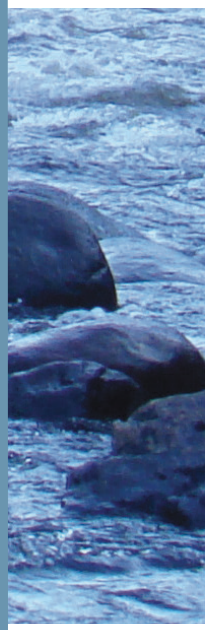
Atlas hydroclimatique du Québec méridional

Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050

2015





Québec

Pour information

Centre d'expertise hydrique du Québec
Ministère du Développement durable, de l'Environnement
et de la Lutte contre les changements climatiques
675, boulevard René-Lévesque Est, Québec (Québec) G1R 5V7
Aile Louis-Alexandre-Taschereau, 4e étage, boîte 28
Téléphone : 418 521-3993
Télécopieur : 418 643-6900
Courriel : cehq@mddelcc.gouv.qc.ca
Site Internet : www.cehq.gouv.qc.ca

Notice bibliographique recommandée

Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ). Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050. Québec, 2015, 81 p.

Photo de la couverture

Grégory Reuchet

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015
ISBN : 978-2-550-72996-9 (imprimé)
ISBN : 978-2-550-72964-8 (pdf)
© Gouvernement du Québec, 2015

Équipe de réalisation

Simon Lachance-Cloutier, ing., M. Sc.
Philippe Noël, ing., M. Sc.
Simon Ricard, ing., M. Sc.
Richard Turcotte, ing., Ph. D.

Collaboration

Marco Braun, Ph. D., Ouranos
Blaise Gauvin St-Denis, M. Sc., Ouranos
Yves Rochon, M. Sc.
Jean-François Cyr, ing., M. Sc.
Frédéric Côté
Éric Levasseur
Stéphanie Beauregard

Comité scientifique

François Brissette, Ph. D., ing., professeur, École de technologie supérieure
Diane Chaumont, M. Sc., chef du groupe Scénarios et services climatiques, Ouranos
Alain Maillot, Ph. D., professeur, Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau, Terre et Environnement
Alain N. Rousseau, Ph. D., ing., professeur, Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau, Terre et Environnement
René Roy, Ph. D., directeur de la Programmation scientifique, Ouranos

Communications et conception graphique

Anne-Sophie Cauchon
Caroline Châteauvert
Sophie-Anne Tremblay

Révision linguistique

Carole Pâquet
Jacinthe Morency

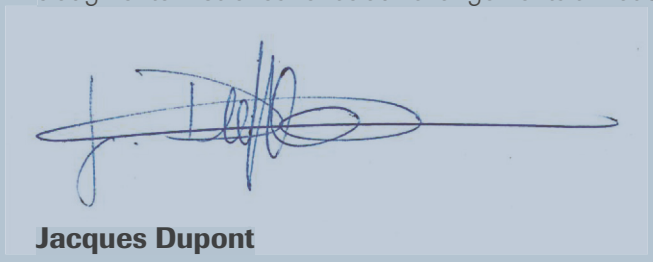
Mot du sous-ministre adjoint

L'eau est une richesse inestimable à protéger, et encore plus aujourd'hui, dans le contexte où les changements climatiques ont et auront des impacts à la fois sur la quantité et la qualité de l'eau disponible et sur ses usages. Produite dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques, l'édition 2015 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional présente un portrait clair et accessible de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources hydriques à l'horizon 2050.

Je tiens à souligner le travail et l'expertise de tous ceux et celles qui ont contribué à la mise à jour 2015 de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional du Centre d'expertise hydrique du Québec. L'Atlas intègre désormais la Gaspésie, la Côte-Nord et une portion de la Jamésie, couvrant ainsi l'ensemble des zones de gestion intégrée des ressources en eau définies en 2009 par le Ministère. Il est aussi l'une des premières publications à intégrer la plus récente génération de simulations du climat « Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 » (CMIP5) réalisée sous l'égide du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) rendue disponible au Québec grâce au travail du consortium Ouranos.

Depuis le printemps 2014, un comité scientifique oriente le développement et l'amélioration des pratiques de modélisation nécessaires à la production des projections hydrologiques sur lesquelles s'appuie l'information présentée dans ce document. Même si les grands messages demeurent, des nuances se précisent quant à la quantification du signal, ainsi qu'à sa localisation sur le territoire.

Au Québec, comme dans bien d'autres États dans le monde, les changements climatiques soulèvent la question de la capacité de nos sociétés à faire face à un accroissement des problèmes liés à la gestion de l'eau. Grâce à l'Atlas, les différents acteurs impliqués dans la gestion de l'eau au Québec disposeront de projections hydroclimatiques crédibles afin d'orienter, de planifier et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation aux changements climatiques. Ensemble, nous pourrons identifier les meilleures mesures à mettre en place afin d'augmenter notre résilience aux changements climatiques, et ainsi assurer notre avenir et celui de nos enfants.



Jacques Dupont
Sous-ministre adjoint à l'eau, à l'expertise et aux évaluations environnementales
Juin 2015

Sommaire pour décideurs

Le Québec dispose d'importantes ressources en eau desquelles dépendent des écosystèmes variés et de nombreuses activités humaines. Cette dépendance exige une gestion appropriée de la ressource afin de répondre adéquatement aux différentes problématiques associées aux manques et aux excédents d'eau. Lors des périodes d'étiage, la faible disponibilité de la ressource compromet divers usages comme l'alimentation en eau, la navigation et la production d'énergie. À l'opposé, la surabondance d'eau lors de crues épisodiques peut être à l'origine d'inondations et de problèmes d'érosion. Des enjeux supplémentaires découlent également du lien étroit entre les quantités d'eau disponibles et les diverses problématiques associées à la qualité des eaux. Il est certain que les changements climatiques auront un impact sur le régime hydrique du Québec méridional, amplifiant les défis associés à la gestion 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 cet impact.

À l'horizon 2050, les principales tendances pour le Québec méridional sont les suivantes :

Tendances à l'horizon 2050	Niveau de confiance
Les crues printanières seront plus hâtives.	Élevé
Le volume des crues printanières diminuera au sud du Québec méridional.	Modéré
La pointe des crues printanières sera moins élevée au sud du Québec méridional.	Modéré
La pointe des crues estivales et automnales sera plus élevée sur une large portion du Québec méridional.	Modéré
Les étiages estivaux seront plus sévères et plus longs.	Élevé
Les étiages hivernaux seront moins sévères.	Élevé
L'hydraulicité hivernale sera plus forte.	Élevé
L'hydraulicité estivale sera plus faible.	Élevé
L'hydraulicité à l'échelle annuelle sera plus forte au nord du Québec méridional et plus faible au sud.	Modéré

Glossaire

Modélisation du climat	
CMIP5	« Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 ». Le plus récent ensemble de simulations climatiques réalisé sous la direction du Working Group on Coupled Modelling (WGCM) et soutenant la rédaction du 5e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Cet ensemble a été réalisé à partir de différents modèles climatiques et pour différents RCP (« Representative concentrating pathways »).
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 ». Trajectoire de forçage radiatif. Remplace les scénarios de gaz à effet de serre du Special Report on Emission Scenario pour les simulations climatiques dans le cadre du CMIP5.
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.
Crue	Période de fort débit.
Étiage	Période de faible débit.
Hydraulicité	Valeur moyenne de débits sur de longue période (mois, saison, année).
Modèle hydrologique	Représentation numérique des processus hydrologiques.
Pointe de crue	Valeur maximale de débit observée lors d'une crue.
Projection hydrologique	Débits simulés correspondant aux conditions climatiques définies par un scénario climatique.
Québec méridional	Fait référence au Québec hydrologique méridional, un territoire de 726 000 km^2 couvrant 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 ainsi que d'une portion de l'Abitibi-Jamésie.
Récurrence	Moyenne à long terme du temps de retour statistique d'un événement hydrologique donné.
Volume	Quantité d'eau transportée par un cours d'eau sur une période donnée.

Analyse du changement	
Ampleur	Valeur médiane des changements estimés.
Changement	Écart, exprimé en valeur relative, entre un indicateur hydrologique estimé sur une période de référence et une période future.
Direction du changement	Proportion des projections hydrologiques anticipant une augmentation (ou une diminution) d'un indicateur donné.
Dispersion	Pour une valeur d'ampleur donnée, intervalle qui inclut la moitié des valeurs de changement estimées.
Horizon 2050	Période future allant de 2041 à 2070.
Indicateur hydrologique	Expression mathématique quantifiant une composante du régime hydrique.
Niveau de confiance	Appréciation, fondée sur un jugement d'expert, de la valeur d'une information.
Observation de référence	Valeur d'un indicateur hydrologique calculée à partir de mesures de débit sur une période de référence.

Table des matières

Mise en contexte 1

Les nouveautés 3

Usage et limitations 5

Projections hydrologiques 7

Éléments méthodologiques 65

Références bibliographiques 79

Remerciements 81



Photo : Mario Bolduc

Mise en contexte

L'Atlas hydroclimatique présente une synthèse de l'état des connaissances décrivant l'impact attendu des changements climatiques sur le régime hydrique du Québec méridional. Ce document s'adresse d'abord aux professionnels du domaine des ressources hydriques et vise à soutenir la planification et la mise en œuvre de l'adaptation aux changements climatiques. L'information présentée est basée sur des projections hydrologiques produites selon des pratiques de modélisation largement reconnues par la communauté scientifique. L'analyse du signal de changement s'effectue sur la base d'un indicateur hydrologique, c'est-à-dire une expression mathématique quantifiant une composante du régime hydrique.

L'édition 2015 de l'Atlas est la première d'une série de mises à jour intégrant les plus récentes avancées issues de la recherche en modélisation hydroclimatique. Le point de départ de cette démarche a été le lancement de la première édition de l'Atlas en mars 2013. Depuis le printemps 2014, un comité scientifique oriente le développement et l'amélioration des pratiques de modélisation nécessaires à la production de l'Atlas. Au cours des prochaines années, le Centre d'expertise hydrique du Québec poursuivra son effort d'exploration et de mise à jour afin d'élargir et de renforcer la portée de ses analyses d'impacts sur le régime hydrique.

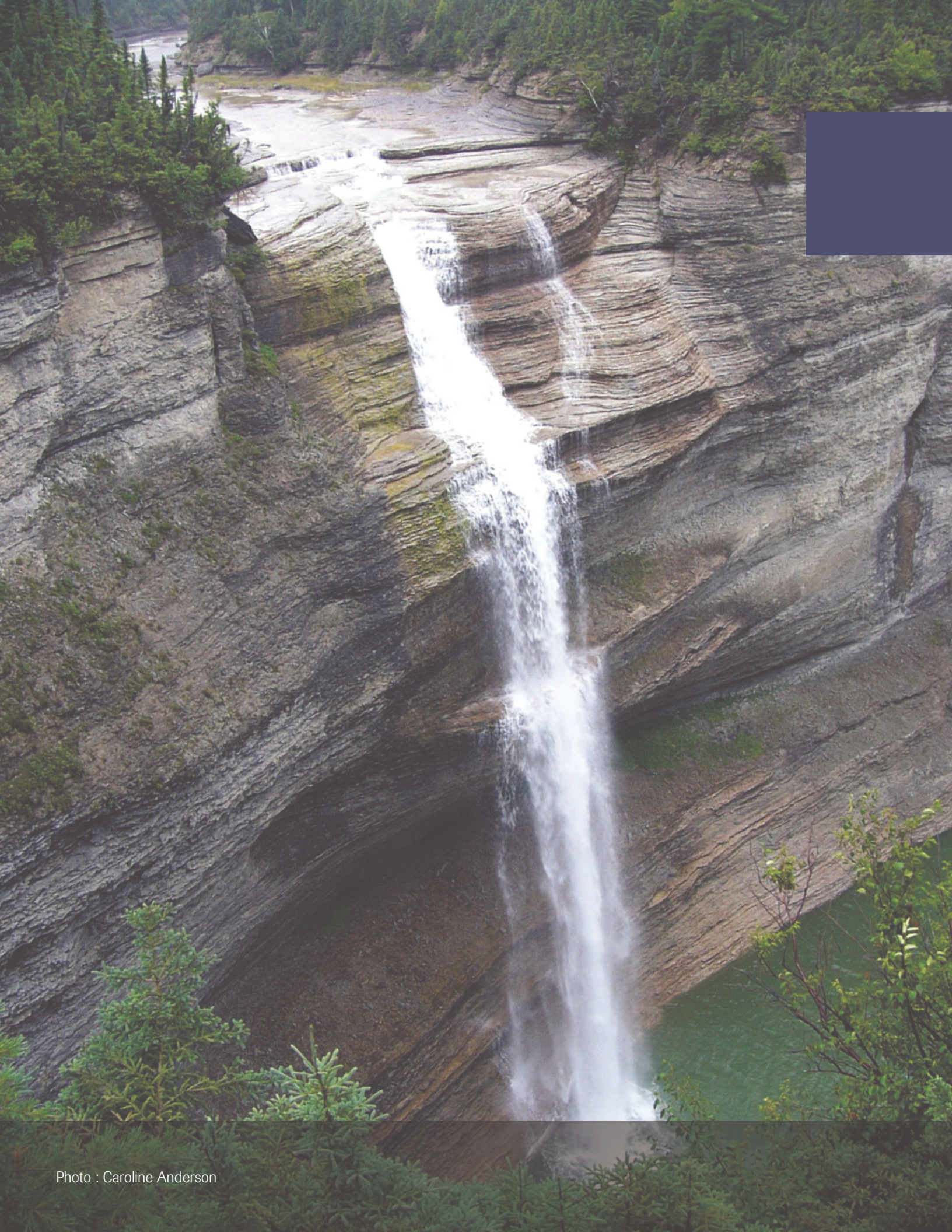


Photo : Caroline Anderson

Les nouveautés

L'édition 2015 de l'Atlas comprend deux principales nouveautés. La première nouveauté concerne l'expansion territoriale et la capacité de modélisation. La plateforme de modélisation intègre désormais la Gaspésie, la Côte-Nord et une portion de la Jamésie. Le territoire modélisé correspond ainsi au territoire de gestion intégrée des ressources en eau définies en 2009 par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques[1]. La capacité de la plateforme de modélisation hydrologique à simuler les étiages a également été améliorée.

La seconde nouveauté est l'utilisation des simulations climatiques issues de CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) adoptées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). L'évolution future des gaz à effet de serre (GES) est dorénavant considérée sous l'angle des trajectoires de forçage atmosphérique nommées RCP (« Representative concentration pathways »). Deux RCP ont été retenues pour la production de l'Atlas 2015, le RCP4.5 et le RCP8.5. Le RCP4.5 est considéré comme un scénario « optimiste » associé à des mesures de plafonnement des émissions qui permettent de limiter, à l'horizon 2100, les forçages radiatifs causés par les changements climatiques à un peu plus du double des forçages actuels. Le RCP8.5 est décrit quant à lui comme un scénario « pessimiste », mais plausible et représentatif de l'invariance des comportements actuels en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Il suppose des forçages radiatifs à l'horizon 2100 équivalant à environ quatre fois les forçages actuels. Pour chaque indicateur hydrologique, l'ampleur du changement est présentée de manière distincte pour les RCP4.5 et RCP8.5. Le lecteur pourra noter que ces deux trajectoires induisent des impacts similaires sur le régime hydrique à l'horizon 2050. Cela exprime le caractère inévitable des impacts anticipés à l'horizon 2050 indépendamment de l'effort de mitigation des GES. Les différences entre les RCP4.5 et les RCP8.5 deviennent significatives plutôt vers 2100.

1 [En ligne] [http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/gire-bassins-versants.htm].



Photo : Julie Gendron

Usage et limitations

L'information présentée dans l'Atlas vise à appuyer des démarches d'adaptation dans le domaine des ressources hydriques. Les principaux constats sont essentiellement les mêmes que ceux présentés dans l'édition 2013 de l'Atlas. Ce document demeure scientifiquement valide et complémentaire à la présente mise à jour. Les nouveautés présentées précédemment permettent toutefois de préciser ces constats et d'apprécier davantage la confiance accordée aux différents signaux de changement hydrologique.

L'usage de l'information présentée dans l'Atlas doit être conditionnel à une interprétation adéquate des limites méthodologiques suivantes :

- Les projections hydrologiques sont localisées aux sites d'une sélection de stations hydrométriques du Québec méridional.
- Les projections hydrologiques se limitent au régime naturel d'écoulement en surface des cours d'eau et ne peuvent être généralisées à des bassins versants d'une superficie inférieure à 500 km^2 et supérieure à 20 000 km^2.
- Les projections hydrologiques ne considèrent pas l'effet local découlant de l'opération de barrages sur le signal de changement.
- Les projections climatiques excluent les scénarios dits « marginaux » et se limitent à un sous-ensemble de simulations issues du CMIP5.

Selon le degré de complexité d'une problématique d'intérêt, l'évaluation précise de l'impact des changements climatiques peut requérir des analyses détaillées dépassant le cadre du présent ouvrage. Néanmoins, tout acteur du domaine de l'eau pourra trouver dans l'Atlas les informations de base lui permettant d'entamer une réflexion vers l'adaptation aux changements climatiques. Le lecteur désirant une compréhension plus approfondie est invité à prendre connaissance de l'information présentée à la section « Principaux éléments méthodologiques ». Le rapport technique *Plateforme de modélisation hydrologique du Québec méridional* (CEHQ, 2014) décrit plus largement les pratiques de modélisation mises en œuvre pour la production de l'Atlas.



Photo : Elaine Lacroix

Projections hydrologiques

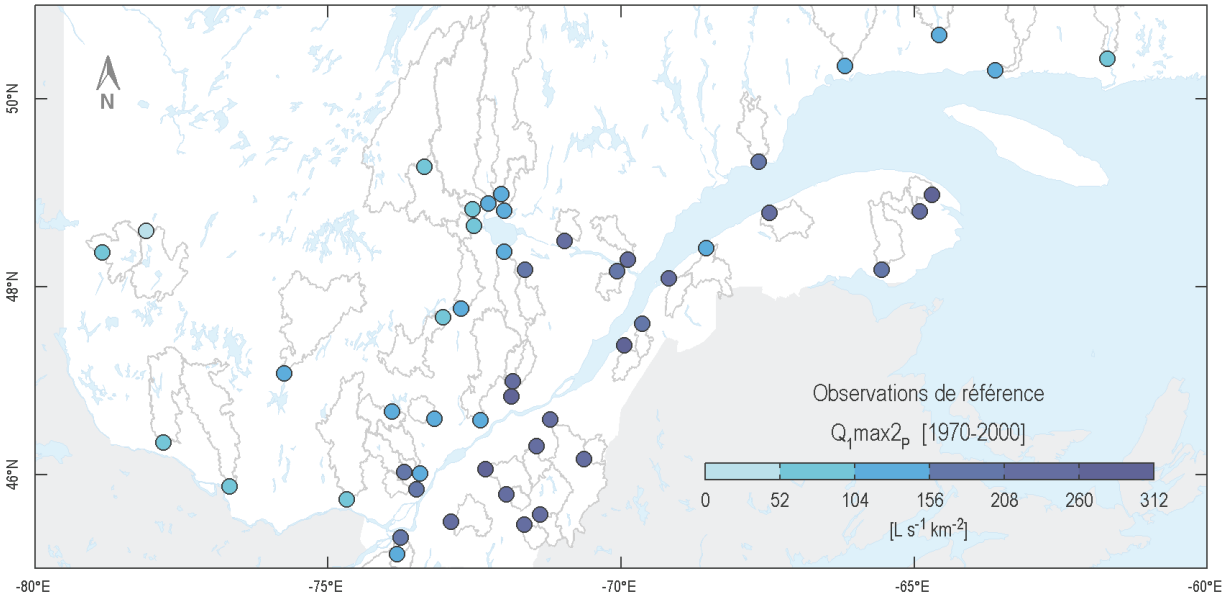
Tableau 1: Indicateurs hydrologiques*

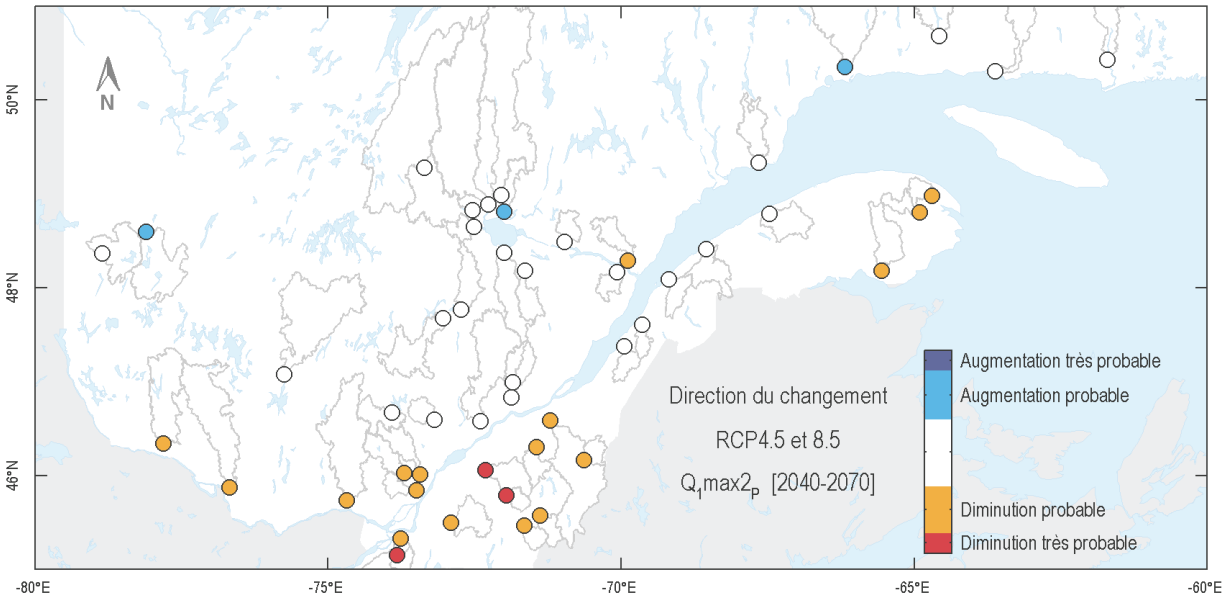
Phénomène hydrologique	Question	Indicateur	Description	Pages
Crues printanières	À l'horizon 2050, la pointe des crues printanières sera-t-elle plus élevée?	Q_1max2_P	Débit journalier [Q_1] maximal annuel [max] de récurrence de 2 ans [2] au printemps [P]	8-9
		Q_1max20_P	Débit journalier [Q_1] maximal annuel [max] de récurrence de 20 ans [20] au printemps [P]	10-11
	À l'horizon 2050, le volume des crues printanières sera-t-il plus fort?	$Q_{14}max2_P$	Débit moyen sur 14 jours [Q_{14}] maximal annuel [max] de récurrence de 2 ans [2] au printemps [P]	12-13
		$Q_{14}max20_P$	Débit moyen sur 14 jours [Q_{14}] maximal annuel [max] de récurrence de 20 ans [20] au printemps [P]	14-15
	À l'horizon 2050, les crues printanières seront-elles plus hâtives?	$J[Q_1max_P]$	Jour d'occurrence moyen [J] du débit journalier [Q_1] maximal annuel [max] au printemps [P]	16-17
Crues estivales et automnales	À l'horizon 2050, la pointe des crues estivales et automnales sera-t-elle plus élevée?	Q_1max2_{EA}	Débit journalier [Q_1] maximal annuel [max] de récurrence de 2 ans [2] à l'été et à l'automne [EA]	18-19
		Q_1max20_{EA}	Débit journalier [Q_1] maximal annuel [max] de récurrence de 20 ans [20] à l'été et à l'automne [EA]	20-21
Étiages hivernaux	À l'horizon 2050, les étiages hivernaux seront-ils plus sévères?	Q_7min2_H	Débit moyen sur 7 jours [Q_7] minimal annuel [min] de récurrence de 2 ans [2] à l'hiver [H]	22-23
		Q_7min10_H	Débit moyen sur 7 jours [Q_7] minimal annuel [min] de récurrence de 10 ans [10] à l'hiver [H]	24-25
		$Q_{30}min5_H$	Débit moyen sur 30 jours [Q_{30}] minimal annuel [min] de récurrence de 5 ans [5] à l'hiver [H]	26-27
Étiages estivaux	À l'horizon 2050, les étiages estivaux seront-ils plus sévères?	Q_7min2_E	Débit moyen sur 7 jours [Q_7] minimal annuel [min] de récurrence de 2 ans [2] à l'été [E]	28-29
		Q_7min10_E	Débit moyen sur 7 jours [Q_7] minimal annuel [min] de récurrence de 10 ans [10] à l'été [E]	30-31
		$Q_{30}min5_E$	Débit moyen sur 30 jours [Q_{30}] minimal annuel [min] de récurrence de 5 ans [5] à l'été [E]	32-33
Hydraulicité	À l'horizon 2050, l'hydraulicité sera-t-elle modifiée?	Qmoy	Débit moyen [Qmoy] annuel	34-35
		$Qmoy_{HP}$	Débit moyen [Qmoy] sur la période hiver-printemps [HP]	36-37
		$Qmoy_{EA}$	Débit moyen [Qmoy] sur la période été-automne [EA]	38-39
		$Qmoy_{1-12}$	Débit moyen [Qmoy] mensuel pour les différents mois de l'année [1-12]	40-63

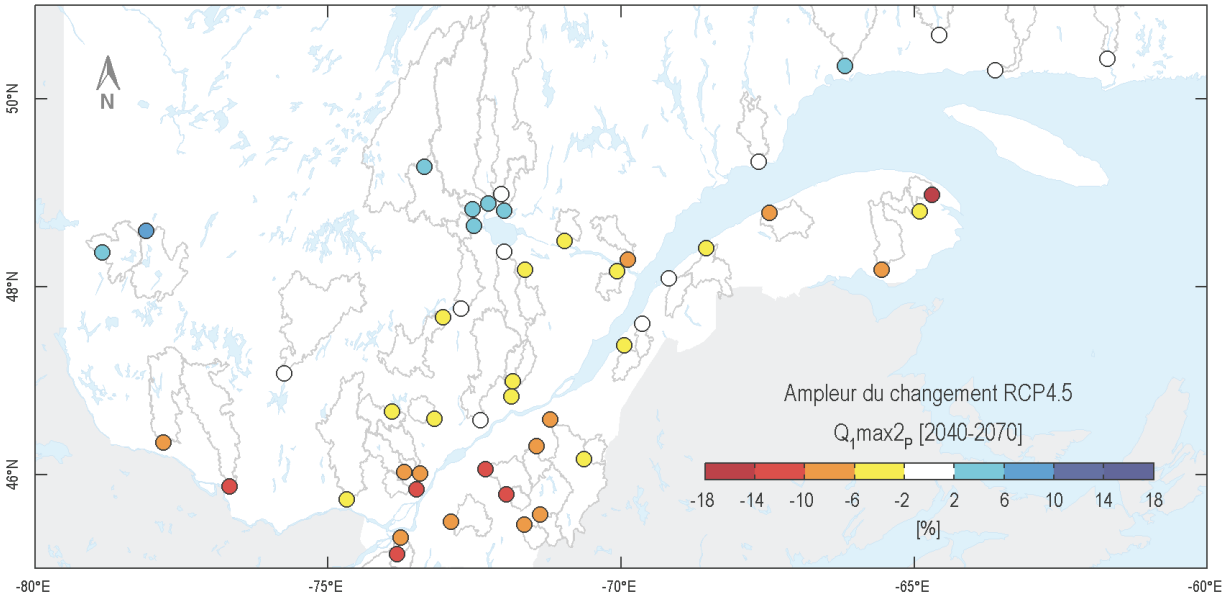
* Le lecteur non familier avec les notions liées aux indicateurs hydrologiques (direction, ampleur et dispersion) est invité à consulter la section « Signal de changement » aux pages 74 et 75.

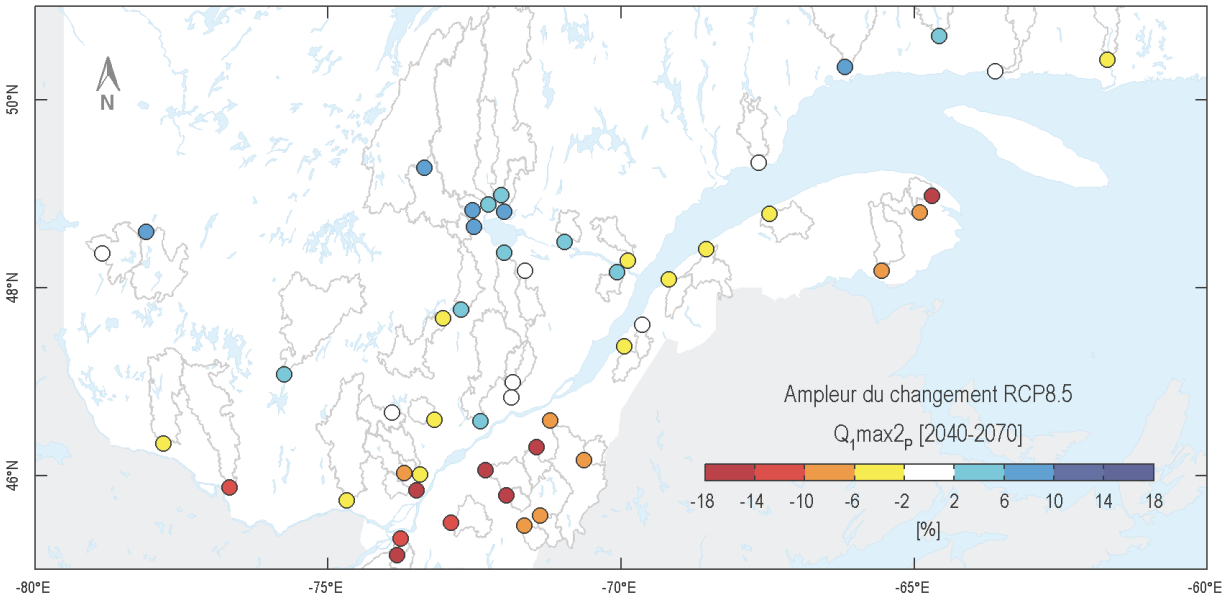
Pointe des crues printanières

Débit journalier, récurrence 2 ans





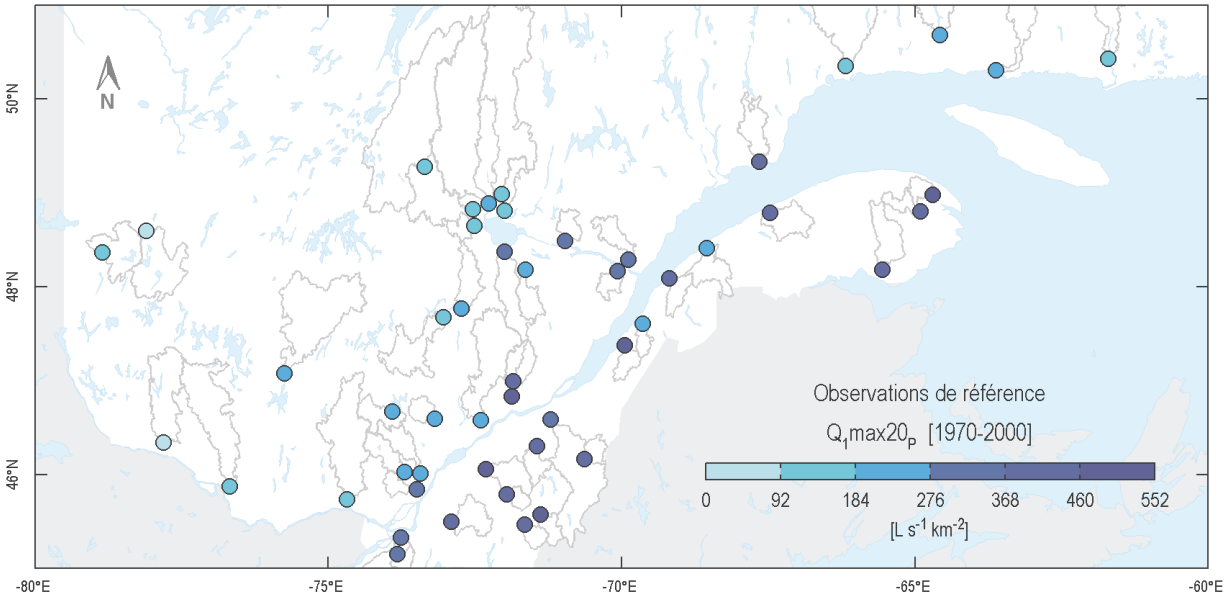


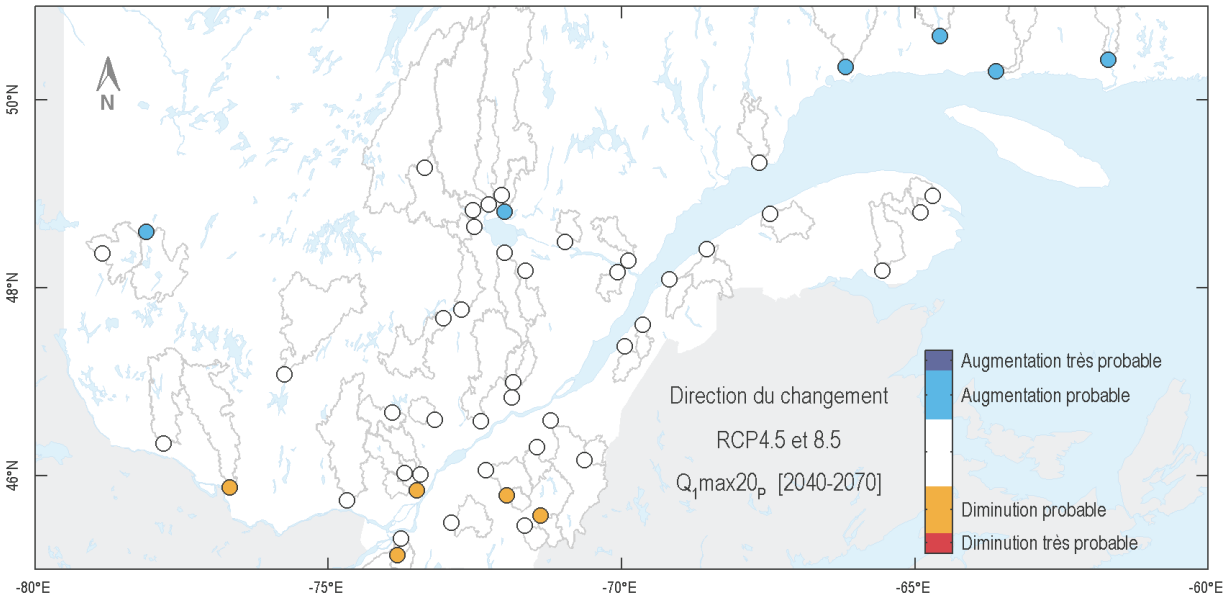


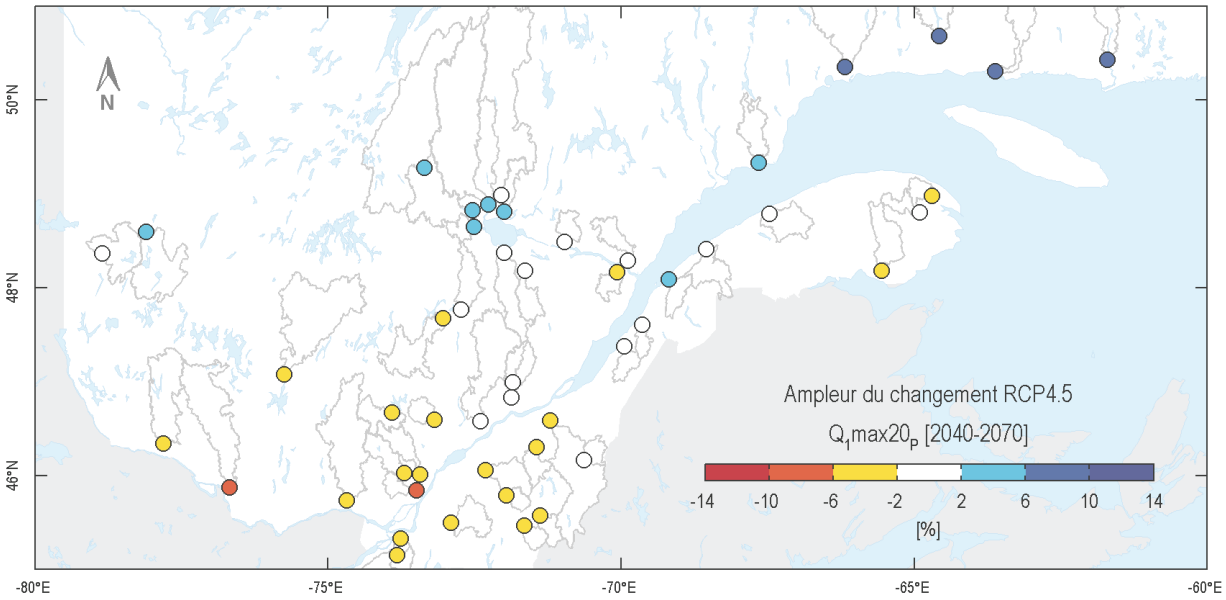
L'indicateur hydrologique Q_1max2_p correspond au débit de pointe des crues de récurrence de 2 ans au printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du Q_1max2_p sur le sud du Québec méridional et en Gaspésie, de l'ordre de - 5 à - 15 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 20 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable du Q_1max2_p sur quelques sites au nord de l'Outaouais, au Saguenay et sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 5 à + 10 %. La dispersion est estimée à ± 7 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement et limité pour l'ampleur et la dispersion.

