Accéder aux données de l'outil Portrait _____	9
<b>Figure 8.</b> Accéder aux indicateurs hydrologiques dans l'Atlas _____	9
<b>Figure 9.</b> Choisir un horizon temporels futur dans l'Atlas _____	13
<b>Figure 10.</b> Descripteurs du signal de changement hydroclimatique _____	14
<b>Figure 11.</b> Accéder aux descripteurs dans l'Atlas _____	15
<b>Figure 12.</b> L'évolution des températures annuelles moyennes du Québec selon deux scénarios d'émission de GES (Ouranos, 2021) _____	15
<b>Figure 13.</b> Accéder au résumé des résultats pour un indicateur et un tronçon de rivière _____	16
<b>Figure 14.</b> Impact projeté des changements climatiques sur le débit moyen (exemple) _____	16
<b>Figure 15.</b> Démarche d'utilisation de l'Atlas hydroclimatique _____	17
<b>Figure 16.</b> Exemple d'indicateur en climat futur _____	19
<b>Figure 17.</b> Moyenne annuelle des températures en climat historique et en climat futur sur l'ensemble de la province du Québec (Ouranos, 2021) _____	24
<b>Figure 18.</b> Évolution des précipitations liquides en hiver pour la Montérégie et la Côte-Nord (Ouranos, 2021) _____	25
<b>Figure 19.</b> Jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal (JQ1MAXHP) - Horizon 2080, RCP 8.5 Rouge : Moins 24 jours plus tôt que la normale Orange : 14 à 24 jours plus tôt que la normale _____	28
<b>Figure 20.</b> Direction du débit moyen sur 14 jours maximal pour l'hiver-printemps pour une crue de récurrence 20 ans - Horizons 2050 et 2080, RCP 4.5 par rapport à la période historique de 1981-2010. Q14MAX2HP _____	28
<b>Figure 21.</b> Débit journalier maximal pour l'été automne (m3/s) pour une crue de récurrence 20 ans - Horizons 2050 et 2080, RCP 8.5 _____	30

**Figure 22.** Débit moyen sur 7 jours minimal pour l'été-automne ( $m^3/s$ ) pour un étiage de récurrence 2 ans - Horizons 2050 et 2080, RCP 8.5 \_\_\_\_\_ 31

**Figure 23.** Série de débits printaniers maximums à la station 050304 de la rivière Batiscan, de 1967 à 2021 (Source : Atlas hydroclimatique, Outil Portrait, station 50304, données téléchargées : extraction du maximum printanier par année) \_\_\_\_\_ 32

**Figure 24.** Cartes de la projection de la direction du débit maximal 1 :2 ans et 1 :350 ans en hiver et au printemps à l'horizon 2040-2070 pour le scénario RCP 8.5, illustrant la différence de consensus entre deux récurrences dans un même contexte de projection climatique. \_\_\_\_\_ 33

## Remerciements

L'Atlas hydroclimatique est produit par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), mais il est le résultat de nombreuses collaborations nationales et internationales.

Nous remercions plus particulièrement le consortium Ouranos, qui a fourni et traité l'ensemble des données climatiques nécessaires à la réalisation de l'Atlas hydroclimatique. Dans le cadre du projet INFO-Crue, Ouranos a aussi contribué à certaines améliorations méthodologiques de l'Atlas, de même qu'aux efforts de diffusion, notamment par la rédaction de ce guide.

Nos remerciements vont également au Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique, à l'École de technologie supérieure et à l'Université Laval pour leurs contributions aux améliorations de la modélisation hydrologique dans l'Atlas.

Nous remercions le groupe de travail sur la modélisation couplée du Programme mondial de recherche sur le climat, responsable du Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), et les groupes de modélisation du climat (énumérés dans le tableau 1, disponible sur le [site Web de l'Atlas hydroclimatique](#)) qui ont produit et rendu disponibles leurs modèles. Nos remerciements vont également au U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, qui assure la coordination du soutien et le développement dirigé de l'infrastructure logicielle du CMIP en partenariat avec la Global Organization for Earth System Science Portals.

Nous remercions le World Climate Research Programme's Working Group on Regional Climate et le Working Group on Coupled Modelling, ancien organe de coordination du Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) et groupe responsable du CMIP5. Nous remercions aussi les groupes de modélisation du climat (énumérés dans le tableau 2, disponible sur le [site Web de l'Atlas hydroclimatique](#)) pour la production et la mise à disposition de leur modèle. Nous remercions également le U.S. Department of Defense's Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP) pour son soutien aux archives de données NA-CORDEX.

La production de ClimEx a été financée dans le cadre du projet ClimEx par le ministère bavarois de l'Environnement et de la Protection des consommateurs. Le CRCM5 a été développé par le centre ESCER de l'Université du Québec à Montréal (UQAM; [www.escer.uqam.ca](http://www.escer.uqam.ca)) en collaboration avec Environnement et Changement climatique Canada. Nous remercions le Centre canadien de modélisation et d'analyse du climatique d'Environnement et Changement climatique Canada pour l'exécution et la mise à disposition des simulations du grand ensemble CanESM2 utilisées dans cette étude, et le Canadian Sea Ice and Snow Evolution (CanSISE) Network pour avoir proposé les simulations. Les calculs avec le CRCM5 pour le projet ClimEx ont été effectués sur le supercalculateur SuperMUC du Leibniz Supercomputing Centre (LRZ) de l'Académie bavaroise des sciences et des sciences humaines. Le fonctionnement de ce supercalculateur est financé via le Gauss Centre for Supercomputing (GCS) par le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche et le ministère bavarois de l'Éducation, des Sciences et des Arts.

Nous remercions finalement les membres du comité scientifique pour leurs commentaires éclairés sur l'identification des bonnes pratiques de modélisation ayant mené à la production de l'Atlas.

Nous soulignons enfin le caractère crucial des banques de données d'observation du climat et du débit des rivières du Québec sans lesquelles la réalisation de l'Atlas hydroclimatique aurait été impossible.

## Avant-propos

Le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) a pour mission de contribuer au développement durable du Québec en jouant un rôle clé dans la lutte contre les changements climatiques, la protection de l'environnement et la conservation de la biodiversité au bénéfice des citoyens.

À ce titre, le MELCCFP travaille depuis 2011 à soutenir la mise en œuvre de pratiques de gestion de l'eau résilientes aux changements climatiques. Dans cette optique, le MELCCFP a produit l'[Atlas hydroclimatique du Québec méridional](#), un outil cartographique présentant le régime hydrique des rivières en climat actuel et futur, et aidant à la prise de décisions qui anticipent l'impact des changements climatiques sur les débits des rivières.

L'Atlas hydroclimatique est réalisé avec le soutien de nombreux collaborateurs (Ouranos, École de technologie supérieure, Institut national de la recherche scientifique, etc.), et son développement est appuyé financièrement par le Fonds vert dans le cadre de la mise en œuvre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques et du Plan pour une économie verte 2030 du gouvernement du Québec.

En 2018, la première version cartographique interactive de l'Atlas était mise en ligne et présentait des informations sur l'hydrologie en climat futur pour 1 900 tronçons de rivières. Une nouvelle version améliorée de l'Atlas est parue en 2022 et propose maintenant près de 10 000 tronçons de rivières ainsi que deux nouveaux outils de consultation de l'historique des débits des rivières du Québec méridional.

Si la principale qualité de l'Atlas est son exhaustivité, en contrepartie, cela peut rendre son utilisation assez complexe pour des professionnels ou des promoteurs de projet non experts en hydrologie et en changements climatiques. En effet, étant donné la complexité de la science du climat et sa constante évolution, l'information climatique est difficile à comprendre pour un grand nombre d'utilisateurs (Charron, 2016).

Le présent guide propose ainsi une introduction générale aux outils de l'Atlas 2022, à l'hydrologie et à l'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques des rivières dans le Québec méridional. Il s'adresse à tous les acteurs de la société québécoise préoccupés par les impacts des changements climatiques sur les usages de l'eau et qui désirent commencer à intégrer des actions d'adaptation dans leurs projets de conception ou dans leurs pratiques de gestion.

Ce guide est divisé en six chapitres. Le **chapitre 1** introduit l'Atlas, ses éléments méthodologiques, son utilité et les améliorations qui lui ont été apportées depuis la dernière édition. Le **chapitre 2** présente plus en profondeur les différents outils de l'Atlas avec une attention particulière sur la façon d'utiliser les indicateurs hydrologiques en climat historique et futur. Le **chapitre 3** propose une démarche d'utilisation de l'Atlas ainsi que des exemples concrets d'application en milieu professionnel. Le **chapitre 4** présente les faits saillants de l'Atlas ainsi qu'un résumé de l'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques des rivières. Le **chapitre 5** expose les limites de l'Atlas. Une liste de ressources complémentaires (**chapitre 6**) et une bibliographie complètent le guide.

En plus de ce guide, l'Atlas hydroclimatique 2022 proposera un rapport technique<sup>1</sup> détaillant plus en profondeur la méthodologie et les résultats de l'Atlas. Ce rapport s'adresse à des lecteurs spécialisés ou à quiconque souhaite approfondir sa compréhension de l'évolution des régimes hydrologiques au Québec méridional.

---

<sup>1</sup> À paraître en 2023 sur la page d'accueil de l'Atlas hydroclimatique 2022.

## Glossaire de l'Atlas hydroclimatique

Modélisation du climat	
ClimEx	Grand ensemble de simulations climatiques du modèle climatique régional canadien (MRCC5-LE) piloté par 50 membres du modèle Canadian Earth System Model (CanESM2) pour le RCP 8.5 (~12 km de résolution).
NA-CORDEX	COordinated Regional Climate Downscaling Experiment, sur le domaine nord-américain (NA). Ensemble de simulations climatiques régionales, bonifié de simulations du MRCC5 réalisées par Ouranos et suivant un protocole similaire.
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5. Ensemble de simulations climatiques réalisé sous la direction du Working Group on Coupled Modelling et soutenant la rédaction du 5 <sup>e</sup> rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).
Ensemble climatique	Groupe de simulations climatiques réalisées à partir de différents modèles climatiques et de différents RCP (« Representative Concentration Pathways »).
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais IPCC).
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat – GIEC)
Membres climatiques	Groupe de simulations climatiques produites par un même modèle climatique et un même RCP à partir de conditions initiales légèrement différentes.
Modèle climatique	Représentation numérique du système climatique basée sur une représentation des processus atmosphériques et océaniques.
Post-traitement	Procédure visant à corriger ou à compenser les écarts entre les simulations climatiques et les observations de référence.
RCP	« Representative Concentration Pathways ». Scénarios d'émission et de concentration des gaz à effet de serre (GES), des aérosols et des gaz chimiquement actifs. Le scénario d'évolution du climat RCP 4.5 est généralement considéré comme « optimiste », alors que le scénario RCP 8.5 est plutôt considéré comme « pessimiste ».
Scénario climatique	Simulation climatique après post-traitement.
Simulation climatique	Exécution d'un modèle climatique selon certains paramètres et conditions initiales donnés.

Hydrologie	
Bassin versant	Unité géographique représentant le territoire de drainage d'un point donné appelé exutoire.
Bassin versant primaire	Bassin versant (BV) principal dans lequel se trouve le tronçon sélectionné.
Crue	Période de fort débit.
Étiage	Période de faible débit.
Hydraulicité	Valeur moyenne de débits sur de longues périodes (mois, saison, année).
Identifiant tronçon	Identifiant du segment de rivière modélisé.
Indicateur hydrologique	Expression mathématique quantifiant une composante du régime hydrique à l'aide d'un calcul statistique.
Influence de l'opération des barrages	Niveau d'influence potentiel de l'opération des barrages situés en amont sur les débits d'un tronçon (DOR : <i>degree of regulation</i> ).
Interpolation optimale	Technique de post-traitement de données permettant d'interpoler les débits et les indicateurs hydrologiques pour des tronçons non jaugés par la combinaison de l'information de la modélisation hydrologique et des stations hydrométriques.
Jaugé	Tronçon de rivière ayant des données observées d'une station hydrométrique.
Modèle hydrologique	Représentation numérique des processus hydrologiques.
Non-jaugé	Tronçon de rivière n'ayant pas de données observées d'une station hydrométrique.
Pointe de crue	Valeur maximale de débit observée lors d'une crue.
Portrait	Combinaison des données des stations hydrométriques avec les simulations hydrologiques par la méthode de l'interpolation optimale. Le Portrait donne accès aux séries temporelles de débits journaliers pour la période de 1970 jusqu'à récemment, sur 9 665 tronçons de rivières jaugés et non jaugés.
Projections hydroclimatiques	Ensemble de simulations du régime hydrologique en climat futur.
Québec méridional	Fait référence au Québec hydrologique méridional, un territoire de 771 403 km <sup>2</sup> couvrant l'ensemble des 40 zones de gestion intégrée de l'eau par bassin versant, soit tout le Québec méridional à l'exception des îles (Montréal, Anticosti, d'Orléans, etc.).
Récurrence	Évaluation statistique à long terme de l'intervalle de temps <i>moyen</i> entre deux événements hydrologiques d'une intensité donnée.
Série temporelle	Série chronologique de débits; série de données de débit indexée par le temps.
Superficie drainée	Superficie du bassin versant modélisé en amont du tronçon sélectionné.
Volume	Quantité d'eau transportée par un cours d'eau sur une période donnée.

## Projections hydroclimatiques

Ampleur	Valeur médiane des changements estimés.
Changement	Écart, généralement exprimé en valeur relative, entre un indicateur hydrologique estimé sur une période de référence et une période future.
Direction du changement	<p>Proportion des projections hydrologiques anticipant une augmentation (ou une diminution) d'un indicateur donné.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation très probable : plus de 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation.</li> <li>• Augmentation probable : de 66 à 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation.</li> <li>• Absence de consensus : de 33 à 66 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation ou une diminution. L'absence de consensus peut indiquer un changement faible ou des projections hydroclimatiques dispersées.</li> <li>• Diminution probable : de 66 à 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une diminution.</li> <li>• Diminution très probable : plus de 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une diminution.</li> </ul>
Dispersion	Évaluation de l'enveloppe interquartile (75 <sup>e</sup> -25 <sup>e</sup> ) comprenant la moitié des valeurs probables autour de la valeur médiane (50 <sup>e</sup> ). Indique la dispersion du signal autour de l'ampleur.
Horizon	<p>Période future de 30 ans.</p> <p>L'horizon 2020 (H20) couvre la période 2011-2040, l'horizon 2050 (H50) correspond à la période 2041-2070 et l'horizon 2080 (H80) couvre la période 2071-2100.</p>
Niveau de confiance	Appréciation fondée sur un jugement d'expert, de la valeur d'une information.
Observation de référence	Valeur d'un indicateur hydrologique calculé à partir d'une série de débits mesurés par une station hydrométrique au cours d'une période de référence.
Période de référence	Période historique de 30 ans, allant de 1981 à 2010.

## Sommaire pour décideurs

Au cours du 21<sup>e</sup> siècle, les changements climatiques modifieront le régime d'écoulement des cours d'eau du **Québec méridional**<sup>2</sup> et augmenteront les risques d'inondations en plus de mettre une pression supplémentaire sur la conciliation des usages de l'eau. Le recours à des simulations numériques, s'appuyant sur des outils de modélisation issus de différents efforts internationaux et locaux, permet une évaluation quantitative de ces impacts. Il est ainsi possible d'anticiper que :

- Les pointes de crues printanières seront plus hâtives.
- L'évolution des volumes de crues printanières variera selon les régions, mais ces volumes seront plus forts au nord et plus faibles au sud du Québec méridional.
- L'évolution des pointes de crues printanières variera selon les régions, mais ces pointes de crues seront généralement plus fortes au nord et plus faibles au sud du Québec méridional.
- Les pointes de crues estivales et automnales seront plus élevées sur une large portion du Québec méridional.
- Les étiages seront plus sévères et plus longs en été et en automne.
- Les étiages seront moins sévères en hiver.
- L'évolution de l'hydraulicité variera selon les saisons et selon les régions, mais l'hydraulicité sera globalement plus forte.

Ces changements hydroclimatiques entraîneront diverses conséquences sociales, économiques et environnementales. L'occurrence des forts débits favorisera l'érosion des berges, les inondations et le lessivage des sols, exerçant une pression sur les communautés riveraines, sur la qualité de l'eau et sur les activités agricoles. L'aggravation des étiages en été sur l'ensemble du territoire affectera l'approvisionnement et la qualité de l'eau, les écosystèmes aquatiques, la production hydroélectrique et diverses activités récréatives. Ces éléments militent en faveur d'un développement de pratiques résilientes de gestion de l'eau.

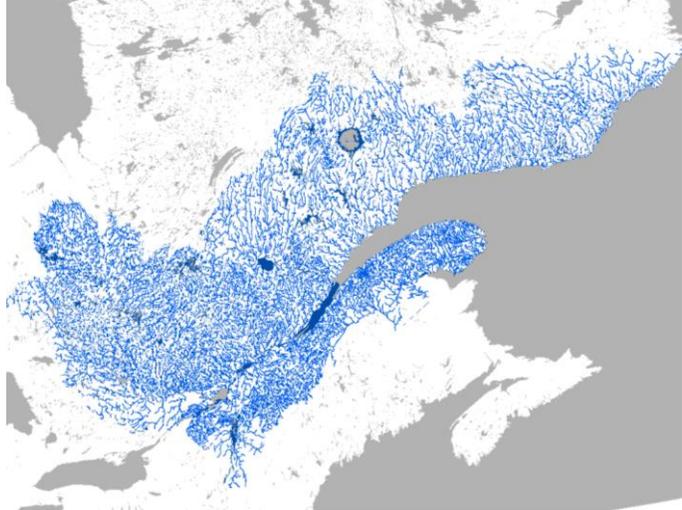
---

<sup>2</sup> Les mots en **gras** dans le texte sont définis dans le [Glossaire](#).