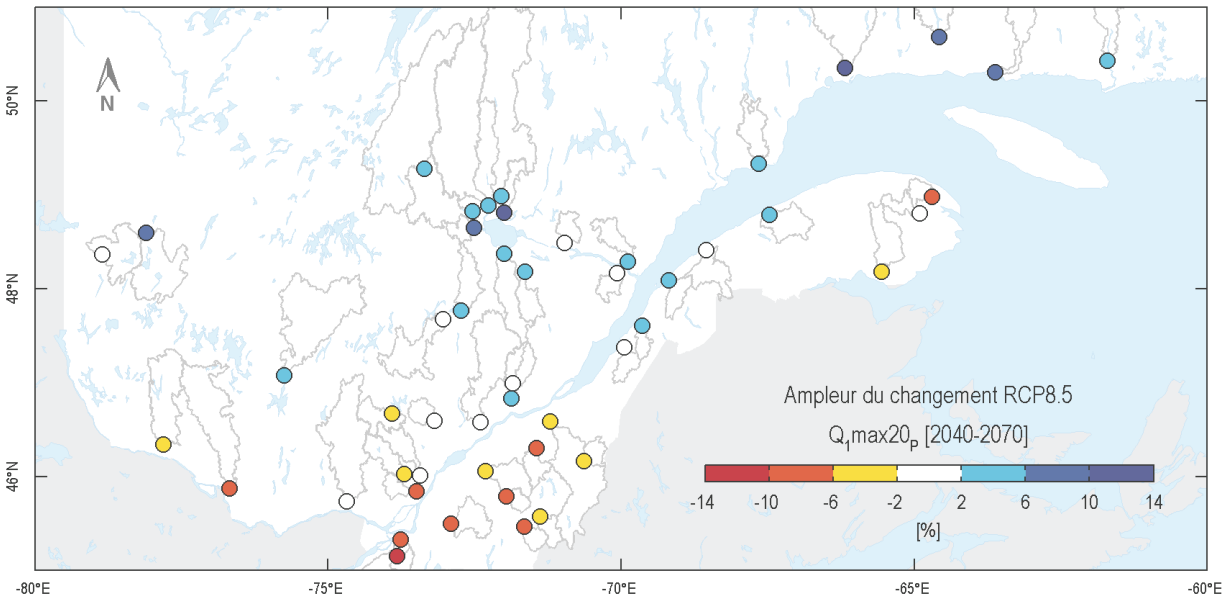
Pointe des crues printanières

Débit journalier, récurrence 20 ans





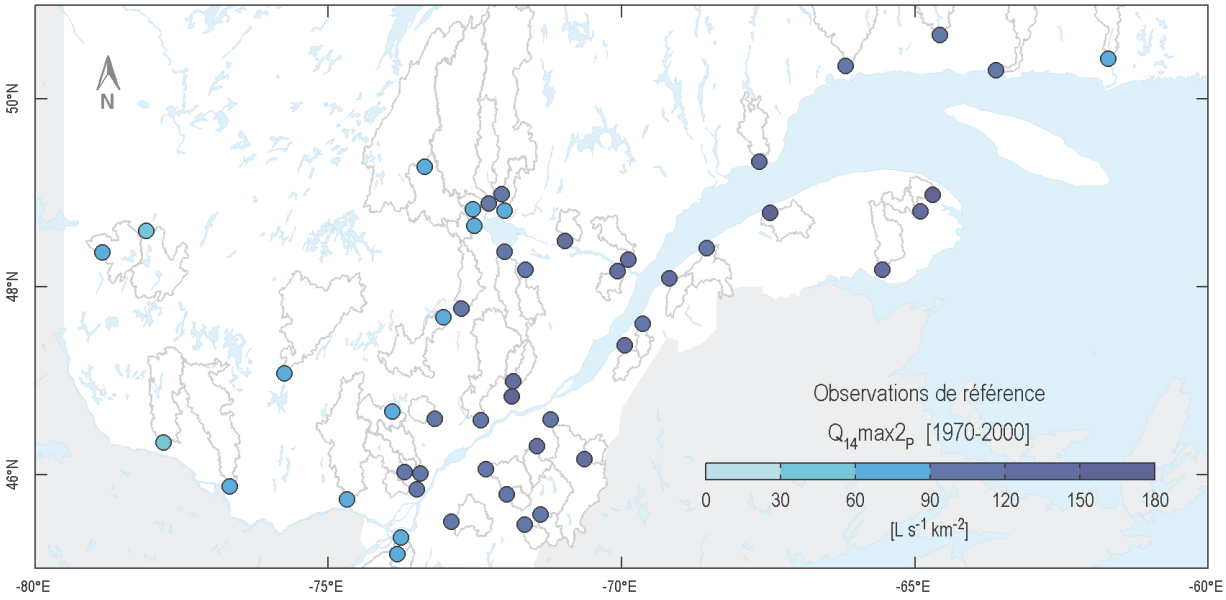


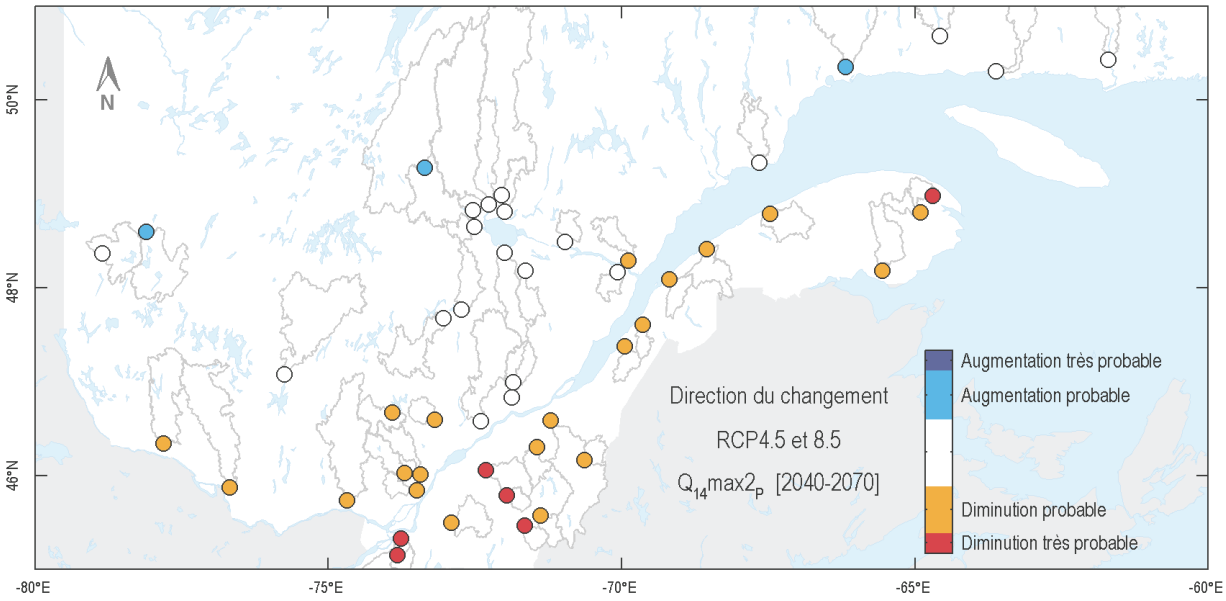


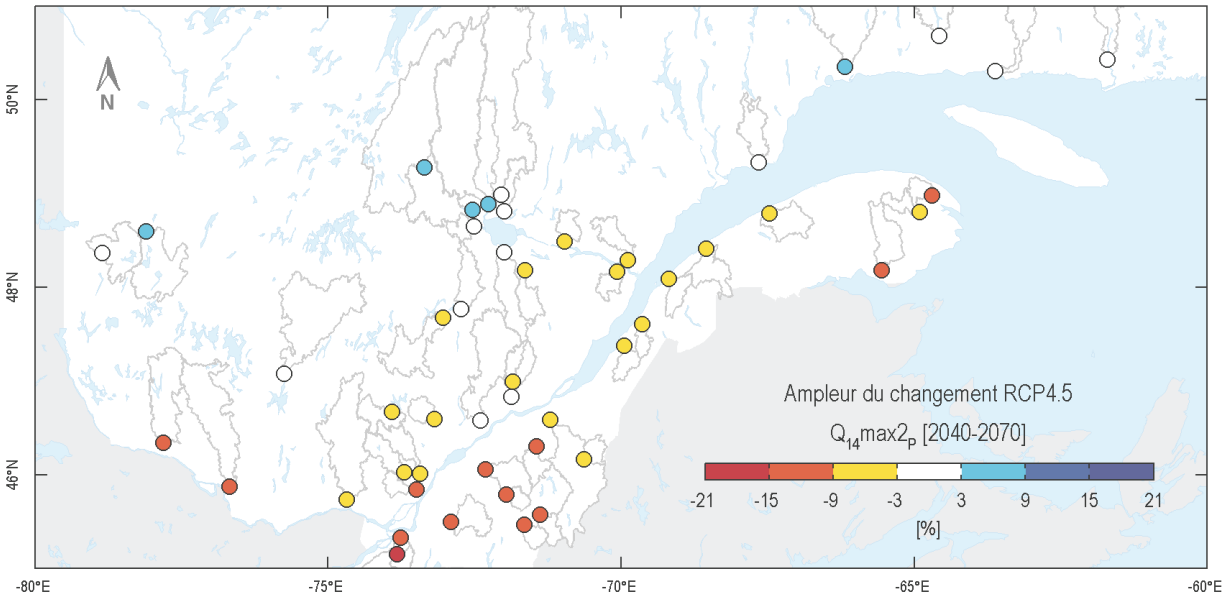
L'indicateur hydrologique Q_1max20_P correspond au débit de pointe des crues de récurrence de 20 ans au printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable du Q_1max20_P sur l'extrême sud du Québec méridional, de l'ordre de - 5 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 15 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable du Q_1max20_P sur quelques sites au nord de l'Outaouais, au Saguenay et sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 10 % à + 15 %. La dispersion est estimée à ± 9 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

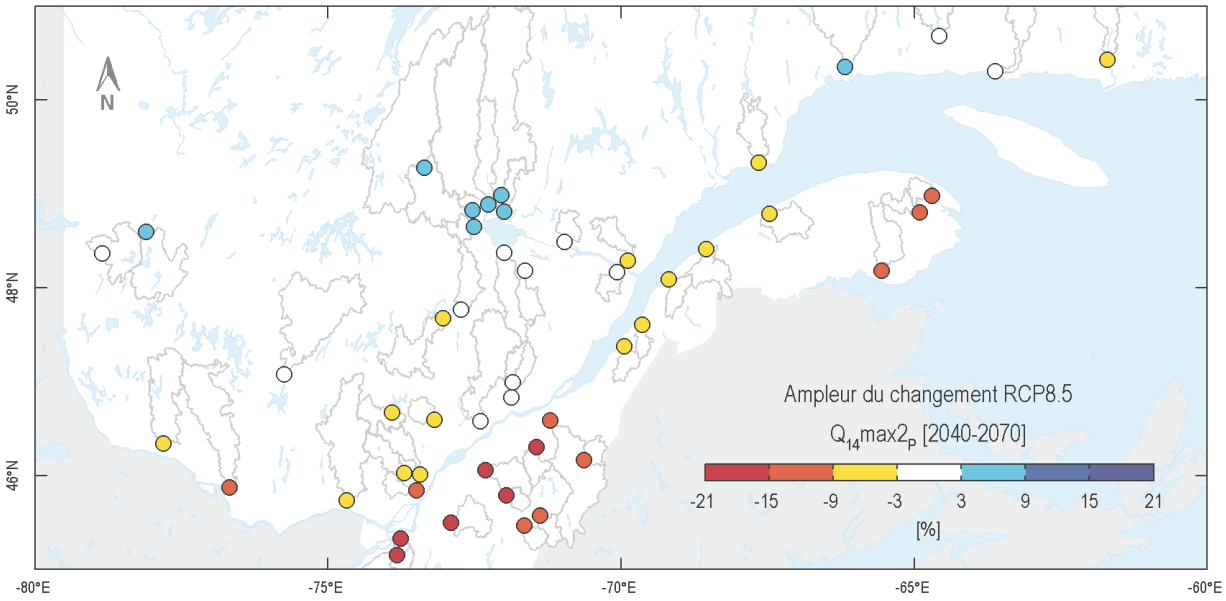
Volume des crues printanières

Débit moyen sur 14 jours, récurrence 2 ans





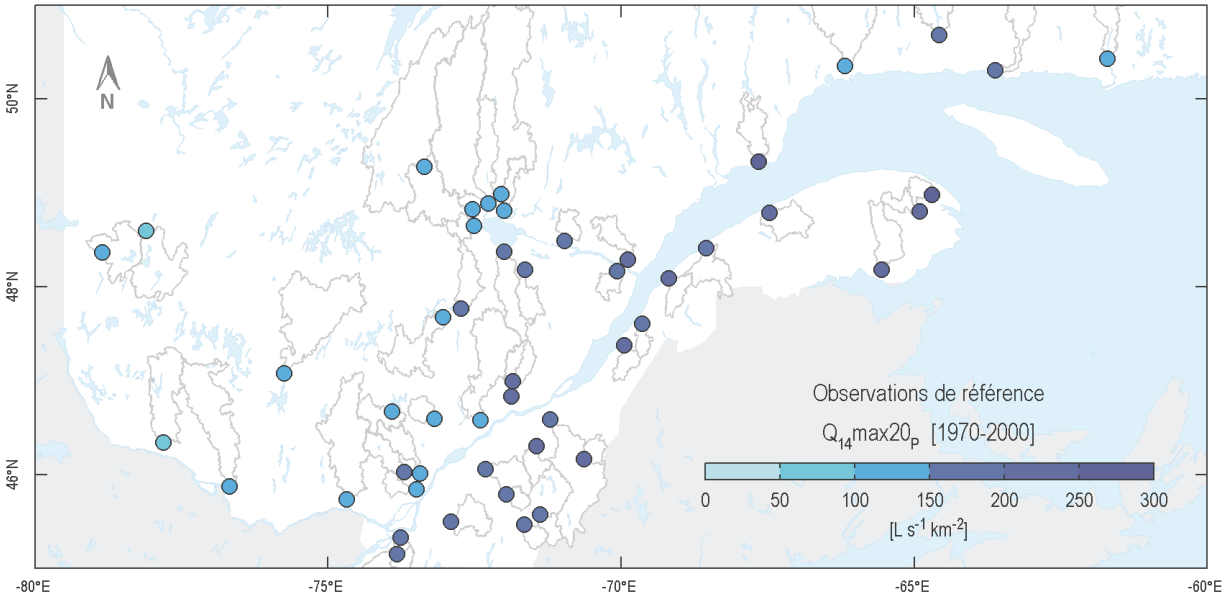


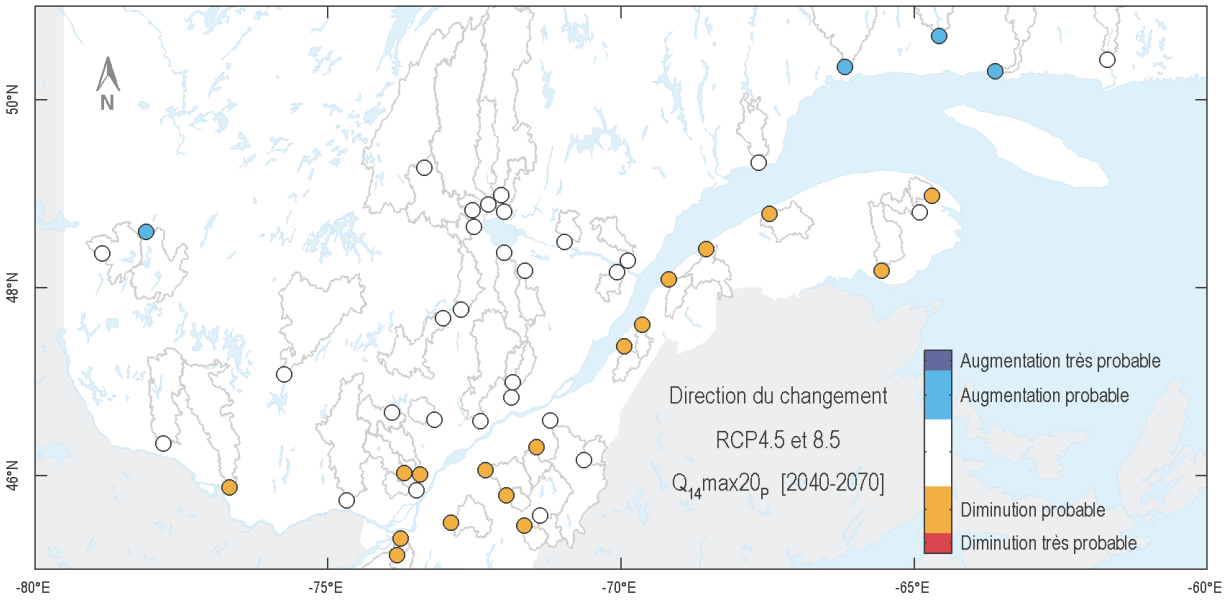


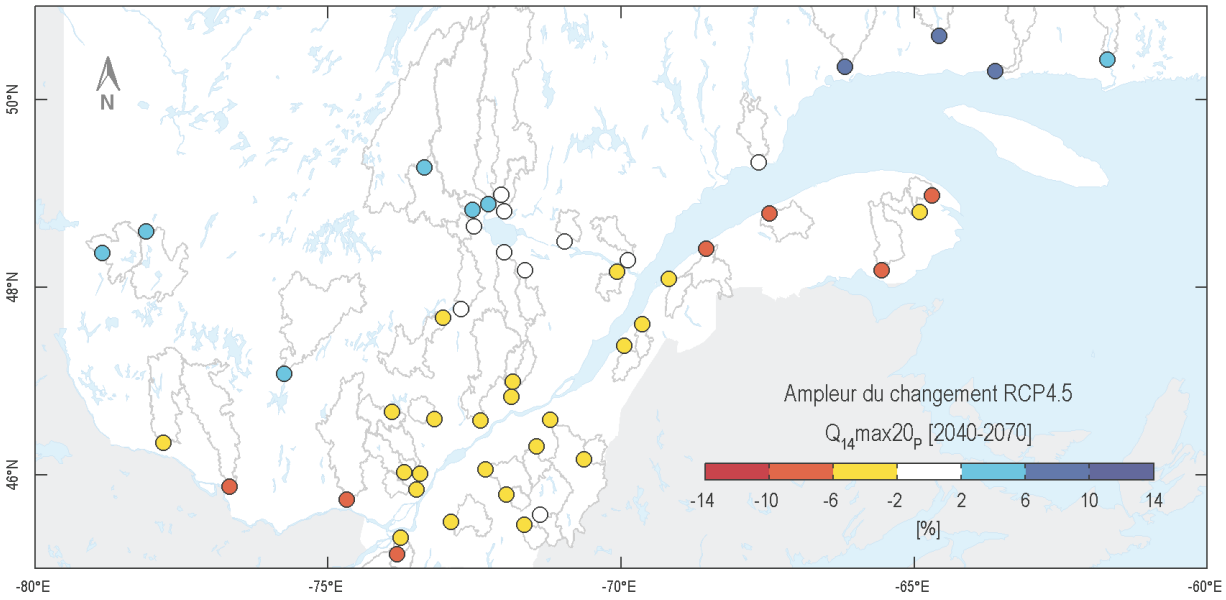
L'indicateur hydrologique $Q_{14}max2_p$ donne une indication du volume des crues de récurrence de 2 ans au printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du $Q_{14}max2_p$ sur le sud du Québec méridional et en Gaspésie, de l'ordre de - 5 à - 15 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 20 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable du $Q_{14}max2_p$ sur quelques sites au nord de l'Outaouais, au Saguenay et sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 5 à + 10 %. La dispersion est estimée à ± 7 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

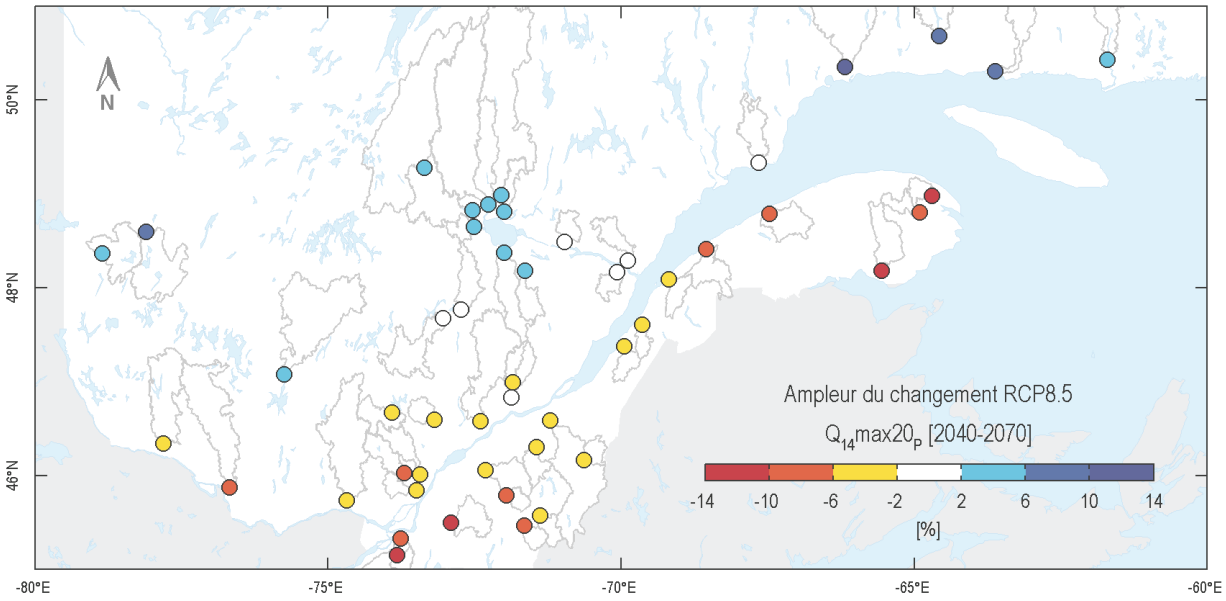
Volume des crues printanières

Débit moyen sur 14 jours, récurrence 20 ans



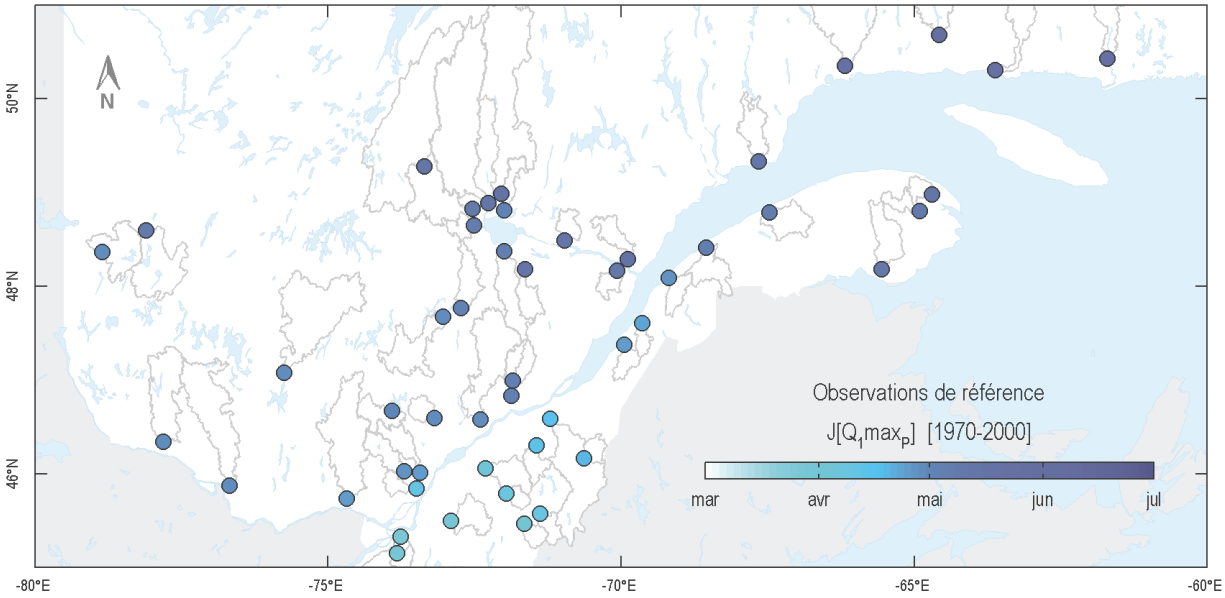


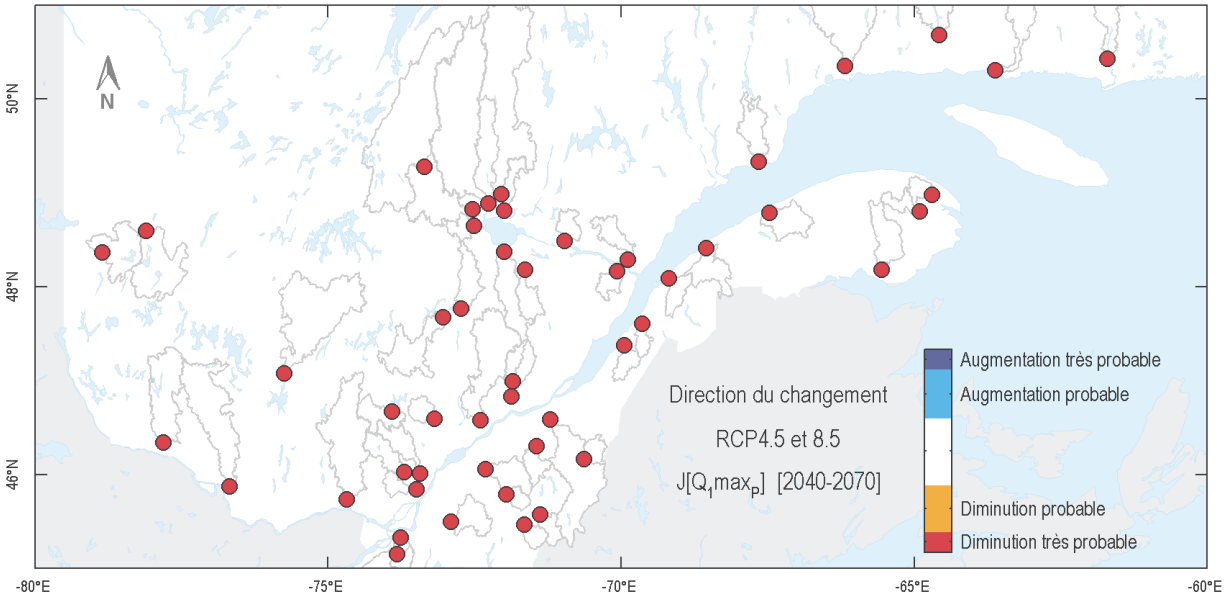


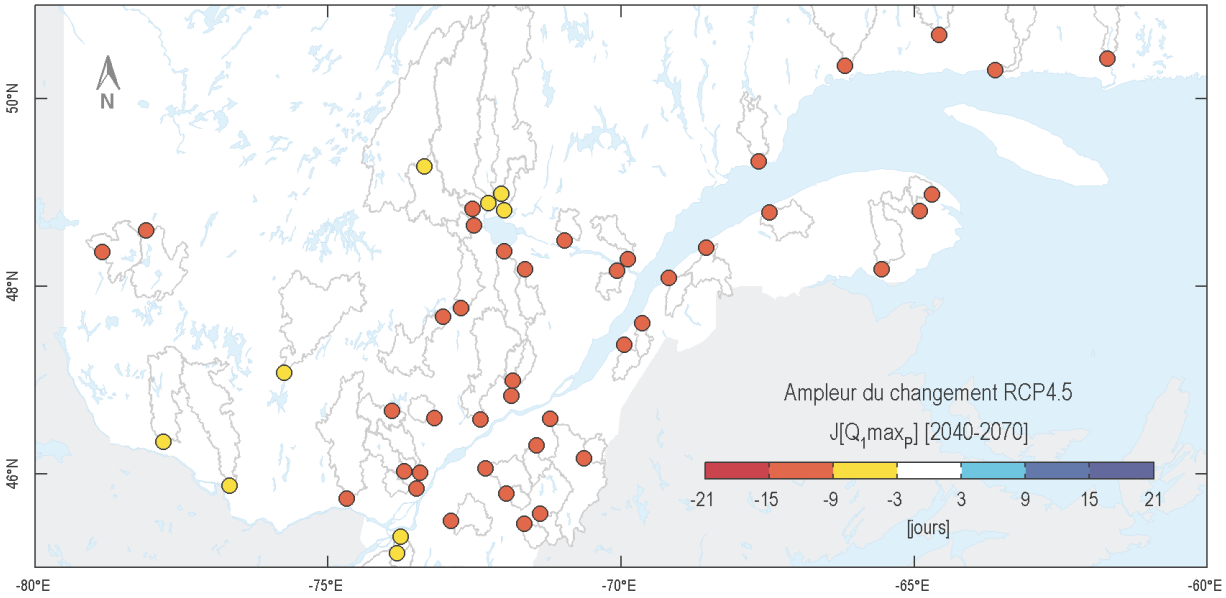


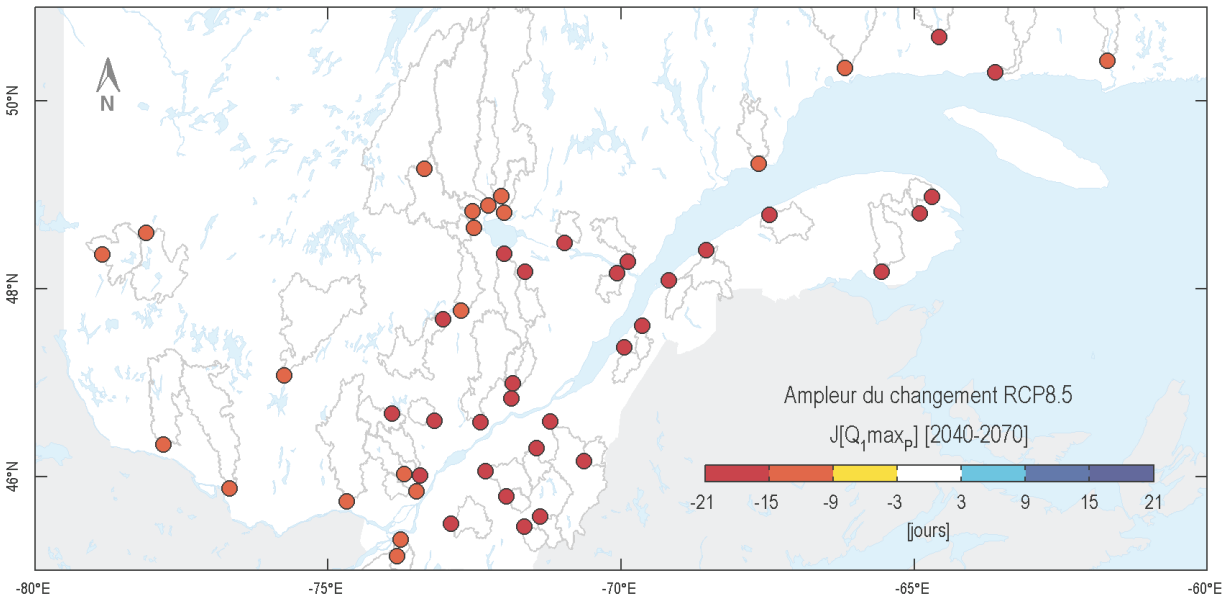
L'indicateur hydrologique $Q_{14}max20_P$ donne une indication du volume des crues de récurrence de 20 ans au printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable du $Q_{14}max20_P$ sur le sud de la province et en Gaspésie, de l'ordre de - 5 à - 10 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 15 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable du $Q_{14}max20_P$ de l'ordre de + 8 % sur quelques sites au nord de l'Outaouais et sur la Côte-Nord. La dispersion est estimée à ± 10 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

Occurrence des crues printanières





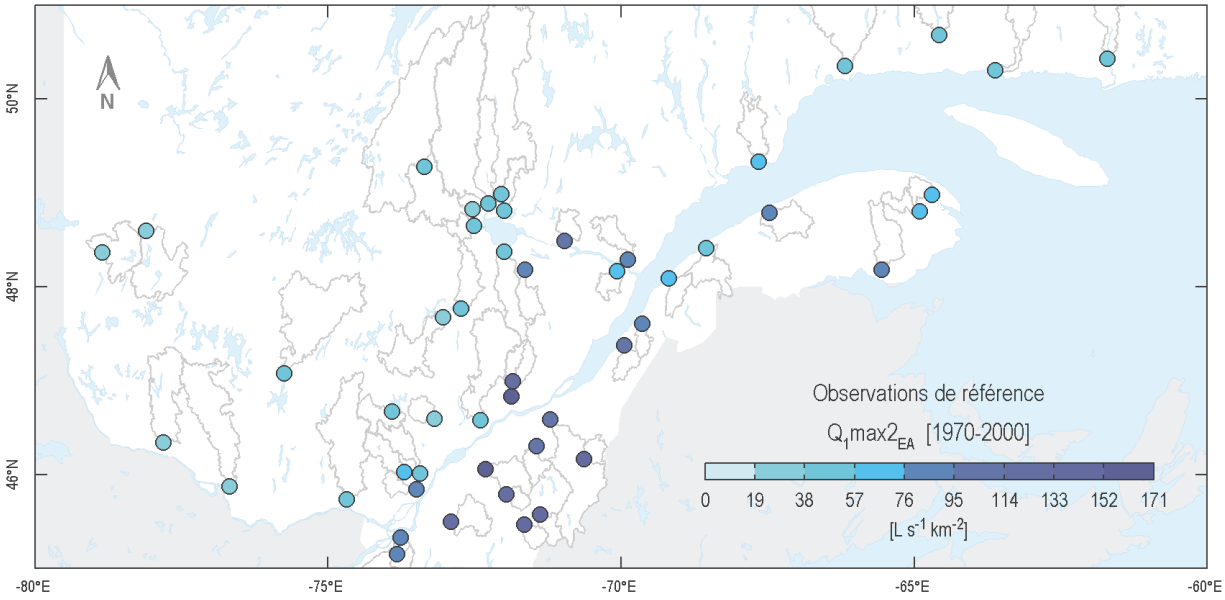


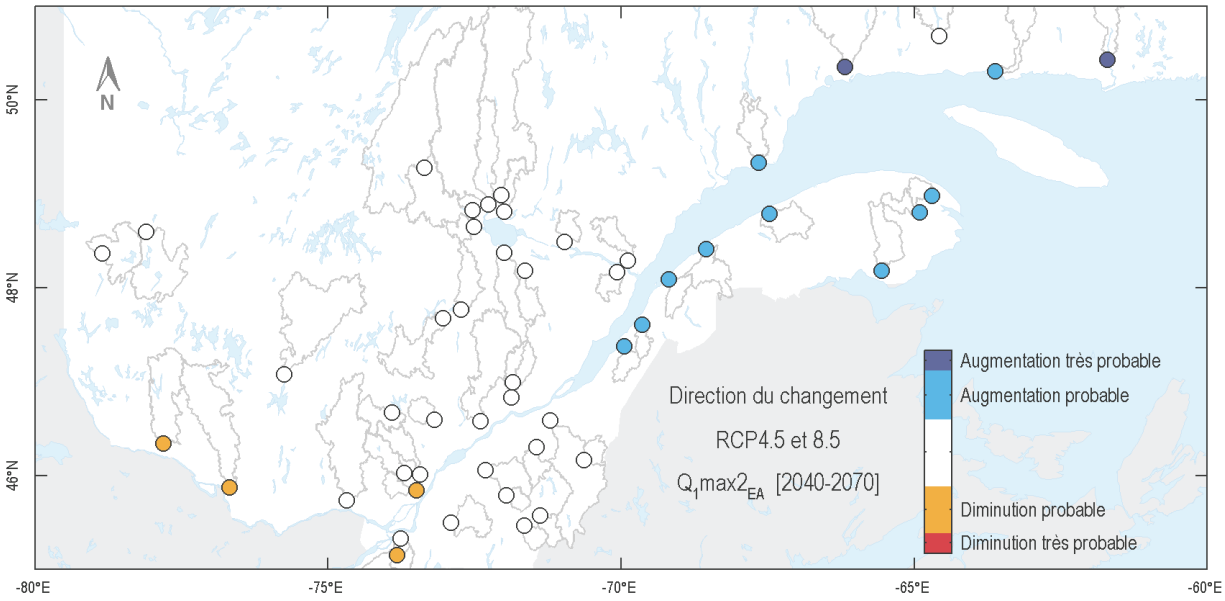


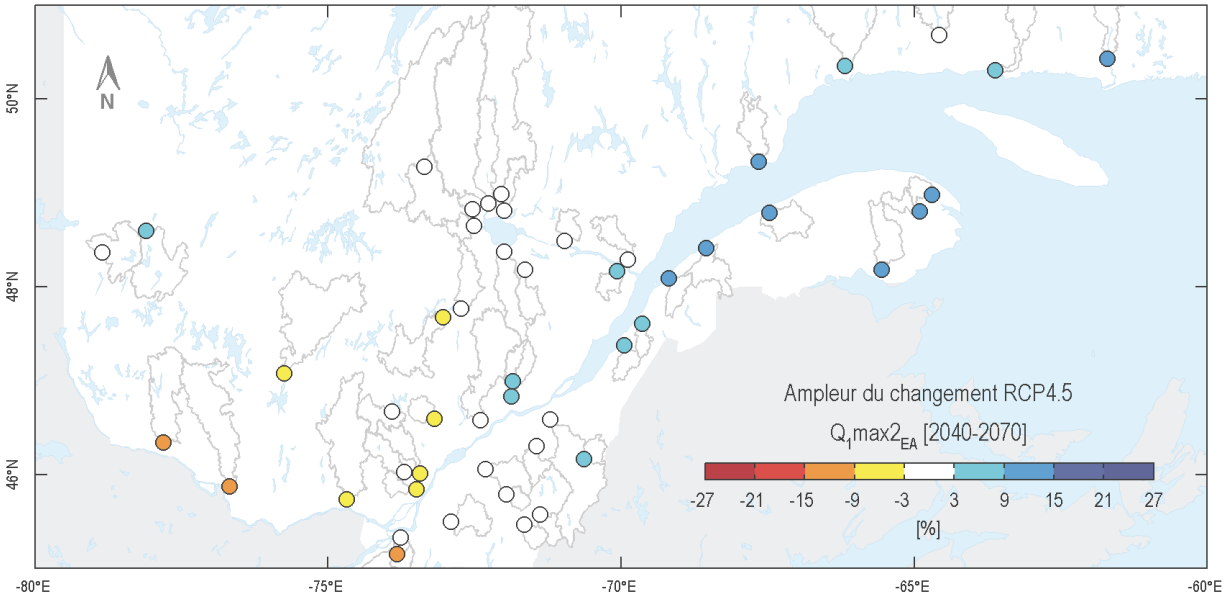
L'indicateur hydrologique J[Q_1max_p] correspond au jour de l'année où se produit la pointe de crue au printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent un devancement très probable du J[Q_1max_p] sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 15 jours (RCP4.5) à - 20 jours (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 4 jours. Le niveau de confiance est très élevé pour la direction du changement, et élevé pour l'ampleur et la dispersion.