# Chapitre 1 : Un aperçu de l'Atlas

## 1.1 L'Atlas hydroclimatique, de quoi s'agit-il?

L'Atlas hydroclimatique est un outil cartographique, disponible en ligne, qui présente l'impact des changements climatiques sur les débits de près de 10 000 tronçons de rivières dans la portion méridionale du Québec, c'est-à-dire les bassins versants des affluents du fleuve Saint-Laurent, de la rivière des Outaouais, de la rivière Saguenay, de la Gaspésie, de la Côte-Nord et d'une portion de l'Abitibi-Jamésie (*Figure 1*). Il s'agit des 40 zones de gestion intégrée de l'eau par bassin versant, excepté le Fleuve Saint-Laurent, l'archipel montréalais, l'île d'Orléans et l'île d'Anticosti. Les rivières étudiées sont subdivisées en tronçons puisque les débits varient sur une même rivière, au fil du bassin versant.



*Figure 1. Réseau hydrographique couvert par l'Atlas*

Les cartes de l'Atlas présentent comment évolueront notamment les débits de crues (hauts niveaux d'eau/inondations) et d'étiages (bas niveaux d'eau/sécheresses) aux **horizons 2020, 2050 et 2080**. Elles indiquent si le débit risque d'augmenter ou de diminuer et dans quelle mesure. Les données de débits historiques et les valeurs des indicateurs hydroclimatiques sont aussi téléchargeables pour chaque tronçon de rivière. La portée de l'Atlas se limite aux aspects quantitatifs du régime d'écoulement naturel des rivières du Québec méridional. Il ne diffuse donc pas d'informations sur des aspects tels que la pluviométrie, les eaux souterraines, la qualité et la température de l'eau et les écosystèmes aquatiques et lacustres. De plus, les tronçons de rivières dont l'écoulement est affecté par des modifications anthropiques du débit comme un barrage ont été exclus de l'Atlas. Enfin, il est à noter que des embâcles de glace contribuent fréquemment aux inondations printanières, mais ce phénomène n'est pas couvert par l'Atlas (voir le [chapitre 5](#) pour en apprendre davantage sur les limites de l'Atlas).

L'Atlas propose trois outils distincts : (1) une carte de l'ensemble des stations hydrométriques du Québec ainsi que les données de débit et de niveau enregistrées à ces stations, (2) un portrait des valeurs de débits estimées pour la période historique 1970-2022, et (3) des indicateurs hydrologiques (crue, étiage, etc.) pour la période historique et pour le climat futur (voir le [chapitre 2](#) pour découvrir les outils de l'Atlas).

Depuis sa dernière édition en 2018, l'Atlas propose une plus grande couverture spatiale avec des tendances hydrologiques pour près de 10 000 de tronçons de rivières. De plus, de nombreux indicateurs hydrologiques supplémentaires sont disponibles. L'accès aux données est maintenant plus facile grâce au portail Données Québec. Cette nouvelle version comprend également plusieurs améliorations méthodologiques, dont la plus importante est l'ajout des ensembles climatiques **NA-CORDEX** et **ClimEx** aux scénarios de **CMIP5**.

## 1.2 L'Atlas hydroclimatique et l'adaptation aux changements climatiques

Les changements climatiques sont dorénavant indéniables, et l'influence humaine sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) est bien établie (IPCC, 2021). Selon le dernier rapport du GIEC (AR6), la température globale s'est déjà réchauffée de plus de 1 °C depuis la période préindustrielle (vers 1850) et pourrait atteindre près de 5 °C de réchauffement selon le pire scénario d'ici la fin du siècle. Au Québec, depuis 1950, la température moyenne annuelle s'est réchauffée de 1 à 3 °C selon les régions et il est attendu qu'elle se réchauffe de 4 à 7 °C d'ici la fin du siècle (Ouranos, 2015). Le futur nous réserve aussi des redoux hivernaux plus fréquents, une hausse des précipitations sous forme de pluie en hiver et au printemps et des épisodes de pluies extrêmes plus intenses en été et en automne (Ouranos, 2018, 2015; Sillmann et collab., 2013; Mailhot et collab., 2012; Monette et collab., 2012).

Les lacs et les rivières du Québec seront affectés par ces changements. En effet, au cours du 21<sup>e</sup> siècle, les changements climatiques perturberont les processus liés aux crues et aux étiages (pluie, neige, fonte, etc.) et modifieront le régime d'écoulement des cours d'eau du Québec (voir le [chapitre 4](#) pour en apprendre davantage).

### L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

La qualité de l'eau peut être autant affectée en conditions de crue qu'en conditions d'étiage. Lors d'une crue, la force du courant occasionne de l'érosion et peut remettre en circulation des sédiments indésirables ou lessiver des contaminants agricoles qui peuvent contaminer l'eau. En période d'étiage, les **volumes** d'eau étant réduits, la capacité de dispersion des contaminants peut devenir insuffisante et donc causer une contamination de l'eau. De plus, des étiages plus sévères couplés à l'augmentation des températures entraînent un réchauffement accéléré de l'eau, ce qui peut favoriser la croissance d'algues et de cyanobactéries. Il y a ainsi des risques de contamination des puits et des prises d'eau potable, des plages, des terres agricoles, des habitats fauniques et floristiques, etc. (Alberti-Dufort et collab., 2022). En raison des changements climatiques, des étiages plus sévères et fréquents durant la saison estivale sont attendus. Ces périodes plus sèches contrasteraient avec des périodes de crues en raison des événements de précipitations intenses qui sont appelés à s'accroître en fréquence et en intensité durant l'été et l'automne.

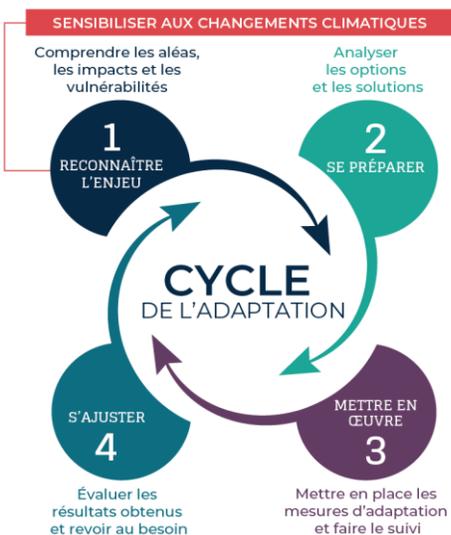


Figure 2. Étapes d'un cadre d'adaptation aux changements climatiques (Ouranos)

Selon la physiographie des bassins versants et leur position géographique, ces changements pourraient modifier les probabilités d'occurrence des inondations, qui occasionnent déjà de nombreux dommages matériels, sanitaires, psychosociaux et économiques (Ouranos, 2020). Ils pourraient également augmenter la sévérité des périodes de sécheresse affectant la qualité de l'eau (voir l'encadré ci-haut) et compromettant divers usages comme l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation, la navigation, la production hydroélectrique et la gestion des barrages en plus d'affecter les écosystèmes (Alberti-Dufort et collab., 2022). Ces éléments amènent de nombreux professionnels à se questionner pour adapter leur pratique à ce nouveau contexte.

L'adaptation aux changements climatiques désigne les actions et les stratégies qui permettent aux populations et aux organisations de faire face aux changements climatiques, afin que les risques soient réduits et que les occasions favorables soient exploitées (Charron, 2016). Elle est généralement présentée comme un processus itératif composé de plusieurs étapes (Figure 2). L'une des étapes primordiales de ce

processus exige qu'on se base sur l'information climatique actuelle et future, d'où la nécessité d'un outil tel que l'Atlas hydroclimatique.

L'Atlas informe sur l'ampleur et la probabilité des changements attendus et permet d'évaluer à quel point notre exposition aux aléas hydrologiques augmentera dans le futur. Ces informations permettent aussi de justifier des investissements dans des solutions d'adaptation ou des décisions d'aménagement du territoire qui doivent tenir compte des changements climatiques.

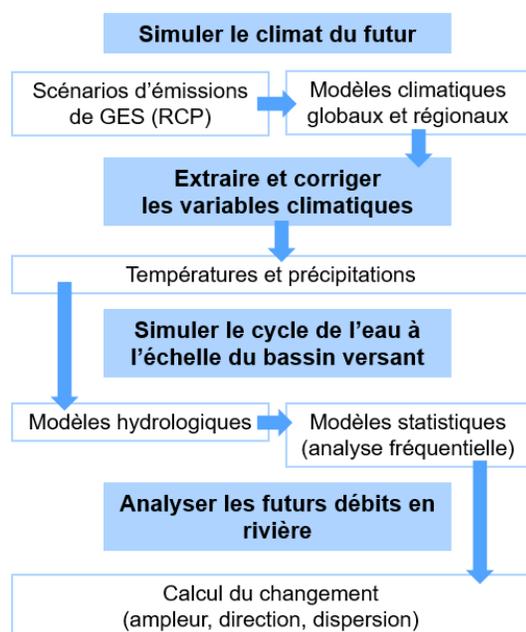
De plus en plus de mesures d'adaptation aux changements climatiques voient le jour dans différents domaines de pratique. Depuis 2018, la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (chapitre Q-2) propose désormais une meilleure prise en compte des changements climatiques et de l'adaptation dans le processus d'évaluation environnementale (MELCC, 2021).

Par exemple, l'utilisation de données de débits d'étiages et de crues en climat futur permet d'évaluer la vulnérabilité des eaux de surface face aux changements climatiques ou la façon dont l'évolution des étiages dans le futur pourrait influencer les niveaux acceptables de rejets polluants en milieux aquatiques. Le **chapitre 3** de ce guide fournit quelques exemples concrets d'utilisation des données de débits projetés à des fins d'adaptation.

### 1.3 Comment l'Atlas est-il produit?

#### Simuler le climat futur

La production de l'outil Indicateurs de l'Atlas hydroclimatique repose, dans un premier temps, sur le calcul des **indicateurs hydrologiques** pour la période historique et, dans un second temps, sur l'utilisation de



plusieurs **simulations** de l'évolution du climat qui servent à établir des **scénarios climatiques** plausibles pour le futur. Ces simulations sont réalisées grâce à des **modèles climatiques** informatiques puissants qui représentent les composantes du système climatique terrestre comme l'atmosphère, les océans, la surface terrestre et la cryosphère.

Les concentrations de GES émis dans l'atmosphère par les activités humaines affecteront les composantes du système climatique et induiront non seulement un réchauffement de la température moyenne globale, mais toucheront également d'autres variables climatiques telles que les précipitations (IPCC, 2013). Il existe différents scénarios d'émissions de GES (**RCP**, pour *Representative Concentration Pathways*) qui sont utilisés par les modèles climatiques pour obtenir un portrait des températures maximales et minimales journalières et des précipitations journalières dans le futur (**Figure 3**). Ces variables sont cruciales pour la compréhension des régimes hydrologiques, puisqu'elles influencent la fonte de la neige et de la glace,

**Figure 3.** Démarche de simulation climatique et hydrologique

l'évapotranspiration et la quantité d'eau qui se retrouve dans nos rivières (voir la [section 2.3.6](#) pour en savoir davantage sur les scénarios d'émissions de GES).

Les modèles climatiques et les scénarios d'émissions de GES sont des représentations imparfaites de la réalité et sont empreints d'incertitudes. Il est donc pratique courante de produire un large ensemble de simulations climatiques, avec de nombreux modèles, considérant différents scénarios d'émissions de GES. Un modèle peut également être simulé plusieurs fois avec le même RCP, mais avec de légères perturbations des conditions initiales. Grâce à ces nombreuses simulations, on obtient une multitude de projections climatiques représentant différents futurs possibles, ce qui permet de mieux caractériser l'incertitude.

L'Atlas hydroclimatique s'appuie donc sur plusieurs ensembles de simulations climatiques réalisées par différents centres de modélisation à travers le monde. Il compte 99 simulations de **CMIP5**, 31 simulations de **CORDEX** et d'Ouranos ainsi que 50 simulations de **ClimEx**, pour un total de 180 simulations (voir le Rapport technique pour plus d'information sur la modélisation du climat et la pondération de ces simulations).

De plus, les modèles climatiques comportent souvent un biais par rapport aux observations réelles. Une étape de **post-traitement** est appliquée pour réduire cette différence entre les observations et les simulations. Les simulations post-traitées sont appelées « **scénarios climatiques** ».

### Simuler le cycle de l'eau dans le bassin versant

Les valeurs de température et de précipitation issues des scénarios climatiques sont ensuite utilisées pour alimenter un **modèle hydrologique** couvrant le Québec méridional, le modèle Hydrotel (Fortin et collab., 2001), dans le cas de cet Atlas. Le rôle du modèle hydrologique est de reproduire les principaux processus physiques qui affectent l'écoulement de l'eau dans le bassin versant. Il simule notamment la distribution spatiale des précipitations, l'évapotranspiration, l'accumulation et la fonte du couvert de neige, l'écoulement de l'eau dans le sol et l'écoulement dans le réseau hydrographique. En modélisant l'effet de ces processus physiques sur l'écoulement de l'eau de surface, Hydrotel arrive à estimer le débit dans les tronçons d'un bassin versant à différents pas de temps.

#### AMÉLIORATIONS DE L'ATLAS 2022

- Une plus grande couverture spatiale
- Une meilleure résolution spatiale du réseau hydrographique
- Ajout de ClimEx et de NA-CORDEX, avec pondération
- Utilisation de six plateformes hydrologiques
- Ajout d'indicateurs, notamment annuels

#### LA DIFFÉRENCE ENTRE MÉTÉO ET CLIMAT

On parle de météo et de prévisions quand on considère le temps qu'il fait aujourd'hui ou qu'il fera demain, c'est-à-dire sur un horizon de temps très court. L'échelle géographique est également très locale. On parle de climat et de projections lorsque sont considérés une série d'événements météorologiques sur une longue période. Il n'y a pas de durée précise, mais les climatologues évoquent souvent une période d'au moins 30 ans, ce qui leur permet d'établir une moyenne significative. Les simulations de l'Atlas s'étendent jusqu'à la fin du siècle. Même si le climat change, il demeurera une variabilité naturelle entre les années. Ainsi, même si la température moyenne se réchauffe au fil du temps, il y aura quand même des années plus froides.

De la même manière que pour la modélisation climatique, la modélisation hydrologique comporte son lot d'incertitudes. C'est pourquoi l'Atlas s'est servi de six différentes plateformes hydrologiques, c'est-à-dire différentes configurations du modèle hydrologique, dans lesquelles certains paramètres sont différents. Ainsi, les données de 180 simulations climatiques sont utilisées comme intrants pour six modélisations hydrologiques, pour un total de 1 080 **projections hydroclimatiques** à chaque tronçon de rivière.

### Comparer les débits futurs avec ceux du passé

Les projections hydroclimatiques permettent d'obtenir des débits journaliers moyens en rivière. Afin d'avoir une meilleure vision d'ensemble de ces données de résolution temporelle fine, on utilise des statistiques qui agrègent les débits journaliers en indicateurs hydrologiques. On obtient ainsi des débits synthétiques sur une période plus longue (mois, saison, année), qui caractérisent différents aspects du régime hydrique, comme un étiage d'été sévère, une crue printanière extrême ou le débit moyen du mois de juin (voir la [section 2.3](#) pour en apprendre davantage).

Dans l'Atlas hydroclimatique, ces indicateurs sont calculés pour trois **horizons** (2011-2041, 2041-2070 et 2071-2100), et la valeur pour chacune de ces périodes est comparée à celle calculée pour une période historique de référence (1981-2010). Ces comparaisons servent à estimer si l'hydrologie de ces trois horizons diffère, ou non, de celle de la période de référence. Ainsi, on arrive à illustrer l'évolution des tendances actuelles et futures des débits dans les rivières du Québec et à en tirer des conclusions utiles. Il est à noter que les indicateurs de la période historique sont calculés par la méthode de l'**interpolation optimale**.

Des informations sur la production des outils Stations hydrométriques et Portrait sont fournies au [chapitre 2](#) de ce guide. L'ensemble de la démarche méthodologique est plus amplement détaillé dans le Rapport technique accompagnant l'Atlas hydroclimatique 2022.

## Chapitre 2. Les outils de l'Atlas

L'Atlas hydroclimatique propose trois outils distincts. Le premier est une carte de l'ensemble des stations hydrométriques du Québec ainsi que les liens vers les données de débits et de niveaux enregistrées à ces stations. Le deuxième, nommé Portrait, est une reconstitution des débits historiques aux tronçons de rivières **jaugés et non jaugés** (c'est-à-dire avec ou sans station hydrométrique). Le troisième est un jeu d'indicateurs hydrologiques en climat futur. Ces outils visent à fournir de l'information synthétisée utile à la gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants du Québec méridional. Chaque outil peut répondre à différents besoins des acteurs de l'eau au Québec, qui agissent dans une variété de contextes (**Tableau 1**). Ces outils sont chacun présentés plus en détail dans ce chapitre.