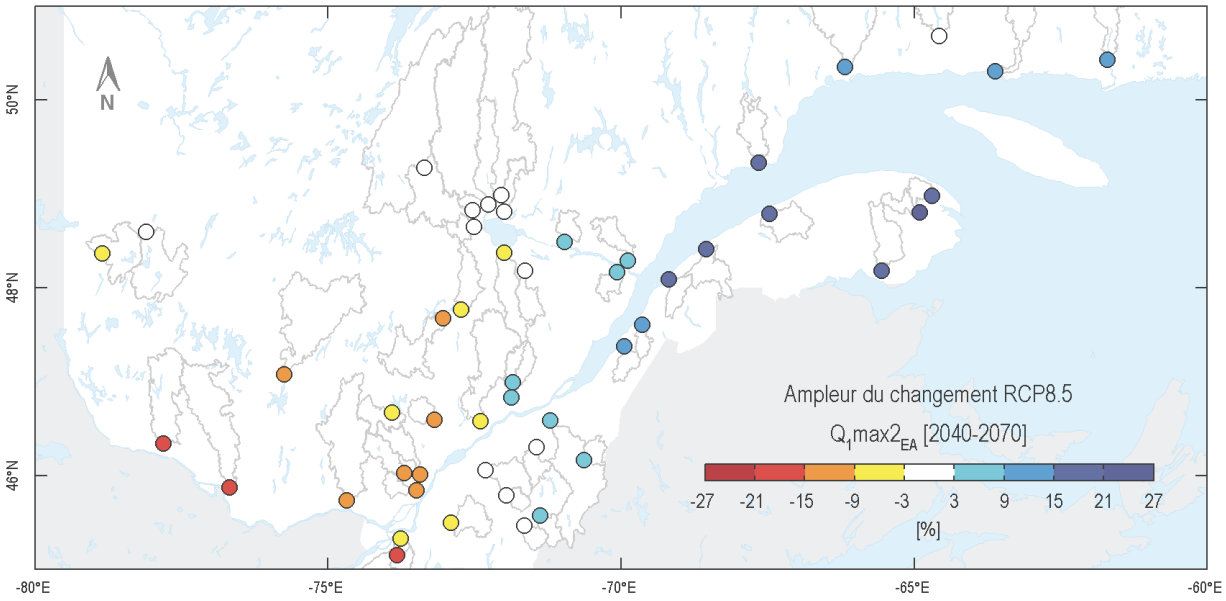
Pointe des crues estivales et automnales

Débit journalier, récurrence 2 ans





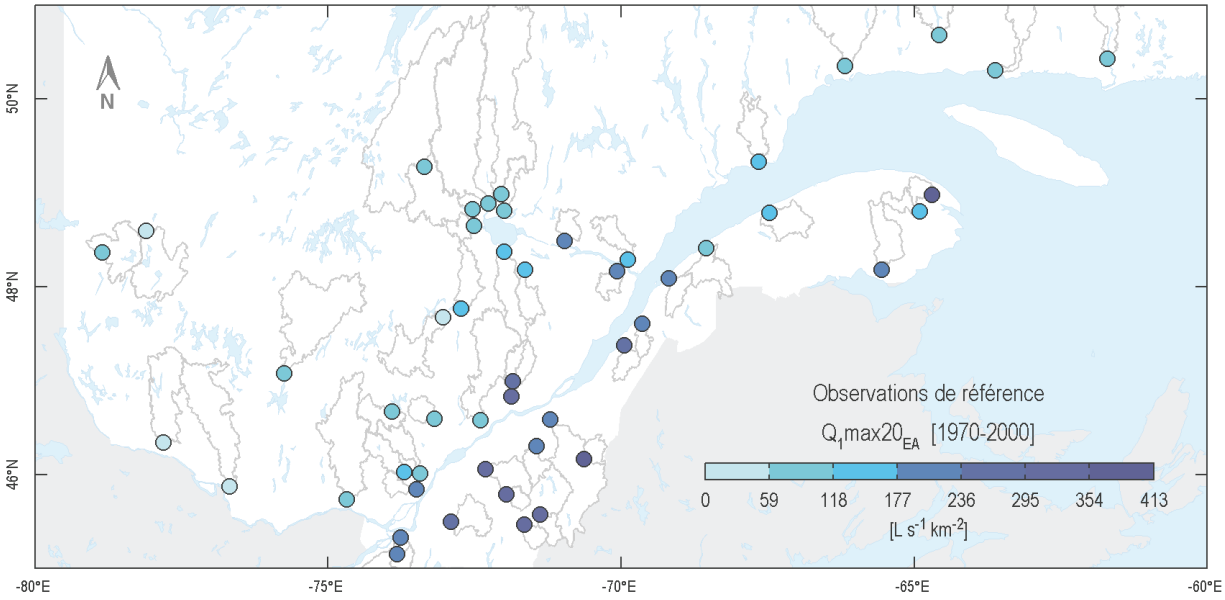


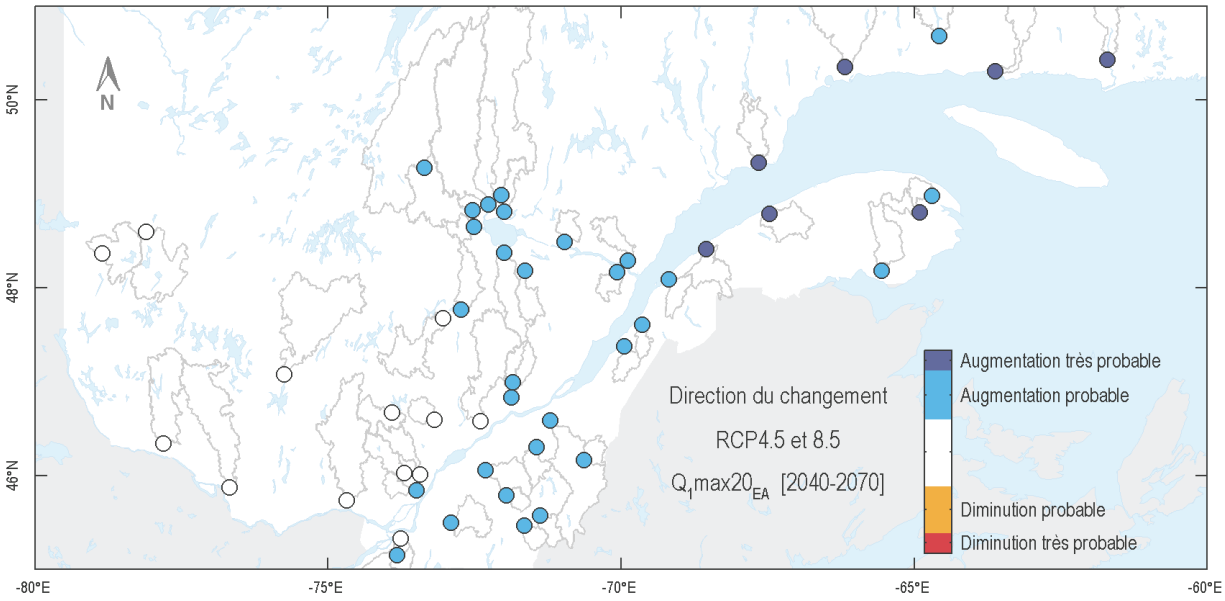


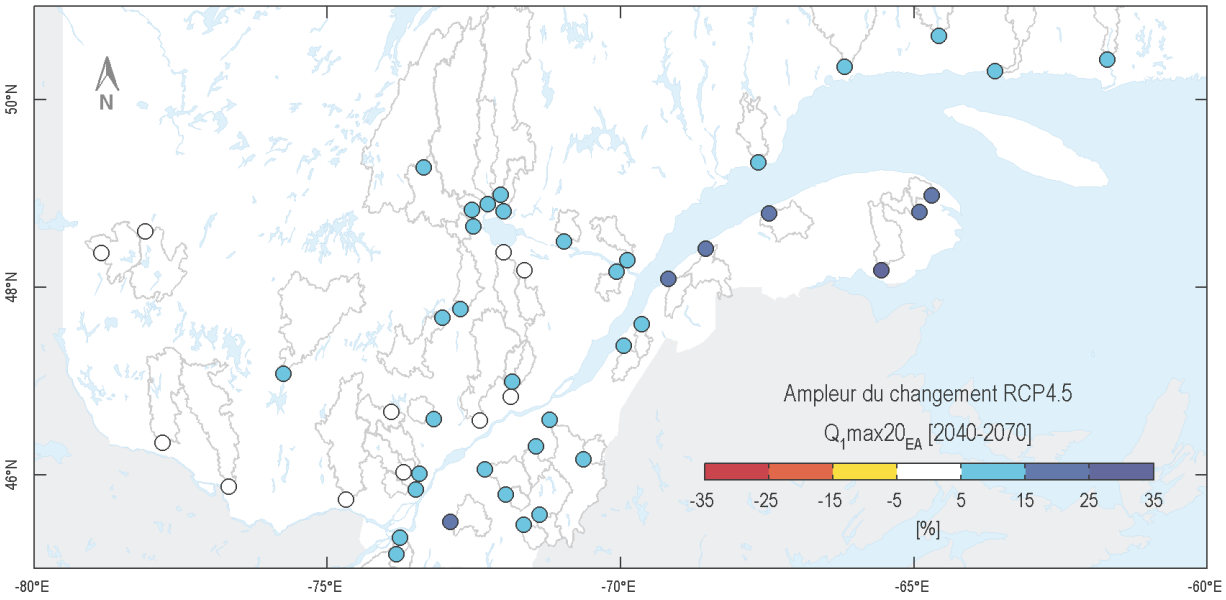
L'indicateur hydrologique Q_1max2_{EA} correspond au débit de pointe des crues de récurrence de 2 ans à l'été et à l'automne. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Q_1max2_{EA} en Gaspésie et sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 10 à + 15 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 20 % (RCP8.5). Les projections décrivent une diminution probable du Q_1max2_{EA} sur quelques sites de l'extrême sud du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 20 %. La dispersion est estimée à ± 11 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

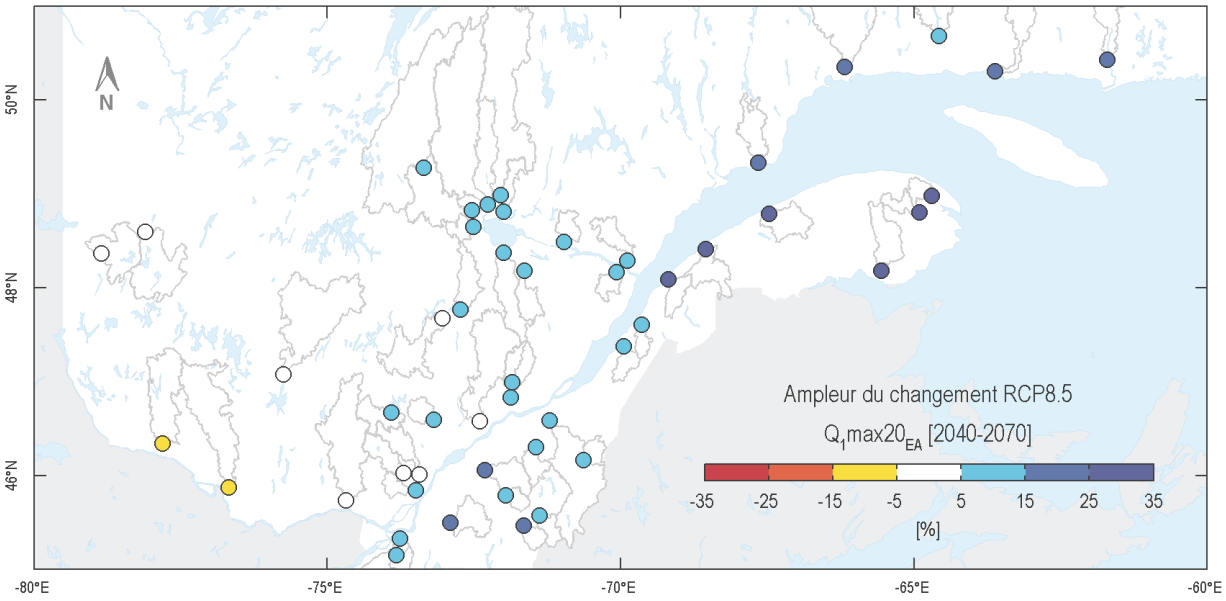
Pointe des crues estivales et automnales

Débit journalier, récurrence 20 ans





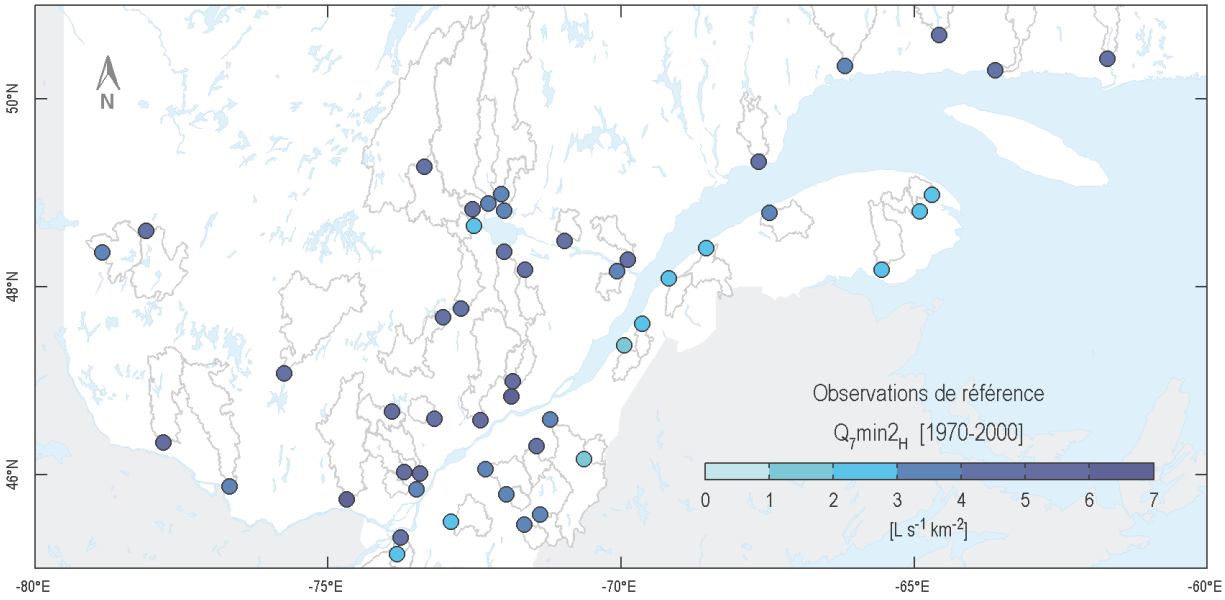


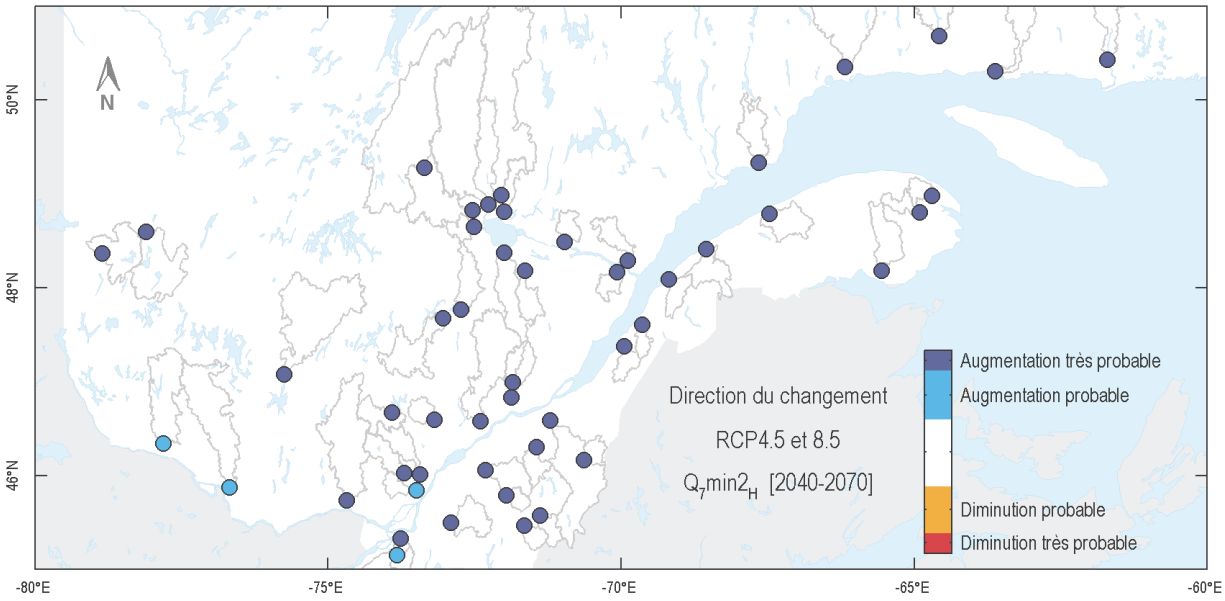


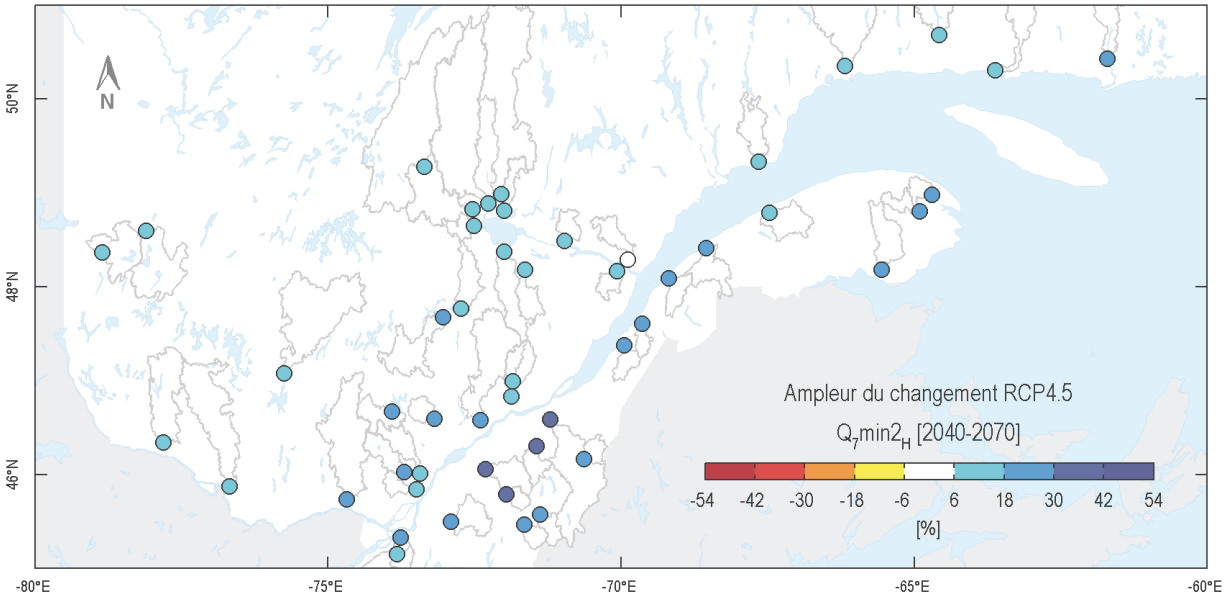
L'indicateur hydrologique Q_1max20_{EA} correspond au débit de pointe des crues de récurrence de 20 ans à l'été et à l'automne. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Q_1max20_{EA} sur une large portion de l'est du Québec méridional, de l'ordre de + 10 à + 20 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 40 % (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 11 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

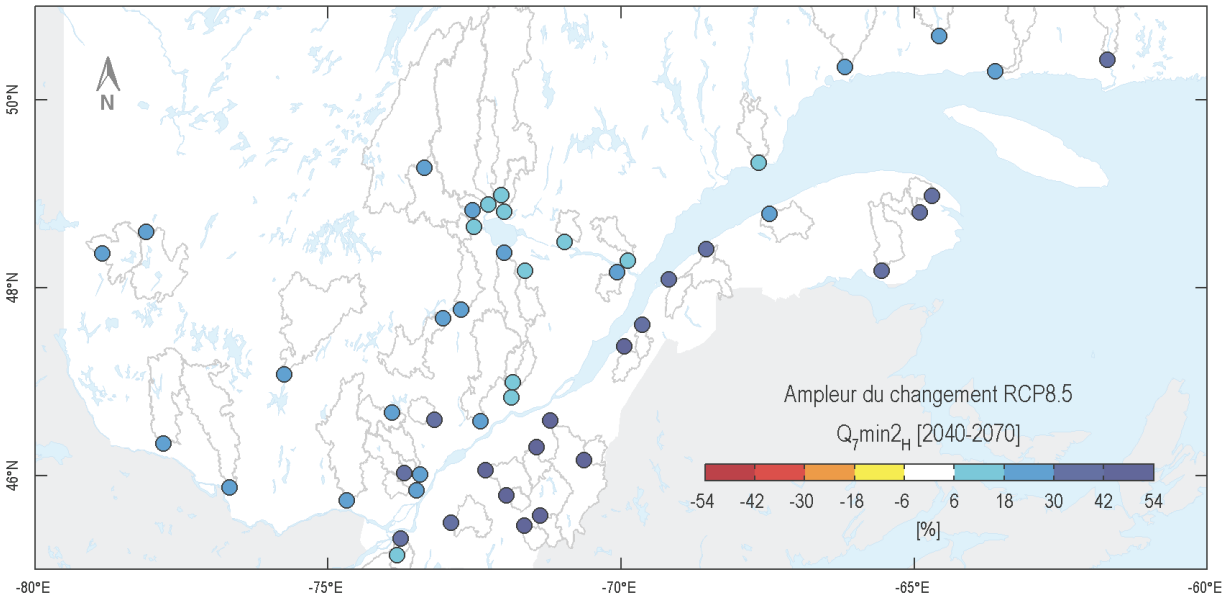
Étiage hivernal

Débit moyen sur 7 jours, récurrence 2 ans





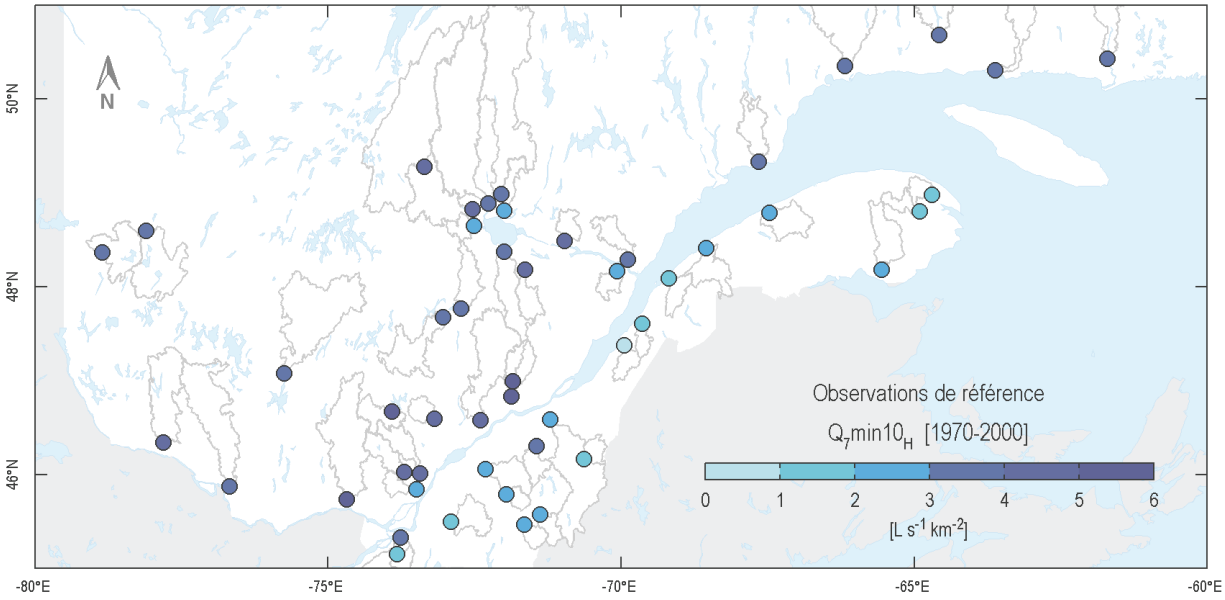


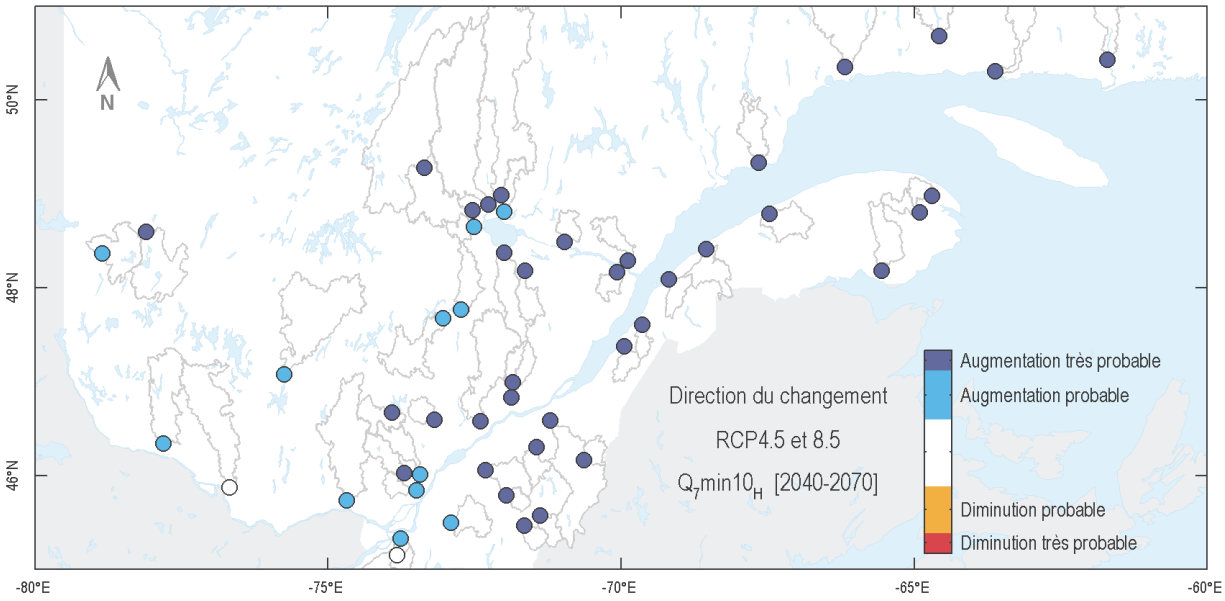


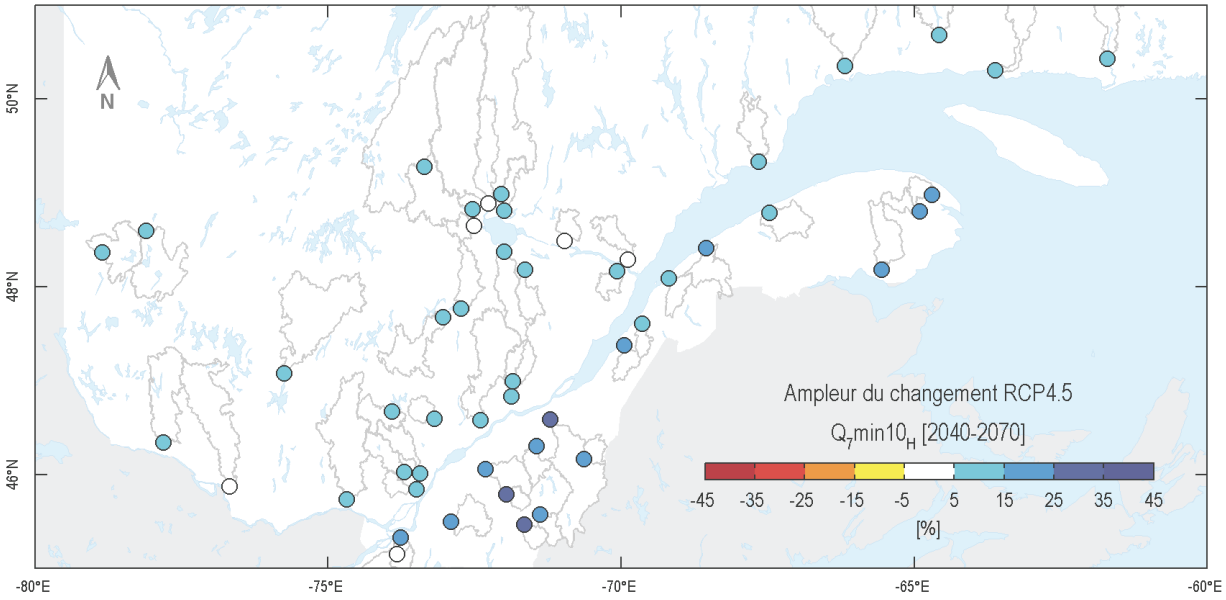
L'indicateur hydrologique Q_7min2_H correspond au débit d'étiage hivernal de récurrence de 2 ans évalué sur une plage de sept jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation très probable du Q_7min2_H sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de + 10 à + 40 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 50 % (RCP8.5). Les augmentations sont légèrement plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 8 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

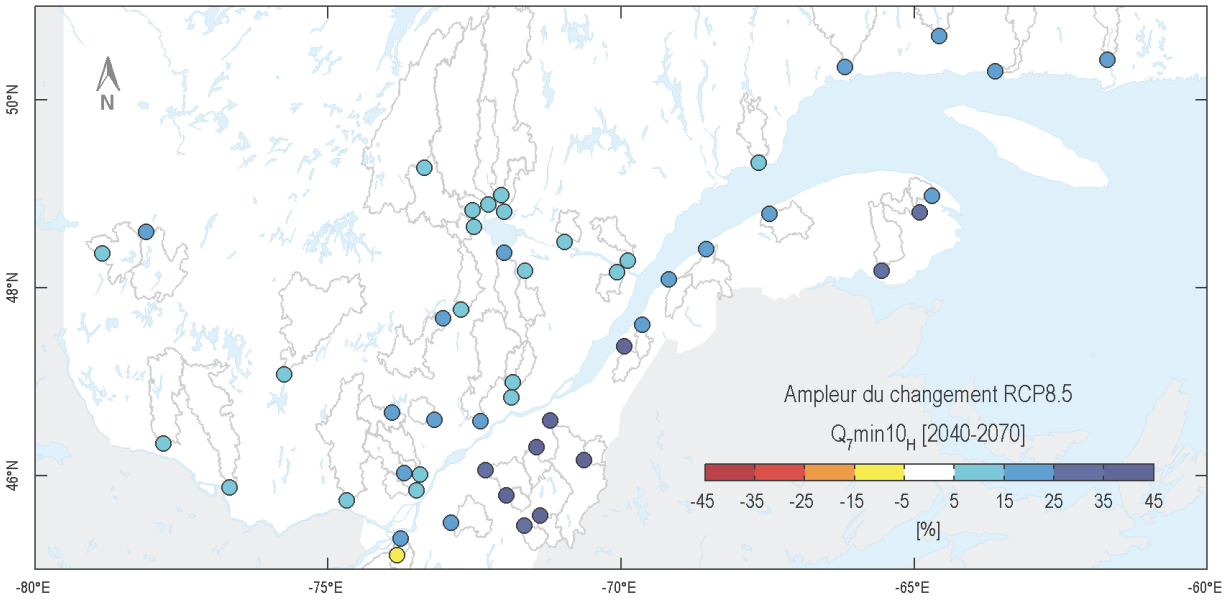
Étiage hivernal

Débit moyen sur 7 jours, récurrence 10 ans





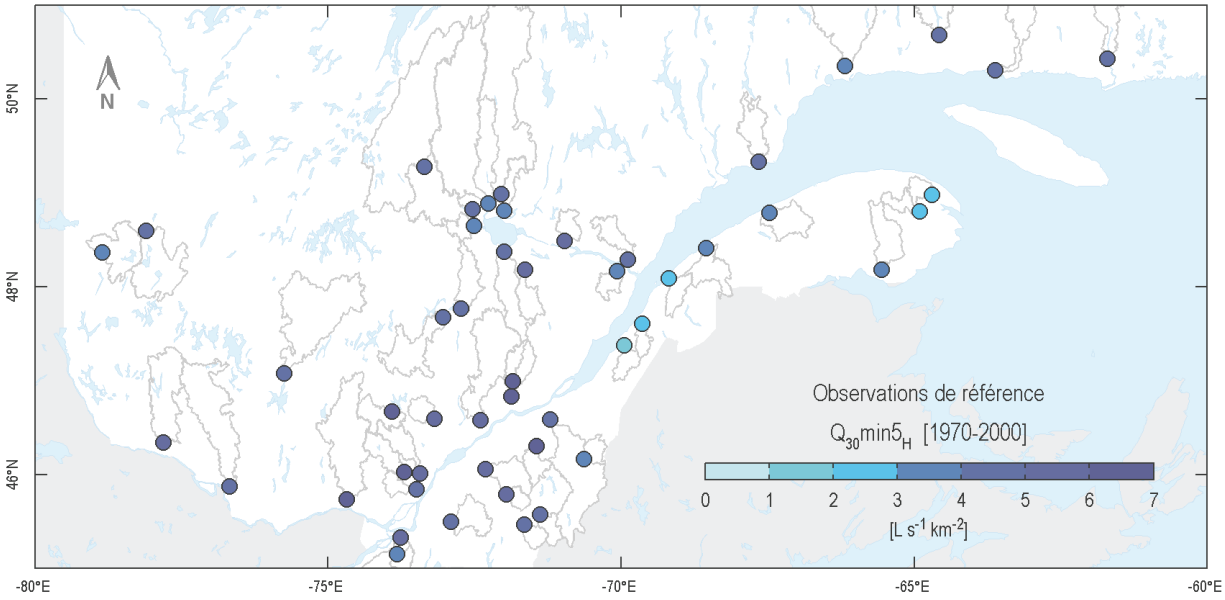


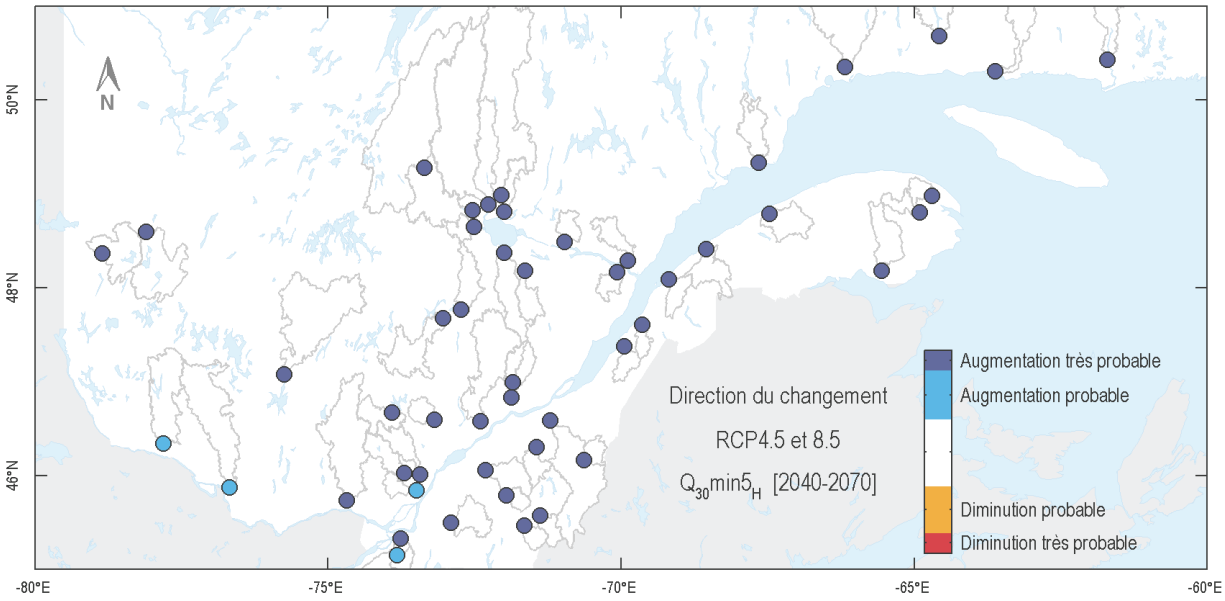


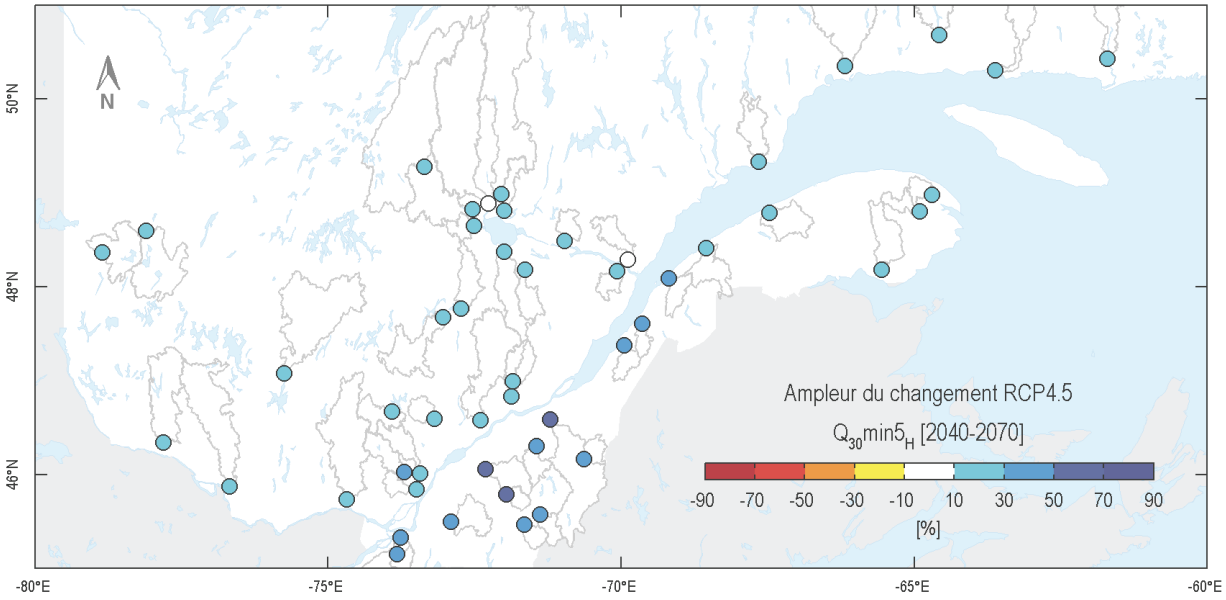
L'indicateur hydrologique Q_7min10_H correspond au débit d'étiage hivernal de récurrence de 10 ans évalué sur une plage de 7 jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Q_7min10_H sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de + 10 à + 35 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 40 % (RCP8.5). Les augmentations sont légèrement plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 8 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

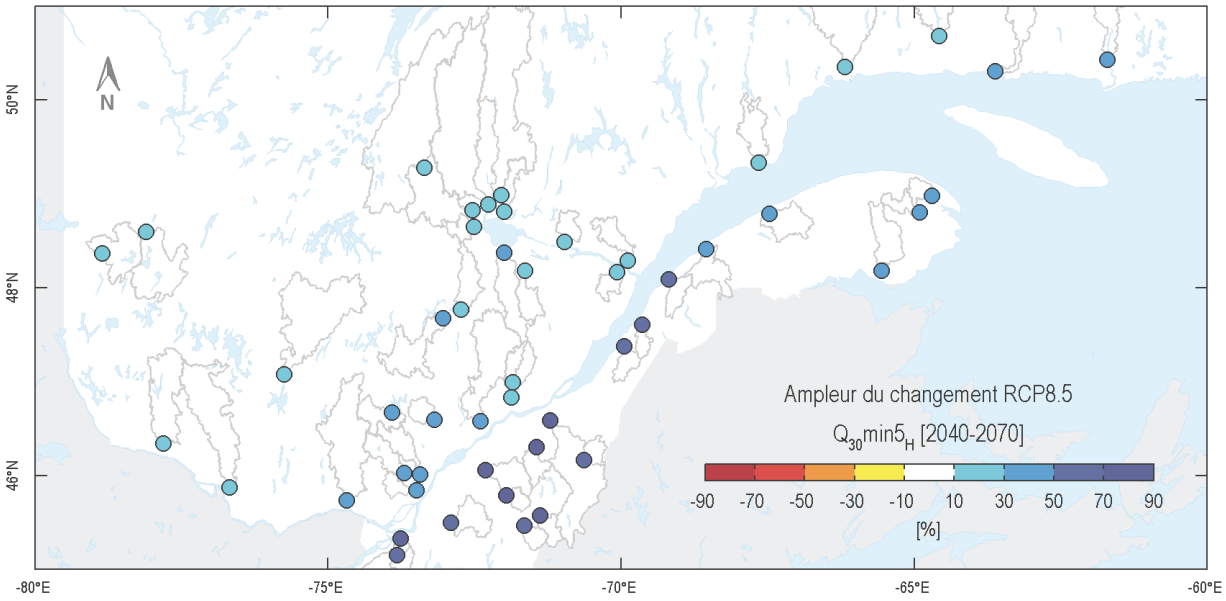
Étiage hivernal

Débit moyen sur 30 jours, récurrence 5 ans





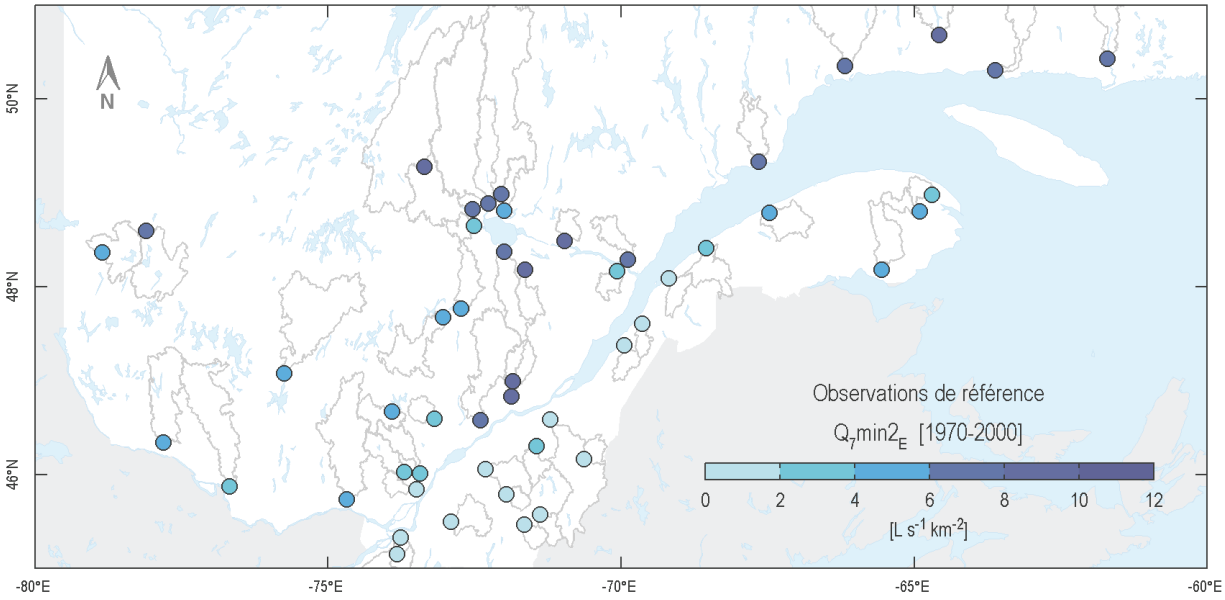


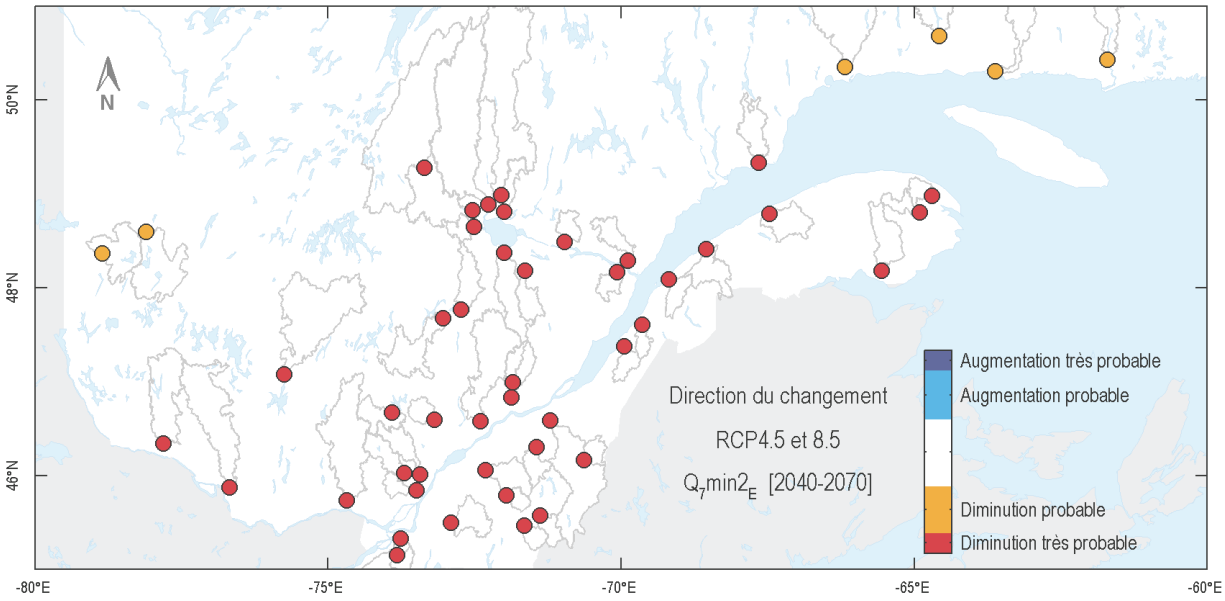


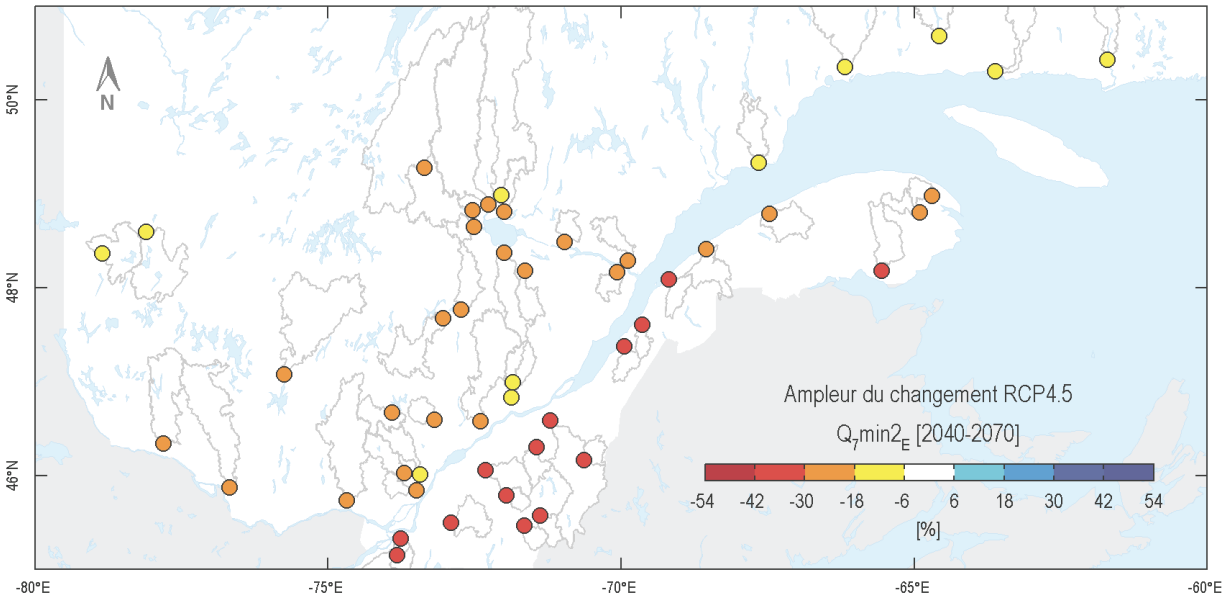
L'indicateur hydrologique $Q_{30}min5_H$ correspond au débit d'étiage hivernal de récurrence de 5 ans évalué sur une plage de 30 jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation très probable du $Q_{30}min5_H$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de + 20 à + 50 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 80 % (RCP8.5). Les augmentations sont légèrement plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 11 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