**Tableau 1.** Contextes d'usage des outils de l'Atlas hydroclimatique

Outils	Description	Utilisation
<b>Stations hydrométriques</b>  Cartes des stations hydrométriques (débits et niveaux) du MELCCFP	Informations et liens vers les données de plus de 730 stations hydrométriques, dont plus de 250 ouvertes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accès aux métadonnées des stations.</li> <li>- Accès aux données historiques observées.</li> <li>- Accès aux données en temps réel et aux prévisions, le cas échéant.</li> </ul>
<b>Portrait</b>  Séries temporelles de débits journaliers historiques	Reconstitution de l'hydrologie historique par la combinaison des données observées et des simulations hydrologiques. Données quotidiennes avec leurs incertitudes pour 9 665 tronçons de rivières jaugés et non jaugés depuis le 1 <sup>er</sup> janvier 1970.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valeurs de débits historiques pour une période pour laquelle les données de la station n'étaient pas disponibles.</li> <li>- Valeurs de débits historiques pour un tronçon de rivière sans station.</li> </ul>
<b>Indicateurs</b>  Indicateurs hydrologiques historiques et projetés en climat futur	Descripteurs statistiques du régime hydrologique (crue, étiage, etc.) sur 9 665 tronçons de rivières, pour la période historique ainsi qu'en climat futur.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicateurs hydrologiques pour la période historique, avec incertitude.</li> <li>- Indicateurs projetés en climat futur, avec incertitude.</li> <li>- Ampleur et direction du changement en climat futur.</li> </ul>

## 2.1 Outil 1 : Données des stations hydrométriques

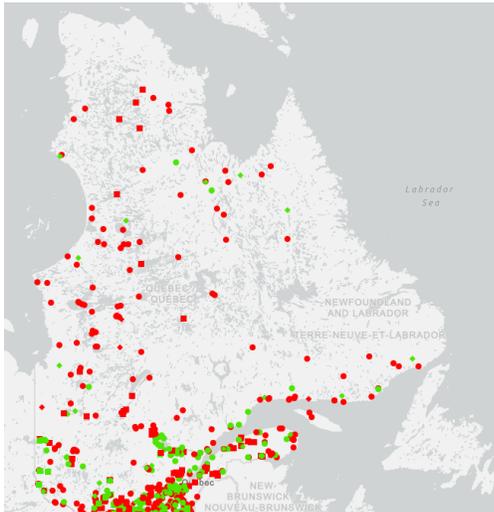


Figure 4. Carte des stations hydrométriques du Québec

Le Québec compte actuellement sur un réseau hydrométrique d'environ 250 stations mesurant les débits et/ou les niveaux de différents cours d'eau sur son territoire (Figure 4). Des données historiques et, le cas échéant, en temps réel et prévisionnel sont aussi disponibles aux stations de mesure du réseau hydrométrique québécois exploitées par le MELCCFP.

La grande majorité des stations hydrométriques transmettent des données sur une base continue, sept jours sur sept. Les données de débit et de niveau d'eau sont enregistrées toutes les 15 minutes par les instruments de mesure, puis sont transmises chaque heure à un système de collecte intégré de données télémétrées par un lien téléphonique ou par satellite. Sur une base quotidienne, il est donc possible d'obtenir des données sur les niveaux d'eau ou sur les débits, notamment pour effectuer des suivis lors des crues printanières ou des sécheresses estivales, optimiser la gestion des barrages ou connaître le niveau de certains plans d'eau pour la pratique d'activités de plein air. Les données historiques sont indispensables pour les analyses

fréquentielles des crues et des étiages, pour la caractérisation du régime hydrologique, pour le calage de modèles hydrologiques, pour les analyses de tendance, pour l'étude de l'impact des changements climatiques, etc.

Dans l'Atlas, l'interface cartographique de l'outil Stations hydrométriques présente la carte et le tableau des stations hydrométriques du MELCCFP avec les informations sur les stations (niveau, débit, superficie du bassin versant, localisation, etc.). Pour toutes les stations, un lien vers une fiche signalétique archivant les données historiques est fourni. On trouve dans cet outil des fichiers historiques téléchargeables sur les débits et niveaux (données journalières, moyennes, médianes, minimales et maximales mensuelles). Les stations ouvertes ont aussi un lien vers leurs données en temps réel et, lorsque disponibles, les prévisions hydrologiques à la station (Figure 5). En résumé, l'outil Stations hydrométriques est utile lorsqu'on cherche de l'information (métadonnées ou données) sur une station de débit ou de niveau.

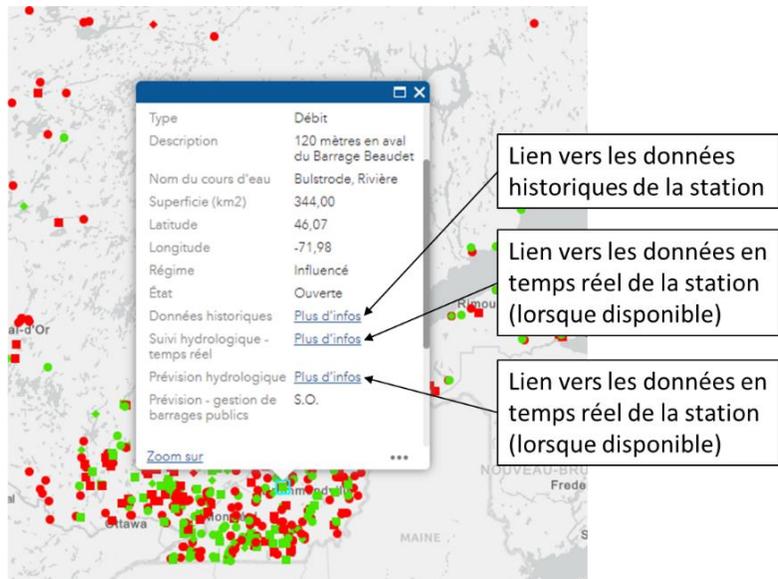


Figure 5. Accéder aux données des stations hydrométriques

## 2.2 Outil 2 : Portrait des débits historiques

Dans l'Atlas hydroclimatique, l'outil Portrait est une reconstitution historique des débits journaliers réalisée par la combinaison des observations aux stations hydrométriques et de simulations hydrologiques réalisées avec les données météorologiques historiques en intrant. Cette combinaison est produite par la méthode de l'interpolation optimale (Lachance-Cloutier et collab., 2017). Les données hydrologiques résultantes sont disponibles sous la forme de fichiers téléchargeables.

### 2.2.1 Données disponibles

L'outil Portrait met à la disposition des utilisateurs les **séries temporelles** des débits journaliers depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1970 pour 9 665 tronçons de rivières **jaugés et non jaugés** (Figure 6), c'est-à-dire, autant des rivières dont le débit est mesuré que d'autres pour lesquelles il n'y a pas d'observations. Ainsi, l'outil peut être utile lorsqu'on cherche des valeurs de débits historiques pour un tronçon de rivière sans station ou pour une période pour laquelle les données de la station n'étaient pas disponibles.

En effet, la grande majorité des tronçons de rivières du Québec ne sont pas munis de stations hydrométriques permettant d'y enregistrer des données et sont ainsi considérés comme « non jaugés ». L'outil Portrait offre une solution en employant une méthode d'estimation performante.



Figure 6. L'outil Portrait de l'Atlas hydroclimatique

### 2.2.2 Méthode

La méthode de l'interpolation optimale permet d'estimer les débits et les indicateurs hydrologiques pour des tronçons non jaugés en exploitant la corrélation spatiale des différences entre les observations provenant de stations soigneusement sélectionnées et l'information de la modélisation hydrologique.

Cette méthode permet ainsi de combler les trous dans les observations le cas échéant et de broser un portrait hydrologique complet pour les 9 665 tronçons de rivières. Parmi les différentes méthodes utilisées pour dériver des nouvelles valeurs intermédiaires à partir d'une série statistique, comme le krigeage, le transfert ou la modélisation, la méthode de l'interpolation optimale se montre globalement plus efficace.

Les stations hydrométriques présentées dans l'interface cartographique de l'outil n'incluent que les stations qui ont été utilisées dans l'interpolation optimale pour produire le portrait. Il s'agit de stations présentement opérationnelles ou non, très peu ou pas influencées par des barrages et dont la qualité des données répond à plusieurs critères nécessaires pour appliquer la méthode d'interpolation optimale. Pour plus d'informations sur l'interpolation optimale, consulter le Rapport technique de l'Atlas hydroclimatique ou [cet article](#) de Lachance-Cloutier et collab. (2017) qui en relate la méthodologie et la validation.

### 2.2.3 Téléchargement des données

Les données de l'outil Portrait peuvent être téléchargées pour un tronçon de rivière particulier ou pour un bassin versant via l'interface cartographique de l'outil dans l'Atlas (Figure 7). Dans les deux cas, il est possible de télécharger un fichier CSV contenant les métadonnées du tronçon choisi (lignes 1 à 17), ainsi que les données de débits journaliers en m<sup>3</sup>/s depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1970 commençant à ligne 18.

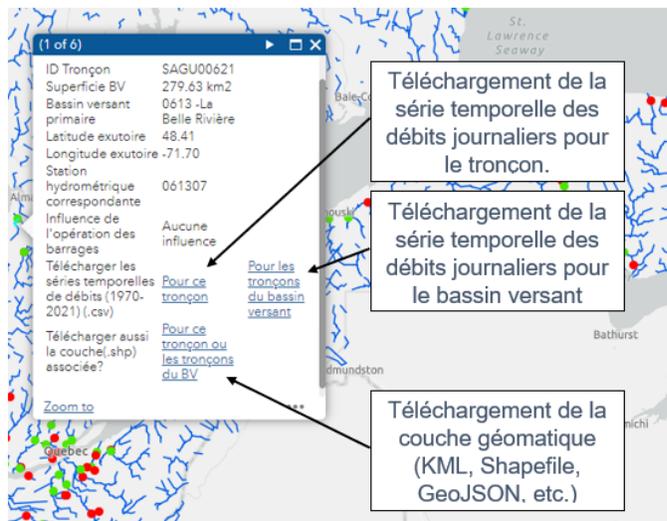


Figure 7. Accéder aux données de l'outil Portrait

Une estimation du 25<sup>e</sup>, du 50<sup>e</sup> et du 75<sup>e</sup> percentile est fournie pour donner une appréciation de l'incertitude des débits issus de l'interpolation (voir le [chapitre 4](#) pour en apprendre davantage sur les sources d'incertitudes). À ce titre, il est fortement recommandé d'utiliser les centiles disponibles (25<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup>) pour apprécier l'incertitude associée aux données utilisées.

Il est finalement possible de télécharger la couche géomatique associée au tronçon ou au bassin versant, en format KML, Shapefile ou GeoJSON.

Les données seront mises à jour au minimum deux fois par année. La version des données est affichée dans l'en-tête des fichiers de débits téléchargeables (année de la mise à jour + lettre séquentielle; par exemple, « 2022a »).

## 2.3 Outil 3 : Indicateurs hydrologiques

Les indicateurs hydrologiques permettent de dresser un portrait du régime hydrologique d'un cours d'eau et de ses fluctuations dans le futur en considérant l'effet des changements climatiques. Un **indicateur hydrologique**<sup>3</sup> est une expression mathématique visant à caractériser statistiquement différents aspects du régime hydrique, comme un étiage d'été sévère, une crue printanière extrême ou le débit moyen du mois de juin (Fournier et collab., 2013). Les débits n'étant pas identiques d'une année à l'autre, les indicateurs hydrologiques doivent être évalués sur de longues périodes d'au moins 30 ans pour qu'on puisse avoir un échantillon représentatif considérant la variabilité interannuelle. Dans l'Atlas hydroclimatique 2022, l'outil Indicateurs propose des cartes et des données pour 76 différents indicateurs hydrologiques, classés en différentes familles : les crues, les étiages et l'**hydraulicité** en climat historique et futur, pour 9 665 tronçons de rivières jaugés et non jaugés (Figure 8).

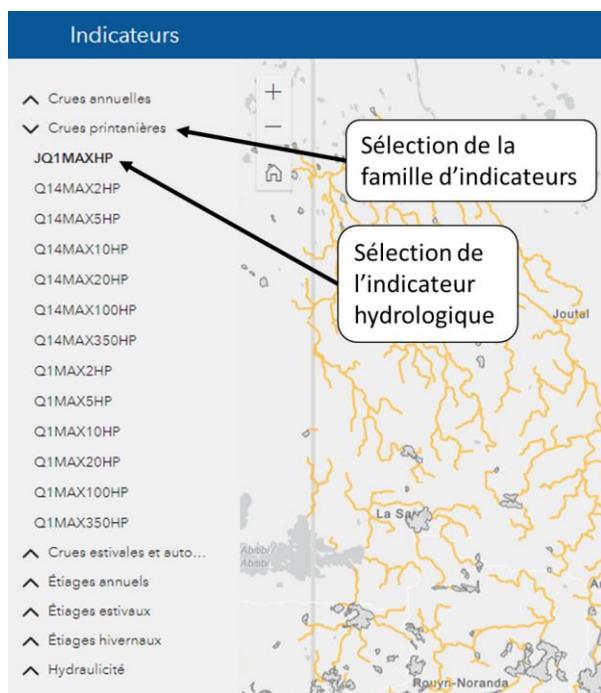


Figure 8. Accéder aux indicateurs hydrologiques dans l'Atlas

Le **Tableau 2** fait la synthèse de l'information nécessaire à la compréhension des termes associés aux indicateurs hydrologiques de l'Atlas hydroclimatique. La définition des types d'indicateurs, du concept de

<sup>3</sup> Pour en savoir davantage sur le calcul des indicateurs, consulter la section 3.2 du [Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique 2018](#).

**récurrence** et des périodes ainsi qu'un exemple d'indicateur décomposé pour chaque type sont présentés plus bas.

Chacun des trois types d'indicateurs est décrit plus en détail dans les prochaines sections, suivi des principaux paramètres de décision permettant de sélectionner les jeux de données : la période, la récurrence des débits, les horizons temporels, la statistique d'intérêt (direction, ampleur, dispersion), les scénarios d'émissions de GES et enfin la démarche pour le téléchargement des données.

**Tableau 2.** Caractérisation des types d'indicateurs

Familles d'indicateurs		Période AN = annuel HP = hiver-printemps EA = été-automne	Indicateur de base	Description	Récurrances (ans)	Total d'indicateurs
Crues	Pointe de crue	AN, HP, EA	Q1MAX	Débit journalier maximal annuel (m <sup>3</sup> /s)	2, 5, 10, 20, 100, 350	18
		HP	JQ1MAX	Jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal (nombre de jours depuis le premier janvier)	2	1
	Volume de crue	AN, HP	Q14MAX	Débit moyen sur 14 jours maximal annuel (m <sup>3</sup> /s)	2, 5, 10, 20, 100, 350	12
Étiages		AN, HP, EA	Q30MIN	Débit moyen sur 30 jours minimal (m <sup>3</sup> /s)	2, 5, 10	9
		AN, HP, EA	Q7MIN	Débit moyen sur 7 jours minimal (m <sup>3</sup> /s)	5, 10	6
		AN, HP, EA, mensuel			2	15
Hydraulicité		AN, HP, EA, mensuel	QMOY	Débit moyen (m <sup>3</sup> /s)	2	15
						<b>76</b>

### 2.3.1 Les familles d'indicateurs

Les différents types d'indicateurs hydrologiques répertoriés dans l'outil Indicateurs de l'Atlas incluent les débits de crues, les débits d'étiages et l'hydraulicité. La catégorie des débits de crues est séparée en deux types, soit en **pointe de crue** et en **volume** de crue. Chacun des types d'indicateurs est disponible pour les périodes projetées en climat futur, pour 9 665 tronçons de rivières jaugés et non jaugés.

#### Les crues

Une crue est une montée du niveau de l'eau d'une rivière nettement au-dessus des niveaux habituels lorsque le débit en eau est fort. Elle n'implique pas nécessairement une inondation. Une crue est dite printanière lorsque les apports en ruissellement sont issus en partie de la fonte de la neige et de la glace au printemps souvent simultanément avec de la pluie. Une crue peut également être estivale ou automnale lorsque survient un épisode de pluie abondante. Au Québec, c'est souvent au printemps que l'on observe les débits les plus forts. Les différents indicateurs hydrologiques de crues présentés dans l'Atlas sont disponibles dans l'outil Indicateurs à l'onglet « Crue ».

#### Q1MAX

Les indicateurs associés aux pointes de crues sont calculés avec la variable Q1MAX. Q1MAX fait référence au débit journalier maximal pour une année.

#### JQ1MAX

JQ1MAX signifie le jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal, c'est-à-dire le jour de l'année où se produit la pointe de crue. Si cet indicateur diminue, cela veut dire que la pointe de crue pourrait avoir lieu plus tôt dans l'année. Par exemple, en Montérégie, la crue printanière a lieu, en moyenne, le 4 avril, mais cette moyenne pourrait être devancée au 9 mars.

#### Q14MAX

Les indicateurs associés aux volumes de crues sont calculés à partir de la variable Q14MAX, le débit moyen sur 14 jours maximal. Bien que cette variable n'ait pas une unité de volume, il suffit de le multiplier par 14 jours pour obtenir une approximation du volume de l'événement de crue le plus important de la période sélectionnée. Pour avoir un Q14MAX élevé (relativement au Q1MAX, par exemple), cela nécessite un énorme volume d'eau, généralement dû à une combinaison entre la fonte de neige et de fortes pluies au printemps; c'est ce qui s'est produit lors des inondations en 2017 et en 2019 à travers le Québec. Il s'agit d'un indicateur qui sera davantage utilisé pour les bassins versants de grande superficie qui peuvent accumuler beaucoup de neige et prennent plus de temps à accumuler le volume d'eau nécessaire à une crue, par exemple le bassin versant de la rivière Saint-Maurice, qui a une superficie d'environ 42 000 km<sup>2</sup>.

Au total, ce sont 41 indicateurs hydrologiques de crue qui se déclinent en variations de récurrences et en différentes périodes (saisonniers et annuels). Ces deux composantes sont abordées plus bas. Les indicateurs de crue peuvent être utiles notamment pour les professionnels de la sécurité civile ou de l'aménagement du territoire, pour caractériser le risque d'inondation dans un secteur donné.

### LE RÉGIME HYDROLOGIQUE

Le régime hydrologique représente l'ensemble des variations de l'écoulement de l'eau d'un cours d'eau, contextualisé dans un environnement physique précis et soumis à un système de variations cycliques, comme les saisons. Les régimes hydrologiques peuvent être soit influencés à différents degrés par l'action des ouvrages anthropiques qui agissent sur le débit, soit naturels, c'est-à-dire libres ou avec très peu d'interventions humaines sur le débit.

Les régimes hydrologiques sont soumis à des perturbations importantes caractérisées par des valeurs extrêmes de débits. Afin de réduire les efforts de calculs et les redondances dans les variables d'analyse, on fait alors usage de différents indicateurs hydrologiques qui permettent de décrire ces régimes. Les indicateurs hydrologiques sont sélectionnés selon leur capacité à représenter certains critères des régimes hydrologiques et leur transférabilité à d'autres contextes (Fournier et collab., 2013).