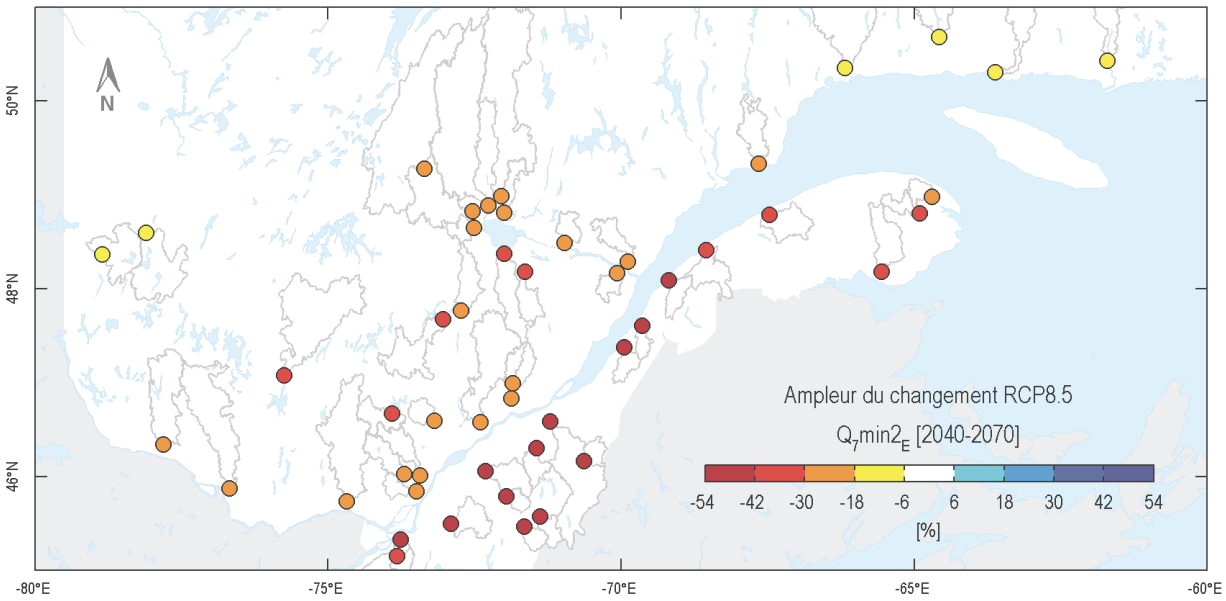
Étiage estival

Débit moyen sur 7 jours, récurrence 2 ans





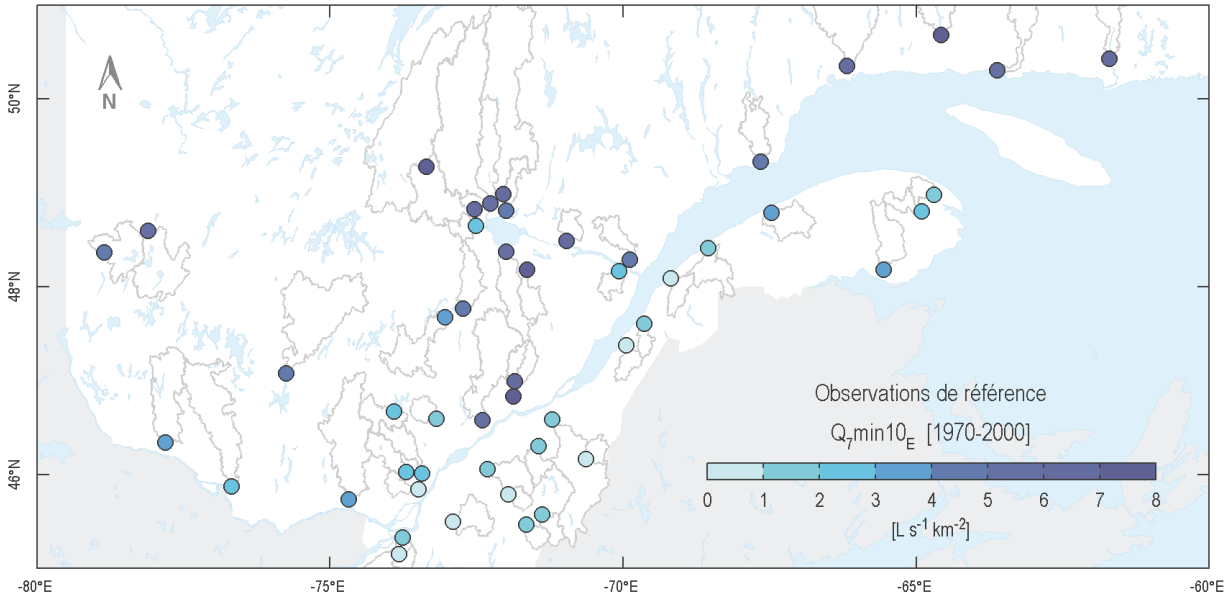


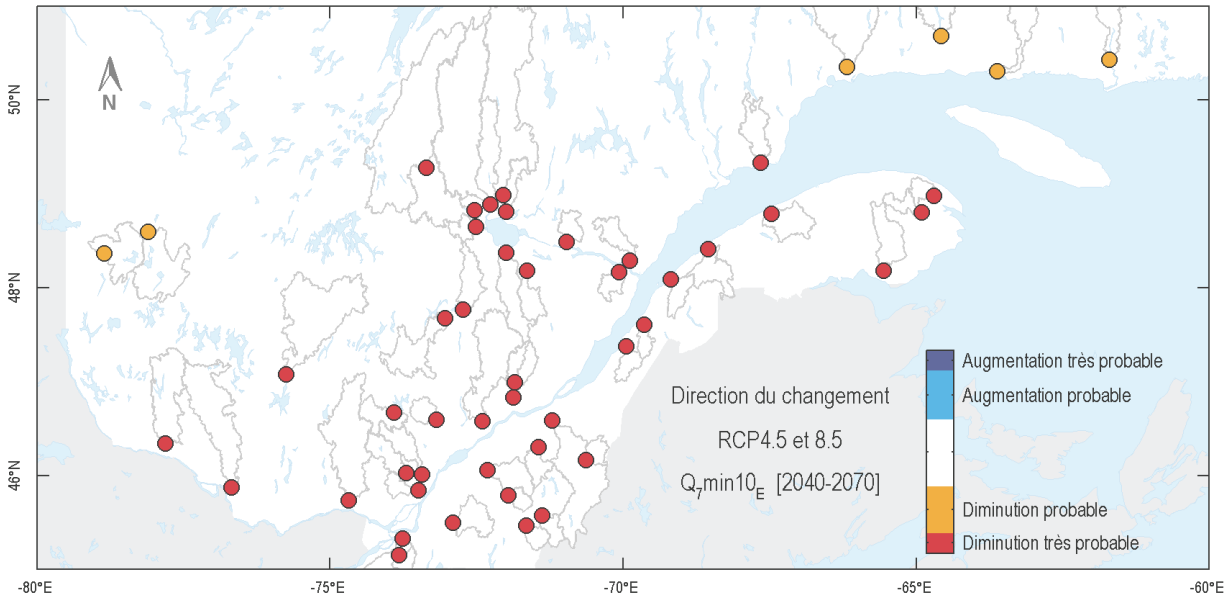


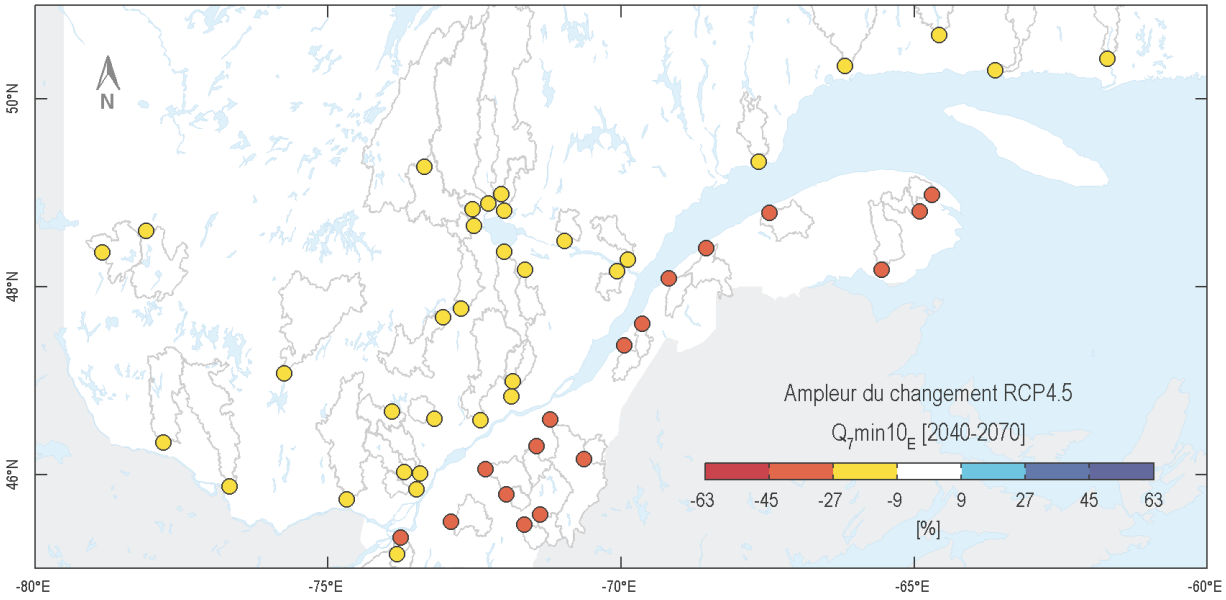
L'indicateur hydrologique Q_7min2_E correspond au débit d'étiage estival de récurrence de deux ans évalué sur une plage de sept jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution très probable du Q_7min2_E sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 40 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 50 % (RCP8.5). Les diminutions sont légèrement plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 8 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

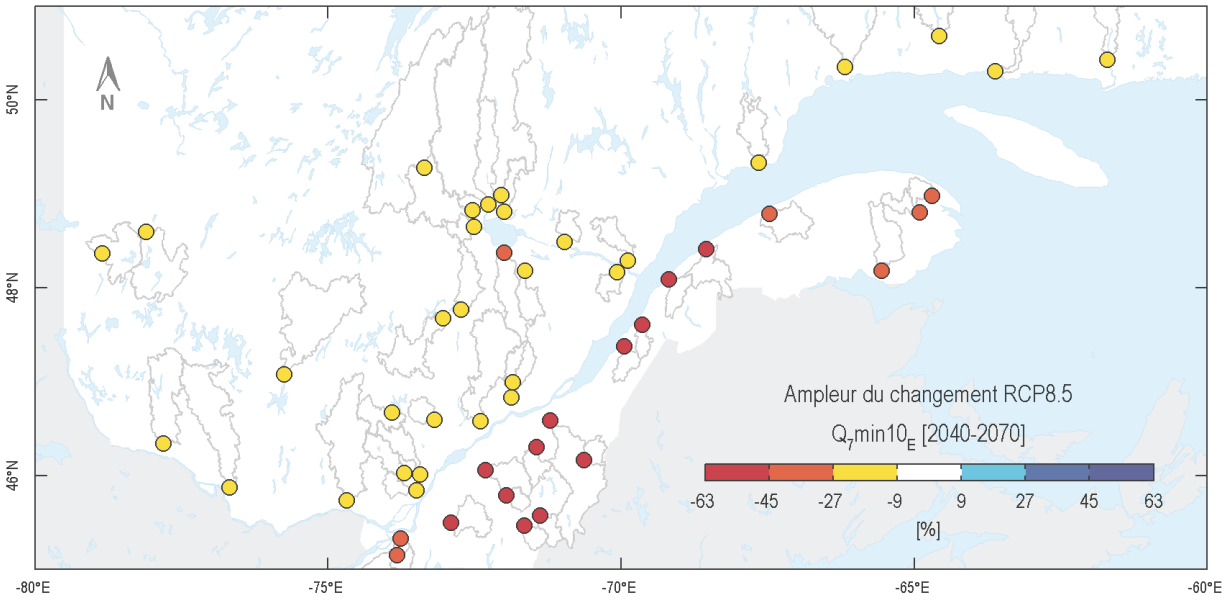
Étiage estival

Débit moyen sur 7 jours, récurrence 10 ans





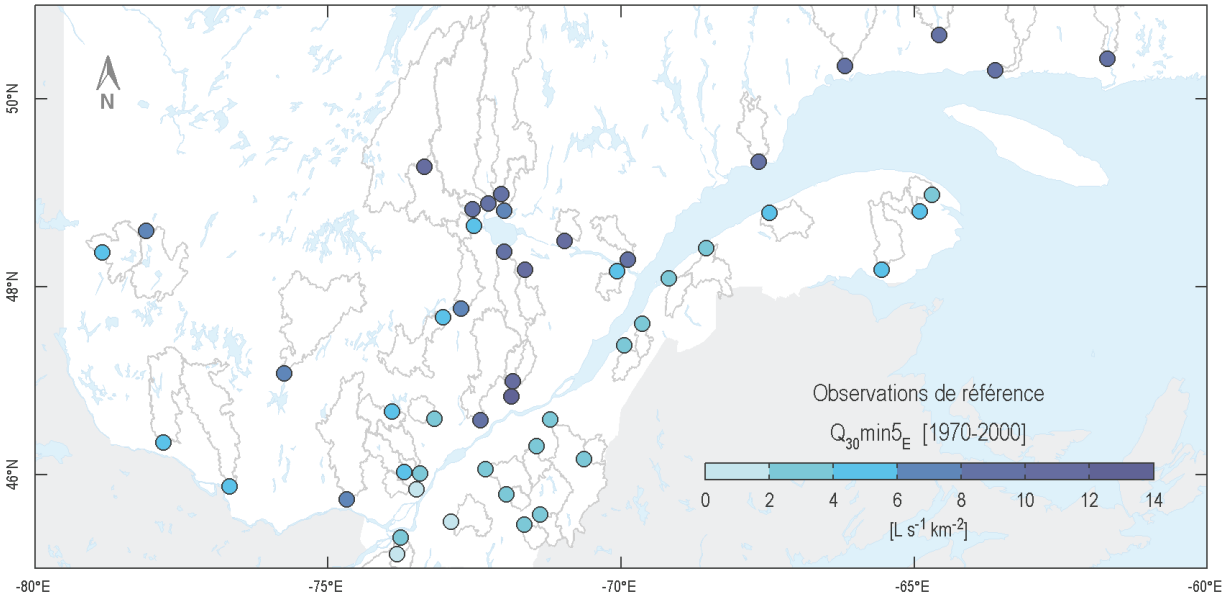


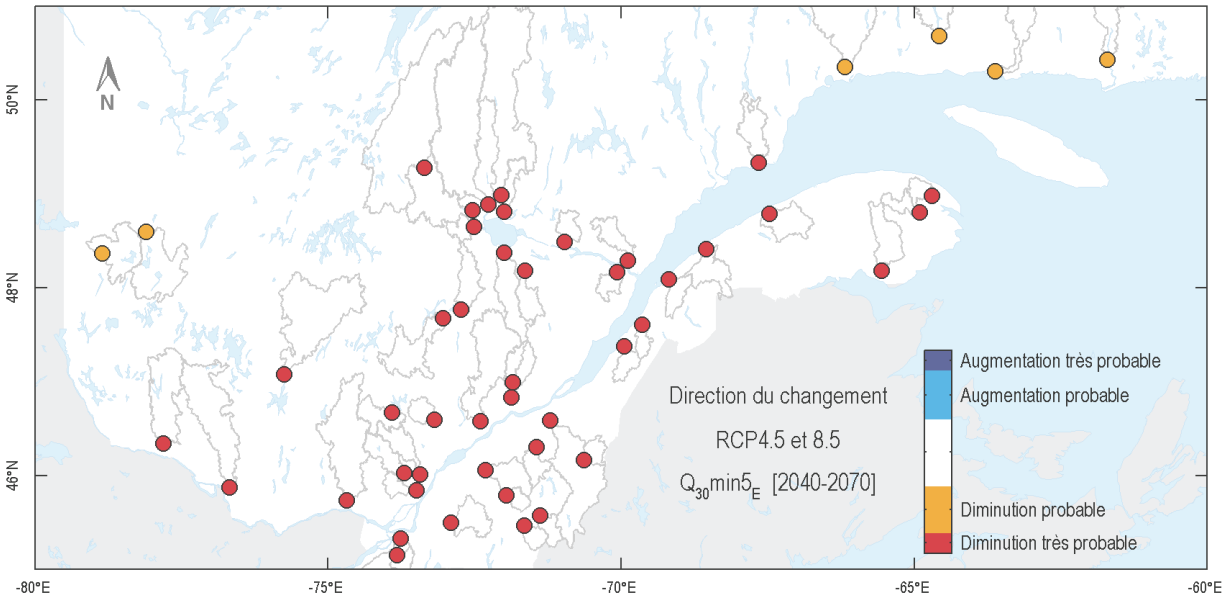


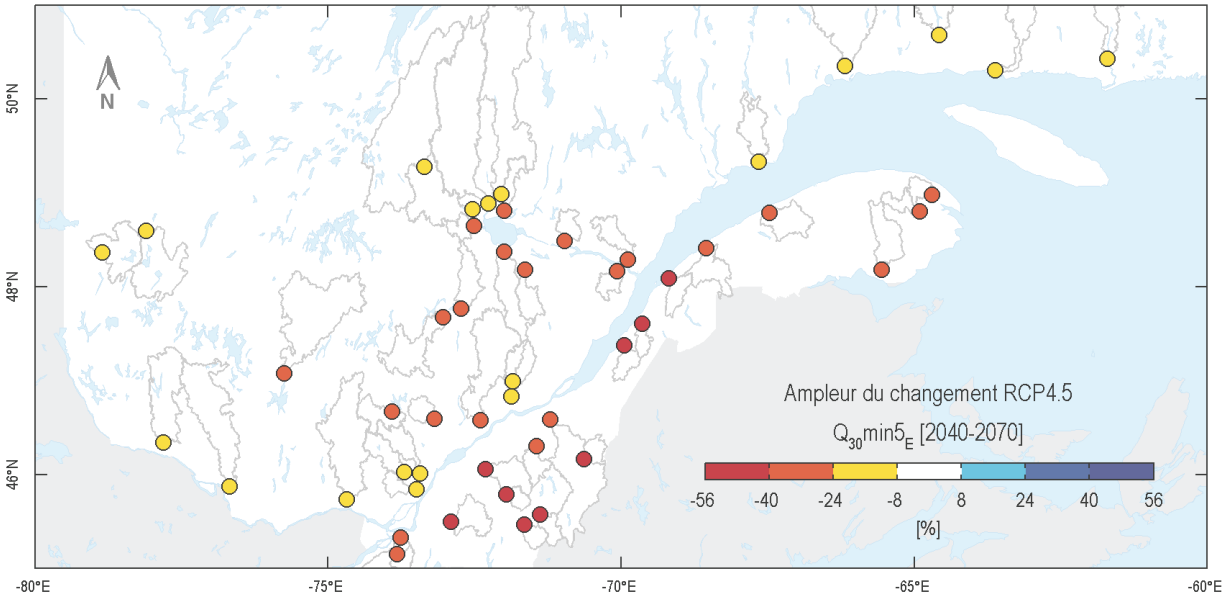
L'indicateur hydrologique Q_7min10_E correspond au débit d'étiage estival de récurrence de 10 ans évalué sur une plage de 7 jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution très probable du Q_7min10_E sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 45 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 60 % (RCP8.5). Les diminutions sont plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 8 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

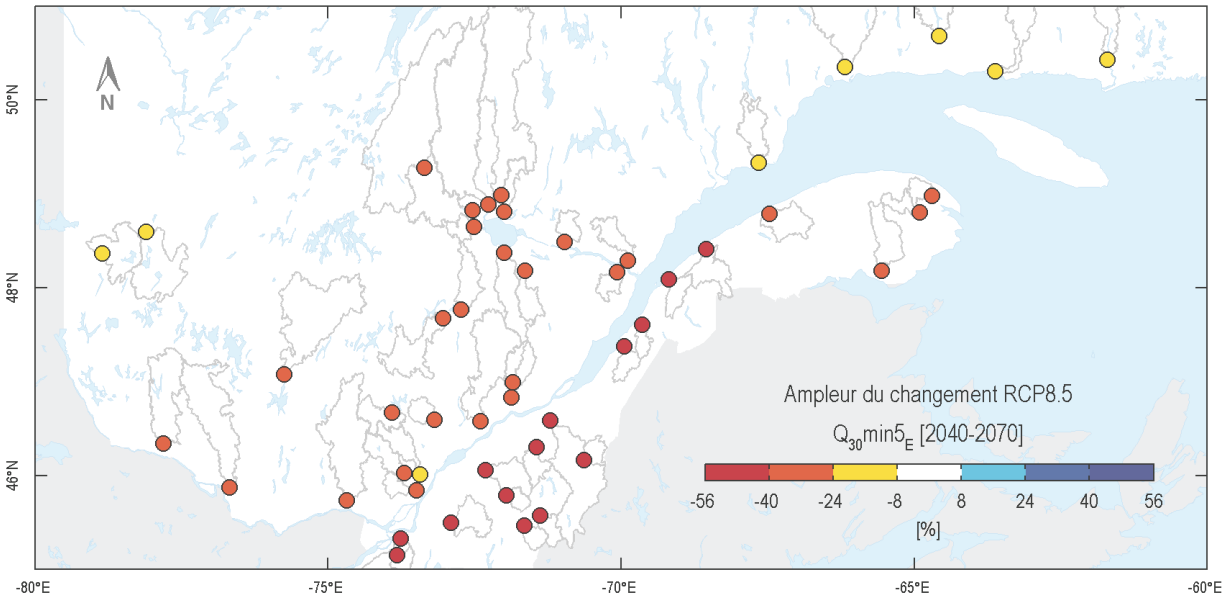
Étiage estival

Débit moyen sur 30 jours, récurrence 5 ans





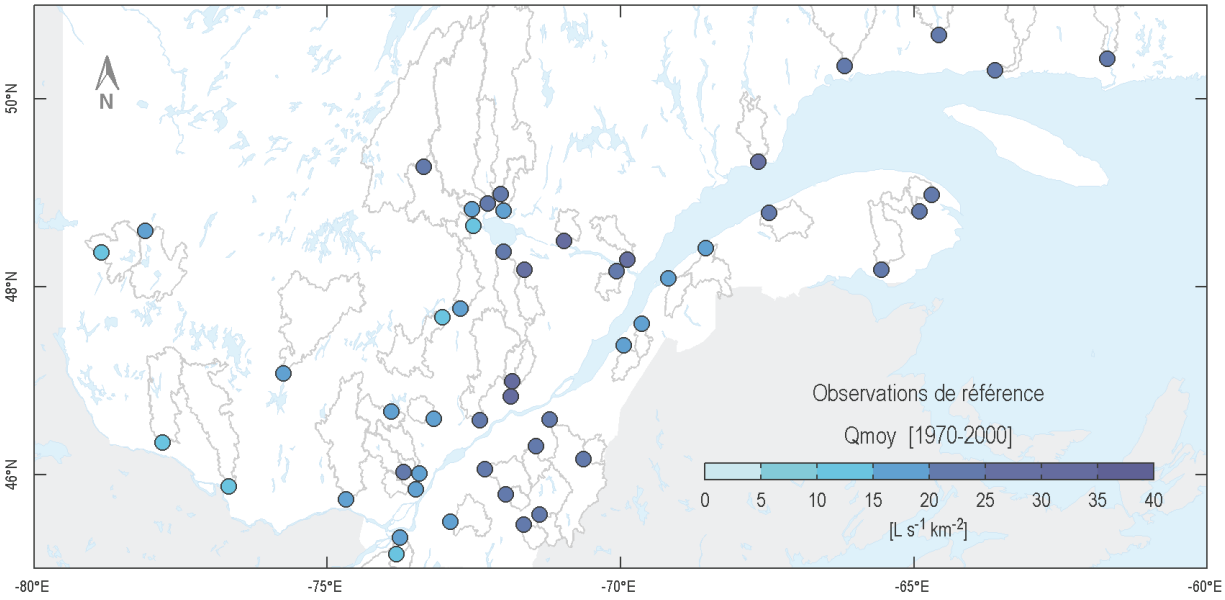


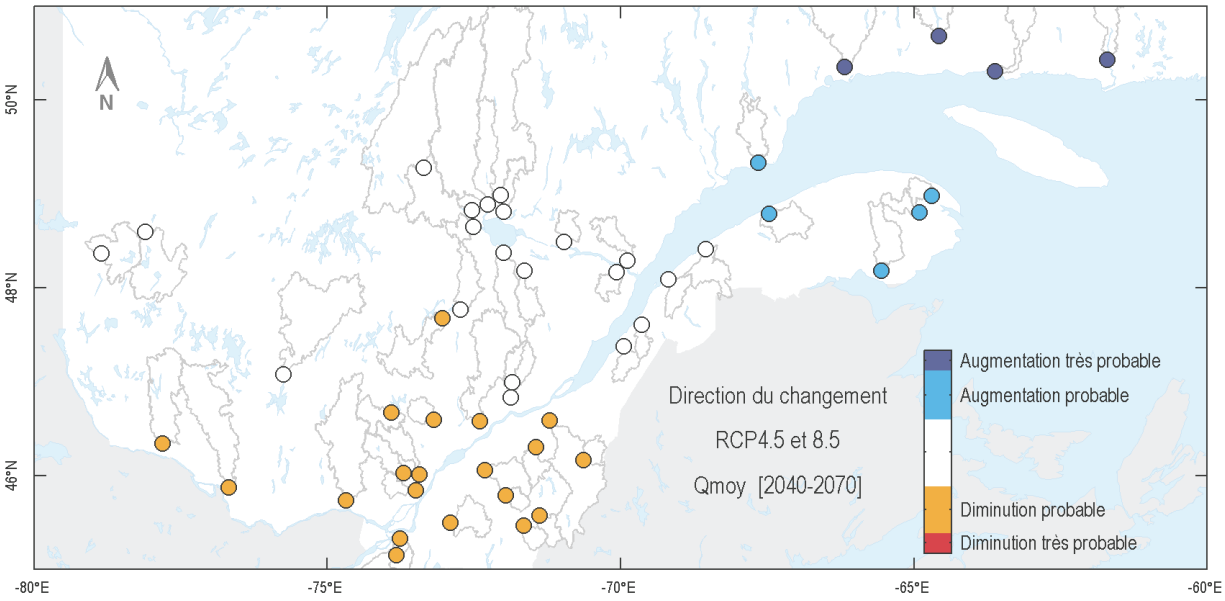


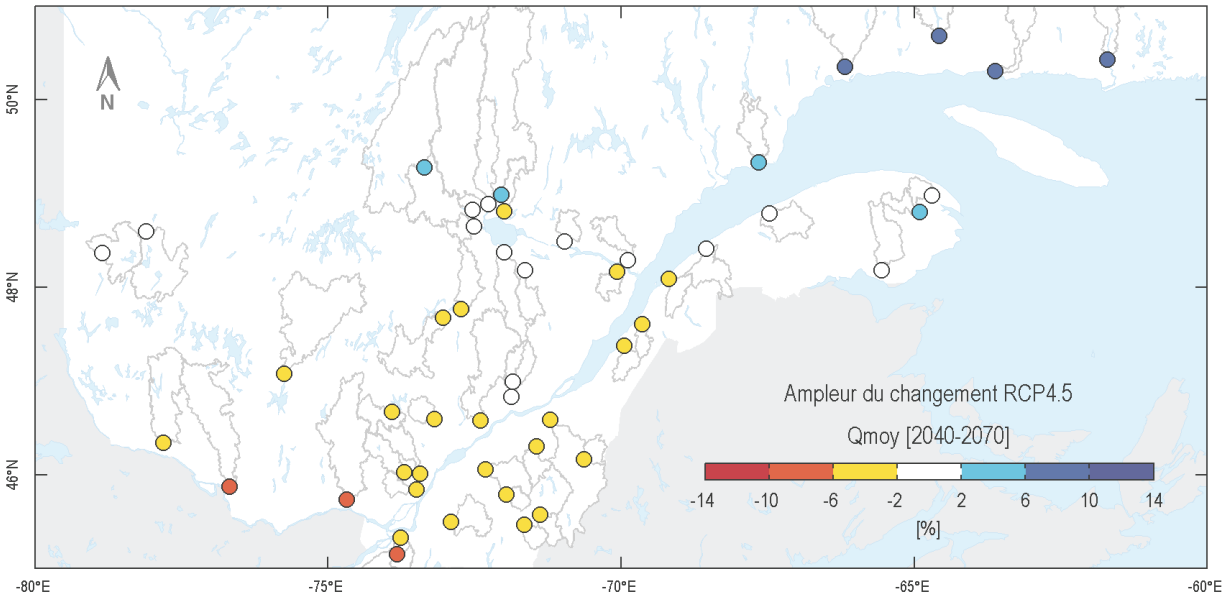
L'indicateur hydrologique $Q_{30}min5_E$ correspond au débit d'étiage estival de récurrence de 5 ans évalué sur une plage de 30 jours consécutifs. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution très probable du $Q_{30}min5_E$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 45 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 50 % (RCP8.5). Les diminutions sont légèrement plus importantes au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée à ± 9 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et limité pour l'ampleur et la dispersion.

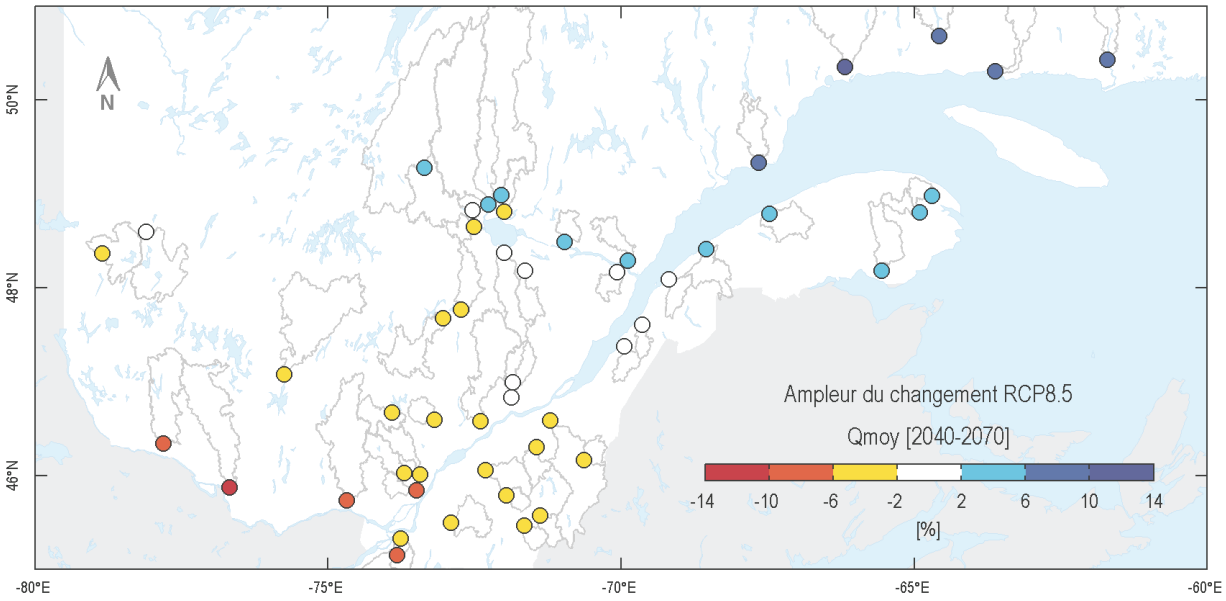
Hydraulicité annuelle

Débit moyen annuel





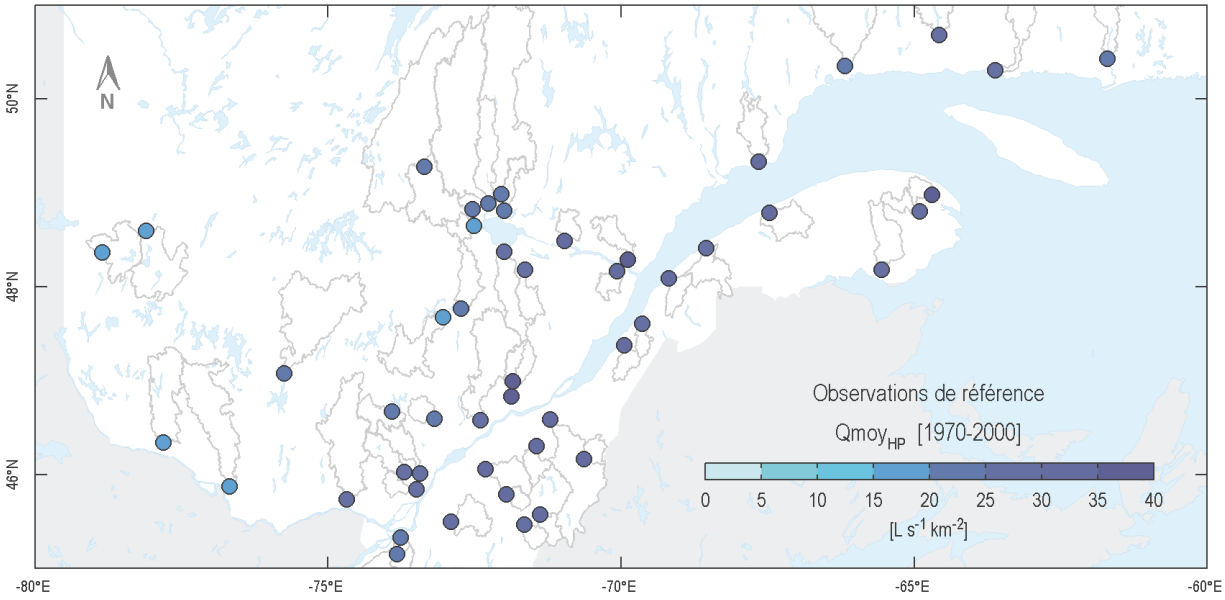


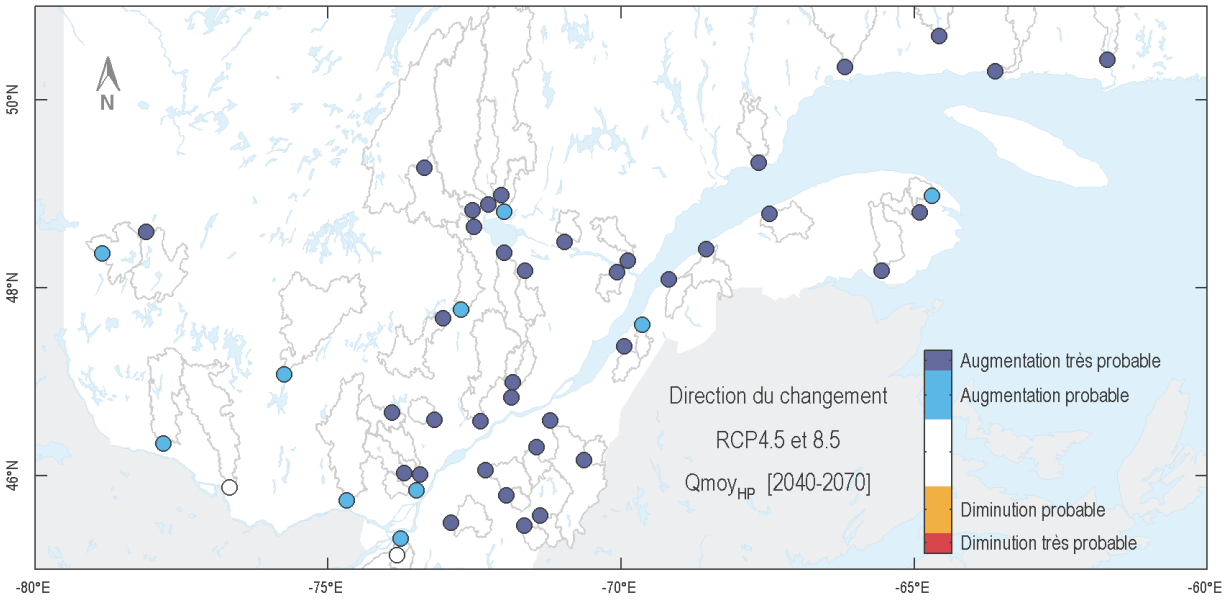


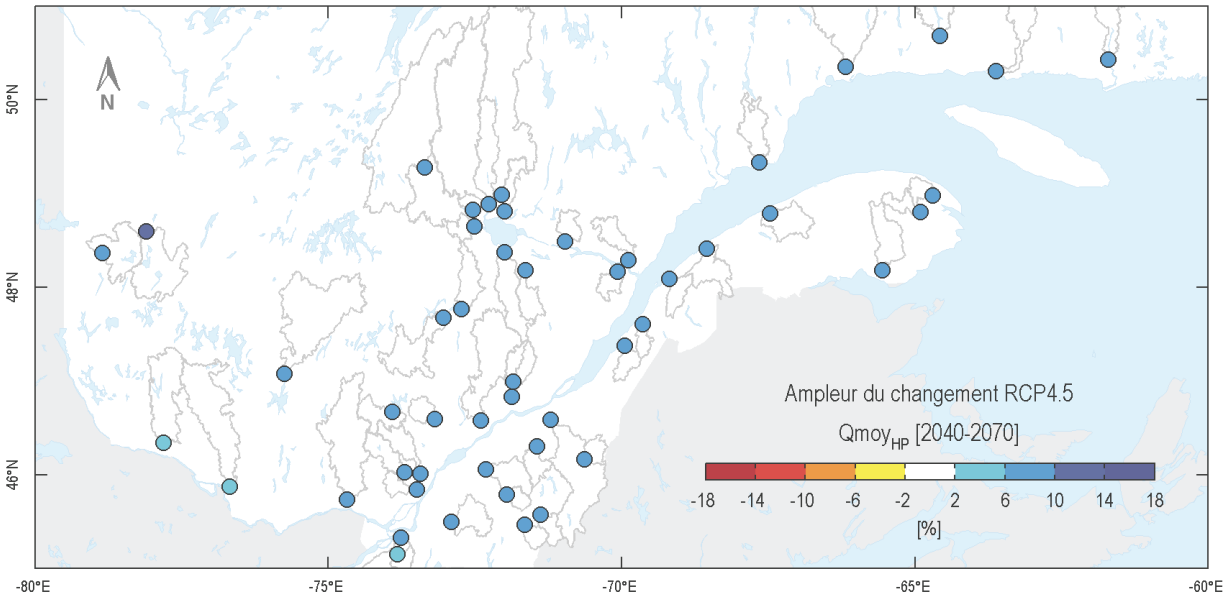
L'indicateur hydrologique Qmoy correspond au débit moyen annuel. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable du Qmoy sur le sud du Québec méridional, de l'ordre de - 2 à - 8 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 12 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Qmoy sur l'Est du Québec méridional, de l'ordre de + 2 à + 8 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 10 % (RCP8.5). La dispersion est estimée en moyenne à ± 6 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction, l'ampleur et la dispersion du changement.

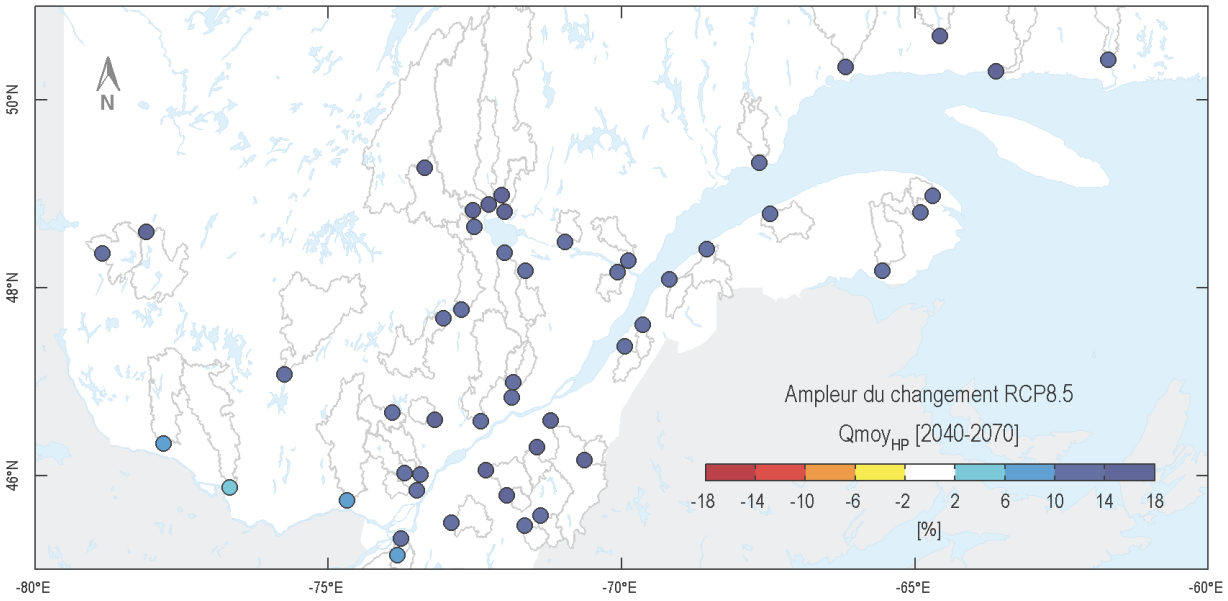
Hydraulicité hivernale et printanière

Débit moyen saisonnier





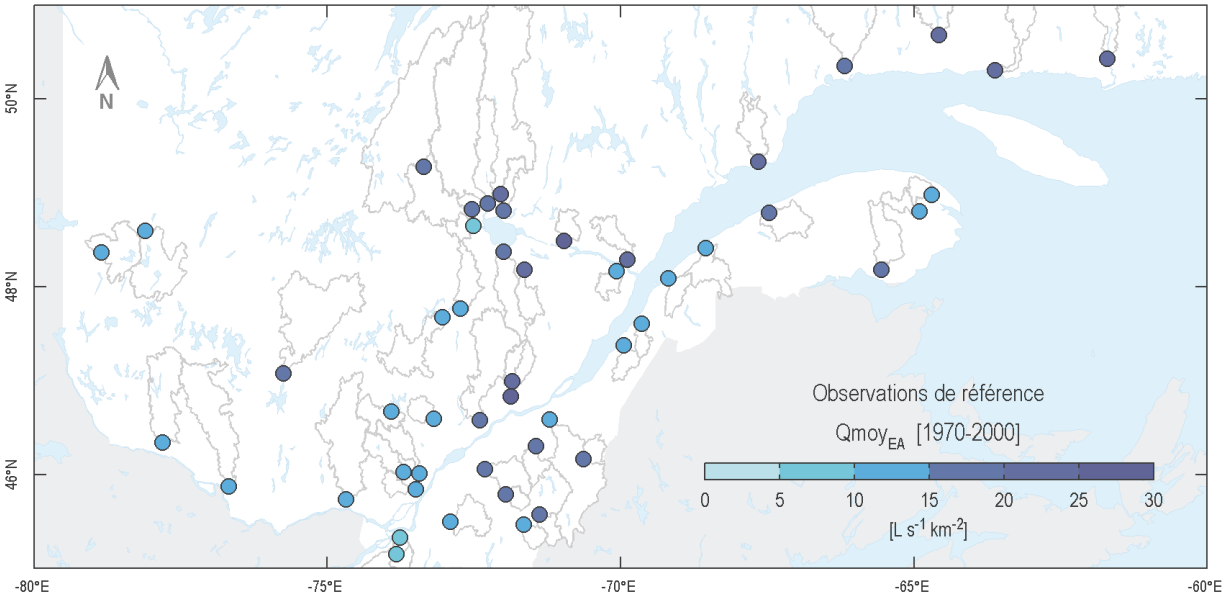


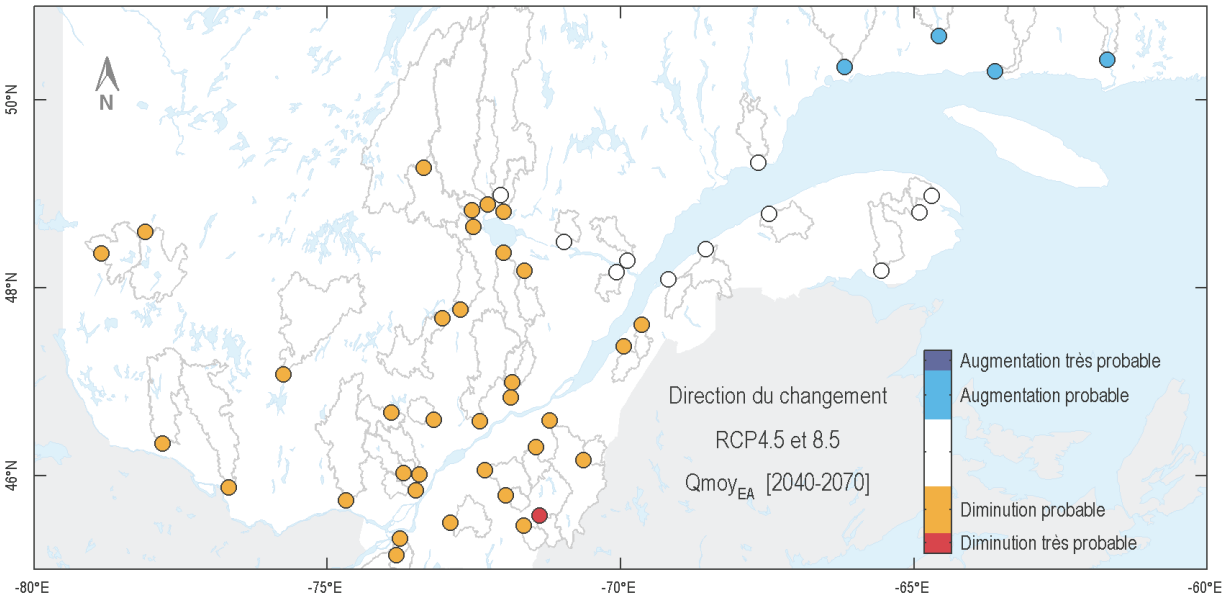


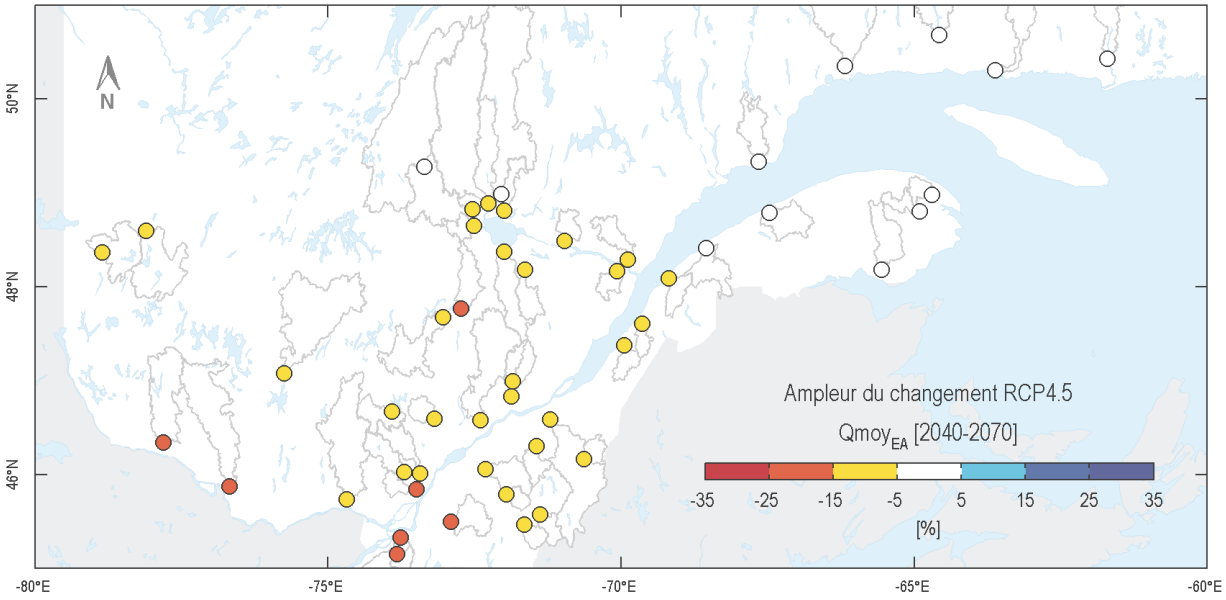
L'indicateur hydrologique Qmoy$_{HP}$ correspond au débit moyen évalué sur la période d'hiver-printemps. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Qmoy$_{HP}$ sur une large proportion du Québec méridional, de l'ordre de + 5 à + 10 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 15 % (RCP8.5). La dispersion est estimée en moyenne à ± 5 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

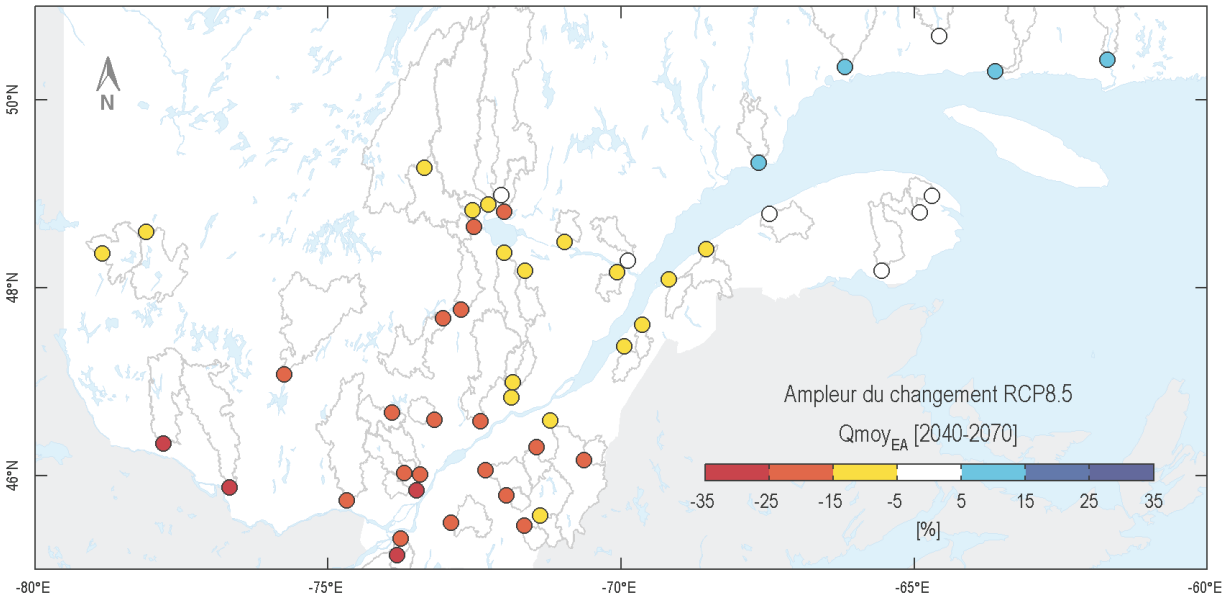
Hydraulicité estivale et automnale

Débit moyen saisonnier





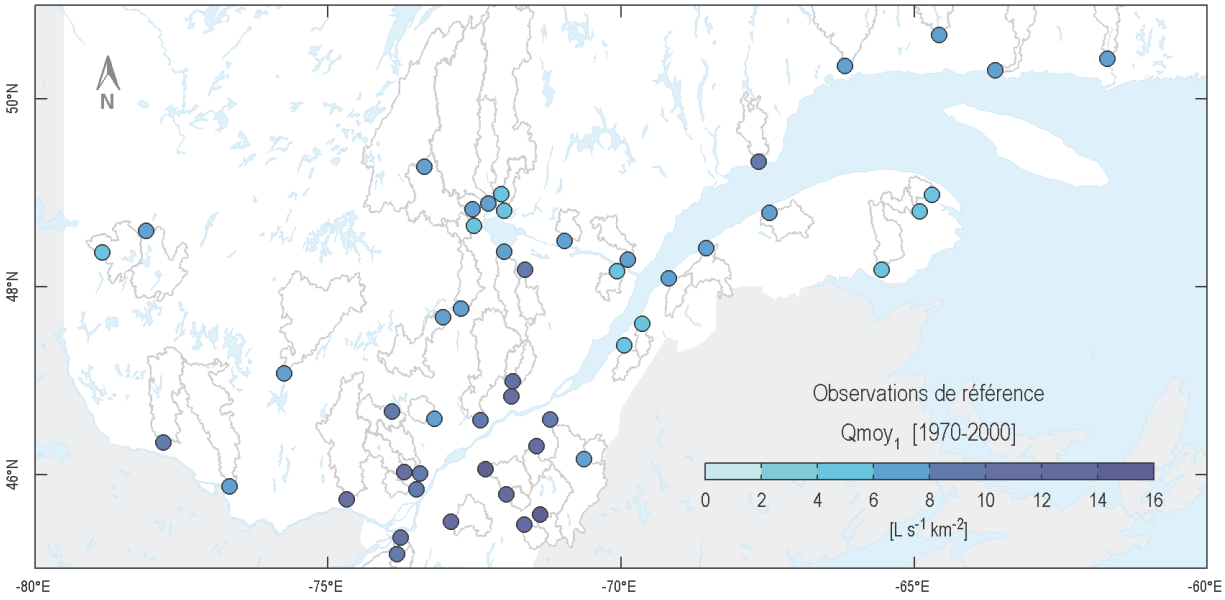


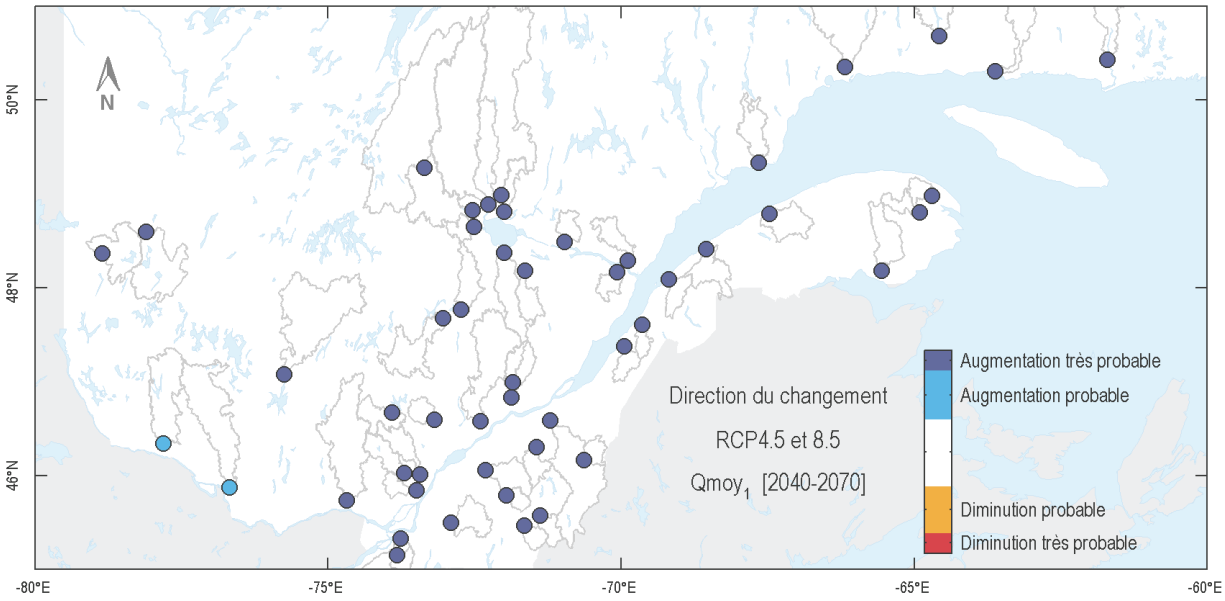


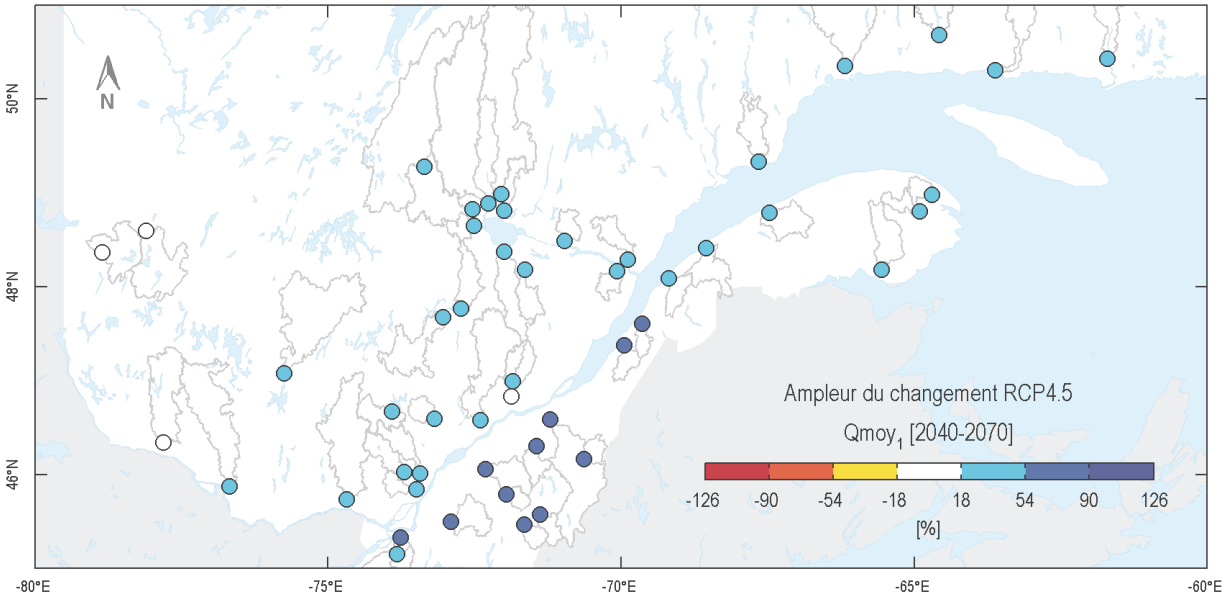
L'indicateur hydrologique $Qmoy_{EA}$ correspond au débit moyen évalué sur la période d'été-automne. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable du $Qmoy_{EA}$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de - 5 à - 20 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 30 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable du $Qmoy_{EA}$ sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 5 % à + 10 %. La dispersion est estimée en moyenne à ± 10 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

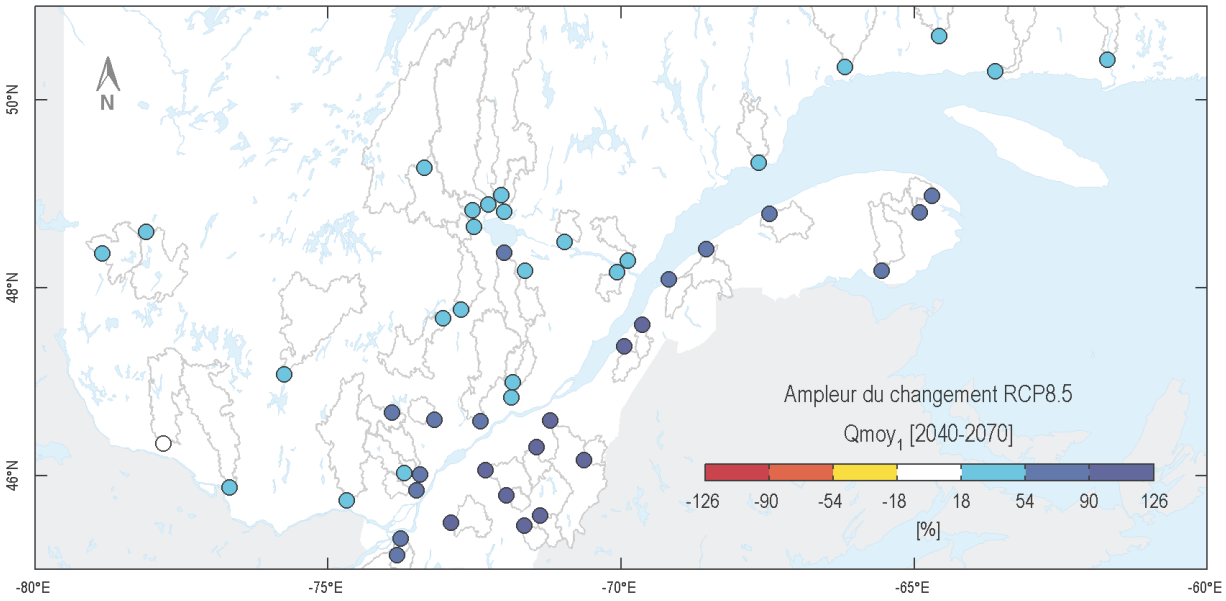
Hydraulicité en janvier

Débit moyen mensuel





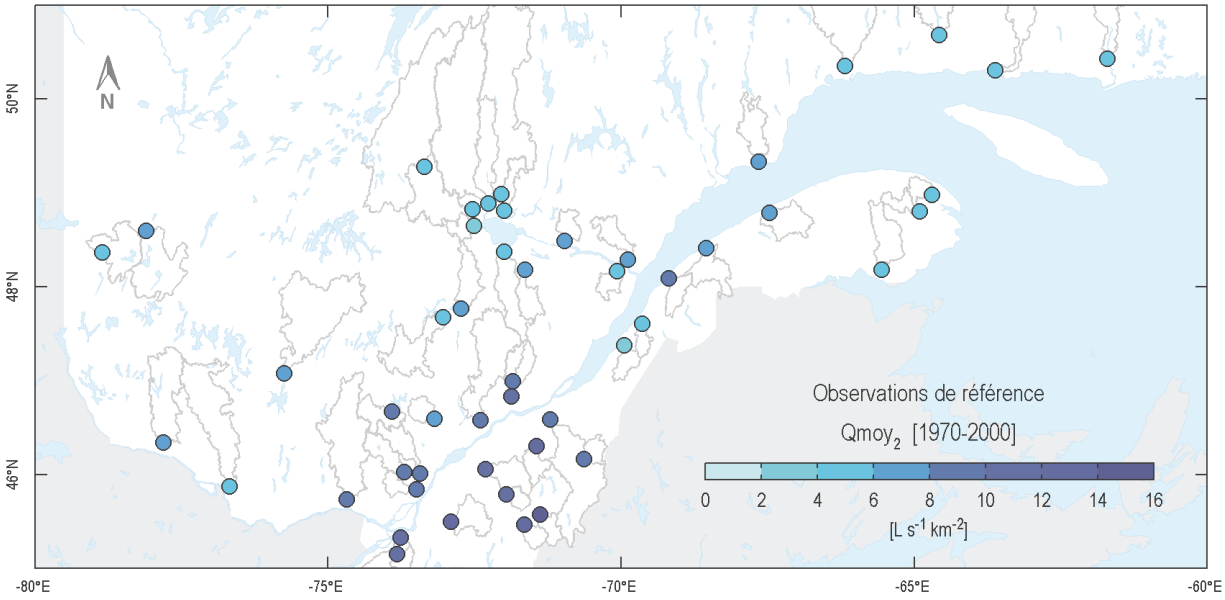


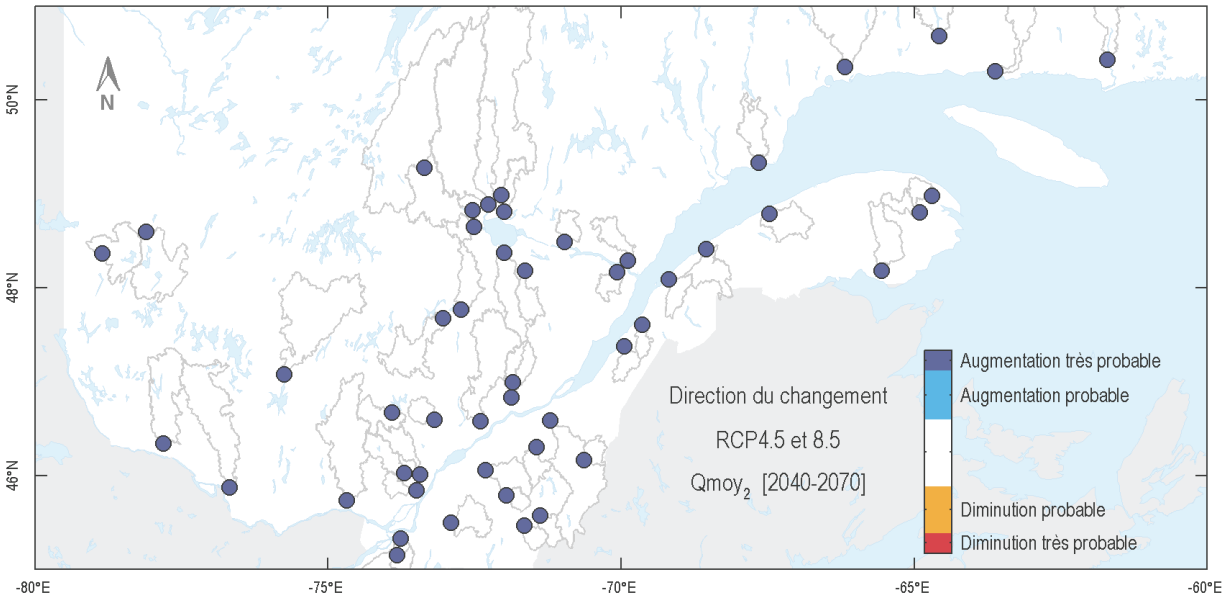


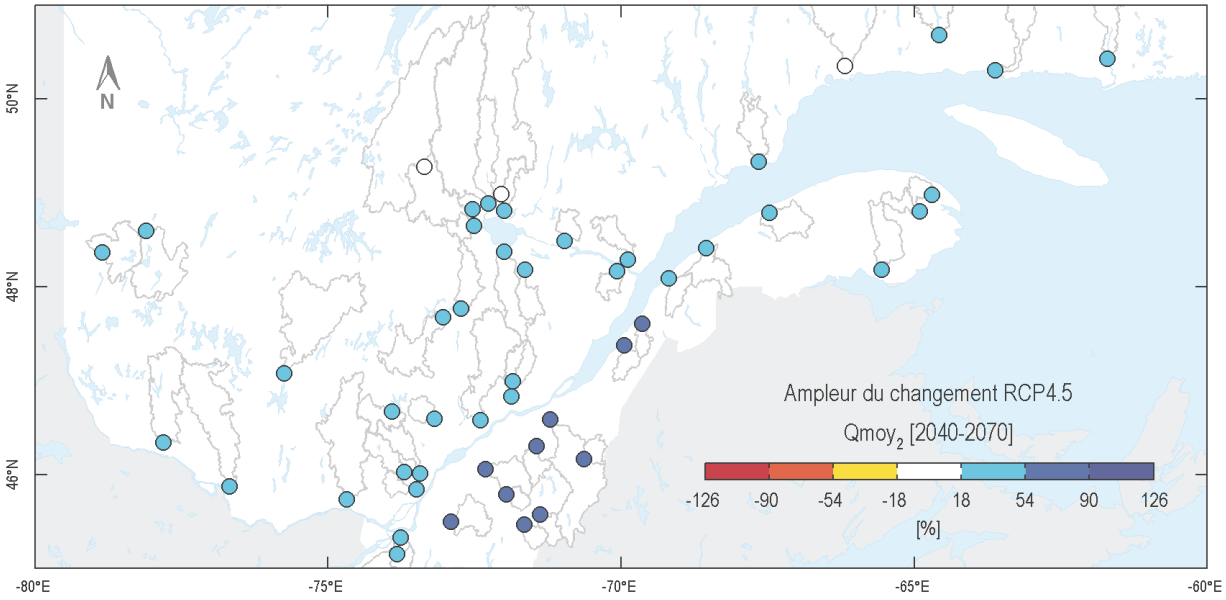
L'indicateur hydrologique Qmoy$_1$ correspond au débit moyen du mois de janvier. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation très probable du Qmoy$_1$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de + 20 à + 90 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 120 % (RCP8.5). L'augmentation du Qmoy$_1$ serait plus importante au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée en moyenne à ± 16 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

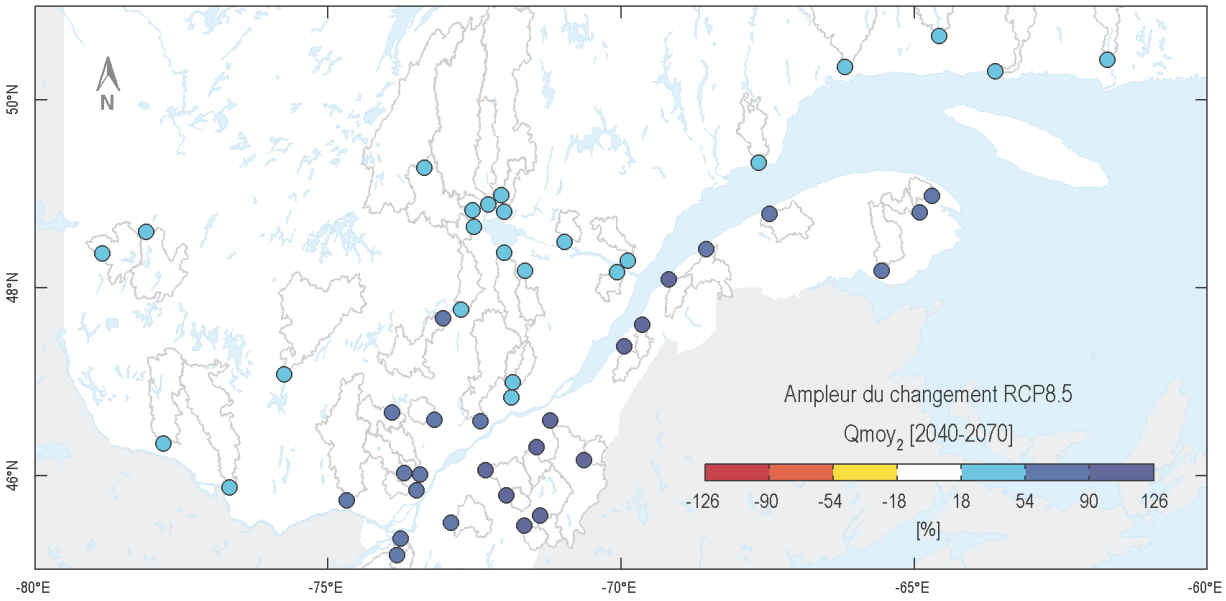
Hydraulicité en février

Débit moyen mensuel





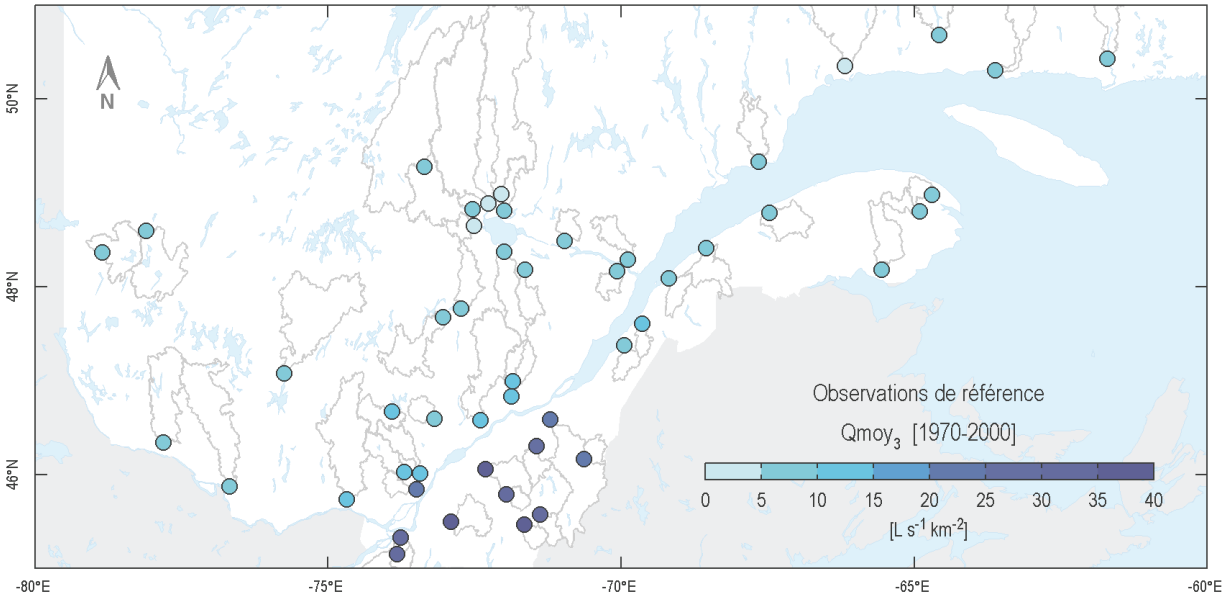


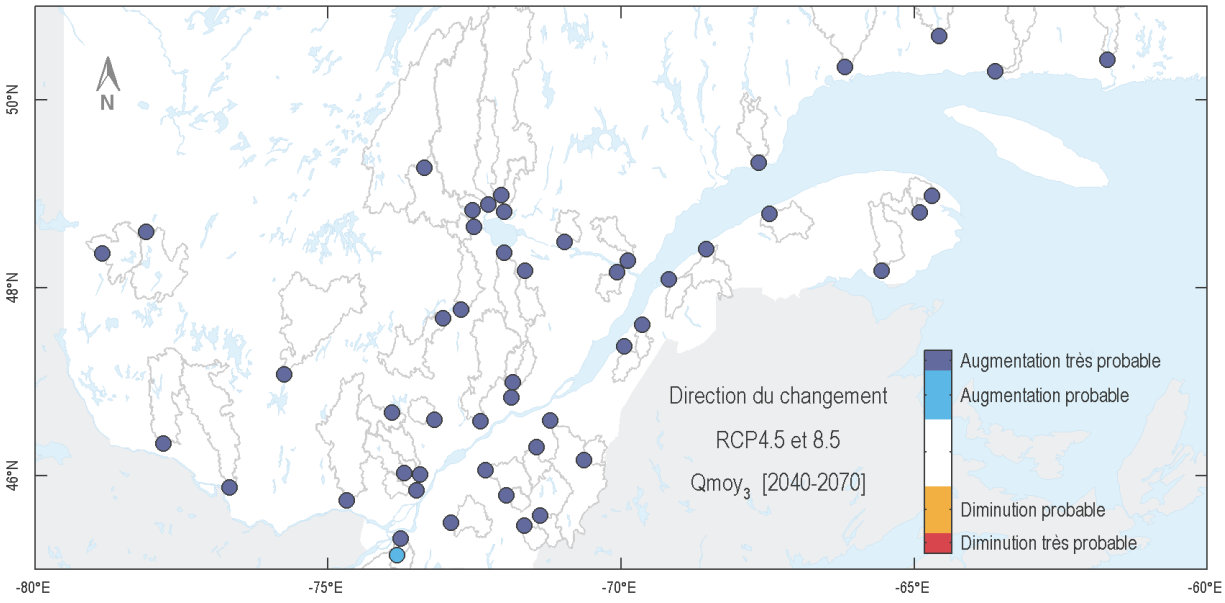


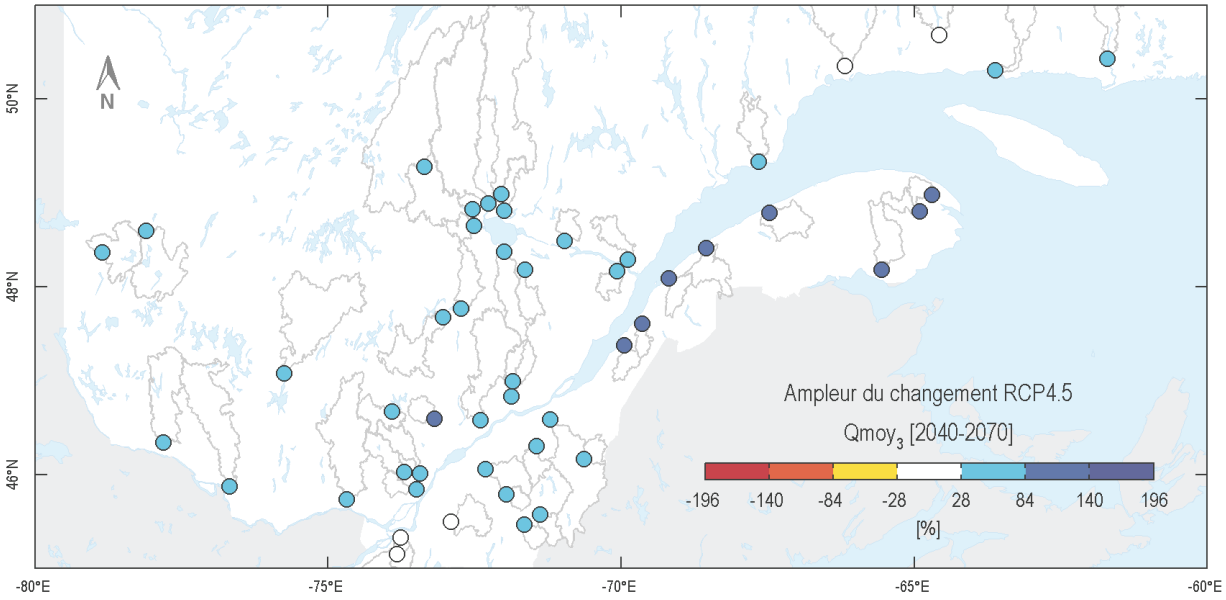
L'indicateur hydrologique Qmoy$_2$ correspond au débit moyen du mois de février. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation très probable du Qmoy$_2$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de + 20 à + 90 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 120 % (RCP8.5). L'augmentation du Qmoy$_2$ serait plus importante au sud du fleuve Saint-Laurent. La dispersion est estimée en moyenne à ± 17 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