## Les étiages

Les étiages sont les débits faibles observés lors de périodes sans précipitations, quand le ruissellement est faible et que seul l'écoulement souterrain alimente les eaux de surface. En période estivale, les étiages surviennent lorsqu'il y a absence de pluie et que les températures sont très élevées, favorisant l'évapotranspiration. En hiver, comme une partie des précipitations tombe sous forme de neige, les précipitations ne contribuent pas immédiatement au débit des cours d'eau, ce qui rend cette saison propice aux étiages, mais cette réalité pourrait changer avec les dérèglements du climat.

### *Q7MIN et Q30MIN*

Les indicateurs associés aux débits d'étiages sont identifiés par les variables Q7MIN et Q30MIN. Q7MIN fait référence au débit minimal moyenné sur 7 jours consécutifs. Si cet indicateur montre un signe de diminution, cela signifie qu'en moyenne sur 7 jours, le débit minimal pour la période sélectionnée pourrait diminuer dans le futur. Ce signal de **changement** pourrait par exemple signifier que les risques d'étiage vont augmenter pour le cours d'eau étudié. La variable Q30MIN représente la même statistique, mais dans ce cas-ci le débit minimal est moyenné sur une période de 30 jours consécutifs. Ainsi, Q7MIN informe davantage sur la sévérité de l'étiage, tandis que Q30MIN renseigne plutôt sur sa durée.

Au total, on trouve 30 indicateurs hydrologiques d'étiage qui se déclinent également en variations de récurrences et de périodes intra-annuelles. Les débits en périodes d'étiages peuvent être utiles, par exemple pour évaluer la qualité de l'eau et les seuils critiques de rejets dans l'environnement. En effet, ces débits représentent des conditions limites pour l'écosystème d'un cours d'eau ou même pour les prises d'eau potable. C'est pourquoi il est utile de connaître leur évolution dans le futur.

Voici d'autres exemples d'utilisation de ces débits : disponibilité en eau, protection des usages (eau potable, irrigation, maintien des écosystèmes, loisirs).

## L'hydraulicité

### *QMOY*

L'hydraulicité se définit comme une valeur moyenne de débits sur de longues périodes, comme les mois, les saisons ou les années. Les indicateurs associés à l'hydraulicité sont identifiés par la variable QMOY et regroupent 15 indicateurs en variations de récurrences et de périodes intra-annuelles.

### 2.3.2 Les saisons

Pour obtenir des indicateurs ciblant des périodes d'observation hydrologiquement cohérentes, les séries temporelles sont agrégées en mois, en binômes saisonniers (hiver-printemps [HP] et été-automne [EA]) ainsi que sur une base annuelle [AN]. Donc, si l'on s'intéresse aux crues printanières, il faudra sélectionner des indicateurs de crue avec la mention HP, par exemple l'indicateur Q14MAX20HP : débit moyen sur 14 jours [Q14] maximal [MAX] de récurrence de 20 ans [20] pour la saison hiver-printemps [HP].

Il est important de préciser que les saisons des indicateurs ne correspondent pas aux saisons astronomiques, mais sont plutôt basées sur l'hydrologie et la présence (ou l'absence) de neige dans le bassin versant. Ainsi, la saison hiver-printemps fait référence aux débits influencés par la présence et la fonte de la neige, tandis que les débits d'été-automne sont uniquement affectés par la pluie. Cela signifie aussi que la durée des saisons varie selon les tronçons.

Toutes les saisons ne sont pas offertes pour l'ensemble des indicateurs. On doit se référer au **Tableau 2** pour connaître les périodes disponibles pour chaque catégorie d'indicateur.

### 2.3.3 La récurrence des débits

Les événements hydrologiques peuvent être caractérisés par leur récurrence (aussi appelée période de retour ou probabilité de dépassement annuel). Par exemple, une crue avec une probabilité de dépassement annuel de 1 % et une crue ayant une récurrence de 100 ans sont équivalentes. Cela signifie que le débit atteint lors de cette crue serait dépassé en moyenne 1 fois tous les 100 ans si une très longue série temporelle était disponible, ce qui revient à dire que le débit a 1 % de chances de se produire chaque année. Pour connaître cette probabilité, il aura toutefois fallu analyser les données de débit du passé. Lorsque l'historique des données de débits enregistrés dans une rivière est suffisamment long, il est possible d'extraire les valeurs de débits qui sont susceptibles d'être dépassées en moyenne une fois tous les 2, 5, 10, 20, 100 et même 350 ans, etc. Pour bien interpréter, il peut être utile d'indiquer que les débits sont de plus en plus élevés lorsque la récurrence augmente.

Par exemple, les crues de récurrence de 100 ans ont des débits très élevés. L'inverse est vrai pour les étiages, dont les récurrences rares sont associées à des sécheresses importantes. Ainsi, lorsque l'on souhaite connaître l'évolution d'une crue très forte et donc très rare, il faut sélectionner un indicateur dont la récurrence est grande. Par exemple, l'indicateur Q1MAX100P (débit journalier [Q1] maximal [MAX] de récurrence de 100 ans [100] au printemps [P]) est la valeur du débit printanier maximal qui sera dépassée en moyenne une fois tous les 100 ans. Si cet indicateur augmente, cela veut dire que, dans le futur, les débits associés à la crue de récurrence de 100 seront plus élevés que ceux d'aujourd'hui.

Il est important de souligner que plus la récurrence recherchée est élevée (p. ex., 50, 100, 350 ans), plus l'incertitude augmente. Cela est dû au fait qu'on a un échantillon de données limitées pour évaluer un phénomène très rare et qui, selon toute probabilité, n'a jamais été observé. Autrement dit, au-delà d'un certain seuil de récurrence, la probabilité calculée implique beaucoup d'extrapolation du modèle statistique.

### 2.3.4 Les horizons temporels

Lorsqu'un indicateur hydrologique a été sélectionné selon les critères détaillés dans les sections précédentes, l'Atlas permet ensuite aux utilisateurs de paramétrer leur choix selon un horizon temporel futur.

Les scénarios de changements climatiques comparent le climat moyen entre une période passée, appelée la période de référence, et un horizon temporel. Il est possible de faire le choix entre trois horizons temporels (*Figure 9*), le premier horizon (2020) couvre quelques années du passé récent et plusieurs années du futur (2011-2040). Les horizons 2050 et 2080 couvrent respectivement les périodes futures 2041-2070 et 2071-2100. La période de référence des débits historiques couvre l'intervalle 1981-2010.

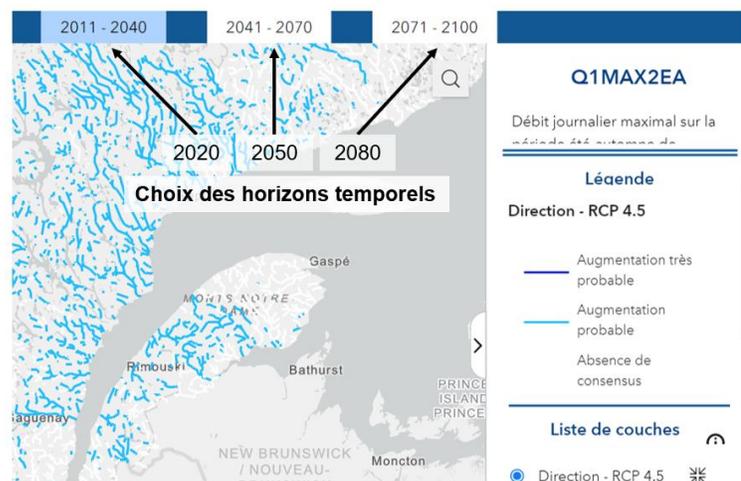


Figure 9. Choisir un horizon temporel futur dans l'Atlas

### 2.3.5 Les descripteurs

Pour chaque indicateur, les moyennes de débits pour chacun des trois horizons sont ainsi comparées à la moyenne de la période de référence historique (1981-2010). La différence entre ces deux valeurs de débits produit ce que l'on appelle un *signal de changement* et correspond au changement relatif de l'indicateur entre le climat de référence et le climat futur. Le signal de changement associé à un indicateur est présenté sous la forme de trois principaux descripteurs : la direction, l'ampleur et la dispersion (*Figure 10*).

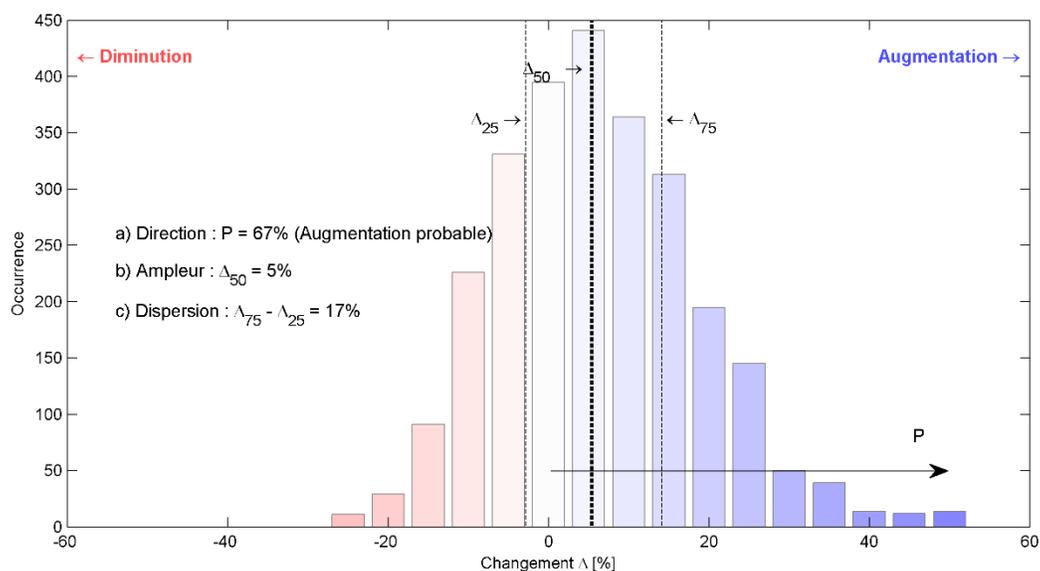


Figure 10. Descripteurs du signal de changement hydroclimatique

Comme mentionné à la [section 1.3](#), les projections hydroclimatiques sont des simulations numériques et sont empreintes d'incertitudes. On utilise ainsi différents modèles climatiques et différentes plateformes hydrologiques pour effectuer de nombreuses projections hydroclimatiques, et ce pour chaque indicateur hydrologique afin de générer une plage de valeurs plausibles pour le futur.

### Direction

Dans cette optique, la direction correspond à la proportion des projections hydroclimatiques indiquant l'augmentation ou la diminution éventuelle d'un indicateur donné. L'échelle associée à la direction dans l'Atlas est définie comme suit :

- *Augmentation très probable* : plus de 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation.
- *Augmentation probable* : de 66 à 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation.
- *Absence de consensus* : de 33 à 66 % des projections hydroclimatiques indiquent une augmentation ou une diminution. L'absence de consensus peut indiquer un changement faible ou des projections hydroclimatiques dispersées, c'est-à-dire dont la moitié indique une diminution et l'autre moitié indique une augmentation. Dans ce cas, la tendance est trop incertaine pour qu'on puisse affirmer que le débit augmentera ou diminuera.
- *Diminution probable* : de 66 à 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une diminution.
- *Diminution très probable* : plus de 90 % des projections hydroclimatiques indiquent une diminution.

## Ampleur

L'ampleur est la valeur médiane des changements relatifs produits par les différentes projections hydroclimatiques entre l'un des horizons temporels et la période de référence. L'ampleur indique donc la valeur, en pourcentage, de l'augmentation ou de la diminution de l'indicateur. Elle informe de combien le débit pourrait augmenter ou diminuer par rapport au passé. Pour l'indicateur JQ1MAXHP (jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal sur la période hiver-printemps), l'ampleur est présentée en valeur absolue, en jours.

## Dispersion

Une fois de plus, si l'on prend l'ensemble des projections hydroclimatiques qui ont été effectuées, la dispersion est la comparaison entre la plage de données comprises entre le 25<sup>e</sup> et le 75<sup>e</sup> percentile des projections avec la médiane (ou l'ampleur). La dispersion est exprimée en pourcentage, et plus elle est

élevée, plus les valeurs fournies par les différentes projections hydroclimatiques sont éloignées les unes des autres, ce qui correspond à un signal plus incertain. Une fois dans l'interface cartographique de l'outil Indicateurs, le choix des descripteurs est disponible dans la fenêtre « Liste des couches » (**Figure 11**).

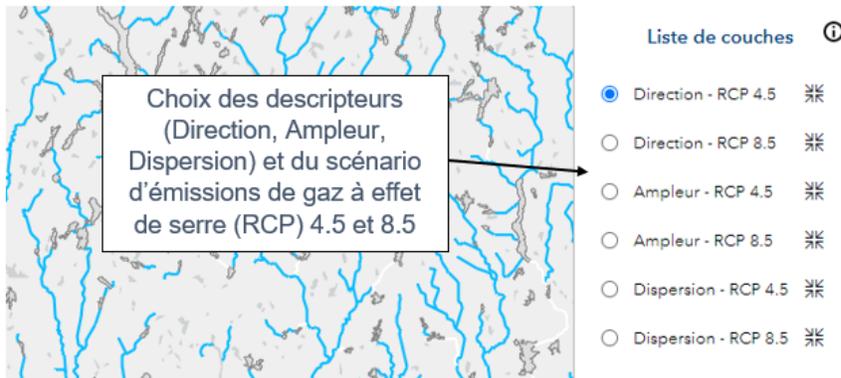


Figure 11. Accéder aux descripteurs dans l'Atlas

### 2.3.6 Les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre

En plus de faire la sélection d'un descripteur, l'utilisateur est invité à sélectionner un scénario d'émissions de GES. Le climat du futur dépendra de la quantité de GES qui seront émis dans l'atmosphère par les activités humaines. Plus il y aura de GES, plus le climat sera perturbé. Or, comme il est impossible de prédire exactement le futur, différents scénarios décrivant des changements futurs plausibles des concentrations de GES ont été conçus.

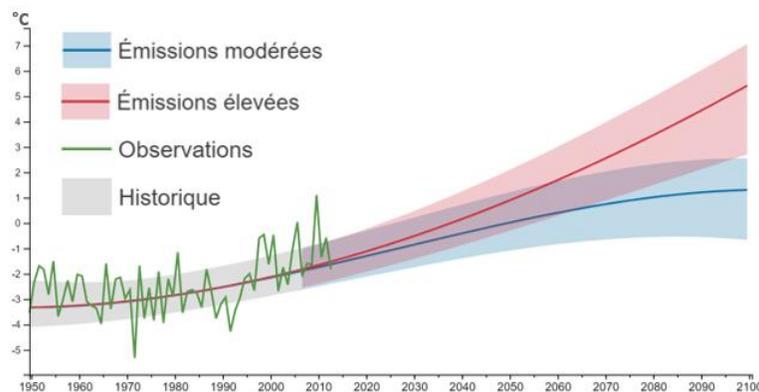


Figure 12. L'évolution des températures annuelles moyennes du Québec selon deux scénarios d'émission de GES (Ouranos, 2021)

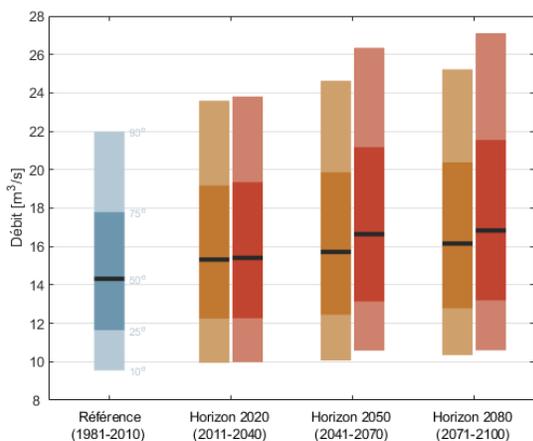
Ces scénarios sont généralement décrits par quatre trajectoires représentatives de concentration ou *Representative Concentration Pathways* (RCP) (IPCC, 2013). Deux des quatre trajectoires ont été considérées pour l'Atlas, soit les RCP 4.5 et RCP 8.5, respectivement les scénarios modérés et élevés, présentés à la **Figure 12**. Les valeurs numériques accolées à l'acronyme (4.5 et 8.5) expriment la perturbation du bilan radiatif en  $W/m^2$  du système climatique terrestre à l'horizon 2100 par rapport à la période préindustrielle vers 1850. Le RCP 4.5 est considéré comme un scénario d'émissions modérées, même s'il ne permet pas de limiter le réchauffement aux cibles fixées par l'accord de Paris. Le RCP 8.5 est quant à lui considéré comme élevé et correspond à une croissance soutenue des émissions mondiales de GES. Selon le scénario choisi, les tendances hydrologiques fournies par l'Atlas peuvent grandement varier.