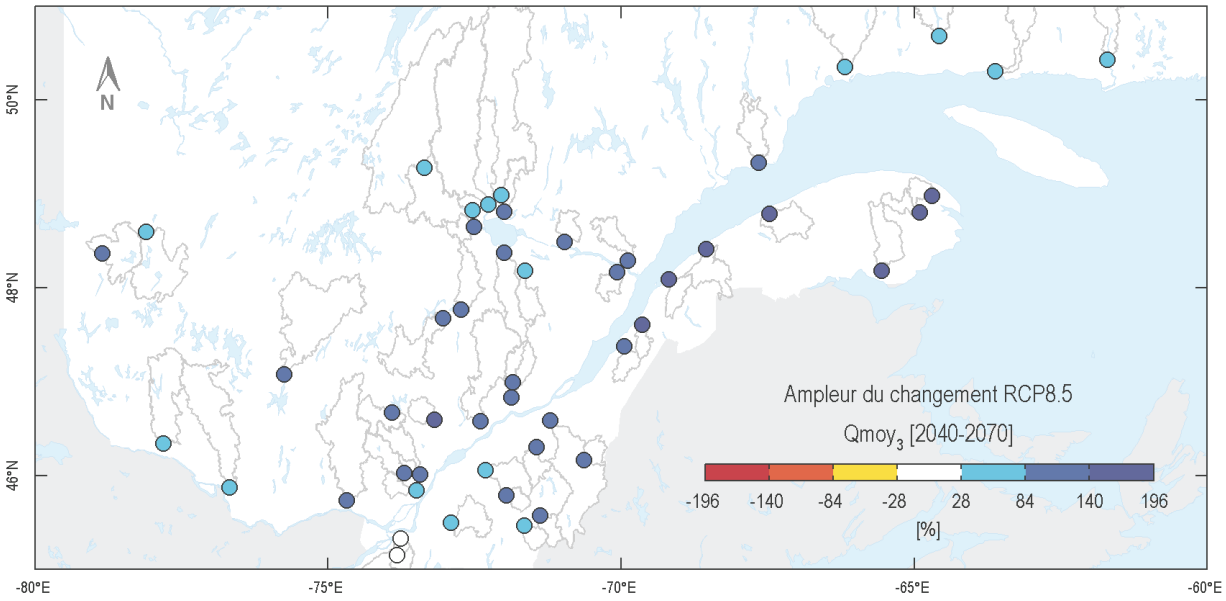
Hydraulicité en mars

Débit moyen mensuel





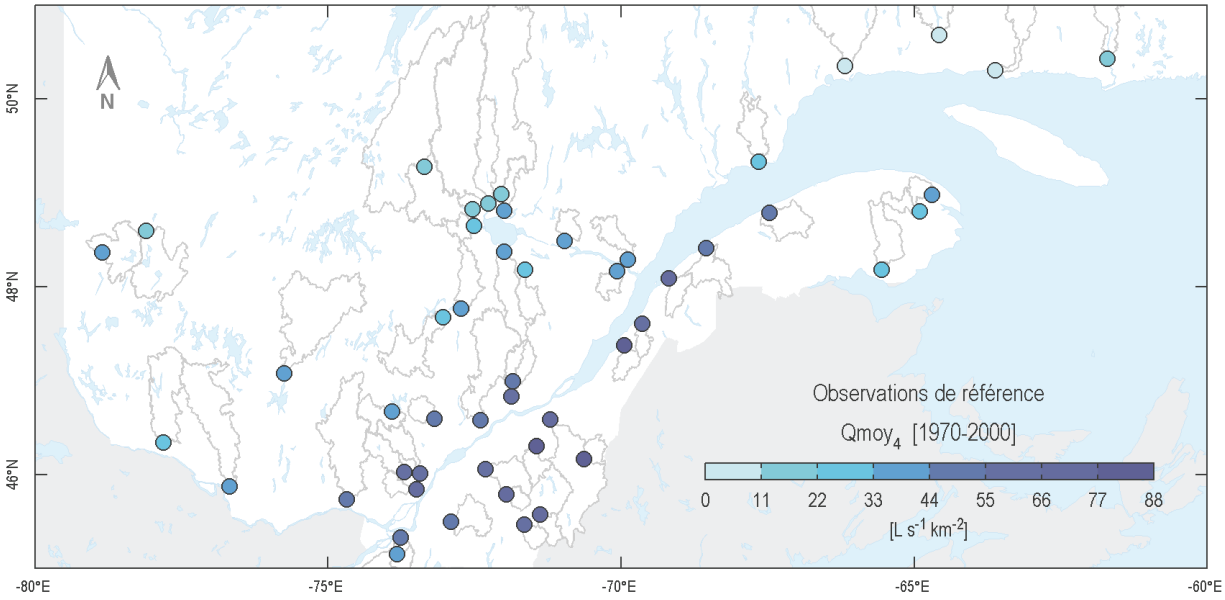


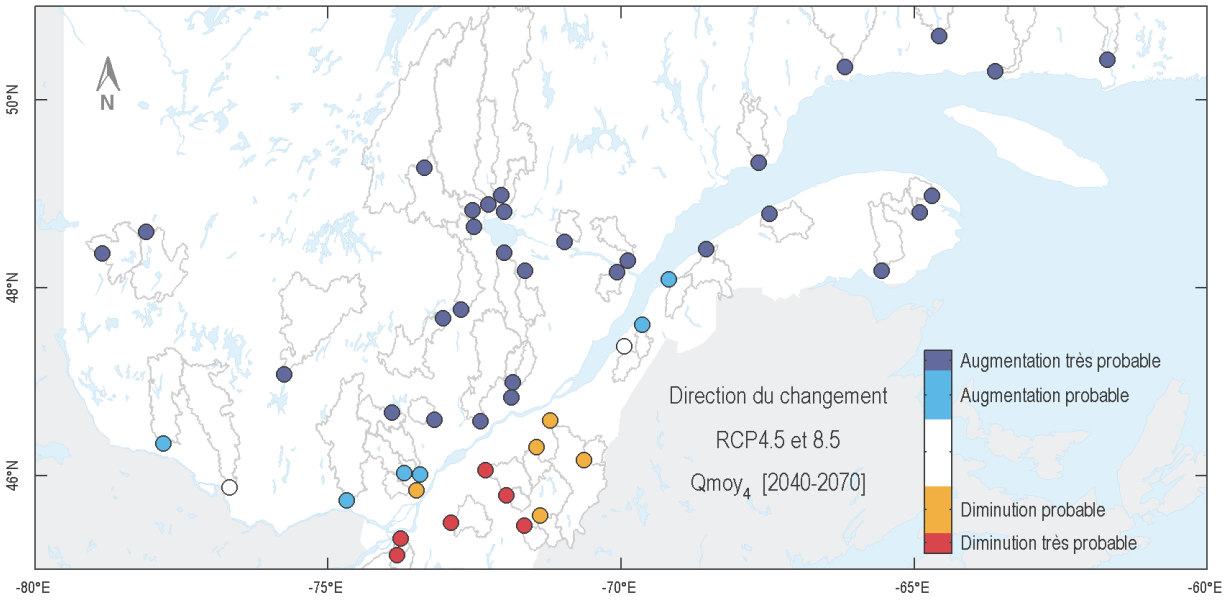


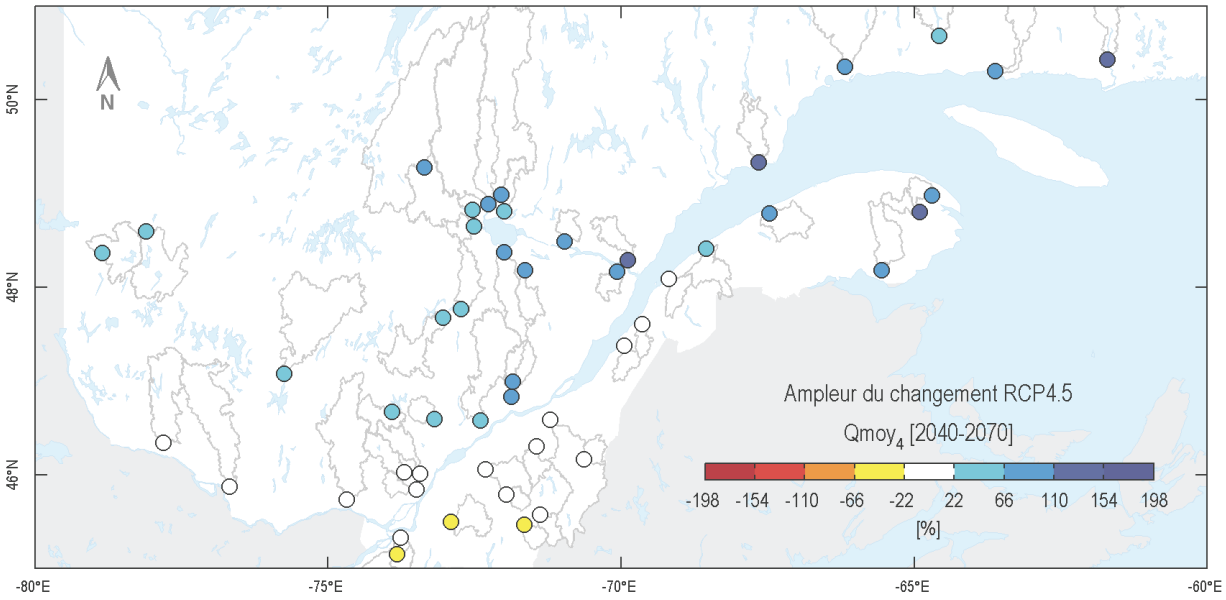
L'indicateur hydrologique Qmoy$_3$ correspond au débit moyen du mois de mars. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation très probable du Qmoy$_3$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de + 20 à + 150 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 200 % (RCP8.5). L'augmentation la plus appréciable du Qmoy$_3$ serait localisée en Gaspésie. La dispersion varie selon les régions, et est estimée en moyenne à ± 34 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

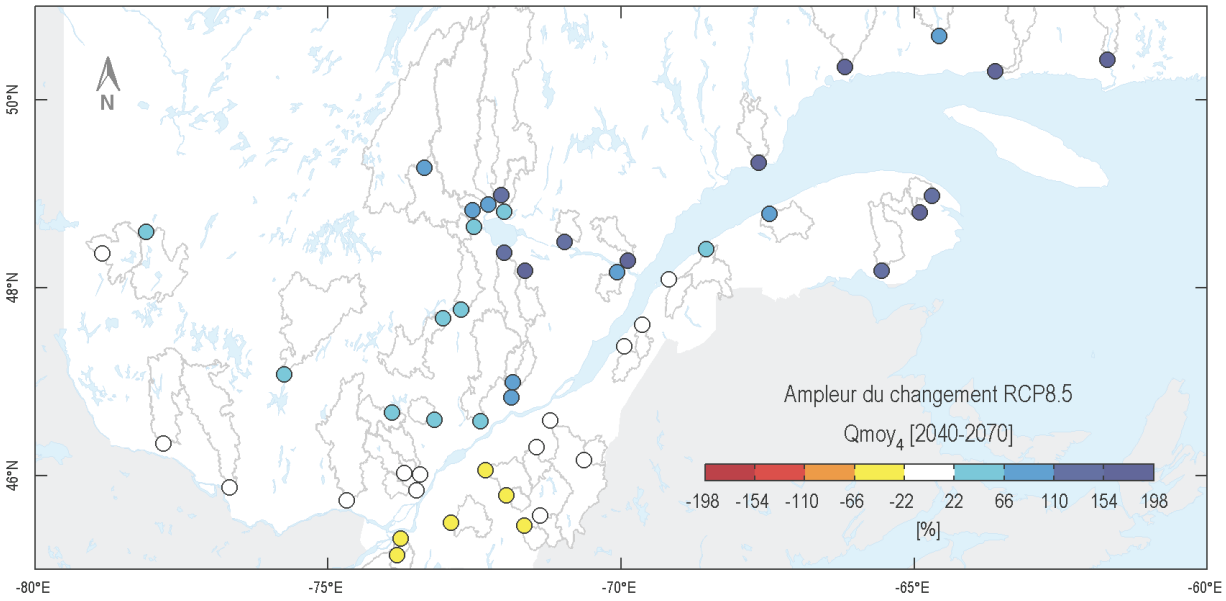
Hydraulicité en avril

Débit moyen mensuel





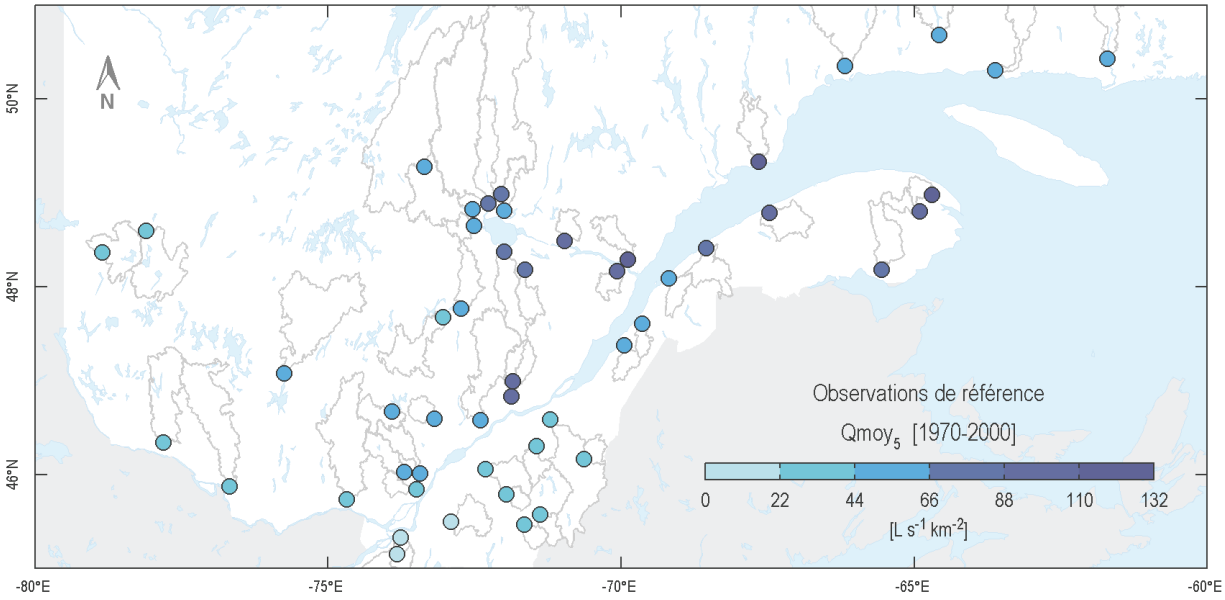


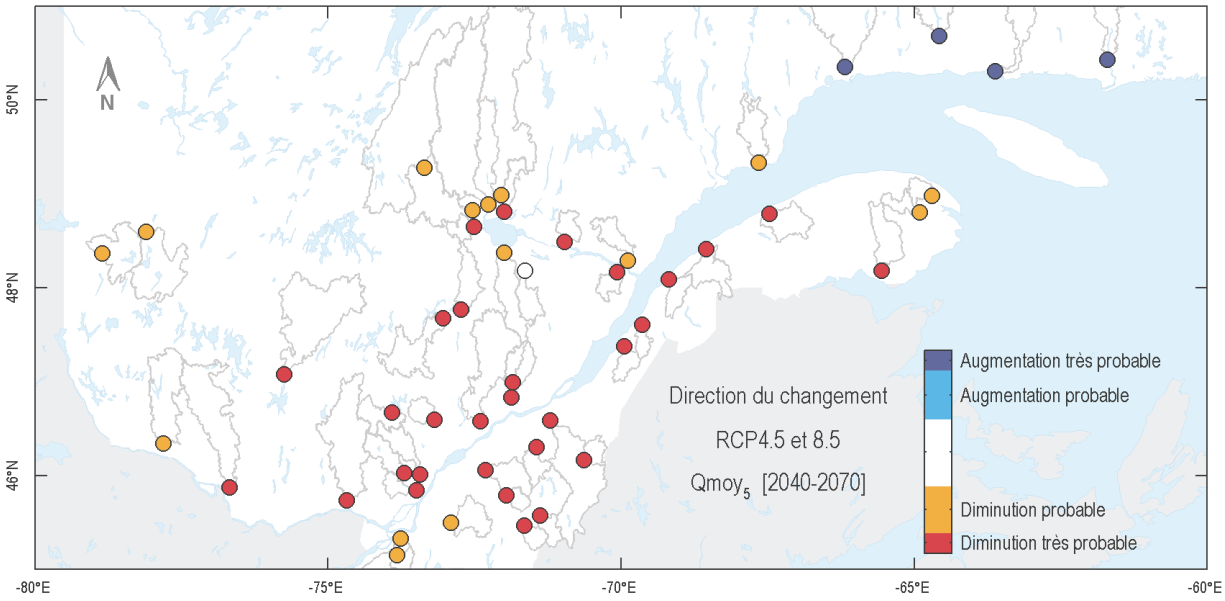


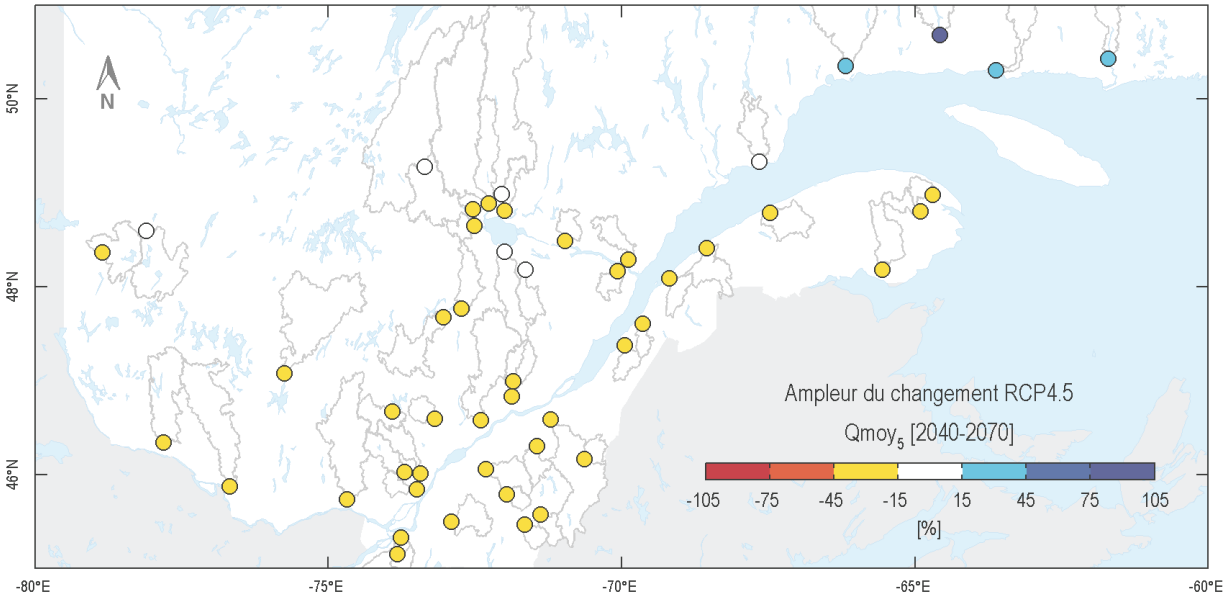
L'indicateur hydrologique Qmoy$_4$ correspond au débit moyen du mois d'avril. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du Qmoy$_4$ sur l'extrême sud du Québec méridional, de l'ordre de - 20 à - 40 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 60 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation très probable du Qmoy$_4$ au nord du fleuve Saint-Laurent et en Gaspésie, de l'ordre de + 20 à + 150 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 200 % (RCP8.5). La dispersion varie selon les régions, et est estimée en moyenne à ± 22 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction, l'ampleur et la dispersion du changement.

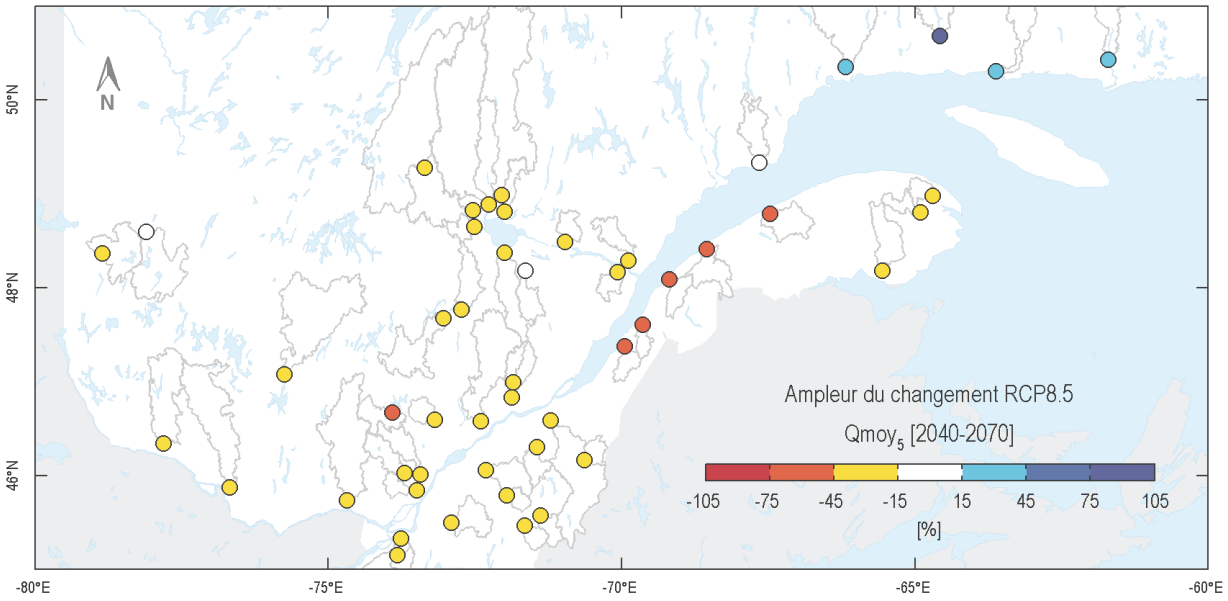
Hydraulicité en mai

Débit moyen mensuel





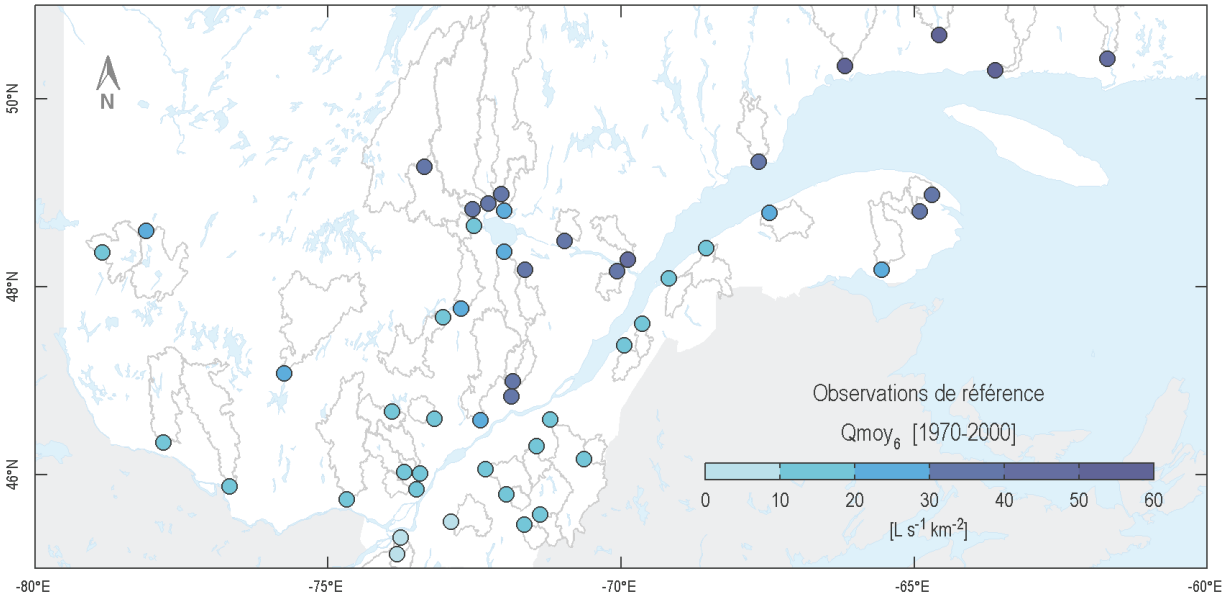


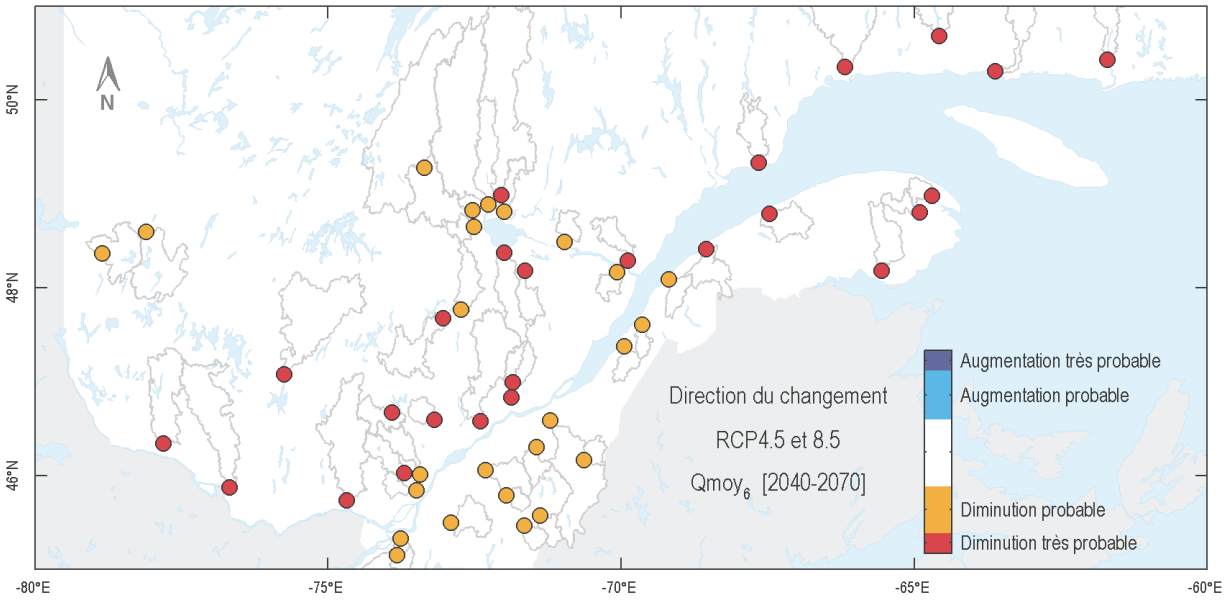


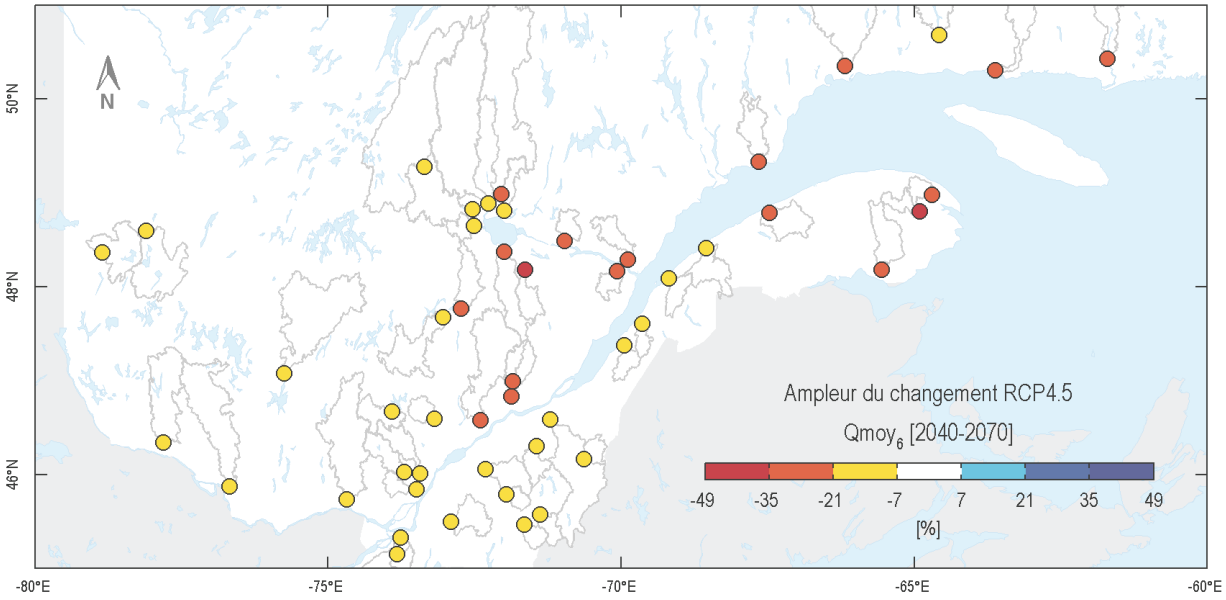
L'indicateur hydrologique Qmoy$_5$ correspond au débit moyen du mois de mai. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution de probable à très probable du Qmoy$_5$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de - 15 à - 45 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 60 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation très probable du Qmoy$_5$ sur la Côte-Nord, de l'ordre de + 15 à 50 % (RCP4.5 et 8.5). La dispersion varie selon les régions, et est estimée en moyenne à ± 12 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction, l'ampleur et la dispersion du changement.

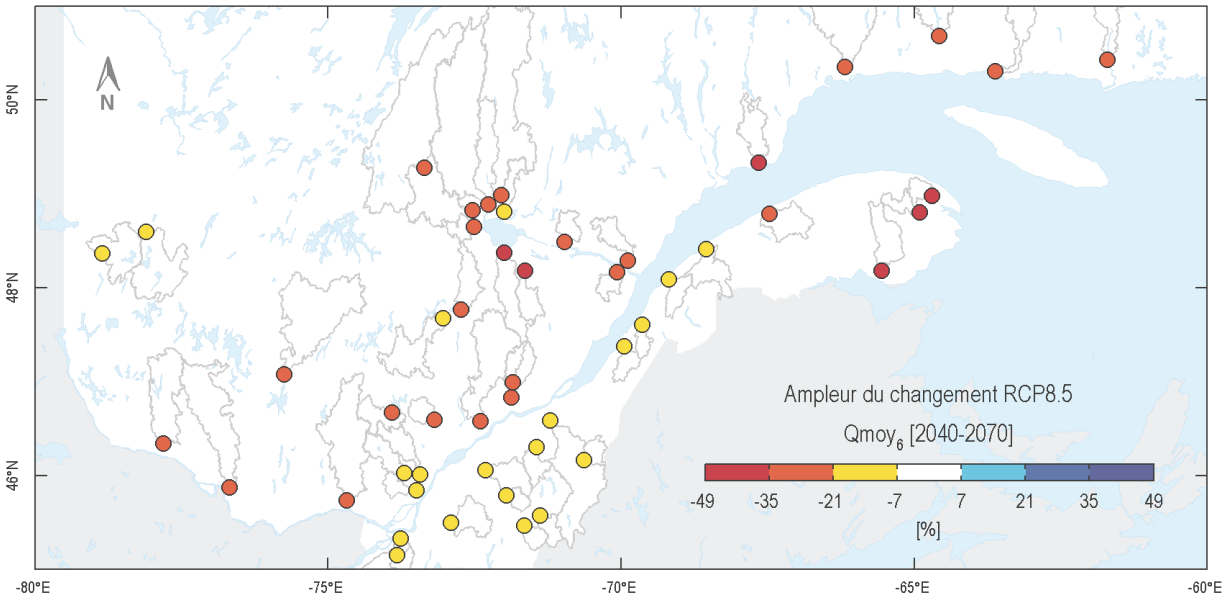
Hydraulicité en juin

Débit moyen mensuel





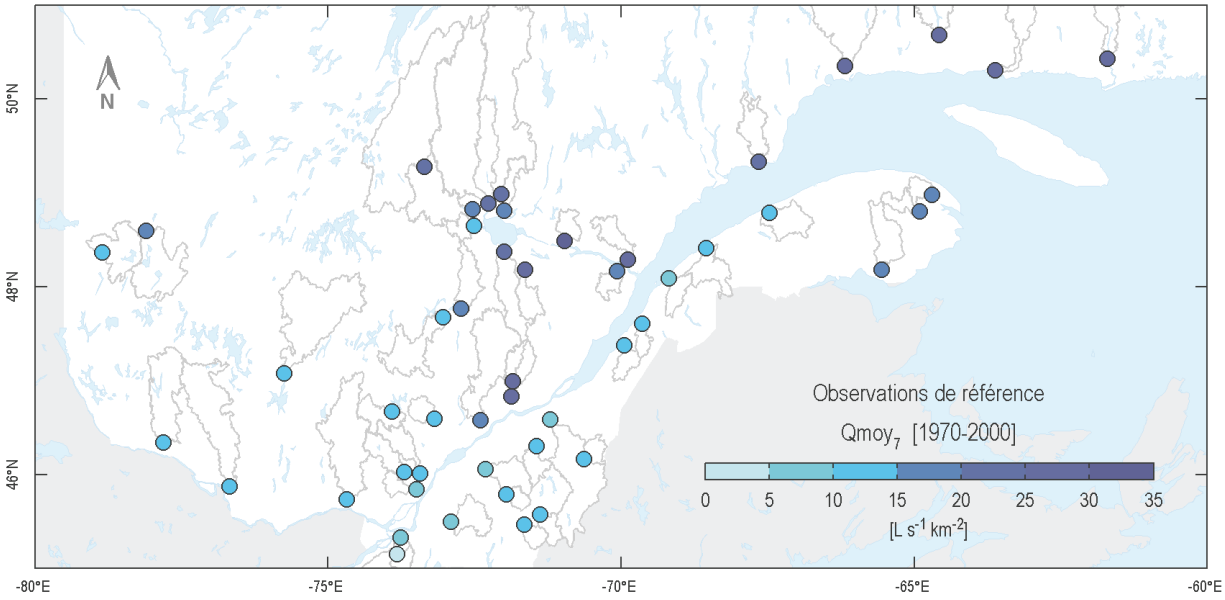


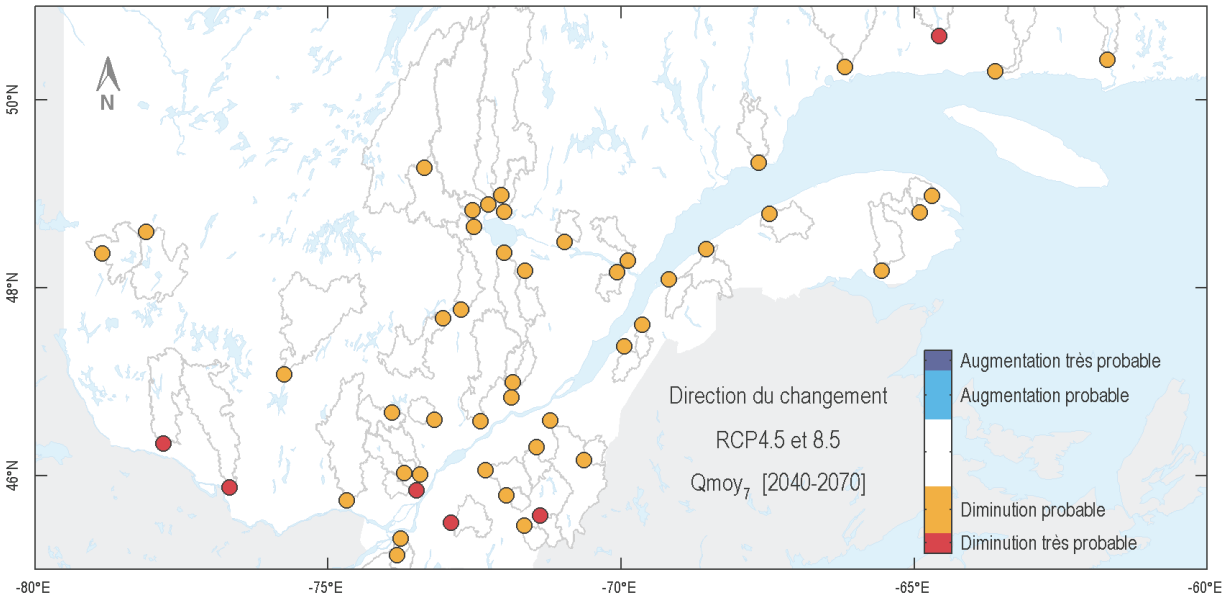


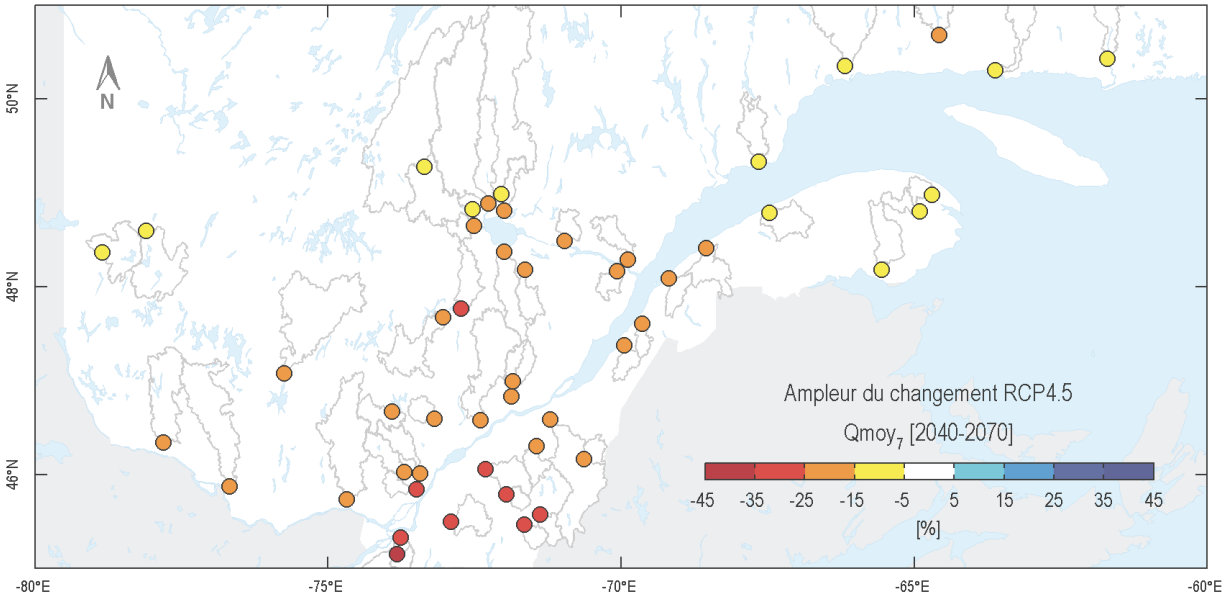
L'indicateur hydrologique Qmoy$_6$ correspond au débit moyen du mois de juin. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du Qmoy$_6$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 35 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 45 % (RCP8.5). La dispersion varie selon les régions, et est estimée en moyenne à ± 11 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

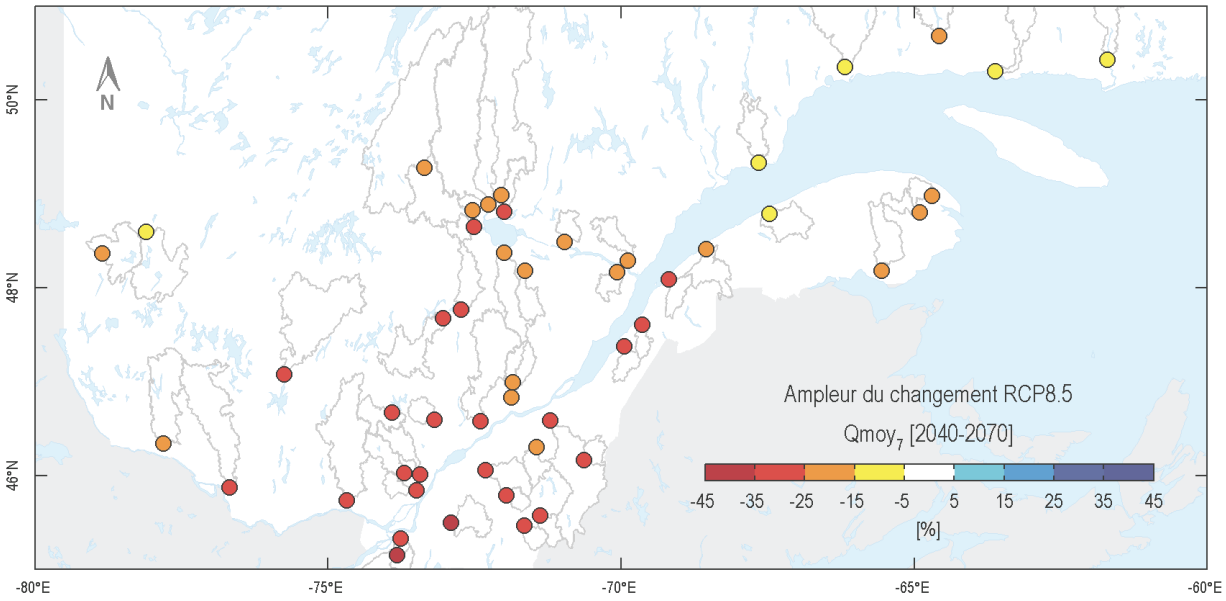
Hydraulicité en juillet

Débit moyen mensuel





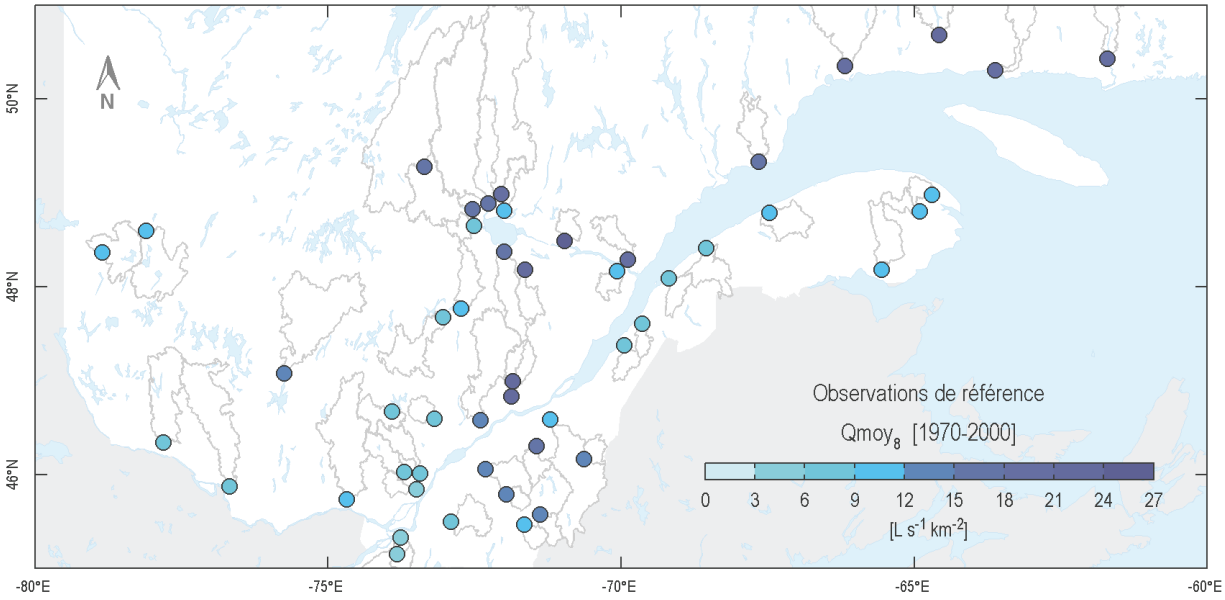


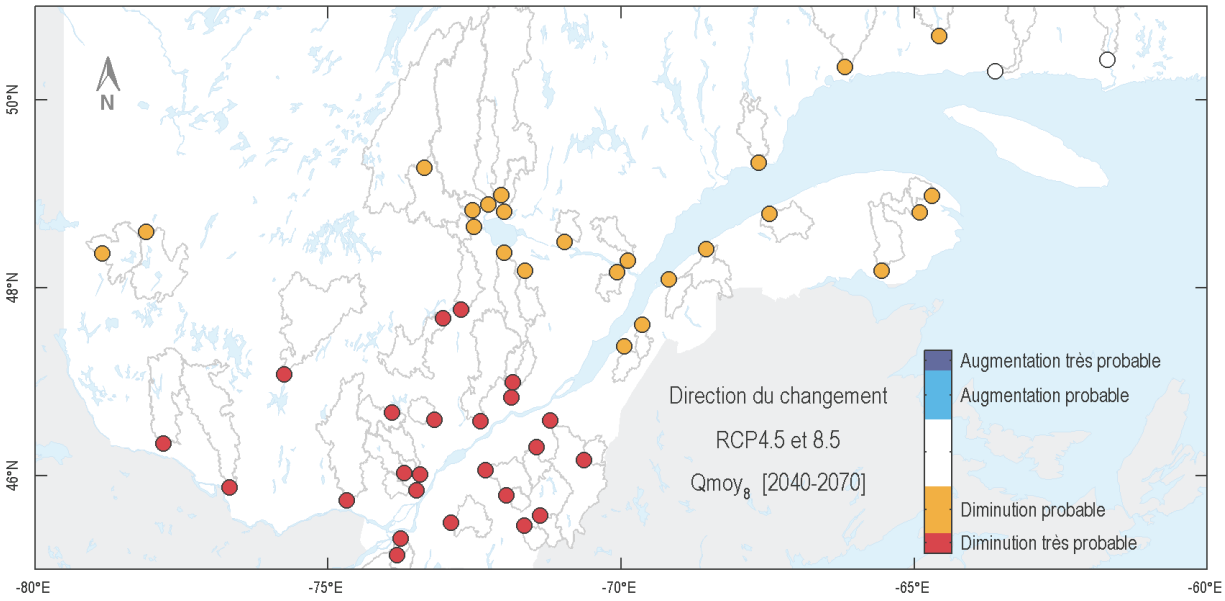


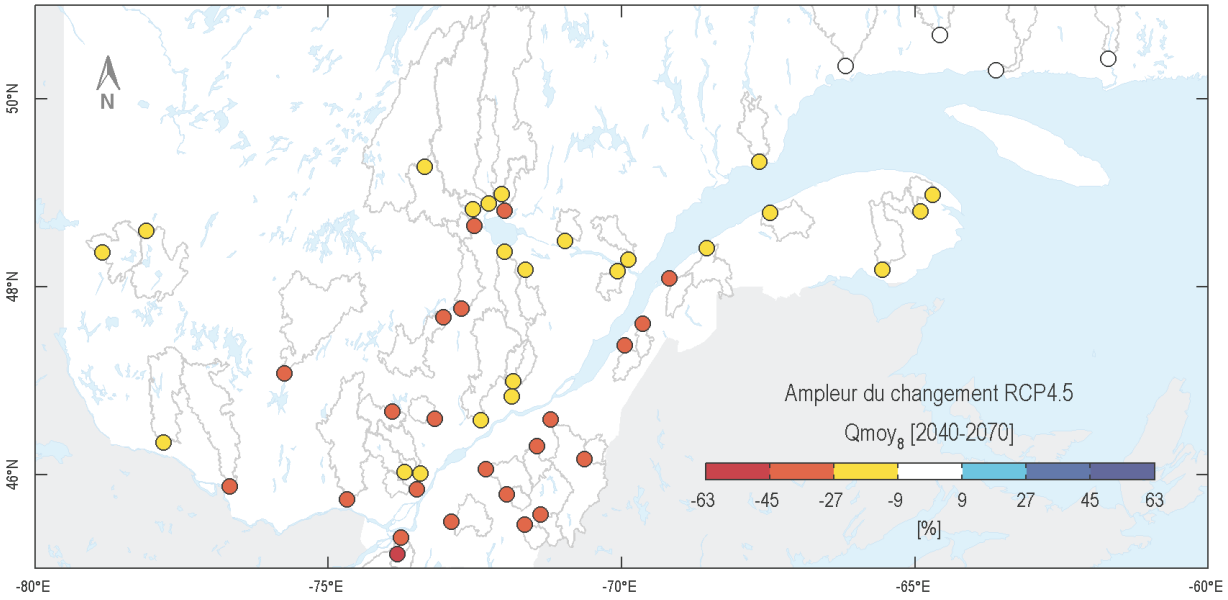
L'indicateur hydrologique Qmoy$_7$ correspond au débit moyen du mois de juillet. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du Qmoy$_7$ sur l'ensemble du Québec méridional, de l'ordre de - 10 à - 20 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 35 % sur l'extrême sud du Québec méridional (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 12 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