### 2.3.7 Résumé des résultats

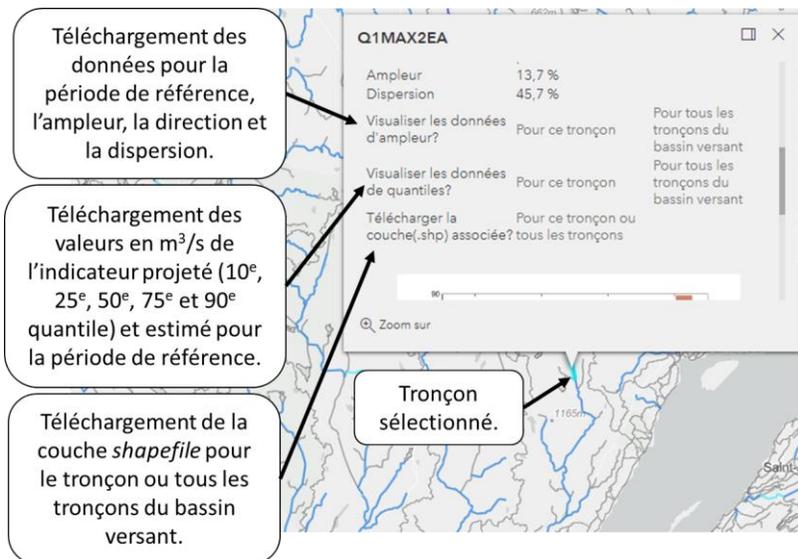
Lorsqu'un indicateur a été sélectionné et que l'ensemble des paramètres ont été choisis, c'est en cliquant sur le tronçon de rivière d'intérêt, directement sur la carte, qu'on accède à un résumé des métadonnées et des résultats téléchargeables pour ce tronçon et pour cet indicateur (**Figure 13**).

À la ligne « Visualiser les données d'ampleur? », il est possible de visualiser et de télécharger les données d'ampleur, de direction et de dispersion, en plus de la valeur de l'indicateur estimée pour la période historique de référence (1981 à 2010). L'option de télécharger ces données pour tous les tronçons du bassin versant est aussi disponible. À la ligne

« Visualiser les données de quantiles? », il est possible de visualiser et de télécharger les valeurs en  $m^3/s$  de l'indicateur projeté en climat futur et estimé pour la période de référence. Les valeurs projetées sont déclinées pour le 10<sup>e</sup>, le 25<sup>e</sup>, le 50<sup>e</sup>, le 75<sup>e</sup> et le 90<sup>e</sup> quantile, donnant une estimation de l'incertitude.



**Figure 14.** Impact projeté des changements climatiques sur le débit moyen (exemple)



**Figure 13.** Accéder au résumé des résultats pour un indicateur et un tronçon de rivière

Enfin, la couche de fichiers de forme *shapefile* est aussi téléchargeable pour le tronçon ou tous les tronçons du bassin versant.

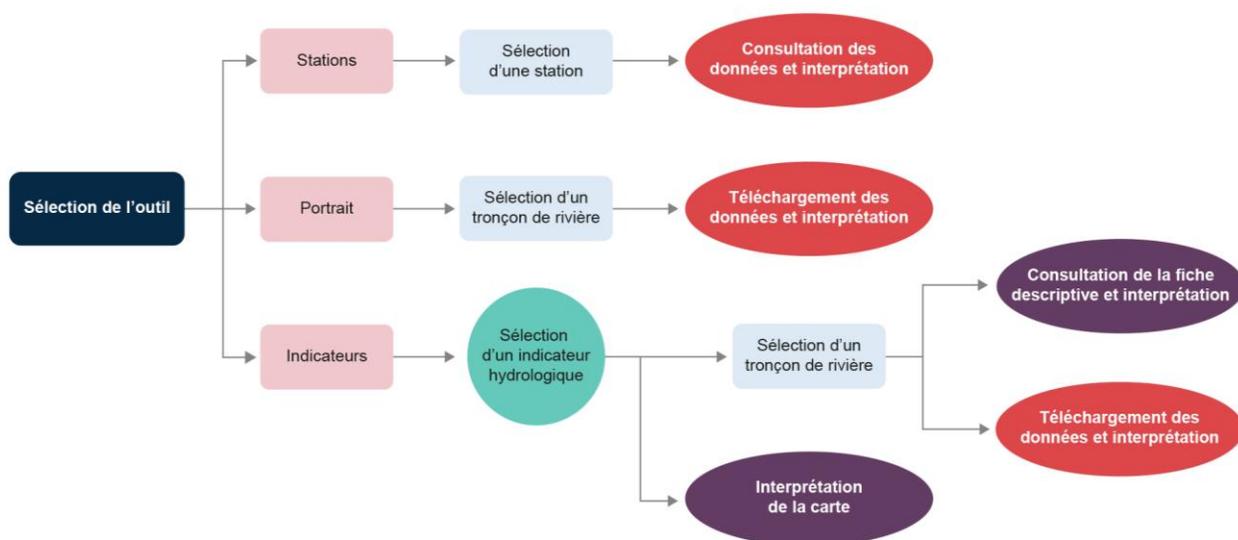
En faisant défiler la fiche du résumé vers le bas, on peut également visualiser et agrandir une figure de distribution, décrivant l'impact projeté des changements climatiques sur le débit moyen (**Figure 14**). Il s'agit d'une façon de représenter l'évolution du débit moyen et de l'incertitude, selon l'horizon de temps et le scénario d'émissions de GES. Dans le graphique, le tiret noir représente la médiane, la couleur foncée représente l'intervalle d'incertitude comprenant 50 % des valeurs, alors que la couleur pâle comprend 80 % des valeurs. Les barres orangées décrivent le scénario RCP 4.5, les barres rouges, le scénario RCP 8.5 et la barre bleue, la période historique de référence.

## Chapitre 3. Comment utiliser l'Atlas?

### 3.1 Démarche générale

Pour une navigation optimale sur le site de l'Atlas, voici les principales étapes à suivre (**Figure 15**) :

1. Établir le contexte d'utilisation pour définir le besoin et le cadre d'utilisation.
2. Sélectionner l'outil le plus adapté à ses besoins en s'appuyant sur les questions de sélection des outils (**section 3.2**). Si l'outil Indicateurs est choisi, il faut alors sélectionner un ou des indicateurs hydrologiques qui répondent à ses besoins (**section 3.3**).
3. Selon les outils, il est possible de consulter la carte ou encore de sélectionner, directement sur la carte, la station ou le tronçon de rivière d'intérêt.
4. Enfin, selon la finalité, il s'agit d'interpréter la carte, de télécharger les données et figures pour le tronçon ou la station d'intérêt, ou de cliquer sur les liens vers des données disponibles et sites reliés. Des exemples d'utilisation sont exposés à la **section 3.4**.



**Figure 15.** Démarche d'utilisation de l'Atlas hydroclimatique

### 3.2 Sélectionner le bon outil

Afin de tirer profit de l'Atlas, on doit d'abord choisir l'outil qui répondra le mieux à ses besoins. Il existe de nombreuses utilisations potentielles, pour la surveillance, la description, l'analyse ou la prise de décision relative aux rivières du Québec. L'Atlas propose trois outils distincts fournissant des informations sur les débits et régimes hydrologiques des rivières : l'outil Stations hydrométriques, l'outil Portrait et l'outil Indicateurs. Chacun de ces outils est respectivement présenté aux [sections 2.1](#), [2.2](#) et [2.3](#) de ce guide. Les questions suivantes peuvent éclairer la sélection du bon outil pour un grand nombre de besoins.

*Tableau 3. Sélection de l'outil*

Vous cherchez...	Outil à utiliser
De l'information (métadonnées ou données) pour une station de débit ou de niveau?	Stations hydrométriques
Des valeurs de débits historiques pour un tronçon de rivière sans station?	Portrait
Des valeurs de débits historiques pour une période pour laquelle les données de la station n'étaient pas disponibles?	Portrait
Un indicateur hydrologique (crue, étiage, etc.) pour la période historique, pour un tronçon de rivière avec ou sans station?	Indicateurs
L'impact des changements climatiques pour un indicateur hydrologique (crue, étiage, etc.)?	Indicateurs

### 3.3 Sélectionner un indicateur hydrologique en climat futur

Les indicateurs sont construits à partir de cinq éléments : la famille, la saison/période, la récurrence, l'horizon futur et les scénarios d'émissions de GES. Pour plus d'informations sur ces éléments, consulter la [section 2.3](#). Ces sept questions peuvent aider à choisir le bon indicateur en climat futur :

Tableau 4. Sélection d'un indicateur

Question	Élément à sélectionner	Options
1. Quel genre d'événement hydrologique m'intéresse?	Familles d'indicateurs	Crue, étiage ou hydraulité.
2. Quelles sont les « modalités » de l'indicateur recherché?	Modalités	Le débit (Q) ou le jour de l'année (jour julien), la fenêtre statistique utilisée (pointe = 1 jour, 7 jours; volume = 14 jours; mensuel = 30 jours).
3. Pour quelle saison/période?	Périodes	Été-automne, printemps-hiver, un mois particulier ou l'année complète.
4. Quelle intensité/rareté d'événement m'intéresse?	Récurrences	Rare-extrême (100, 350 ans) ou fréquent-moderé (2, 5, 10, 20 ans).
5. Quel horizon futur m'intéresse?	Horizons	Un horizon proche (2011-2040) ou lointain (2041-2070, 2071-2100). Les valeurs de référence (1981-2010) sont aussi disponibles.
6. Quelle est ma tolérance au risque? Quel scénario de changement dois-je prendre en considération?	Scénarios de GES	Un scénario de changements climatiques modéré (RCP 4.5) ou élevé (RCP 8.5).
7. De quel type d'information ai-je besoin?	Descripteurs (Liste de couches)	Direction (augmentation ou diminution du débit), Ampleur (dans quelle mesure il augmente ou diminue) ou Dispersion (à quel point les projections pointent dans la même direction).

Comment lire l'indicateur choisi? Le nom des indicateurs correspond à l'amalgame des six premiers éléments.

Nom de l'indicateur = [Famille et modalité] [Récurrence] [Saison/Période] [Horizon futur] [Scénario de GES]

En voici un exemple concret :

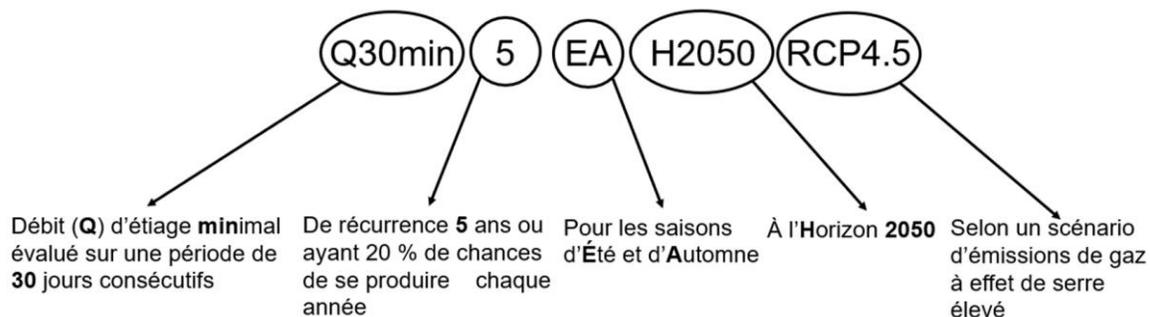


Figure 16. Exemple d'indicateur en climat futur

### 3.4 Exemples d'utilisation de l'Atlas en contexte professionnel

L'Atlas peut être utile pour de nombreux professionnels. Voici quelques exemples d'utilisation de l'Atlas dans différents contextes professionnels.

#### CADRAGE – RISQUES D'INONDATIONS

**Professionnel :** Analyste scientifique en gestion des risques d'inondations

**Thématique de recherche :** Produire un portrait des risques liés aux inondations en contexte de changements climatiques sur le territoire d'un bassin versant.

**Exemple concret :** Un analyste des bureaux de projet veillant à la planification de l'aménagement des zones inondables du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation désire concevoir un portrait des risques liés aux inondations sur le territoire de son bassin versant, conformément au mandat de planification à l'échelle du bassin versant. L'analyse doit permettre documenter les problématiques et de cibler les interventions les plus porteuses, selon une vision globale et intégrée pour accroître la résilience des communautés. Afin que l'analyse soit la plus englobante possible, tous les outils de l'Atlas pourraient être utilisés pour acquérir de l'information quantitative sur les débits historiques, les observations aux stations hydrométriques et les indicateurs en climat futur en vue de considérer l'évolution du risque d'inondation.

**Données recherchées :** Le portrait des débits historiques et un éventail d'indicateurs de crues en climat futur pour un bassin versant au complet.

#### UTILISATION DE L'ATLAS

Étape d'utilisation de l'Atlas	Considérations
Événement hydrologique d'intérêt (famille d'indicateurs)	Les crues (QMAX).
Pour quelle saison/période?	Hiver-printemps et été-automne (HP et EA).
Quelle intensité/rareté d'événement?	Pour faire un portrait des risques liés aux inondations, plusieurs niveaux de récurrences de débits peuvent être analysés en vue d'apprécier la trajectoire de chacun d'eux en climat futur, particulièrement les crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans.
Quelle période future?	Tous les horizons peuvent être d'intérêt : Référence (1981-2010), 2011-2040, 2041-2070 et 2071-2011.
Quelle tolérance au risque (choix du scénario d'émissions de GES)?	Pour nourrir les recommandations, il pourrait être pertinent de faire une analyse avec les deux scénarios de RCP (8.5 et 4.5). Ainsi, on applique le principe de précaution en considérant le scénario le plus pessimiste et on peut déterminer une fourchette d'évolutions du risque.
Téléchargement des données	Afin qu'on puisse produire un portrait complet des risques liés aux inondations, les séries de débits historiques, les données d'indicateurs (ampleur, dispersion, direction et quantiles) et les couches <i>shapefile</i> associées pourraient être téléchargées pour produire des graphiques et des cartes, et analyser les débits de crues.

## CADRAGE – CARTOGRAPHIE D'UNE ZONE INONDABLE EN CLIMAT FUTUR

**Professionnel** : Ingénieur ou hydrologue en études d'impact environnemental et analyses de risques d'inondations

**Thématique de recherche** : Produire une cartographie des risques d'inondations en climat futur.

**Exemple concret** : Une firme de génie-conseil est mandatée par un initiateur de projet pour évaluer les risques d'inondations sur le site d'un projet en tenant compte des changements climatiques. Le site du projet se trouve à proximité d'une zone ayant un historique d'inondation et il a été déterminé qu'une carte de la crue printanière de récurrence de 100 ans à l'horizon 2080 était nécessaire pour évaluer les risques d'inondations et les impacts qui en découlent sur le projet.

**Données recherchées** : Les données d'ampleur pour un indicateur de crue printanière en climat futur peuvent être appliquées au débit de la crue de conception utilisée pour produire la cartographie. Ainsi, s'il est attendu que le débit augmente de 15 %, le débit de conception doit être majoré de 15 %.

### UTILISATION DE L'ATLAS

Étape d'utilisation de l'Atlas	Considérations
Événement hydrologique d'intérêt (famille d'indicateurs)	Les pointes de crues (Q1MAX).
Pour quelle saison/période?	Printemps (HP). Une analyse préliminaire a montré que la crue printanière est la plus importante de l'année pour la zone à l'étude. On regardera aussi les indicateurs annuels (AN) pour s'assurer que le choix de prendre HP est sécuritaire.
Quelle intensité/rareté d'événement?	Cela dépend de la tolérance au risque et de l'intensité que l'on souhaite cartographier. Dans cet exemple, si l'on souhaite cartographier la crue de récurrence de 100 ans, il faut également utiliser un indicateur de récurrence de 100 ans.
Quelle période future?	Puisque les statistiques maximales peuvent se produire entre maintenant et 2100, il est recommandé de considérer tous les horizons. La valeur la plus grande parmi la période de référence et les trois horizons devrait être retenue pour la conception.
Quelle tolérance au risque (choix du scénario d'émissions de GES)?	Pour nourrir les recommandations, il pourrait être pertinent de faire une analyse avec les deux scénarios d'émissions de GES (RCP 8.5 et 4.5). Cela donnerait lieu à deux lignes d'inondation sur la cartographie. L'espace entre ces lignes représenterait ainsi une zone d'incertitude servant à l'analyse de risque.
Téléchargement des données	Il suffit de cliquer sur le tronçon de rivière d'intérêt pour connaître la valeur médiane de l'ampleur du changement pour l'indicateur choisi. C'est cette valeur (en pourcentage) qui doit être appliquée au débit de conception.

## CADRAGE – OUVRAGE DE STABILISATION DES BERGES

**Professionnel** : Ingénieur

**Thématique de recherche** : Conception d'un ouvrage mécanique de stabilisation des berges, à l'aide d'un couvert végétal avec enrochement.

**Exemple concret** : Un professionnel travaillant pour une firme privée souhaite réaliser la conception d'un ouvrage de stabilisation des berges. Afin de déterminer quel serait le bon dimensionnement de l'ouvrage, il cherche à voir comment pourraient évoluer les limites en climat futur au site d'aménagement. En ayant un aperçu de l'ampleur du changement selon les critères hydroclimatiques de son choix, il pourra concevoir l'ouvrage de stabilisation avec plus de précision.

**Données recherchées** : Indicateur de crue permettant de fixer la borne supérieure du dimensionnement de l'ouvrage de stabilisation.

### UTILISATION DE L'ATLAS

Étape d'utilisation de l'Atlas	Considérations
Événement hydrologique d'intérêt (famille d'indicateurs)	Crues (QMAX).
Pour quelle saison/période?	Crues printanières (HP).
Quelle intensité/rareté d'événement?	Le débit journalier maximal (Q1MAX) et le seuil des crues de récurrence de 100 ans sont habituellement utilisés en ingénierie dans la conception des ouvrages de stabilisation (l'objectif est d'identifier des limites, mais pas nécessairement extrêmes). Dans l'Atlas hydroclimatique, l'indicateur sélectionné pour mener l'analyse serait donc le Q1MAX100HP.
Quelle période future?	Comme le projet concerne l'aménagement du territoire, la valeur maximale parmi tous les horizons devrait être sélectionnée.
Quelle tolérance au risque (choix du scénario d'émissions de GES)?	Par principe de précaution, il serait avisé de choisir le pire scénario d'émissions de GES afin de garantir un dimensionnement suffisant de l'ouvrage de stabilisation. Cela dit, si les projections d'un scénario RCP 8.5 pour un indicateur de crue centenaire sont à la baisse, le dimensionnement devrait être fait en considérant le pire cas entre la période de référence et les horizons futurs.
Téléchargement des données	On peut désormais télécharger les données en naviguant dans l'interface cartographique de l'Atlas et en sélectionnant le tronçon de rivière d'intérêt. Minimalement, il serait pertinent d'acquérir les données d'ampleur pour le tronçon, mais dans le cas d'une conception d'ouvrage de stabilisation, il peut être pertinent d'explorer la distribution des valeurs et l'incertitude qui accompagne la projection de l'indicateur en téléchargeant les données de direction et de quantiles.

## CADRAGE – ÉTIAGES ET EAUX DE SURFACE

**Professionnel** : Analyste en environnement pour une direction régionale du MELCCFP

**Thématique de recherche** : Disponibilité d'eau de surface en périodes estivale et hivernale. Perspective de conciliation des usages de l'eau.

**Exemple concret** : Un demandeur désire réaliser une activité nécessitant un prélèvement d'eau : un producteur agricole veut s'équiper de systèmes d'irrigation connectés à un cours d'eau à proximité. L'objectif pour l'analyste est de nourrir les recommandations qui seront émises auprès du demandeur. L'analyse se fait en climat futur; on s'intéresse donc à l'outil « Indicateurs » pour considérer les changements climatiques.

**Données recherchées** : Le cumul de l'ensemble des prélèvements d'eau de surface autorisés par le MELCCFP doit être inférieur à 15 % du débit d'étiage estival du cours d'eau à l'endroit où le prélèvement d'eau est effectué, selon le Règlement sur les habitats fauniques. Dans l'Atlas 2022, l'indicateur à considérer est donc le Q7MIN2EA. Le tableau ci-dessous indique comment le retrouver dans l'outil « Indicateurs » de l'Atlas et comment télécharger les données qui y sont associées.

### UTILISATION DE L'ATLAS

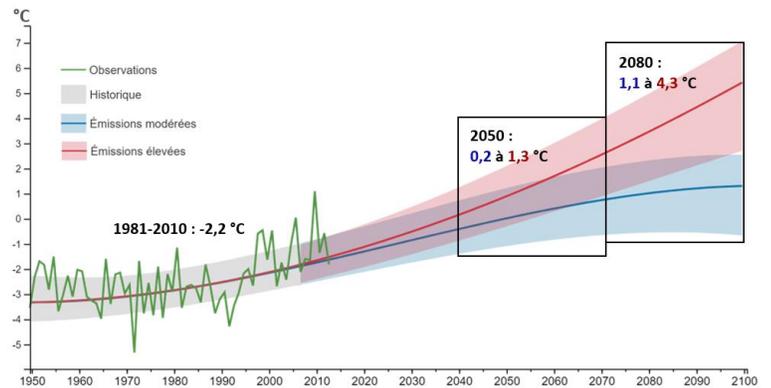
Étape d'utilisation de l'Atlas	Considérations
Événement hydrologique d'intérêt (famille d'indicateurs)	Les étiages (QMIN).
Pour quelle saison/période?	Estivale (EA).
Quelle intensité/rareté d'événement?	On vise une récurrence de 2 ans (fréquente) pour cibler les observations d'étiages normaux.
Quelle période future?	Au Québec, l'autorisation de prélèvement d'eau est généralement délivrée pour une période de 10 ans pour les activités agricoles. Il est donc possible d'utiliser seulement l'horizon 2011-2040.
Quelle tolérance au risque (choix de RCP)?	Pour nourrir les recommandations, il pourrait être pertinent de faire une analyse avec les deux scénarios de RCP (8.5 et 4.5). Ainsi, on applique le principe de précaution en considérant le scénario le plus pessimiste. À noter que les différences sont généralement minimes entre les 2 RCP pour l'horizon à court terme.
Téléchargement des données	Dans le souci de concilier les usages de l'eau et de se conformer aux différentes lois et règlements, l'analyse se fait normalement au point de prélèvement et à un point d'intérêt en aval, comme une municipalité. Les données téléchargées concernent donc minimalement les tronçons d'intérêt dont on peut obtenir les valeurs de référence, issues des données antérieures. L'objectif est ensuite de les comparer avec les données en climat futur. Pour une analyse plus complète, les données de quantiles pour tous les tronçons du bassin versant pourraient être téléchargées.

## Chapitre 4. L'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques dans le Québec méridional

Se basant sur l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2022, ce chapitre présente un rappel des causes des impacts des changements climatiques sur le régime hydrologique et résume les faits saillants des données, en particulier issus de l'outil Indicateurs.

### 4.1 Les causes des changements dans les débits des rivières

**L'effet du réchauffement climatique sur le cycle de l'eau** – Dans l'ensemble du Québec, la température moyenne annuelle s'est réchauffée de 1 à 3 °C entre 1950 et 2011 (Ouranos, 2015), et cette tendance est appelée à se poursuivre (*Figure 17*). Le système climatique étant complexe, les changements de température se répercutent sur l'hydrologie, puisque l'air chaud peut contenir davantage d'eau et ainsi entraîner une intensification du cycle de l'eau (Khaliq, 2019). Cela affecte les régimes de précipitations, l'évaporation, la fonte de la neige et de la glace, etc. À leur tour, ces changements influencent l'intensité et la récurrence des débits dans les rivières (Ouranos, 2021).



*Figure 17. Moyennes annuelles des températures en climat historique et en climat futur sur l'ensemble du Québec (Ouranos, 2021)*

De manière générale, les cours d'eau du Québec méridional seront sujets à des redoux hivernaux plus fréquents, à une hausse des précipitations sous forme de pluie en hiver et au printemps et à des épisodes de pluies extrêmes plus intenses en été et en automne.

Il est difficile de donner une réponse unique sur la manière dont ces changements affecteront les débits des rivières à l'avenir, puisqu'elle pourrait grandement varier en fonction d'une diversité de composantes, liées au système considéré ou au contexte, telles que :

- la situation géographique des bassins versants,
- la taille des bassins versants,
- les saisons,
- l'horizon de temps considéré,
- les scénarios de GES,
- et plusieurs autres variables (ex. : occupation du territoire, topographie, couverture végétale).

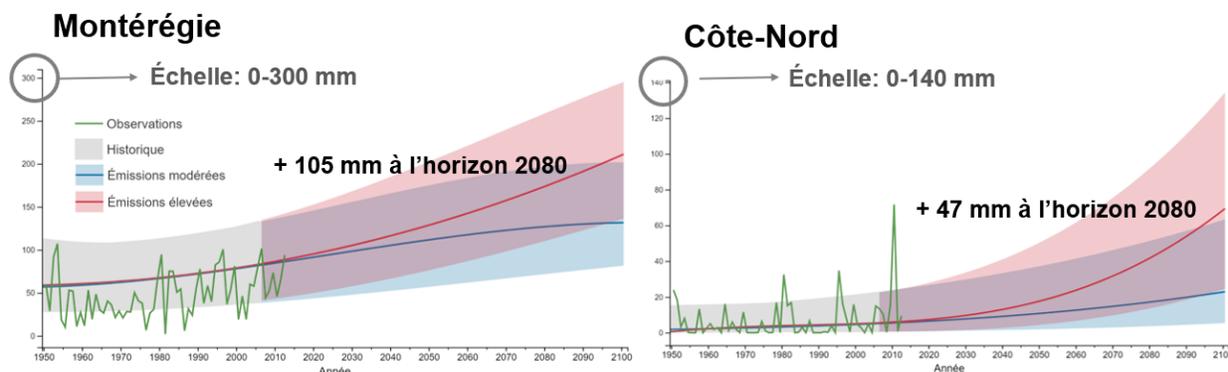


Figure 18. Évolution des précipitations liquides en hiver pour la Montérégie et la Côte-Nord (Ouranos, 2021)

**La variabilité saisonnière typique** – La variabilité hydrologique réfère à des changements dans le régime hydrologique, de jour en jour ou de saison en saison, de même qu'à des fluctuations interannuelles ou décennales (Tremblay, 2016). Le Québec méridional est caractérisé par un climat continental humide où le couvert de neige en hiver est important. Ainsi, à l'arrivée du printemps, la fonte de la neige occasionne une augmentation des débits dans les rivières par rapport au reste de l'année. Un second pic de débit peut également avoir lieu à l'été ou à l'automne, selon les bassins versants et les tempêtes. Durant l'été, la chaleur et les périodes prolongées sans précipitations causent généralement une diminution des débits. Durant l'hiver, on assiste également à des débits plus faibles, car les précipitations tombent en grande partie sous forme de neige et la surface de nombreuses rivières est gelée.

**De grandes variations de région en région** – Sur le plan géographique, l'évolution du climat ne sera pas égale partout sur le territoire. Par exemple, le réchauffement par rapport au passé est plus fort dans le nord que dans le sud du territoire (Ouranos, 2021). De plus, une hausse des précipitations liquides en hiver sera plus marquée dans l'extrême sud du Québec comme la Montérégie par rapport à d'autres régions plus au nord comme la Côte-Nord (Figure 18). À l'inverse, on s'attend à une augmentation des précipitations neigeuses dans les régions plus au nord, alors qu'elles tendent à diminuer dans les régions plus au sud (Ouranos, 2021).

**La taille du bassin versant comme cause déterminante** – Les plus petits bassins versants réagissent davantage aux événements de pluies extrêmes que les plus grands bassins. En effet, leur superficie étant moins grande, leur temps de concentration est généralement plus rapide, donc la pluie est drainée plus rapidement vers l'exutoire. Ainsi, lorsque de grandes quantités de pluie tombent, il y a davantage de chances que les cours d'eau débordent. Dans le futur, leurs cours d'eau seront donc plus susceptibles de subir des inondations en été et en automne, alors que les événements de précipitations extrêmes sont appelés à augmenter en intensité et en durée (voir [section 4.2.3](#)).

### LE TEMPS DE CONCENTRATION

Le temps de concentration est un concept utilisé en hydrologie pour mesurer la réponse d'un bassin versant à un événement pluvieux. Il est défini comme le temps nécessaire à une goutte de pluie pour parcourir la distance entre le point le plus éloigné et l'exutoire d'un bassin versant. Le temps de concentration dépend de plusieurs paramètres comme la topographie, la géologie, les types de sols, la présence de lacs, l'imperméabilité des sols et la taille du bassin versant.

## 4.2 Les changements hydrologiques attendus

### 4.2.1 Faits saillants

Voici les principaux faits saillants liés à l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie au Québec, synthétisés dans le [Tableau 5](#), suivis de leurs explications. Pour connaître l'ensemble des résultats de

l'Atlas, on peut consulter le Rapport technique de l'Atlas ainsi que l'Atlas lui-même. Les tendances pour les crues et les étiages sont approfondies dans les sections subséquentes.

**Tableau 5.** *Faits saillants de l'Atlas hydroclimatique*

Phénomène hydrologique	Fait saillant	Détails
<b>Crues printanières</b>	Les pointes de crues printanières seront plus hâtives.	Elles seront plus hâtives d'une à deux semaines d'ici la moitié du siècle et de deux à trois semaines d'ici la fin du siècle.  Cette tendance est projetée sur l'ensemble du Québec méridional.  <i>Indicateur : JQ1MAXHP</i>
	L'évolution des volumes de crues printanières variera selon les régions.	Les volumes seront plus forts au nord de la vallée du Saint-Laurent (de +4 à +7 % d'augmentation).  Ils seront plus faibles dans l'extrême sud du Québec (de -20 % à -5 % de diminution) et cela sera plus marqué vers la fin du siècle avec un scénario RCP 8.5.  Mais la tendance reste incertaine pour de nombreuses rivières au Québec, notamment autour de la vallée du Saint-Laurent.  <i>Exemple d'indicateur : Q14MAX20HP</i>
	L'évolution des pointes de crues printanières variera selon les régions.	Les pointes de crues printanières seront plus fortes au nord (de l'ordre de +5 %), mais cela est très variable selon les horizons, les scénarios et les régions.  Plus au sud du Québec méridional, il y a une absence de consensus sur le signal, sauf à l'horizon 2080 pour le RCP 8.5, où une diminution probable de -9 % est attendue dans certaines régions.  Il convient de consulter les cartes de l'Atlas pour constater les disparités régionales de ces indicateurs. Les résultats varient aussi selon la récurrence sélectionnée (Q1MAX2HP, Q1MAX20HP, Q1MAX100HP, etc.).  <i>Exemple d'indicateur : Q1MAX2HP</i>
<b>Crues estivales et automnales</b>	Les pointes de crues estivales et automnales seront plus élevées sur une large portion du Québec méridional.	Le signal des pointes de crues estivales et automnales est à la hausse sur la majorité du Québec méridional, surtout pour les crues de récurrence élevée.  L'augmentation attendue varie entre +7 % et +14 % selon les scénarios de GES et l'horizon futur.  <i>Exemple d'indicateur : Q1MAX2EA</i>

Tableau 5. Faits saillants de l'Atlas hydroclimatique (suite)

Phénomène hydrologique	Fait saillant	Détails
<b>Étiages</b>	Les étiages seront plus sévères et plus longs en été et en automne.	Les étiages seront plus sévères et plus longs en été dans l'ensemble du Québec méridional, avec des baisses de -15 % à -25 % prévues pour la moitié du siècle et pouvant aller jusqu'à -43 % à la fin du siècle.  <i>Exemple d'indicateur : Q30MIN2EA</i>
	Les étiages seront moins sévères en hiver.	Les étiages seront moins sévères en hiver dans l'ensemble du Québec méridional, avec des augmentations des débits d'étiage allant de +20 % à +50 % prévues pour la moitié du siècle.  <i>Exemple d'indicateur : Q30MIN2HP</i>
<b>Hydraulicité</b>	L'évolution de l'hydraulicité variera selon les saisons et selon les régions.	La moyenne annuelle sera généralement plus forte, mais avec des différences marquées entre les saisons.  L'hydraulicité hivernale sera plus forte (de +5 % à +20 %), alors que l'hydraulicité estivale sera plus faible (de -4 % à -16 %).  Il convient de consulter les cartes de l'Atlas pour constater les disparités régionales de ces indicateurs.  <i>Exemple d'indicateur : QMOYAN</i>

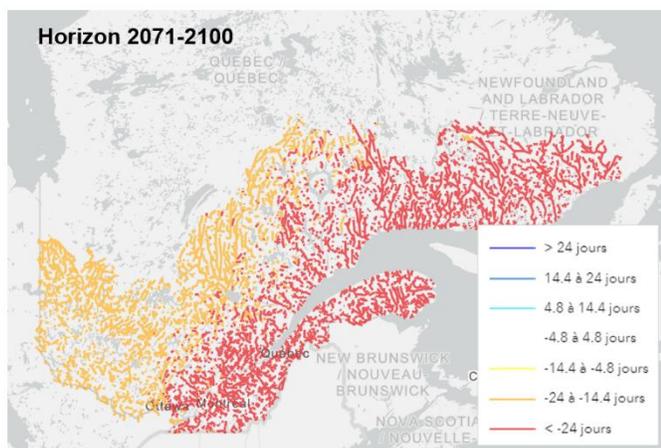
## 4.2.2 Les crues printanières

Une **crue** printanière correspond à une augmentation du débit lors de la fonte de la neige et de la glace au printemps généralement en simultanée avec de la pluie. Bien qu'il s'agisse d'un phénomène récurrent, certains printemps peuvent réserver des crues plus fortes que d'autres. En plus de la quantité de neige tombée durant l'hiver, de fortes pluies combinées à des températures au-dessus de la normale peuvent jouer sur la vitesse de la fonte de la neige et causer des inondations. Il est à noter que des embâcles de glace contribuent fréquemment aux inondations printanières, mais ce phénomène n'est pas couvert par l'Atlas.

Les inondations printanières ont été de celles qui ont marqué davantage l'imaginaire collectif dans la décennie des années 2010 au Québec. Or, bien qu'on s'y intéresse particulièrement, il n'y a pas de consensus sur la manière dont évolueront les débits printaniers de toutes les rivières au Québec. En effet, les tendances qui se dégagent des simulations hydroclimatiques varient à travers le territoire et en fonction de nombreux éléments comme l'horizon temporel, la récurrence de l'inondation, etc. Quelques tendances associées aux crues dans le Québec méridional sont présentées ci-dessous.

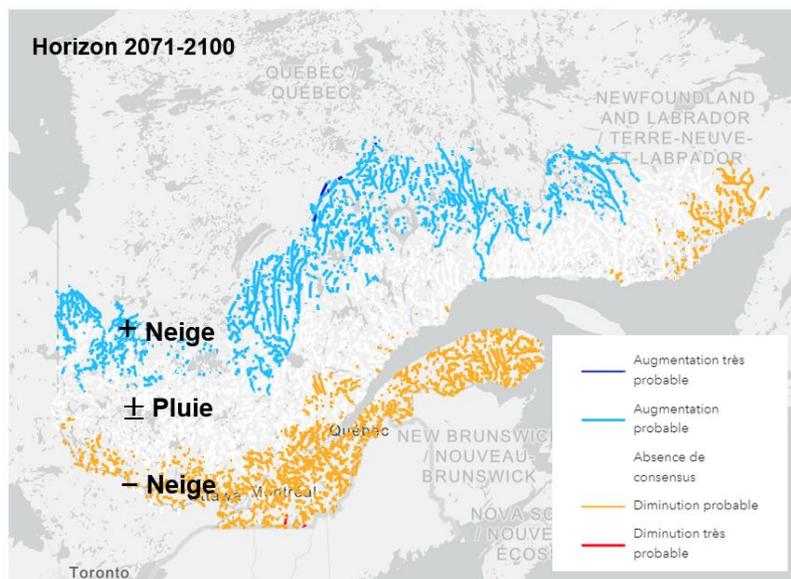
## Les pointes de crues printanières seront plus hâtives en raison des changements climatiques

À l'horizon 2050, les projections décrivent un devancement probable à très probable du jour de l'année où se produit la pointe de crue sur l'ensemble du Québec méridional. Selon les deux scénarios d'émissions de GES, ce devancement serait de l'ordre de -9 à -14 jours. À l'horizon 2080, le devancement serait de l'ordre de -15 à -24 jours (**Figure 19**). En général, le devancement est plus important pour les bassins versants situés plus au sud que pour ceux au nord du Québec méridional. Par exemple, pour un bassin versant de la Montérégie, la crue printanière pourrait être devancée du 4 avril (actuellement) au 9 mars (horizon 2080, RCP 8.5), soit près d'un mois plus tôt. Ce changement s'explique notamment par le raccourcissement de la saison hivernale. En effet, en raison des changements climatiques, la fonte de la neige aura tendance à se produire plus tôt dans la saison, car il fera plus chaud et les précipitations auront tendance à tomber sous forme de pluie plus tôt au printemps. Le niveau de confiance est très élevé pour cet indicateur, tant dans sa direction que dans son ampleur.