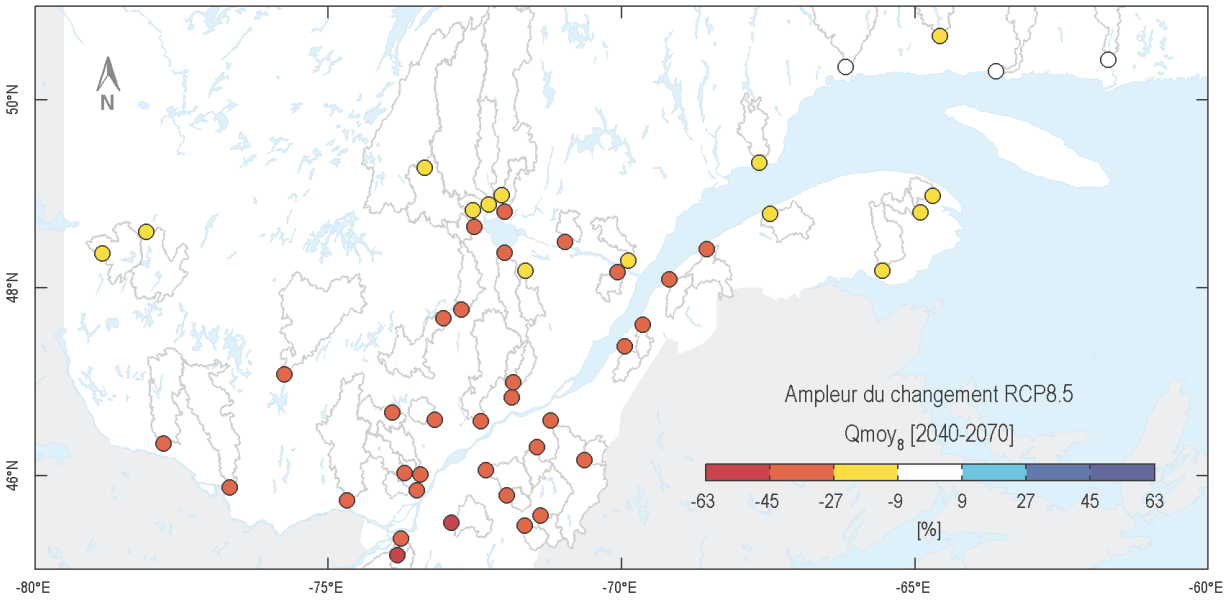
Hydraulicité en août

Débit moyen mensuel





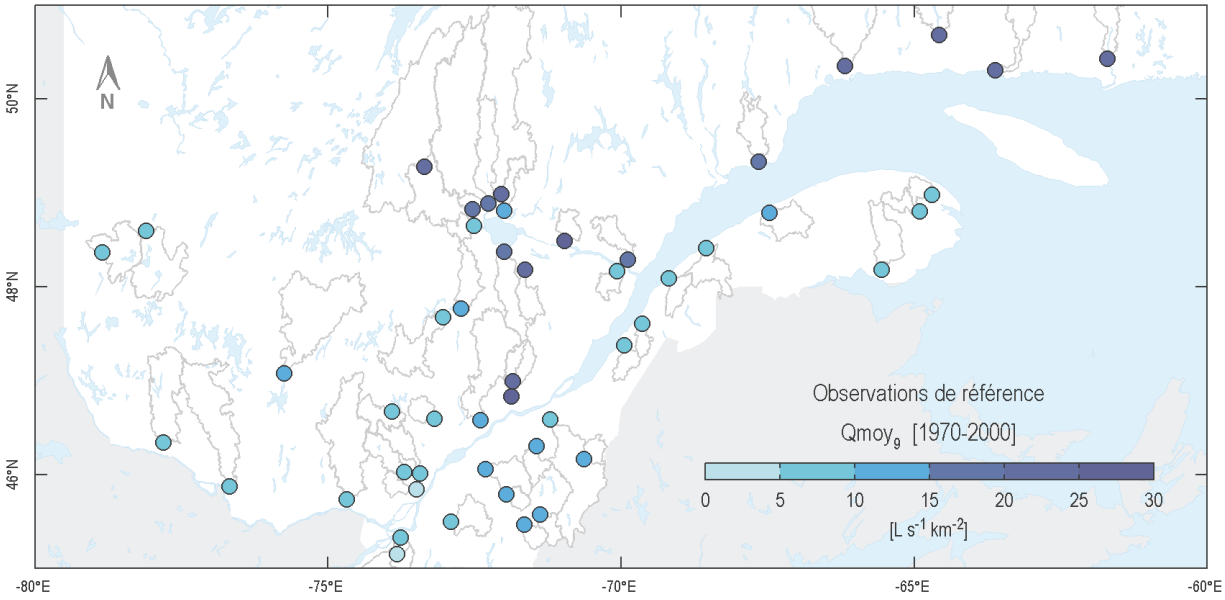


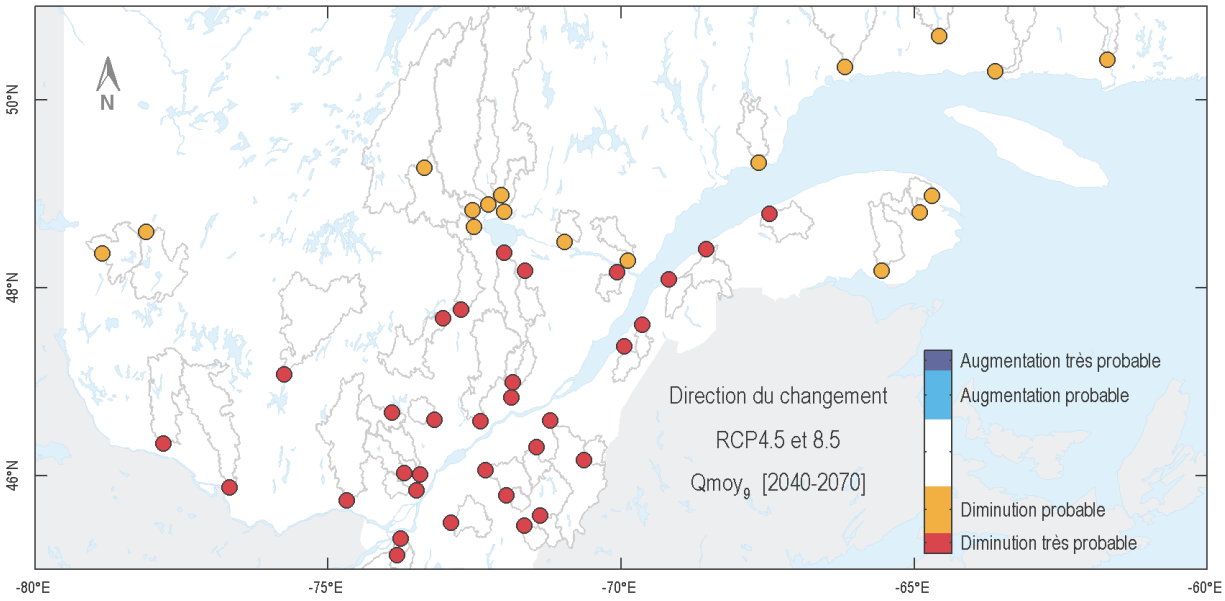


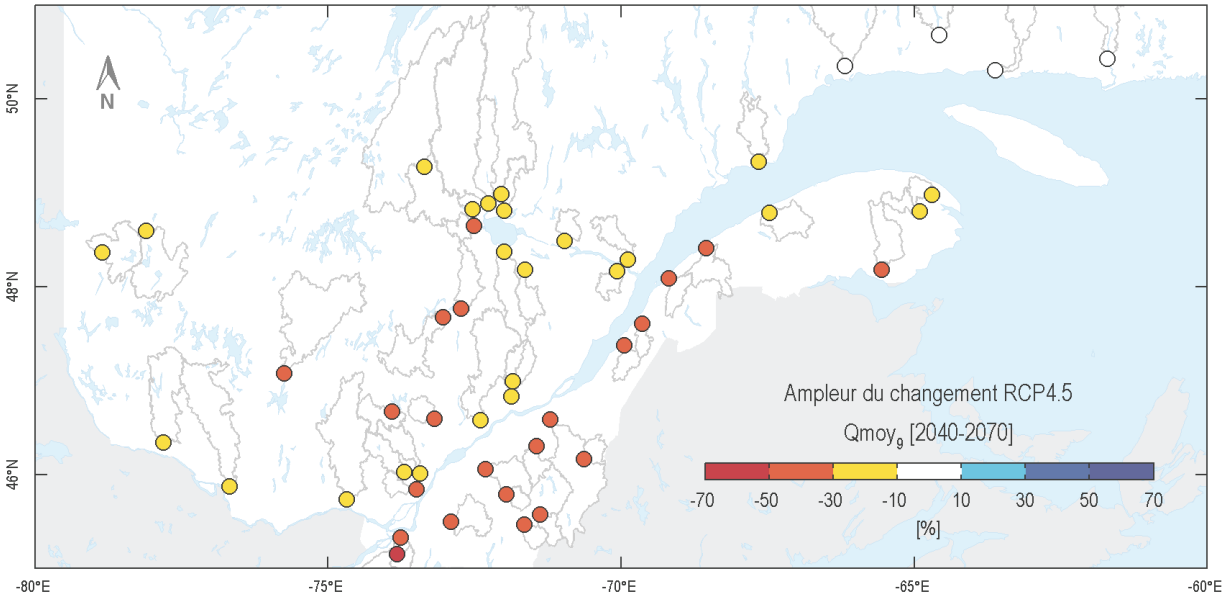
L'indicateur hydrologique Qmoy$_8$ correspond au débit moyen du mois d'août. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution de probable à très probable du Qmoy$_8$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de - 15 à - 30 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 50 % sur l'extrême sud (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 11 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

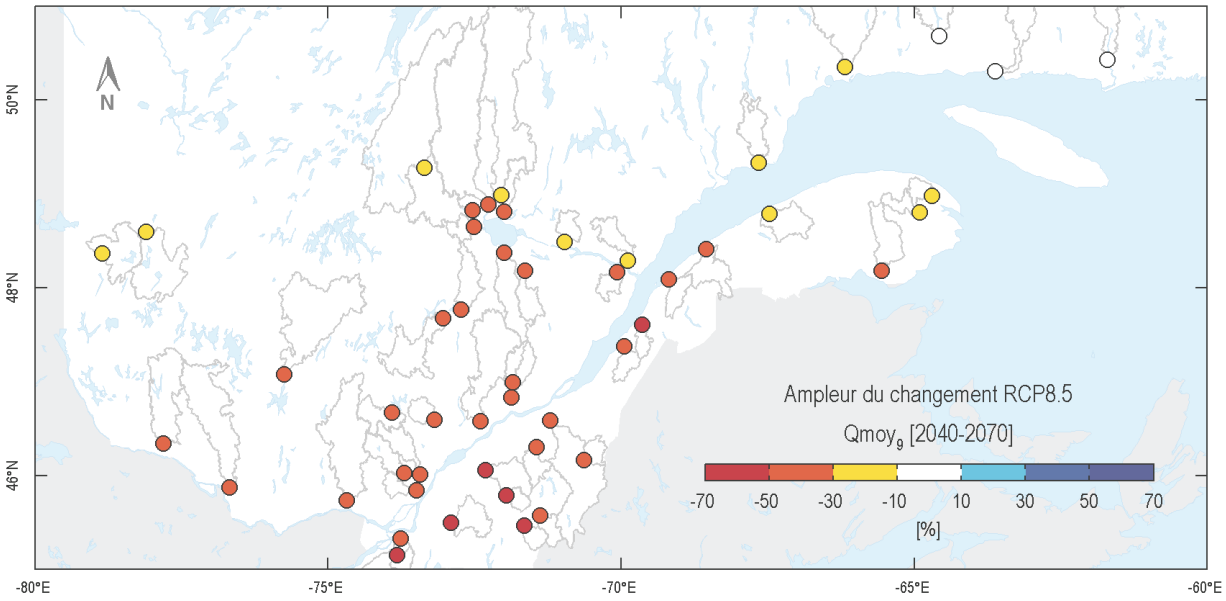
Hydraulicité en septembre

Débit moyen mensuel





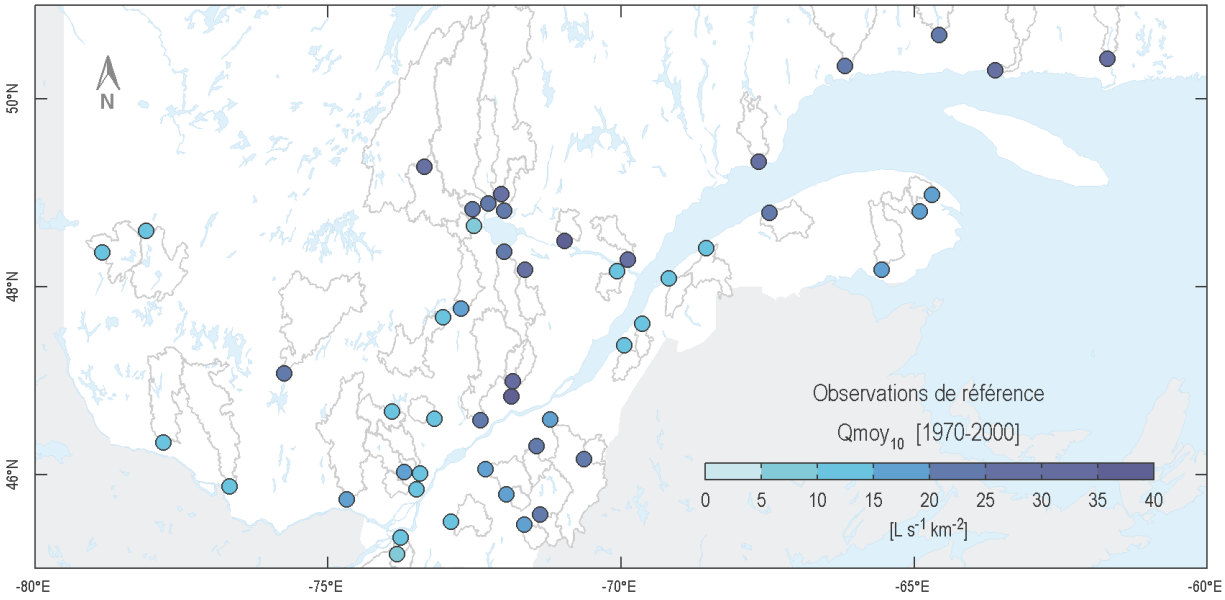


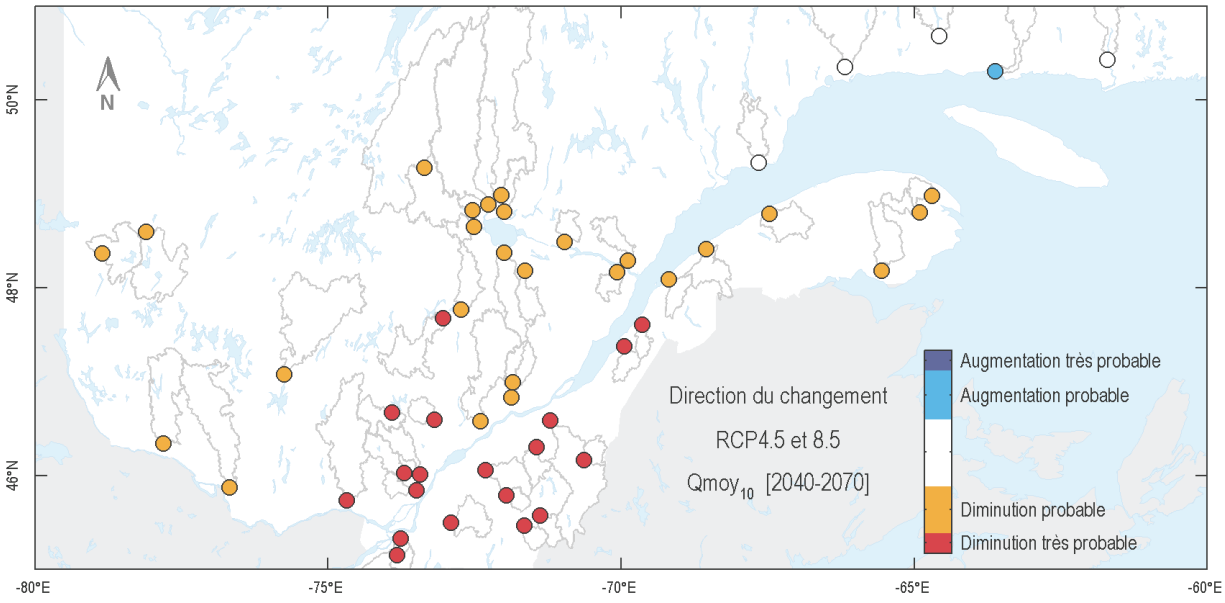


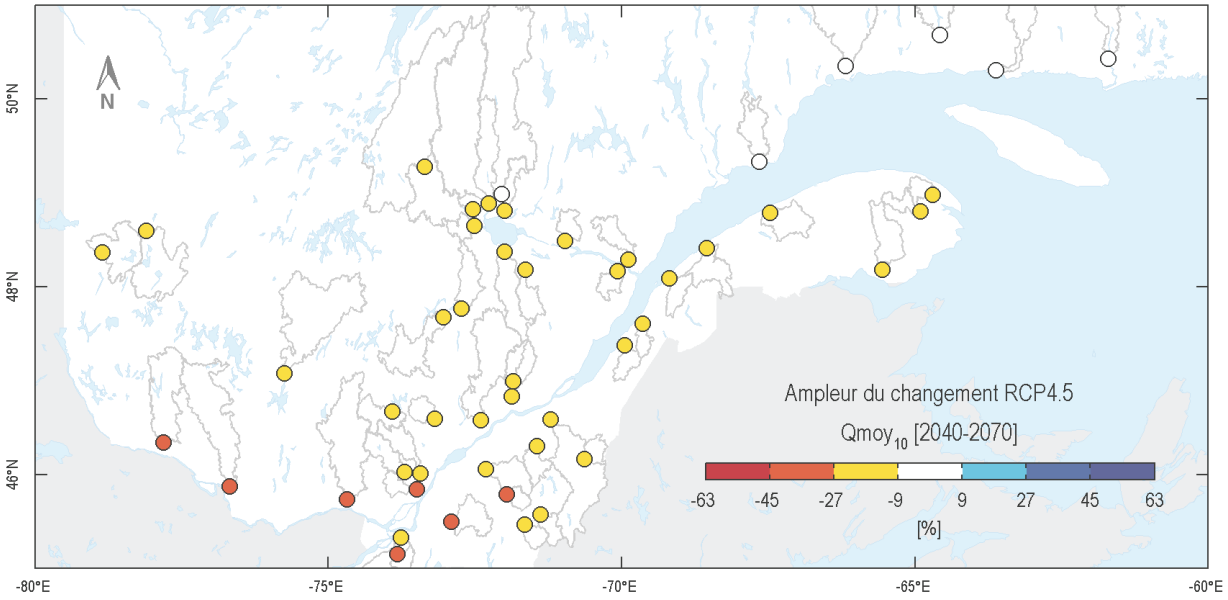
L'indicateur hydrologique Qmoy$_9$ correspond au débit moyen du mois de septembre. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution de probable à très probable du Qmoy$_9$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de - 20 à - 40 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 60 % sur l'extrême sud (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 12 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

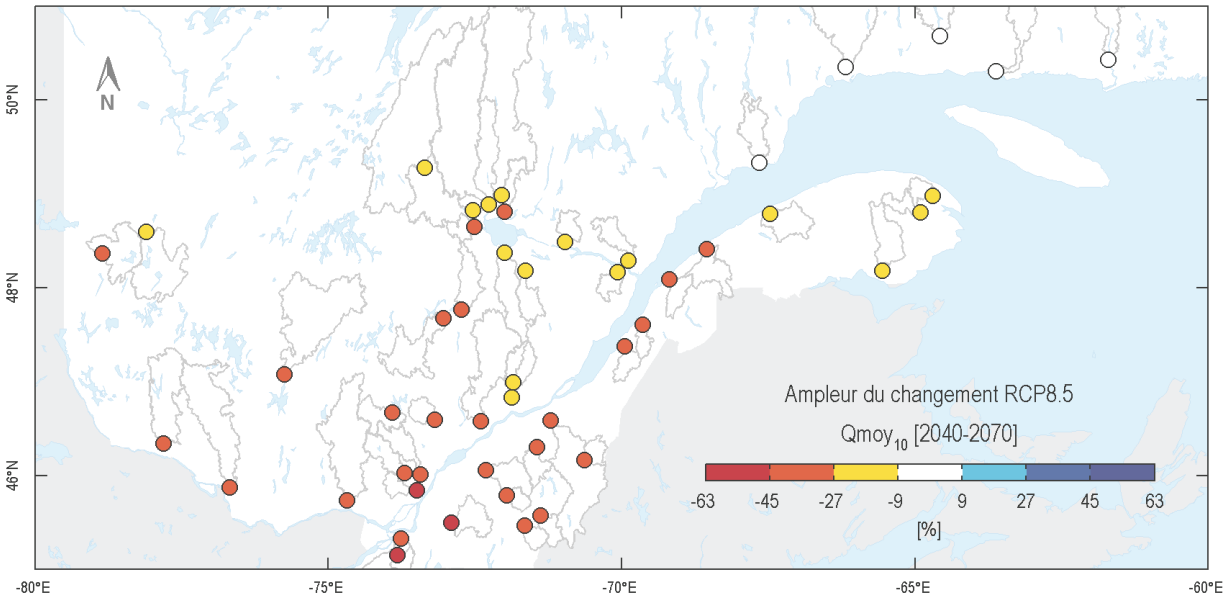
Hydraulicité en octobre

Débit moyen mensuel





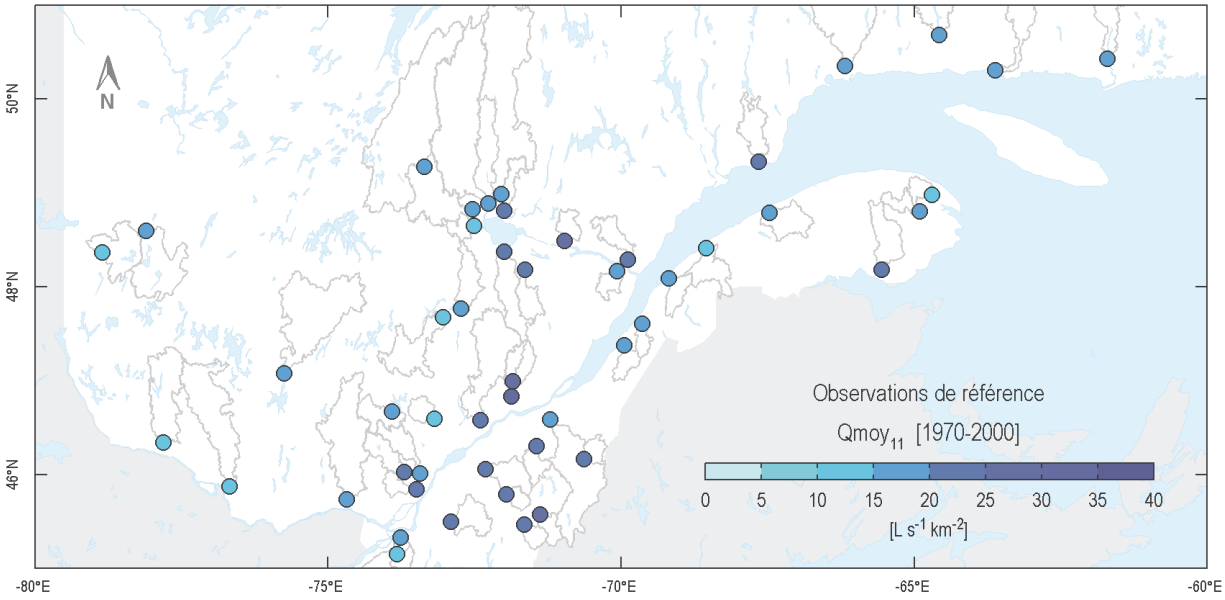


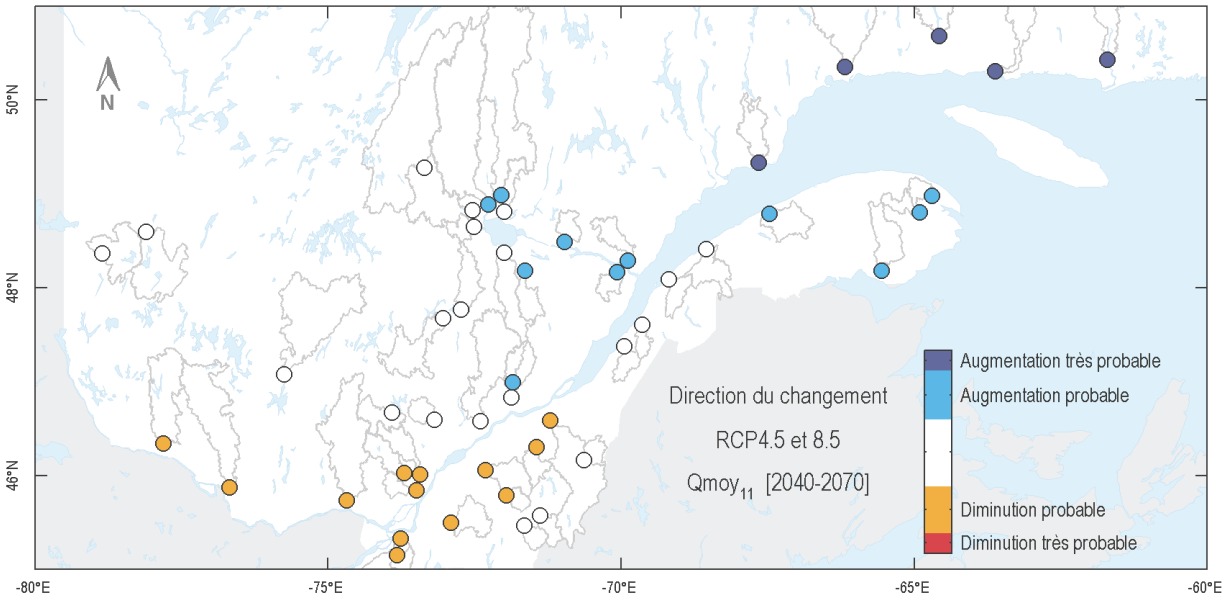


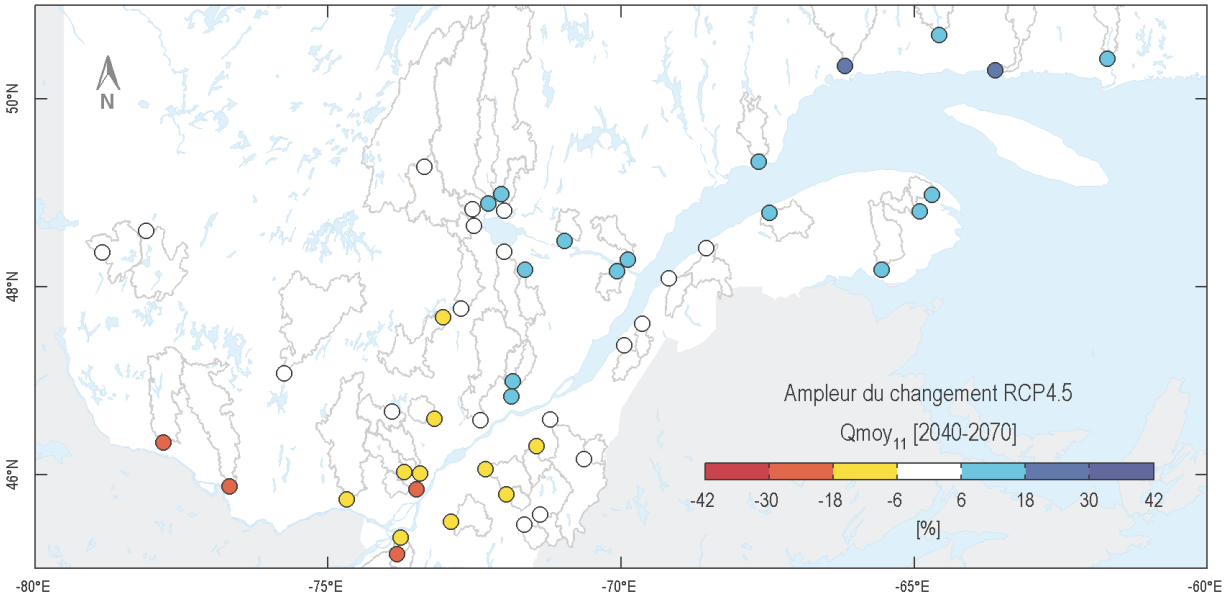
L'indicateur hydrologique Qmoy$_{10}$ correspond au débit moyen du mois d'octobre. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable à très probable du Qmoy$_{10}$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de - 20 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 50 % sur l'extrême sud (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 12 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement, et modéré pour l'ampleur et la dispersion.

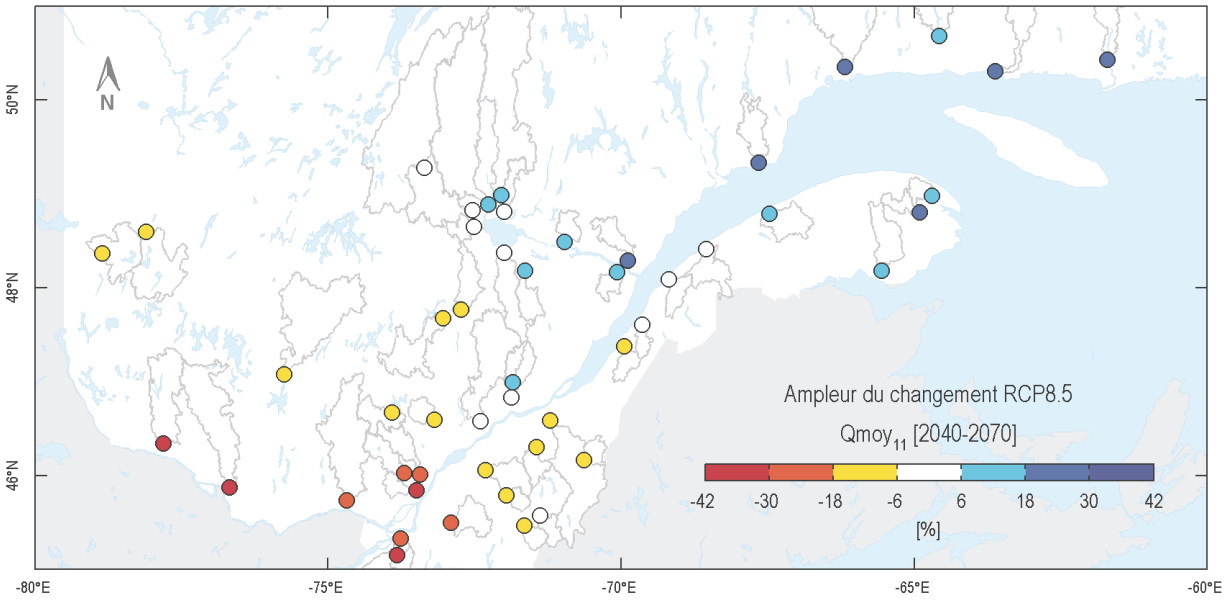
Hydraulicité en novembre

Débit moyen mensuel





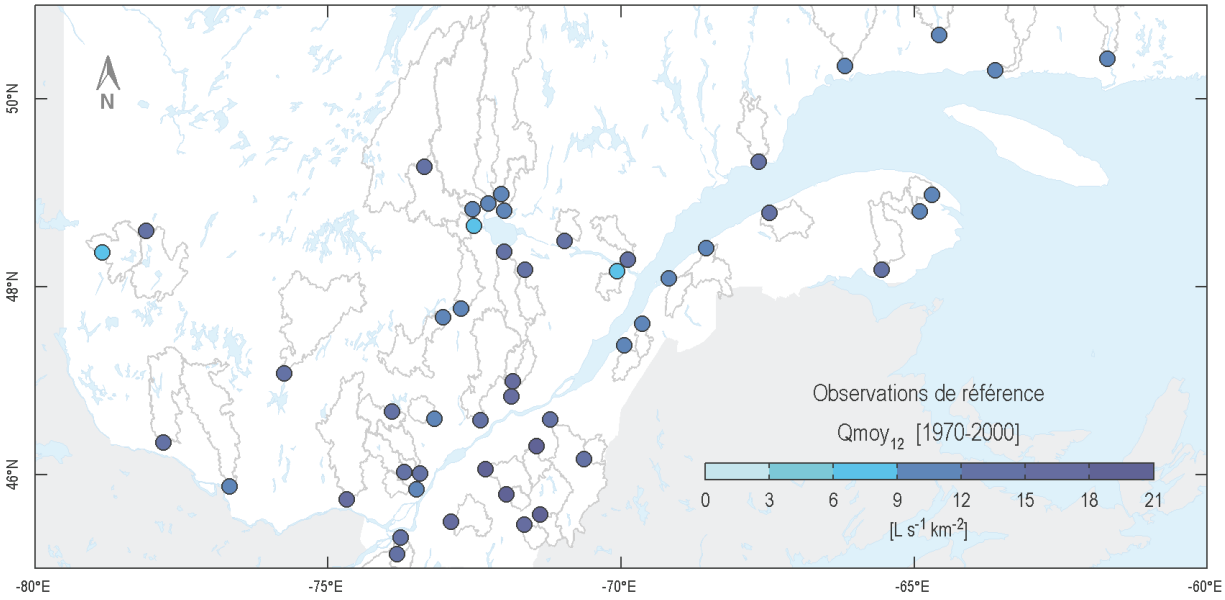


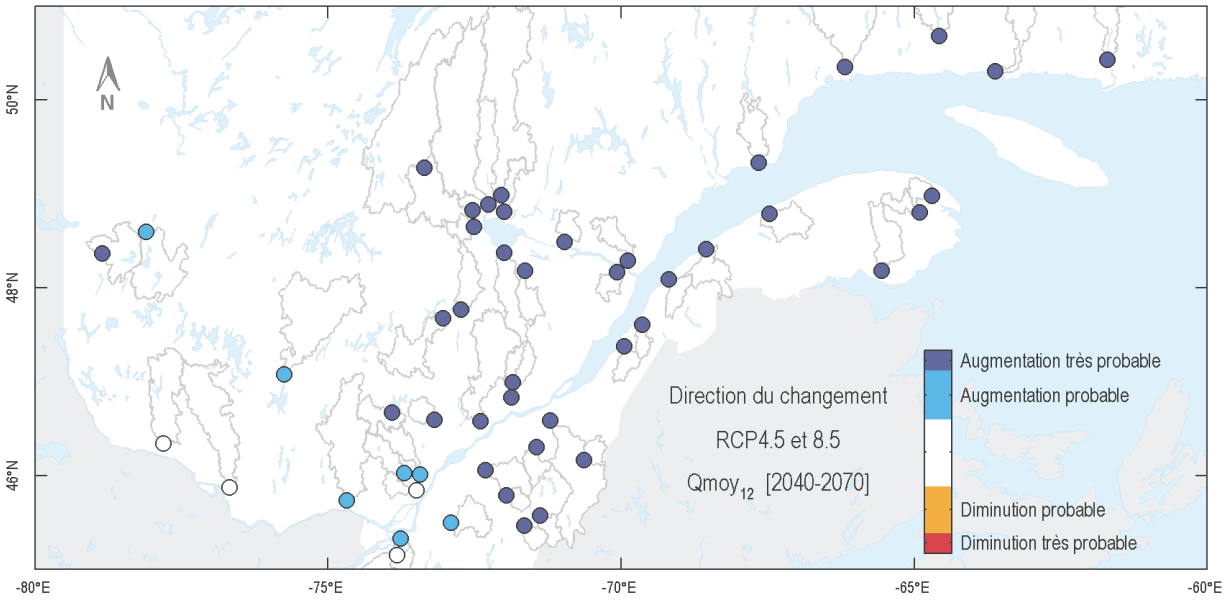


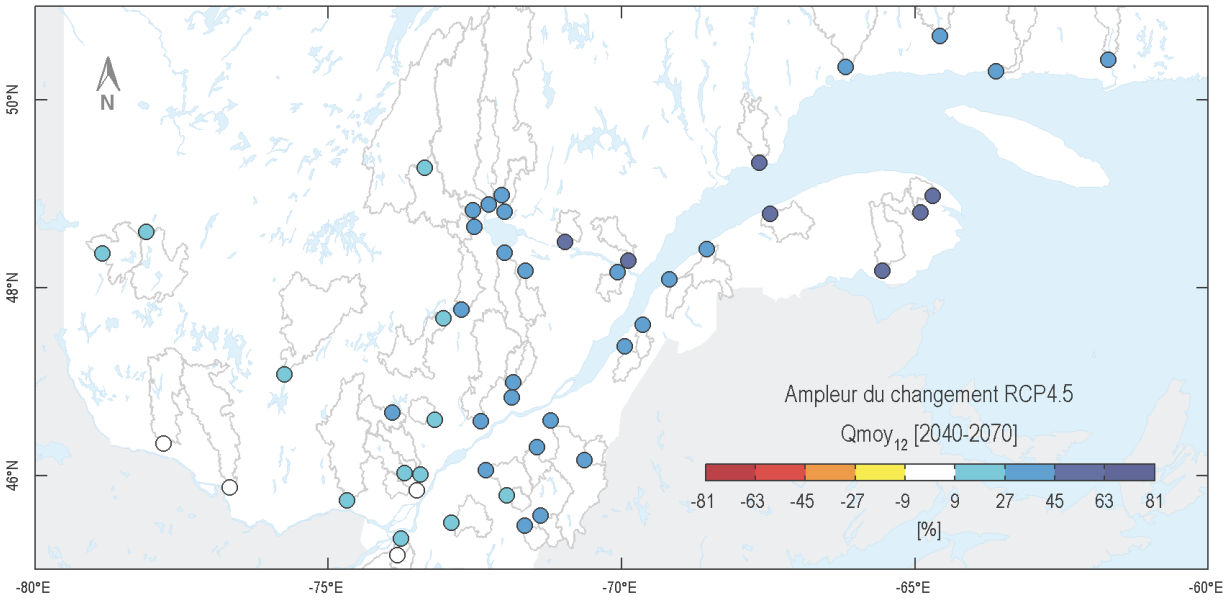
L'indicateur hydrologique Qmoy$_{11}$ correspond au débit moyen du mois de novembre. À l'horizon 2050, les projections décrivent une diminution probable du Qmoy$_{11}$ sur le sud du Québec méridional, de l'ordre de - 15 à - 25 % (RCP4.5) et pouvant atteindre - 35 % (RCP8.5). Les projections décrivent une augmentation probable à très probable du Qmoy$_{11}$ sur l'Est du Québec méridional, de l'ordre de + 15 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 30 % sur la Côte-Nord (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 12 %. Le niveau de confiance est modéré pour la direction, l'ampleur et la dispersion du changement.

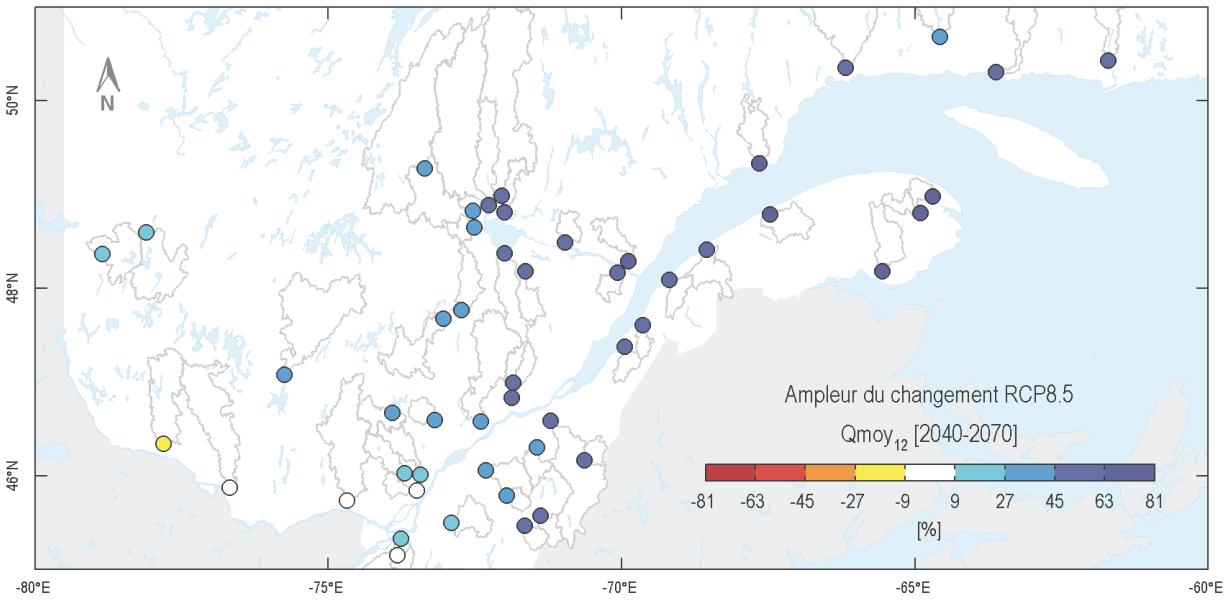
Hydraulicité en décembre

Débit moyen mensuel









L'indicateur hydrologique Qmoy$_{12}$ correspond au débit moyen du mois de décembre. À l'horizon 2050, les projections décrivent une augmentation de probable à très probable du Qmoy$_{12}$ sur une large portion du Québec méridional, de l'ordre de + 25 à + 50 % (RCP4.5) et pouvant atteindre + 75 % sur l'Est du Québec méridional (RCP8.5). La dispersion est estimée à ± 15 %. Le niveau de confiance est élevé pour la direction du changement et modéré pour l'ampleur et la dispersion.



Photo : Sylvie Laurence

Éléments méthodologiques

Modélisation du climat

Les modèles climatiques sont des représentations numériques des interactions et des rétroactions entre l'atmosphère, les océans, les eaux douces, la cryosphère, les terres émergées et la biosphère. Les modèles climatiques dits globaux ont une résolution spatiale généralement grossière, leur maillage étant composé de colonnes verticales structurées sur une base sphérique à l'échelle de la planète (Figure 1). Les modèles climatiques jouent un rôle important dans l'analyse des changements climatiques en permettant de simuler l'impact de l'augmentation des gaz à effet de serre sur le climat. Ces modèles simulent des variables météorologiques sur de longues périodes continues (ex. température, précipitations, pression atmosphérique, humidité, ensoleillement). Les changements climatiques sont identifiés en comparant les propriétés statistiques de ces variables sur des périodes distinctes et suffisamment longues, généralement 30 ans (p. ex. : au cours de la période de 2041 à 2070, la température moyenne en janvier augmenterait de 2 degrés Celsius par rapport à la période de 1970 à 2000).

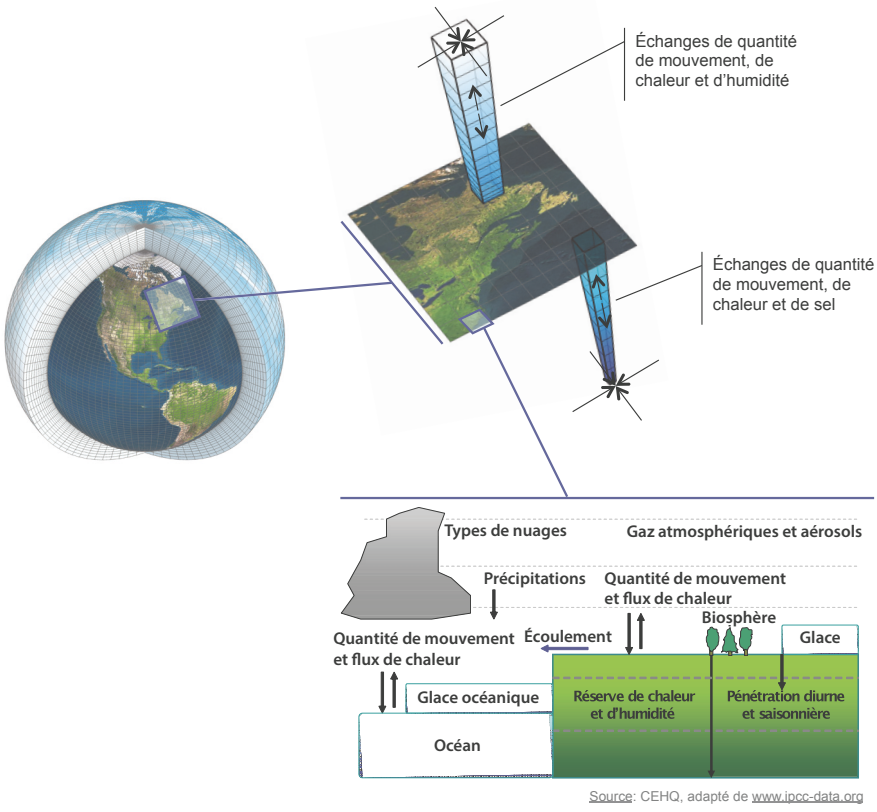


Figure 1 : Schématisation d'un modèle de climat global

Source : CEHQ, adapté de [En ligne] [http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html]

L'étude du climat se distingue donc de la météorologie, une science dont l'objectif consiste à prédire les conditions de l'atmosphère sur un court horizon de temps (quelques heures à environ dix jours). Plusieurs sources d'incertitudes sont à considérer lors de l'utilisation de modèles climatiques. Une première source, dite irréductible, émane de la nature chaotique et aléatoire des phénomènes atmosphériques. Cette incertitude est estimée par la production de membres climatiques, c'est-à-dire des simulations produites par un même modèle climatique et un même RCP à partir de conditions initiales légèrement différentes. Une deuxième source d'incertitude est liée à trajectoire future d'émission de GES qui dépendra de choix humains et politiques difficiles à prédire. L'incertitude émane finalement du fait que les modèles climatiques sont des approximations de la réalité et que leur représentation des processus atmosphériques et océanique est incomplète. Ces deux derniers types d'incertitude sont évalués en recourant à des ensembles climatiques composés de plusieurs modèles et RCP.



Photo : Guy Brochu

Simulations climatiques

Les 98 simulations climatiques utilisées pour produire l'Atlas hydroclimatique 2015 sont issues du « Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5 » (CMIP5 – Taylor et coll., 2012). Ces simulations ont été réalisées à partir de modèles globaux de troisième génération « Earth system models » intégrant une représentation plus complexe des processus liés au cycle du carbone et à la formation des nuages.

L'évolution possible des concentrations de gaz à effet de serre est représentée par quatre trajectoires appelées « Representative Concentration Pathways » (ou RCP, Van Vuuren et coll., 2011). Ces trajectoires (Figure 2) sont celles adoptées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour son 5e Rapport d'évaluation publié en 2014. Elles conduisent à des scénarios possibles d'évolution de forçage radiatif, ces derniers représentant le déséquilibre d'énergie entre, d'une part, le rayonnement solaire réchauffant la terre et, d'autre part, les émissions de rayonnement infrarouge quittant l'atmosphère. Le RCP8.5, par exemple, implique un forçage radiatif d'environ 8,5 W/m^2 en 2100. Le Tableau 2 présente les simulations issues de CMIP5 utilisées pour la production de l'Atlas hydroclimatique 2015. Les simulations issues des trajectoires RCP2.6 et RCP6.0 (15 et 9 simulations respectivement) n'ont pas été retenues en raison de leur faible nombre. Le RCP2.6 est également jugé moins réaliste que les autres. Il correspond à une évolution où le réchauffement serait limité à moins de 2 °C. Le nombre de simulations disponibles pour les RCP4.5 et RCP8.5 est respectivement de 51 et de 47. Le RCP4.5 est généralement considéré comme un scénario « optimiste » alors que le RCP8.5 est plutôt considéré comme un scénario « pessimiste ».

L'information contenue dans les simulations CMIP5 correspond au courant dominant en matière de changements climatiques établi par le GIEC. Cette information exclut les scénarios plus marginaux impliquant certaines rétroactions générées par les émissions anthropiques de GES (p. ex. : une fonte subite et substantielle du glacier du Groenland). Finalement, les simulations CMIP5 excluent les événements naturels pouvant altérer temporairement les projections du climat (p. ex. : éruptions volcaniques exceptionnelles).

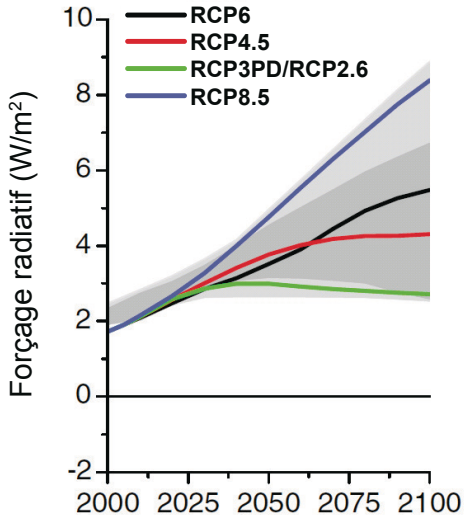


Figure 2 : Trajectoires de forçage radiatif liées aux changements climatiques (RCP)

Source : [En ligne] [http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html].

Tableau 2 : Simulations climatiques de l'ensemble CMIP5

Modèle	Institution	RCP4.5*	RCP8.5*
ACCESS1.0	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) et BOM (Bureau of Meteorology) Australie	1	1
ACCESS1.3		1	1
BCC-CSM1.1(m)	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration, Chine	1	1
BCC-CSM1.1		1	1
BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Chine	1	1
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Canada	5	4
CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici, Italie	0	1
CMCC-CM		1	1
CMCC-CMS		1	1
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques/Centre Européen de Recherche et Formation Avancées en Calcul Scientifique, France	1	1
CSIRO-Mk3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation en collaboration avec Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australie	10	10
FGOALS-g2	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; and CESS, Tsinghua University, Chine	1	1
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, États-Unis	3	1
GFDL-ESM2G		1	1
GFDL-ESM2M		1	1
GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies, États-Unis	1	0
GISS-E2-R		1	0
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace, France	4	4
IPSL-CM5A-MR		1	1
IPSL-CM5B-LR		1	1
INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics, Russie	1	1
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies et Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japon	3	3
MIROC-ESM-CHEM	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo) et National Institute for Environmental Studies, Japon	1	1
MIROC-ESM		1	1
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Allemagne	3	3
MPI-ESM-MR		3	1
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute, Japon	1	1
MRI-ESM1		0	1
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre, Norvège	1	1
	Total	**51**	**47**

* Nombre de membres climatiques par simulation.

Post-traitement

Les variables simulées par les modèles climatiques comportent généralement des biais statistiques se manifestant par exemple par des températures moyennes trop froides ou un nombre excessif de jours pluvieux. Pour la production de l'Atlas hydroclimatique 2015, les biais ont été corrigés à l'aide de deux méthodes de post-traitement schématisées à la Figure 3 : la correction par quantiles (« Quantile mapping », Figure 3a) et la perturbation par quantiles des séries observées (« Delta quantile mapping », Figure 3b). Ces deux méthodes sont basées sur la publication de Mpelasoka et Chiew (2009). La correction par quantiles a pour objectif de corriger les biais sur les variables simulées en les comparant avec un état de référence climatique observé. Des facteurs de correction sont ainsi produits pour différents quantiles, et appliqués aux variables simulées. La perturbation par quantiles évalue la différence entre les propriétés statistiques d'une même simulation climatique en isolant respectivement les périodes de référence et future. Des facteurs de perturbation sont ainsi produits pour différents quantiles et appliqués aux observations de l'état de référence pour en produire une variante « perturbée », reproduisant les changements projetés par la simulation climatique. La base de données produite par Ressources naturelles Canada (Hutchinson et coll., 2009 et Hopkinson et coll., 2011) agrégée à l'échelle spatiale des modèles climatiques globaux de l'ensemble CMIP5 a été utilisée comme état de référence climatique observé pour effectuer le post-traitement des simulations climatiques. Une simulation climatique ayant subi un post-traitement est appelée un scénario climatique.

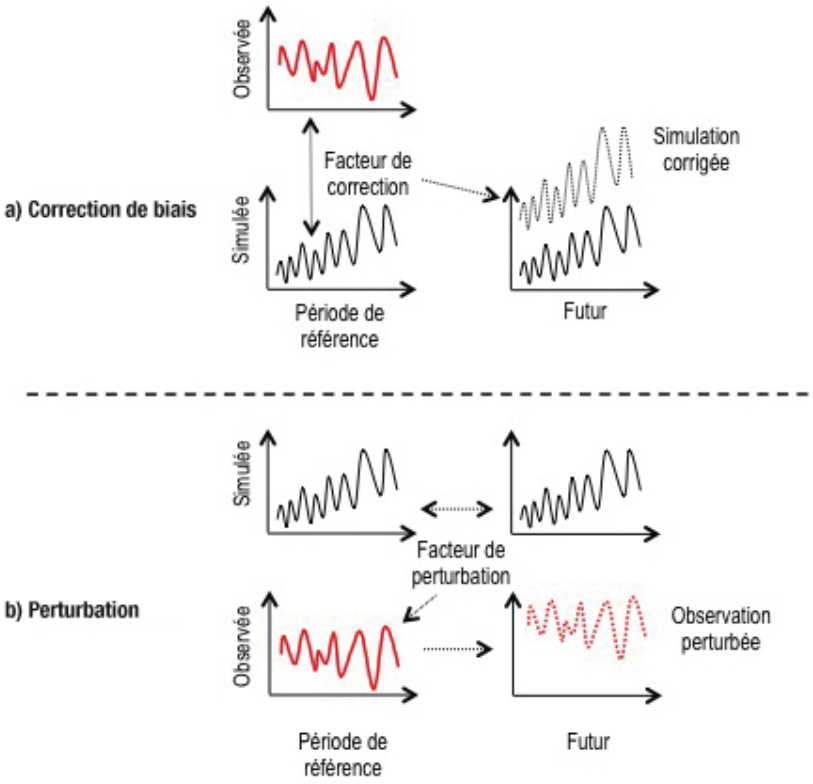


Figure 3 : Schématisation des méthodes de post-traitement utilisées : (a) Méthode de correction de biais par quantiles (« Quantile mapping »); (b) méthode de perturbation par quantiles (« Delta quantile mapping »).

Modélisation hydrologique

La modélisation hydrologique a pour objectif de simuler des débits en rivière en reproduisant les principales composantes du cycle de l'eau à l'aide de représentations numériques des processus hydrologiques se produisant à l'échelle des bassins versants. Pour produire l'Atlas hydroclimatique 2015, une plateforme de modélisation à grande échelle (CEHQ, 2014) a été mise en place à partir du modèle hydrologique Hydrotel (Fortin et coll., 2001). À partir de données observées de précipitation et de température, la plateforme simule les processus suivants à l'échelle du bassin versant : évapotranspiration, accumulation et fonte du couvert de neige, écoulement à la surface et dans le sol, écoulement en rivière. La plateforme est étalonnée pour 50 bassins versants jaugés (Tableau 3) selon une approche de calage global (Ricard et coll., 2012). Ces bassins sont associés à des cours d'eau présentant un régime d'écoulement non influencé, c'est-à-dire exempt de l'influence de l'opération de barrages situés en amont. Ils sont localisés à l'intérieur du Québec hydrologique méridional, un territoire de 726 000 km^2 couvrant 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 ainsi qu'une portion de l'Abitibi-Jamésie (Figure 4). La modélisation exclut le bassin du fleuve Saint-Laurent en amont de la province (Ontario) mais inclut les portions non québécoises des bassins versants de la rivière des Outaouais et de la rivière Richelieu.

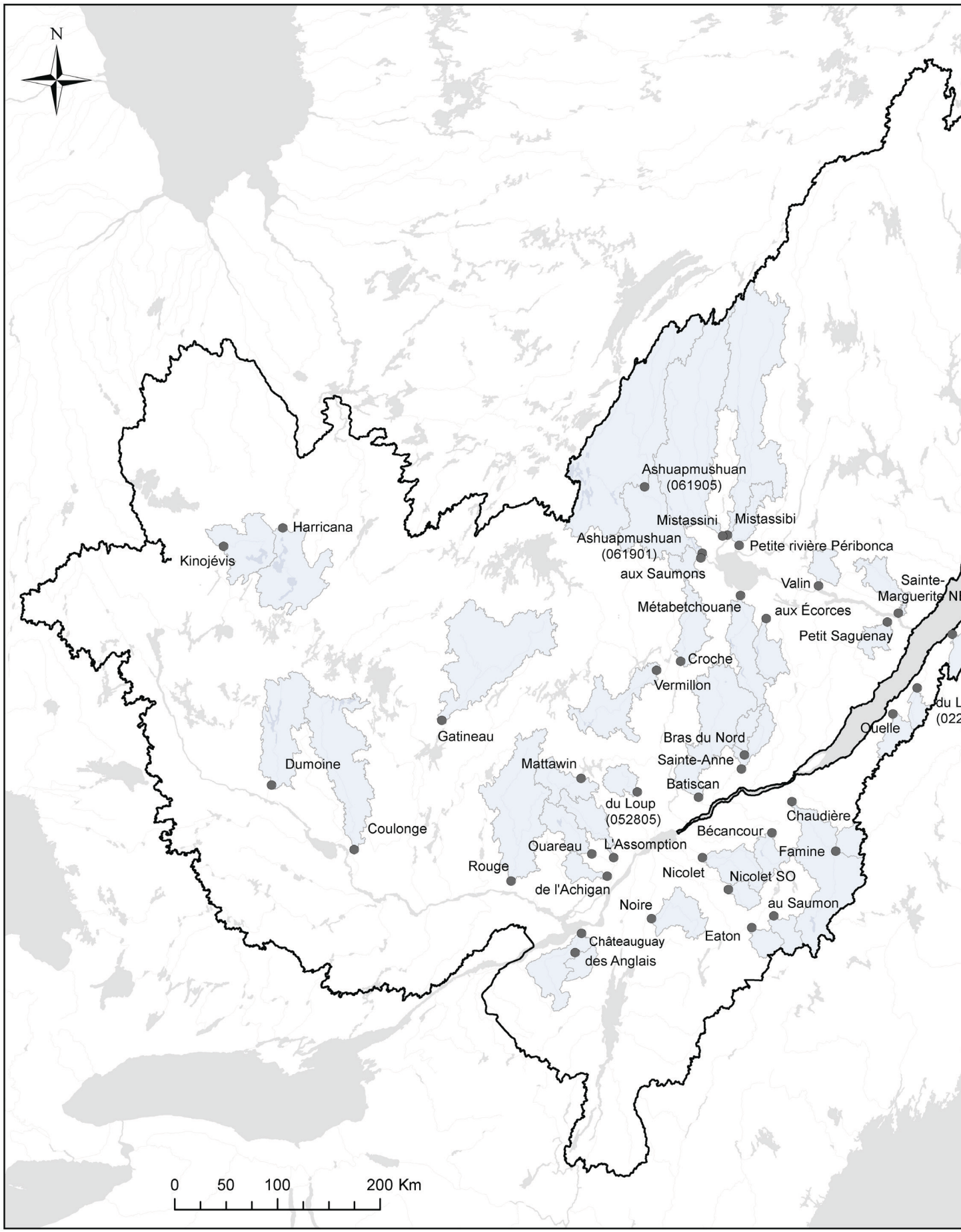
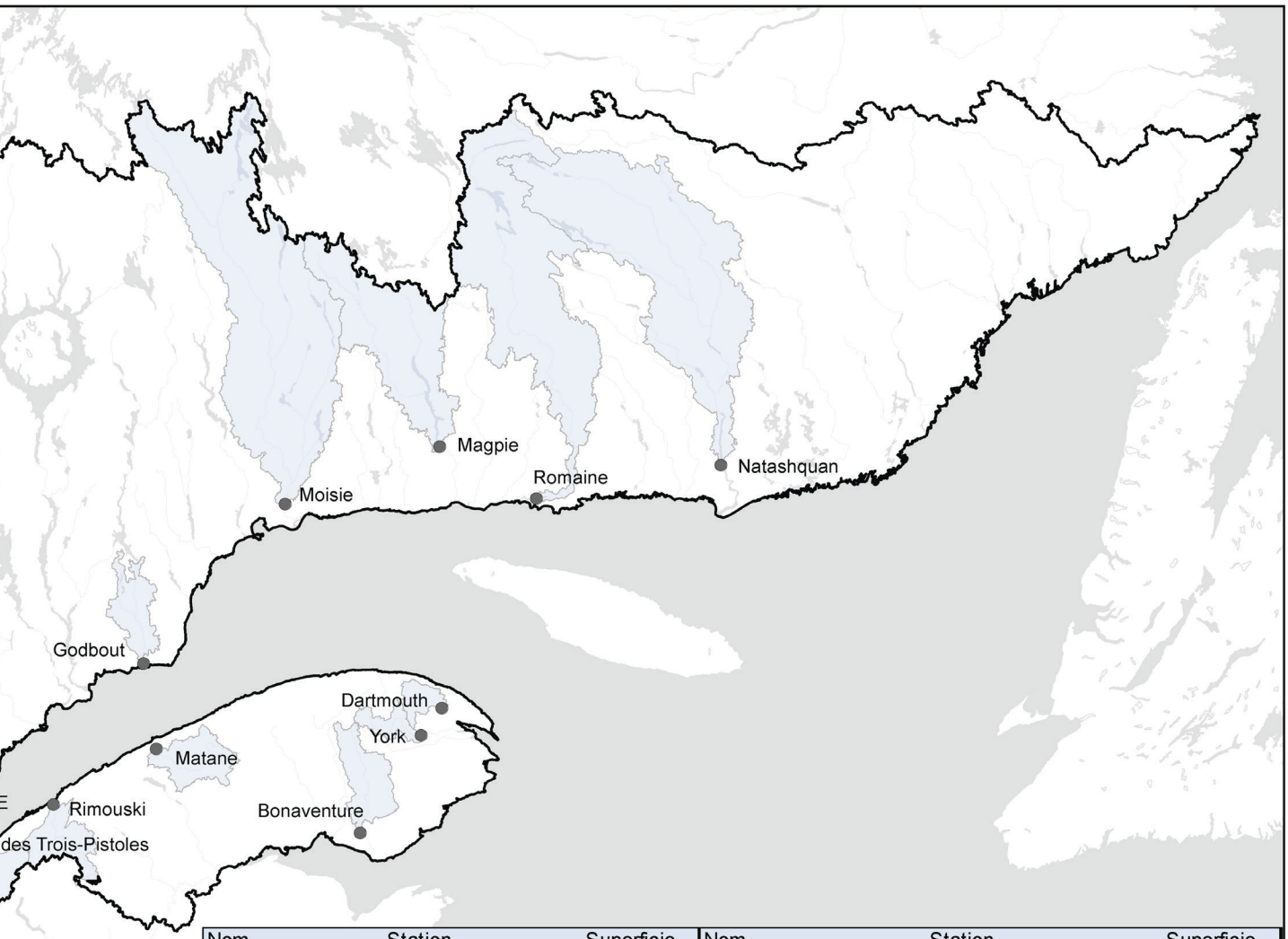


Figure 4 : Le Québec hydrologique méridional



Nom	Station	Superficie (km²)	Nom	Station	Superficie (km²)
Ashuapmushuan	061901	15348	Kinojévis	043012	2586
Ashuapmushuan	061905	11202	L'Assomption	052219	1285
au Saumon	030282	736	Métabetchouane	061502	2198
aux écorces	061020	1107	Magpie	073503	7100
aux Saumons	061909	584	Matane	021601	1636
Bécancour	024003	916	Mattawin	050119	1384
Batiscan	050304	4459	Mistassibi	062101	8681
Bonaventure	010802	1894	Mistassini	062102	9523
Bras du Nord	050409	642	Moisie	072301	18754
Châteauguay	030905	2513	Natashquan	074903	15229
Chaudière	023402	5828	Nicolet	030103	1548
Coulonge	041301	5159	Nicolet Sud-Ouest	030101	549
Croche	050135	1552	Noire	030304	1505
Dartmouth	020602	627	Ouareau	052212	1262
de l'Achigan	052233	633	Ouelle	022704	776
des Anglais	030907	645	Petit Saguenay	060101	696
des Trois-Pistoles	022301	926	Petite rivière Péribonca	061801	1005
du Loup	022507	512	Rimouski	022003	1587
du Loup	052805	761	Romaine	073801	12925
Dumoine	041902	3736	Rouge	040204	5470
Eaton	030234	648	Sainte-Anne	050408	1540
Famine	023422	695	Sainte-Marguerite NE	062802	1097
Gatineau	040830	6797	Valin	062701	761
Godbout	071401	1573	Vermillon	050144	2653
Harricana	080101	3678	York	020404	664

Signal de changement

Les projections hydrologiques sont produites en alimentant la plateforme de modélisation avec les scénarios climatiques issus de CMIP5. L'analyse du signal de changement s'effectue sur la base d'un indicateur hydrologique, c'est-à-dire une expression mathématique quantifiant une caractéristique hydrologique d'intérêt. Pour chaque projection hydrologique, un indicateur est numériquement évalué respectivement pour une période de référence (1971-2000) et une période future (2041-2070). La différence (△) entre ces deux valeurs correspond au changement relatif de l'indicateur entre le climat de référence (historique) et le climat futur. Pour un ensemble de projections hydrologiques, une distribution des valeurs de changement peut être produite. Dans l'Atlas hydroclimatique 2015, les valeurs de changements issues de différents membres d'un même modèle climatique ont été moyennées afin d'éviter la surreprésentation du modèle à l'intérieur de l'ensemble des valeurs de changement (Knutti, 2010).

Le signal de changement associé à un indicateur est présenté sous la forme de trois principaux descripteurs (Figure 5). La direction du changement correspond à la proportion (P) des projections hydrologiques anticipant une augmentation ($\triangle > 0$) ou une diminution de l'indicateur ($\triangle < 0$). L'ampleur du changement correspond à la valeur médiane ($\triangle_{50}$) de l'ensemble des valeurs de changement. La dispersion du signal autour de l'ampleur est évaluée par l'enveloppe interquartile ($\triangle_{75}$ - $\triangle_{25}$) comprenant la moitié des valeurs probables autour de la valeur médiane ($\triangle_{50}$).

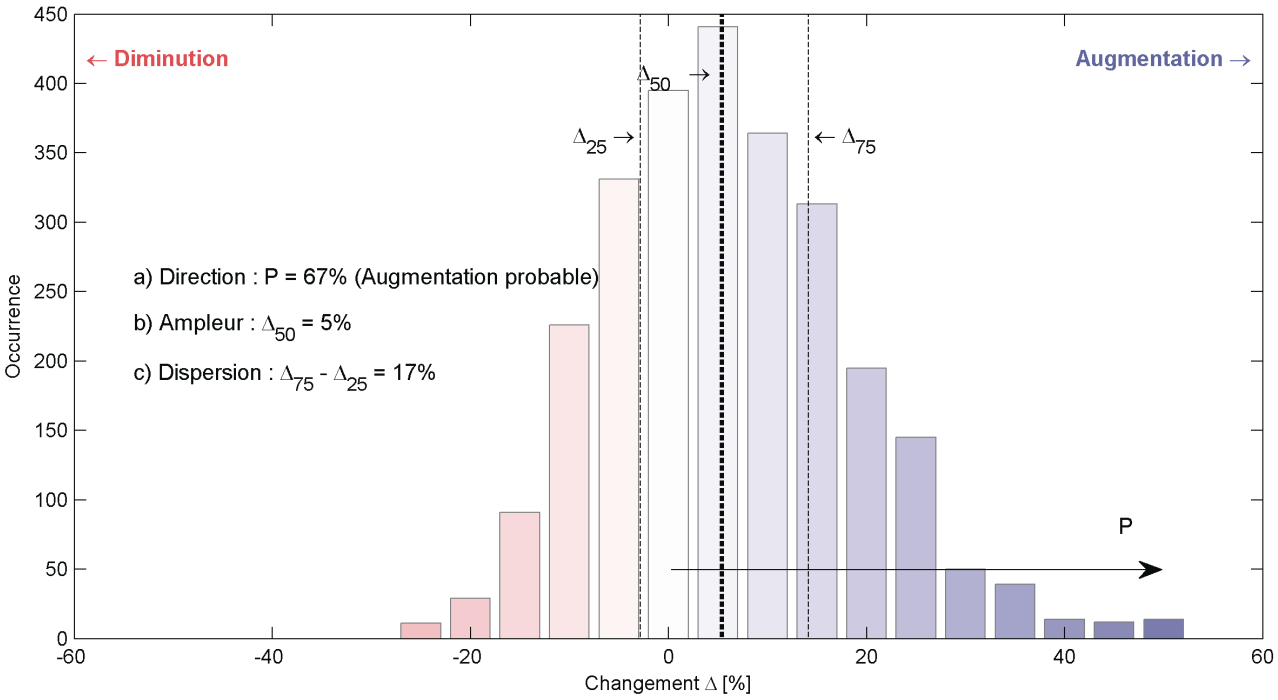


Figure 5 : Signal de changement hydrologique

Dans l'Atlas hydroclimatique 2015, la direction et l'ampleur du changement sont présentées sous forme de carte pour chaque indicateur. La direction intègre les valeurs associées aux RCP4.5 et RCP8.5 sans faire de distinction. Elle est qualifiée en fonction du consensus entre les différentes projections hydrologiques tel que le présente le Tableau 3. En contrepartie, l'ampleur est présentée distinctement pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. La dispersion est présentée dans les textes décrivant les cartes de direction et d'ampleur. Cette valeur correspond à la moyenne des valeurs de dispersion évaluées sur l'ensemble des sites du territoire pour un indicateur hydrologique donné.

Tableau 3 : Termes utilisés pour décrire la direction du changement

Direction	Consensus des projections hydrologiques
Augmentation très probable	Plus de 90 % des scénarios hydrologiques indiquent une augmentation
Augmentation probable	De 66 % à 90 % des scénarios hydrologiques indiquent une augmentation
	De 33 % à 66 % des scénarios hydrologiques indiquent une augmentation ou une diminution
Diminution probable	De 66 % à 90 % des scénarios hydrologiques indiquent une diminution
Diminution très probable	Plus de 90 % des scénarios hydrologiques indiquent une diminution



Photo : Guy Brochu

Niveaux de confiance

Complémentaire à la notion d'incertitude, la confiance est une notion tirée de la littérature scientifique (Beven et coll., 2014; Refsgaard et coll., 2014). L'appréciation de niveaux de confiance est un ajout par rapport à l'Atlas hydroclimatique 2013. Cette appréciation explicite la valeur de l'information présentée et permet à l'usager de tirer profit de cette information pour en faire un usage approprié à l'intérieur de sa démarche d'adaptation.

La confiance présentée dans l'Atlas se base d'abord sur un jugement d'expert. Ce jugement se base sur la capacité de la chaîne de modélisation hydroclimatique à reproduire adéquatement les conditions hydrologiques observées, leur variabilité naturelle et le changement projeté de ces conditions. Le niveau de confiance ne se définit pas de manière absolue mais plutôt dans la comparaison d'un indicateur hydrologique par rapport à un autre. Pour un indicateur donné, le niveau de confiance est généralement plus élevé pour la direction du changement que pour son ampleur et sa dispersion. Ainsi, les niveaux de confiance élevé, modéré ou limité peuvent être attribués à la direction, à l'ampleur et à la dispersion du changement.

En général, la confiance est plus élevée pour les indicateurs associés à des processus hydroclimatologiques s'observant à de grandes échelles spatiales et sur des échelles temporelles couvrant de longues périodes (p. ex. : processus liés à la fonte du couvert de neige et aux précipitations synoptiques). Elle est par opposition plus faible pour des processus très hétérogènes sur le territoire se manifestant sur de périodes courtes (p.ex. : précipitations convectives et crues observées à l'été et à l'automne sur des bassins versants de petites tailles).



Photo : Caroline Anderson

Références bibliographiques

Beven, K., R. Lamb, D. Leedal et N. Hunter, 2014. « Communicating uncertainty in flood inundation mapping: a case study ». *International Journal of River Basin Management*, p. 1-11.

Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2013. *Atlas hydroclimatique du Québec méridional – Impact des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050*. Québec, 2013, 51 p.

Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2014. *Plateforme de modélisation hydrologique du Québec méridional*. Québec, 20 p. et annexes. Rapport technique.

Fortin, J. P., R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa et J. Fitzback, 2001. « A Distributed Watershed Model Compatible with Remote Sensing and GIS Data. Part 1: Description of the Model », *Journal of Hydrologic Engineering* – ASCE, vol. 6, nº 2, p. 91-99.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2014. *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.

Hopkinson, R. F., D.W. McKenney, E. J.Milewska, M. F. Hutchinson, P. Papadopol et L. A. Vincent, 2011. « Impact of Aligning Climatological Day on Gridding Daily Maximum-Minimum Temperature and Precipitation over Canada ». *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50 p. 1654-1665.

Hutchinson, M. F., D. W. McKenney, K. Lawrence, J. H. Pedlar, R. F. Hopkinson, E. Milewska et P. Papadopol, 2009. *Development and testing of Canada-Wide Interpolated Spatial Models of Daily Minimum-Maximum Temperature and Precipitation for 1961-2003*. American Meteorological Society(avril), p. 725-741.

Knutti, R., G. Abramowitz, M. Collins, V. Eyring, P. J. Gleckler, B. Hewitson, et L. Mearns, 2010. « Good practice guidance paper on assessing and combining multi model climate projections », dans T. Stocker et coll. (dir.), *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections*, Université de Berne, Suisse.

Mpelasoka, F.S. et F. H. S. Chiew, 2009. « Influence of rainfall scenario construction methods on runoff projections ». *Journal of Hydrometeorology*, 10 p. 1168-1183.

Refsgaard, J. C., H. Madsen, V. Andréassian, K. Arnbjerg-Nielsen, T. A. Davidson, M. Drews, D. P. Hamilton, E. Jeppesen, E. Kjellström, J. E. Olesen, T. O. Sonnenborg, D. Trolle, P. Willems et J. H. Christensen, 2014. « A framework for testing the ability of models to project climate change and its impacts ». *Climatic Change*, 122(1-2), p. 271-282.

Ricard, S., R. Bourdillon, D. Roussel et R. Turcotte, 2013. « Global calibration of distributed hydrological models for large-scale applications ». *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(6), p. 719-721.

Taylor, K. E., R. J. Stouffer et G.A. Meehl, 2012. « An overview of CMIP5 and the experiment design ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), p. 485-498.

Van Vuuren, D. P.,J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Mausi, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. Smith et S. K. Rose, 2011. « The representative concentration pathways: an overview ». *Climatic Change*, 109(1-2), p. 5-31.



Photo : Gaston Lyrette

Remerciements

Nous remercions le *World Climate Research Programme's Working Group on Coupled Modelling* responsable de l'initiative CMIP et les équipes de modélisation (voir la liste au Tableau 2 en page 68) pour la production et la diffusion des simulations climatiques. Pour CMIP, le *U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* soutient la coordination et le développement des infrastructures informatiques en collaboration avec *Global Organization for Earth System Science Portals*.

Nos remerciements vont également aux organisations membres de la collaboration cQ2 (Ouranos, Hydro-Québec et Rio Tinto Alcan) ainsi qu'au Centre Eau Terre Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique, à l'École de technologie supérieure et à l'Université Laval. Nous remercions également l'Université de Munich et l'Agence bavaroise pour l'environnement engagées dans la collaboration QBic3 (*Quebec-Bavaria International Collaboration on Climate Change*) pour leur contribution scientifique et technique.

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'observations du climat et du débit des rivières du Québec sans lesquelles la réalisation du présent ouvrage aurait été impossible.

Nous remercions Marco Braun, Étienne Foulon, Blaise Gauvin St-Denis, David Huard, Martin-Pierre Lavigne, Dominic Roussel et Stéphane Savary.

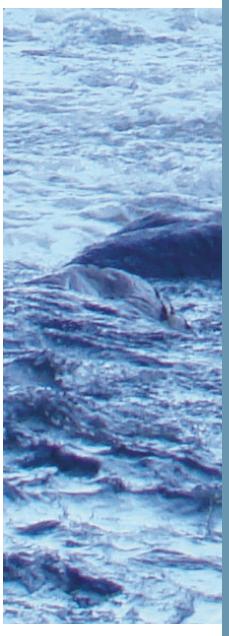
Les coûts relatifs à la réalisation de l'Atlas sont assumés par le Fonds vert dans le cadre de la mise en œuvre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques du gouvernement du Québec.

À la mémoire de Jacques Lacasse.

L'information présentée dans ce document est de nature générale et globale et est mise à votre disposition à titre informatif seulement. Le CEHQ et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité, l'actualité des renseignements ou des données présentés dans le document ou leur utilité aux fins d'un usage particulier. La personne faisant usage du document assume l'entière responsabilité de cet usage. Sans limiter la généralité de ce qui précède, ce document ne devrait pas servir à des fins de conception, de construction, de fabrication ou d'installation et ne devrait pas être utilisé dans ce sens. Toute personne utilisant les données et l'information contenues dans ce document à des fins de conception, de construction, de fabrication ou d'installation le fait à ses risques. Pour toute question spécifique ou pour une adaptation de ce document à une situation précise, il est recommandé de faire appel à un spécialiste. Le CEHQ, les auteurs, ses employés, fonctionnaires ou agents n'assument aucune responsabilité pour toute action, erreur ou omission, utilisation, mauvaise utilisation et tout résultat découlant de l'utilisation totale ou partielle de ce document. En conséquence, le CEHQ n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris notamment des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de ce document.

Le gouvernement du Québec est titulaire des droits d'auteur sur tout document qu'il réalise. Dans l'éventualité où vous souhaitez reproduire ce document, veuillez adresser une demande écrite à l'adresse suivante : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.





Centre d'expertise hydrique Québec

OURANOS

7456-15-05