**Figure 19.** Jour d'occurrence moyen du débit journalier maximal sur la période hiver-printemps (JQ1MAXHP) – Horizon 2080, RCP 8.5. Rouge : devancement de plus de 24 jours; orange : 14 à 24 jours plus tôt que la normale

**En raison des changements climatiques, les volumes de crues printanières seront plus forts au nord de la vallée du Saint-Laurent et plus faibles dans l'extrême sud du Québec, mais la tendance reste incertaine pour de nombreuses rivières**



**Figure 20.** Direction du débit moyen sur 14 jours maximal pour l'hiver-printemps pour une crue de récurrence de 20 ans – Horizons 2050 et 2080, RCP4.5 par rapport à la période historique de 1981-2010, Q14MAX2HP

Bleu : augmentation Rouge et orange : diminution Blanc : incertitude

Le débit moyen sur 14 jours maximal sur la période hiver-printemps de récurrence de 2 ans (Q14MAX2HP) présente un gradient nord-sud marqué. Ce même gradient nord-sud s'observe pour les autres récurrences (5, 10, 20, 100, 350 ans), mais l'ampleur est en moyenne moins importante que pour la récurrence de 2ans.

Vers le nord du Québec méridional, à la moitié et à la fin du siècle, on projette une diminution du nombre de jours de neige au sol, mais l'accumulation totale de neige sera plus importante (Guay et collab., 2015). En effet, les précipitations augmenteront dans cette portion du territoire, mais comme il y fait encore assez froid, elles tomberont principalement sous forme de neige en hiver. Le couvert de neige y serait alors suffisamment important pour entraîner une augmentation des débits printaniers lors de la fonte. Les projections décrivent une augmentation probable de l'ordre de +7 %. Les tronçons de rivières présentant cette tendance sont ceux colorés en tons de bleu à la **Figure 20**.

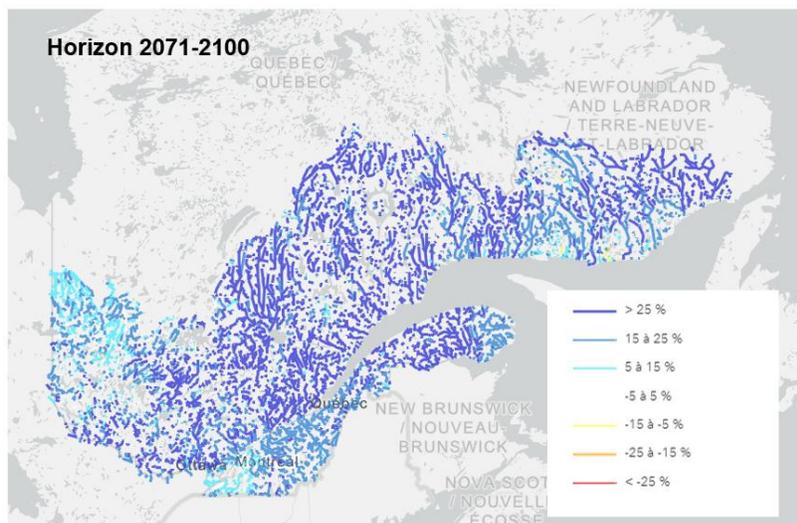
À l'opposé, dans certains bassins au sud du Québec (cela comprend la Gaspésie, l'Outaouais et une partie de la Côte-Nord), l'augmentation des précipitations liquides ne serait pas suffisamment grande pour compenser la diminution des précipitations neigeuses, ce qui entraînerait une diminution des débits printaniers, surtout vers la fin du siècle. Les projections décrivent une diminution probable à très probable de l'ordre de -10 % et correspondent aux tronçons en orange à la **Figure 20**.

Entre ces deux régions, on verra également des hausses des cumuls de précipitations hivernales et printanières, ainsi qu'une augmentation de la quantité de pluie lors des jours pluvieux. En parallèle, l'accumulation maximale de neige et le nombre de jours avec de la neige au sol diminueront probablement (Guay et collab., 2015). Dans ces portions du territoire, les bassins sont plutôt dominés par la pluie et requièrent d'importantes quantités de pluie pour compenser la perte de couvert neigeux et générer une crue. C'est ainsi que les projections hydroclimatiques montrent plus de variabilité interannuelle : des années où la crue augmenterait par rapport au passé et d'autres où la crue diminuerait, en fonction des événements de pluie. La direction du changement attendu variant d'une année à l'autre, il demeure, pour ces tronçons de rivières, un manque de consensus. Il s'agit des tronçons au tracé blanc à la **Figure 20**.

### **4.2.3 Les crues estivales et automnales**

N'ayant pas de couvert neigeux qui fond graduellement, les crues des saisons estivales et automnales se produisent surtout lors d'événements de précipitations extrêmes, courts et intenses ou de précipitations apportées par des systèmes qui se prolongent sur plusieurs jours. Elles peuvent résulter d'averses intenses sur un bassin versant dont le sol est déjà très chargé en eau et qui a une moins grande capacité d'infiltration de l'eau dans les sols. Il se produit alors du ruissellement sur la surface des sols qui gonfle les petits cours d'eau et peut mener à une crue.

## Les pointes de crues estivales et automnales seront plus élevées sur la majorité du Québec méridional en raison des changements climatiques



**Figure 21.** Débit journalier maximal pour l'été-automne ( $m^3/s$ ) pour une crue de récurrence de 20 ans – Horizons 2050 et 2080, RCP 8.5 Q1MAX20EA

En raison des changements climatiques, les événements de précipitations extrêmes sont appelés à s'aggraver en fréquence et en intensité durant la période été-automne. Cela pourrait donc influencer les crues lors de ces saisons.

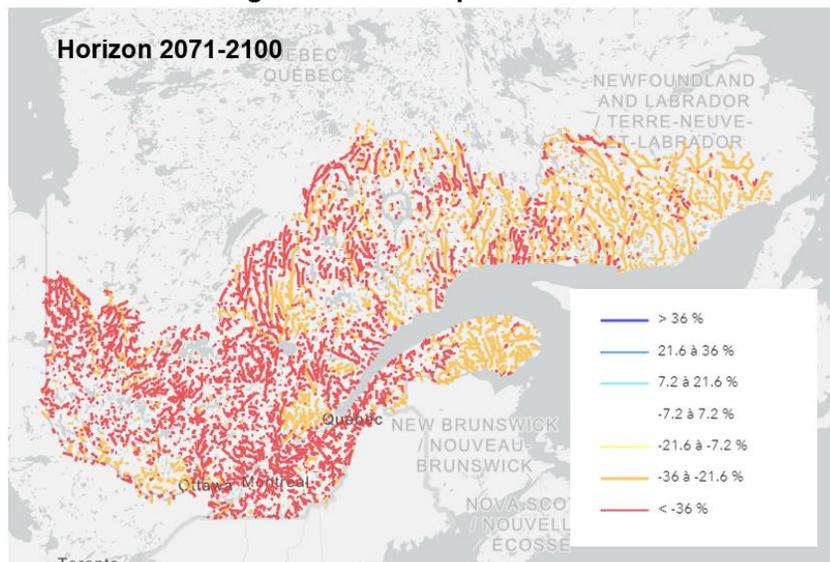
Ainsi, une augmentation probable des crues estivales et automnales est projetée pour toutes les régions du Québec méridional. L'ampleur de l'augmentation varie en fonction de l'horizon temporel et des scénarios de GES. Celle-ci est plus grande pour l'horizon 2080 que pour l'horizon 2050, et pour le RCP 8.5 que pour le RCP 4.5. L'ampleur est aussi plus grande pour les événements de crue plus rares. Par exemple, pour une crue de récurrence de 2 ans, les changements moyens varient de +7 % à +12 %, alors que pour une crue de récurrence de 20 ans, les changements se situent plutôt entre 20 % et 30 % (**Figure 21**).

Dans le cas des crues estivales et automnales très rares, de récurrence de 100 et de 350 ans, il demeure une absence de consensus sur la direction pour de nombreux tronçons de rivières, sauf pour l'horizon 2080 RCP 8.5, où une augmentation est probable. Les défis méthodologiques liés à la projection des extrêmes expliquent une part de cette absence de consensus. Ces projections reflètent néanmoins l'aggravation et l'augmentation de la fréquence des événements de précipitations extrêmes en été et en automne en raison des changements climatiques.

### 4.2.4 Les étiages

Un étiage est défini comme étant le débit minimal atteint par un cours d'eau ou un lac en période sèche. Il s'agit donc des débits en période de sécheresse, soit lorsque l'apport en eau de ruissellement est faible ou nul et que l'écoulement souterrain est la source principale qui alimente les eaux de surface. Au Québec, l'hiver est souvent propice aux étiages importants, puisque les précipitations solides s'accumulent en surface sans atteindre le réseau de drainage. Les étiages peuvent aussi être observés en été ou au début de l'automne lorsque les précipitations se font rares pendant des périodes plus ou moins prolongées.

**Les étiages seront plus sévères et plus longs en été et en automne, mais moins sévères en hiver en raison des changements climatiques**



**Figure 22.** Débit moyen sur 7 jours minimal pour l'été-automne ( $m^3/s$ ) pour un étiage de récurrence de 2 ans – Horizons 2050 et 2080, RCP 8.5

Q7MIN2EA

En raison du réchauffement global, on observe des étés plus chauds avec des périodes de canicules plus fréquentes et plus chaudes ainsi que des périodes sans précipitations prolongées, et ces tendances sont appelées à se poursuivre. Ces changements favorisent l'évapotranspiration de l'eau dans les bassins versants et, en réduisant les quantités d'eau dans le sol, occasionnent des conditions de sécheresse plus importantes.

C'est ainsi qu'une diminution probable des débits d'étiages en été et en automne est projetée sur tout le Québec méridional (**Figure 22**). À l'horizon 2050, pour un scénario d'émissions de GES élevé, les projections décrivent une diminution moyenne des débits d'étiages de récurrence de 2 ans de -24 %. À l'horizon 2080, cette baisse pourrait atteindre -40 %. Les mêmes tendances sont décrites pour les étiages de récurrence de 5 ans et de 10 ans. Les projections décrivent des étiages plus sévères pour les bassins versants situés au sud et à l'ouest qu'au nord et à l'est du Québec méridional.

Dans le cas de la saison hiver-printemps, les projections décrivent une augmentation très probable des débits d'étiages pour tout le Québec méridional. C'est-à-dire que les étiages durant l'hiver seront moins sévères. À l'horizon 2050, pour un scénario d'émissions de GES élevé, les projections décrivent une augmentation moyenne des débits d'étiages de récurrence de 2 ans de +25 %. À l'horizon 2080, cette hausse pourrait atteindre +65 %. Les mêmes tendances sont projetées pour des étiages de récurrences de 5 et de 10 ans. Bref, cela signifie que les étiages hivernaux seront moins secs, et cela est dû notamment au réchauffement des hivers ainsi qu'à une augmentation des pluies durant cette saison.

# Chapitre 5. Les limites et les perspectives de l'Atlas hydroclimatique

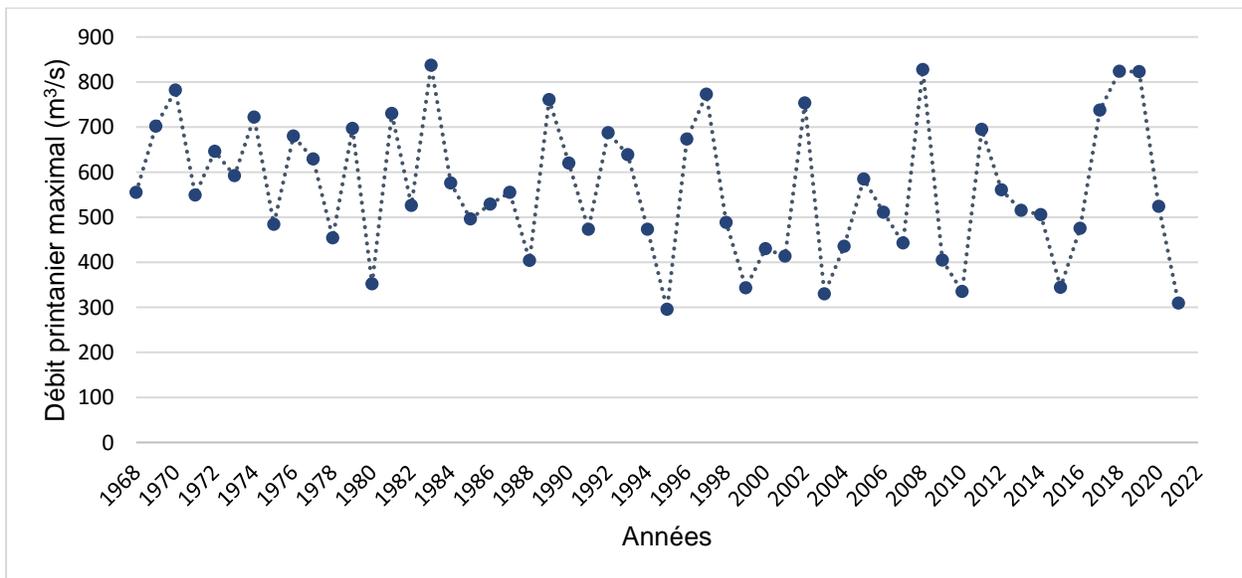
## 5.1 Sources d'incertitudes

Qu'il s'agisse des données d'observation, des modèles ou des hypothèses considérés pour créer une chaîne de modélisation, chacune des étapes de la production d'une projection hydroclimatique est empreinte d'incertitudes. De plus, si les modèles utilisés comportent des incertitudes, la nature du sujet étudié par l'Atlas est également caractérisée par une variabilité naturelle fondamentale et non réductible.

### La variabilité interannuelle et son impact sur les indicateurs en climat futur

En plus d'une variabilité saisonnière (voir [section 4.1](#)), on observe une variabilité dans le comportement du débit d'une année à l'autre, pour le même bassin versant. On appelle cette variabilité « interannuelle ». D'année en année, les hivers, printemps, étés et automnes ne se ressemblent pas les uns les autres. Oscillant entre chaud, froid, humide et sec, ils se succèdent au rythme des fluctuations de la météorologie. Ces fluctuations font que les débits moyens ainsi que les débits de crues et d'étiages qui sont observés sur les tronçons de rivières sont rarement les mêmes d'une année à l'autre.

À titre d'exemple, la **Figure 23** illustre les valeurs de débits printaniers maximaux enregistrés entre 1968 et 2021 à la station n° 050304, située sur la rivière Batiscan. On y voit bien que les débits de pointe printaniers varient grandement d'une année à l'autre, allant de 300 à 850 m<sup>3</sup>/s.



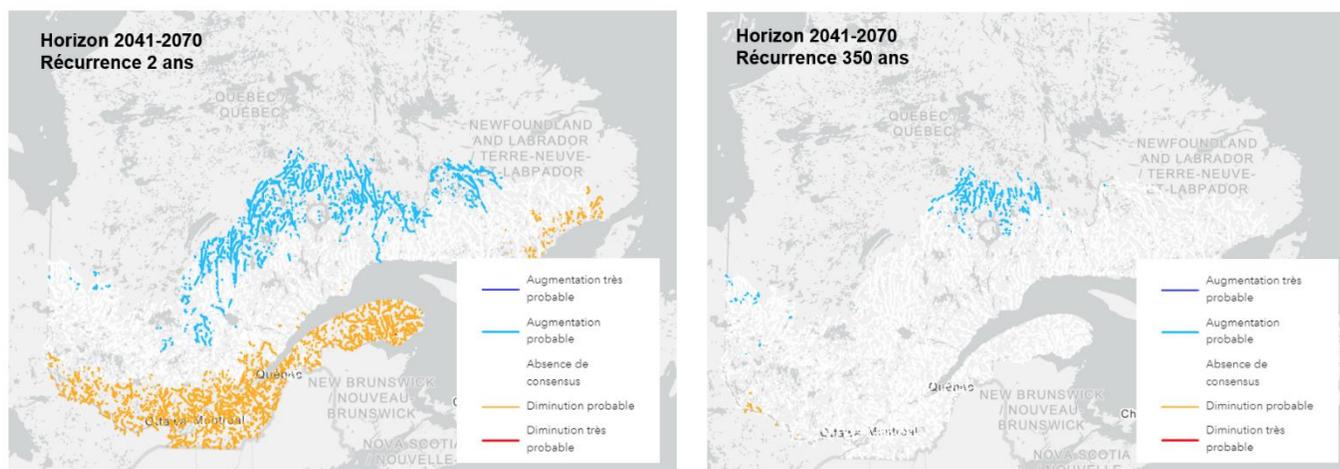
**Figure 23.** Série de débits printaniers maximaux à la station 050304 de la rivière Batiscan, de 1968 à 2021 (Source : Atlas hydroclimatique, Outil Portrait, station 050304, données téléchargées : extraction du maximum printanier par année)

Il est donc important que les indicateurs hydrologiques soient mesurés sur une période suffisamment longue (au minimum 30 ans) afin qu'ils soient bien représentatifs du processus étudié. Cela permet également de s'appuyer sur une période historique de référence adéquate pour la comparer avec le futur et observer un signal de changement.

## Extrêmes hydrologiques et changements climatiques

Les extrêmes hydrologiques correspondent aux débits de crues et d'étiages, c'est-à-dire les moments où les débits sont respectivement les plus forts et les plus faibles. Bien connaître ces extrêmes est important dans le domaine de la gestion de l'eau, car ils sont davantage associés à des situations génératrices de risque, comme les inondations et les sécheresses.

Or, si les projections hydroclimatiques sont utiles pour dégager des tendances sur les débits plus fréquents de récurrence de 2 ans (probabilité au dépassement de 50 % chaque année) ou de 5 ans (20 %), le signal de changement est plus incertain lors de la projection des extrêmes hydrologiques, comme des récurrences de 100 et de 350 ans. En effet, la rareté de ces événements hydrologiques nécessite de très longues périodes de données d'observations pour faire des analyses statistiques fiables. Comme seulement 30 ans sont utilisés dans l'Atlas, il est nécessaire d'utiliser des modèles statistiques pour extrapoler les valeurs des événements rares. Plus cette extrapolation est grande, plus l'incertitude augmente.



**Figure 24.** Cartes de la projection de la direction du débit maximal de récurrence de 2 ans et de 350 ans en hiver et au printemps à l'horizon 2040-2070 pour le scénario RCP 8.5, illustrant la différence de consensus entre deux récurrences dans un même contexte de projection climatique

Comme illustré à la **Figure 24**, le signal de changement est généralement plus consensuel lorsqu'on projette une crue de récurrence de 2 ans, par rapport à une crue de récurrence de 350 ans, qui est un événement hydrologique extrême.

Il est important de mentionner que les projections des modèles climatiques pour les changements dans l'intensité des précipitations et la fréquence des événements extrêmes sont moins fiables, mis à part le signal probable du changement attendu (Khaliq, 2019). Cela touche plus particulièrement les petits bassins versants, plus sensibles aux événements plus courts et intenses, et les indicateurs de crues estivales et automnales.

En conclusion, il est possible de considérer les tendances projetées des extrêmes hydrologiques, mais il est important d'apprécier l'incertitude qui accompagne ces projections, car elle varie également en fonction des différentes facettes des extrêmes du régime hydrologique d'une rivière.

## 5.2 Les petits bassins versants, les rivières influencées et le nord du Québec

La méthodologie de modélisation et les données employées pour concevoir l'Atlas hydroclimatique comportent une marge d'erreur tolérable pour certains contextes hydrologiques, mais moins pour d'autres. Les bassins versants de grande taille du Québec méridional et peu influencés par les modifications anthropiques du débit y sont bien représentés, tandis que les petits bassins versants (moins de 50 km<sup>2</sup>), ceux situés au nord de la zone de gestion intégrée de l'eau par bassin versant et ceux dont le débit est trop influencé par les activités humaines ne sont pas diffusés dans l'Atlas hydroclimatique.

Pour les petits bassins versants, les dynamiques hydrologiques qui caractérisent le régime des crues s'opèrent à une résolution trop fine pour que la chaîne de modélisation puisse adéquatement produire des simulations et générer des valeurs fiables.

Si certains bassins versants sont trop petits pour être modélisés, d'autres cours d'eau sont assez grands, mais sont trop influencés par les activités humaines qui modifient le débit. Par exemple, les opérations de barrages impliquent souvent une trop grande modification du régime d'écoulement naturel du bassin versant pour qu'il puisse être représenté dans les simulations avec fiabilité. Cela n'exclut pas nécessairement tous les cours d'eau d'un bassin versant, mais seulement les cours d'eau fortement influencés.

Par exemple, la rivière Saint-Maurice n'est pas modélisée dans l'Atlas, à cause des nombreux barrages hydroélectriques dans le chenal principal, mais plusieurs autres cours d'eau dans le bassin versant y sont représentés. Les îles de Montréal et Laval ne sont pas modélisées, car il s'agit d'une hydrologie urbaine, ce qui dépasse le cadre de l'Atlas. Les rivières des Outaouais, des Mille Îles et des Prairies, ainsi que le fleuve Saint-Laurent, ne sont pas modélisées dans l'Atlas en raison de la complexité de ce système hautement influencé et qui tire sa source dans les Grands Lacs, dépassant largement les frontières du Québec.

Finalement, les bassins versants situés au nord de la zone de gestion intégrée de l'eau par bassin versant (ZGIEBV) ne sont pas intégrés dans l'Atlas hydroclimatique, notamment parce que les données d'observations sont insuffisantes pour pouvoir construire un portrait des débits historiques ou produire des projections pour des indicateurs hydrologiques selon une approche similaire à celle des bassins versants du Québec méridional.

## 5.3 Que faire si je ne trouve pas de données en climat futur pour un tronçon de rivière?

Bien que l'Atlas propose une plus grande couverture spatiale que sa dernière édition en 2018, les données pour un certain nombre de cours d'eau et de tronçons de rivières ne sont pas diffusées. Cela est particulièrement vrai pour les plus petits bassins versants et pour les régions situées au nord de la ZGIEBV. En l'absence de données en climat futur pour un tronçon de rivière dans l'Atlas, il y a d'autres options pour obtenir de l'information.

D'abord, il existe plusieurs tronçons apparaissant en gris dans l'Atlas qui ont été simulés, mais pour lesquels le niveau de confiance était trop faible pour qu'ils soient présentés dans l'outil en ligne. Cependant, il demeure possible de contacter l'équipe de l'Atlas pour vérifier si les données sont disponibles pour le ou les tronçons de rivière souhaités et d'en faire la demande.

Si aucune donnée n'a été simulée pour un tronçon de rivière, on peut faire une approximation de la direction du changement et de l'ampleur en observant les tronçons simulés autour du point d'intérêt. Selon la région d'intérêt, il est également possible d'utiliser d'autres jeux de données qui ont été produits dans le cadre

d'autres travaux scientifiques. Pour les régions au nord, il peut être utile de consulter [l'article de Guay et collab.](#) ou ce [rapport](#) réalisé par Ouranos, Hydro-Québec et le MELCCFP pour le ministère des Transports du Québec (MTQ). Pour ce qui est des bassins versants de plus petite taille, il est important de souligner que l'hydrologie est généralement explorée d'une manière complètement différente, par exemple à l'aide de la méthode rationnelle pour les crues (MELCCFP, s.d.) De manière générale, il sera nécessaire de produire une analyse spécifique au contexte hydrologique dans le cas des petits bassins versants. Le chapitre suivant (« [Ressources complémentaires](#) ») propose aussi plusieurs documents et jeux de données qui permettent d'aller plus loin.

## 5.4 Perspectives d'amélioration et de développement de l'Atlas et ses outils d'accompagnement

Pour que l'Atlas hydroclimatique demeure un outil qui soit adapté aux besoins des utilisateurs et qui rend disponibles les données les plus à jour, des améliorations y sont apportées en continu.

Le MELCCFP invite donc les utilisateurs à émettre des commentaires ou recommandations portant sur l'interface Web ou la méthodologie de conception de l'Atlas et les outils d'accompagnement (guide, présentation, etc.). La prochaine version de l'Atlas pourra ainsi bénéficier de la rétroaction de sa communauté d'utilisateurs.

**Pour nous joindre :**

[atlas.hydroclimatique@environnement.gouv.qc.ca](mailto:atlas.hydroclimatique@environnement.gouv.qc.ca)

## Chapitre 6. Ressources complémentaires

Les lecteurs intéressés à approfondir leurs connaissances autour des sujets abordés dans ce guide ou souhaitant accéder à des jeux de données complémentaires peuvent consulter les ressources suivantes (liste non exhaustive).

**Tableau 6.** Suggestions de ressources complémentaires

Thème	Ressource	Description
Données climatiques	Portraits climatiques d'Ouranos	<b>Type</b> : Atlas interactif et jeu de données <b>Résumé</b> : Plateforme présentant de l'information climatique pour la province de Québec. Les portraits climatiques d'Ouranos visent à faciliter la visualisation des changements climatiques, à sensibiliser les différents acteurs et à appuyer l'adaptation sur le territoire québécois. <b>Lien</b> : <a href="https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques">https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques</a>
	Portail donneesclimatiques.ca	<b>Type</b> : Atlas interactif et jeu de données <b>Résumé</b> : Le portail vise à appuyer les décideurs situés partout au Canada et œuvrant dans un large éventail de secteurs en leur fournissant les données climatiques les plus à jour dans des formats et des visualisations conviviaux pour l'ensemble du territoire canadien. Il est réalisé par plusieurs organismes travaillant en collaboration (Environnement et Changement climatique Canada, Ouranos, etc.). <b>Lien</b> : <a href="https://donneesclimatiques.ca/">https://donneesclimatiques.ca/</a>
	Atlas interactif de l'IPCC	<b>Type</b> : Atlas interactif <b>Résumé</b> : Outil de visualisation des données climatiques utilisées par le GIEC (IPCC), pour l'ensemble de la planète. Permet notamment d'explorer l'incertitude des variables climatiques et de comparer les différents ensembles. <b>Lien</b> : <a href="https://interactive-atlas.ipcc.ch/">https://interactive-atlas.ipcc.ch/</a>
	<i>Guide sur les scénarios climatiques</i>	<b>Type</b> : Guide <b>Résumé</b> : Guide produit par Ouranos pour faciliter la compréhension de l'information climatique pour la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation. <b>Lien</b> : <a href="https://www.ouranos.ca/fr">https://www.ouranos.ca/fr</a>

Tableau 6. Suggestions de ressources complémentaires (suite)

Thème	Ressource	Description
Hydrologie et changements climatiques	<i>An Inventory of Methods for Estimating Climate Change-Informed Design Water Levels for Floodplain Mapping</i>	<p><b>Type</b> : Guide (en anglais seulement)  <b>Résumé</b> : Guide produit par le Conseil national de recherches Canada (CNRC). Présente un inventaire des méthodes pour la prise en compte des changements climatiques lors de la cartographie des zones inondables. Le Guide propose notamment des méthodes pour les cas non couverts par l'Atlas (hydrologie urbaine, milieu côtier, etc.).  <b>Lien</b> : <a href="https://doi.org/10.4224/40001231">https://doi.org/10.4224/40001231</a></p>
	NAC <sup>2</sup> H : The North American Climate Change and Hydroclimatology Data Set	<p><b>Type</b> : Article et base de données hydroclimatiques (en anglais seulement)  <b>Résumé</b> : Cet ensemble de données contient des données hydroclimatiques pour 3 540 bassins versants jaugés en Amérique du Nord. Il peut être utile pour évaluer l'incertitude de diverses composantes de la chaîne d'étude d'impact, pour établir des relations entre les propriétés du bassin versant et la réponse hydrologique aux changements climatiques et pour évaluer la distribution spatiale du changement hydrologique selon une multitude d'indices hydrologiques.  <b>Lien</b> : <a href="https://doi.org/10.1029/2020WR027097">https://doi.org/10.1029/2020WR027097</a> (article)  <a href="http://doi.org/10.17605/OSF.IO/S97CD">http://doi.org/10.17605/OSF.IO/S97CD</a> (jeu de données)</p>
Impacts des changements climatiques et adaptation	<i>Vers l'adaptation – Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec.</i> Édition 2015	<p><b>Type</b> : Rapport  <b>Résumé</b> : Rapport produit par Ouranos synthétisant les connaissances sur les changements climatiques au Québec.  <b>Lien</b> :  Partie 1 : <a href="https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie1.pdf">https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie1.pdf</a>  Partie 2 : <a href="https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie2.pdf">https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie2.pdf</a>  Partie 3 : <a href="https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie3.pdf">https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie3.pdf</a></p>
	Chapitre 2, « Québec », dans <i>Le Canada dans un climat en changement – Le rapport sur les Perspectives régionales</i>	<p><b>Type</b> : Rapport  <b>Résumé</b> : Ce chapitre présente les nouvelles connaissances en matière d'impacts et d'adaptation aux changements climatiques et les résultats des recherches publiées depuis la dernière édition de la <i>Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec</i> d'Ouranos (2015).  <b>Lien</b> : <a href="https://changingclimate.ca/regional-perspectives/fr/chapitre/2-0/">https://changingclimate.ca/regional-perspectives/fr/chapitre/2-0/</a></p>

**Tableau 6.** Suggestions de ressources complémentaires (suite)

Thème	Ressource	Description
Impacts des changements climatiques et adaptation	Atlas climatique du Canada	<p><b>Type :</b> Atlas interactif</p> <p><b>Résumé :</b> L'Atlas climatique du Canada est un outil interactif pour les citoyens, les chercheurs, les entreprises, les collectivités et les dirigeants politiques pour approfondir leurs savoirs au sujet des changements climatiques au Canada. Il combine la science climatique, la cartographie, la vidéographie et le conte d'histoire pour aborder les changements climatiques. Il est conçu par le Prairie Climate Centre.</p> <p><b>Lien :</b> <a href="https://atlasclimatique.ca/">https://atlasclimatique.ca/</a></p>
	Les changements climatiques et l'évaluation environnementale : Guide à l'intention de l'initiateur de projet	<p><b>Type :</b> Guide</p> <p><b>Résumé :</b> Le guide vise à outiller les initiateurs de projet dans la prise en compte des changements climatiques, en décrivant comment ces derniers doivent être considérés dans l'élaboration et l'analyse environnementale d'un projet.</p> <p><b>Lien :</b> <a href="https://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/directive-etude-impact/guide-intention-initiateur-projet.pdf">https://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/directive-etude-impact/guide-intention-initiateur-projet.pdf</a></p>

## Bibliographie

Alberti-Dufort, A., Bourduas Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C. et Ouranos (2022). Québec, chapitre 2, « Québec », dans *Le Canada dans un climat en changement – Le rapport sur les Perspectives régionales*, (éd.) F.J. Warren, N. Lulham, D. Dupuis et D.S. Lemmen; Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). [En ligne], <https://changingclimate.ca/regional-perspectives/fr/chapitre/2-0/>.

Charron, I. (2016). *Guide sur les scénarios climatiques – Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation* – Édition 2016. Ouranos, 94 p.

Fournier, R., Poulin, M., Revéret, J. P., Rousseau, A. N., & Théau, J. (2013). Outils d'analyses hydrologique, économique et spatiale des services écologiques procurés par les milieux humides des basses terres du Saint-Laurent: adaptations aux changements climatiques. Rapport final pour Ouranos. [En ligne], <https://espace.inrs.ca/id/eprint/2409/1/R001543.pdf>.

Fortin, J. P., Turcotte, R., Massicotte, S., Moussa, R. et Fitzback, J. (2001). "A Distributed Watershed Model Compatible with Remote Sensing and GIS Data. Part 1: Description of the Model". *Journal of Hydrologic Engineering* – ASCE, 6(2), 91-99.

Guay, C., Minville, M. et Braun, M. (2015). "A global portrait of hydrological changes at the 2050 horizon for the province of Québec". *Canadian Water Resources Journal*, 40(3), 285-302 [En ligne], <https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1043583>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1585 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). "Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [En ligne], [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf).

Khaliq, M. N. (2019). *An inventory of methods for estimating climate change-informed design water levels for floodplain mapping* (No 978-0-660-30536-3; Technical Report (National Research Council of Canada. Ocean, Coastal and River Engineering); No. NRC-OCRE-2019-TR-011). National Research Council of Canada. Ocean, Coastal and River Engineering. <https://doi.org/10.4224/40001231>.

Lachance-Cloutier, S., Turcotte, R. et Cyr, J. F. (2017). "Combining streamflow observations and hydrologic simulations for the retrospective estimation of daily streamflow for ungauged rivers in southern Quebec (Canada)". *Journal of Hydrology*, 550, 294-306.

Mailhot, A., Beaugard, I., Talbot, G., Caya, D. et Biner, S. (2012) "Future changes in intense precipitation over Canada assessed from multi-model NARCCAP ensemble simulations". *International Journal of Climatology*, 32, 1151-1163.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (s.d.). *Glossaire. Expertise hydrique et barrages*, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. Consulté le 30 mars 2022 [En ligne], <https://www.cehq.gouv.qc.ca/glossaire.htm>.

Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) (s.d.). *Lignes directrices pour l'estimation des débits de crue sur le territoire québécois*. Consulté le 30 septembre 2022 [En ligne], <https://www.cehq.gouv.qc.ca/debits-crues/methodes-estimation.htm#5-methodes>.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2021). *Les changements climatiques et l'évaluation environnementale – Guide à l'intention de l'initiateur de projet*, [En ligne], [www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/directive-etude-impact/guide-intention-initiateur-projet.pdf](http://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/directive-etude-impact/guide-intention-initiateur-projet.pdf).

Monette, A., Sushama, L., Khaliq, M. N., Laprise, R. et Roy, R. (2012). “Projected changes to precipitation extremes for northeast Canadian watersheds using a multi-RCM ensemble”. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 117, 1-15.

Ouranos (2015). « Partie 1 : Évolution climatique du Québec » dans *Vers l'adaptation – Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* – Édition 2015. [En ligne], <https://ouranos.ca/wp-content/uploads/SynthesePartie1.pdf>.

Ouranos (2020). *Foire aux questions : Les inondations*. [En ligne], <https://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/FAQ-Inondations.pdf>.

Ouranos (2021). *Portraits climatiques*. Consulté le 30 mars 2022 [En ligne], [https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques#/.](https://www.ouranos.ca/fr/portraits-climatiques#/)

Sillmann, J., Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X. et Bronaugh, D. (2013). “Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections”. *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 118, 2473-2493.

Taylor, K.E., Stouffer, R.J. et Meehl, G.A. (2012). “An Overview of CMIP5 and the Experiment Design”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 485-498.

Tremblay, H. (2016). *La gestion des conflits d'usage relatifs aux ressources en eau par le droit dans un contexte de variabilité hydrologique*. Centre de recherche en droit public, Faculté de droit, Université de Montréal. [En ligne], <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/proj-201419-ge-tremblay-rapportfinal.pdf>.



**Environnement,  
Lutte contre  
les changements  
climatiques,  
Faune et Parcs**

**Québec** 