



Programme décennal d'intervention pour la protection des infrastructures du ministère des Transports et de la Mobilité durable face aux aléas côtiers dans le contexte des changements climatiques sur le territoire du Bas- Saint-Laurent-Gaspésie- Îles-de-la-Madeleine

Étude de résilience climatique

Étude sectorielle

Ministère des Transports et de la
Mobilité durable (MTMD)
Version finale

Novembre 2024
16-02202388.000-0200-EN-R-1000-00



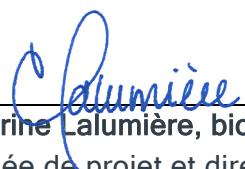
Ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD)

Préparé par :



Anne-Sophie Colombani, météorologue
Professionnelle en environnement
Études environnementales et
changements climatiques

Vérifié et approuvé par :



Catherine Lalumière, biologiste, MBA
Chargeée de projet et directrice
Études environnementales et
changements climatiques

Équipe de réalisation

**Ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) -
Direction générale du Bas-Saint-Laurent—Gaspésie—Îles-de-la-Madeleine**

Chargées de projet	Line Choinière, biologiste, M. Sc Sophie Moisset, biologiste, Ph. D.
--------------------	---

Englobe Corp.

Chargée de projet	Catherine Lalumière, biologiste, MBA
Analyses et rédaction du rapport	Anne-Sophie Colombani, B. Sc. en sciences de l'atmosphère
Cartographie/SIG	Simon Arsenault, infographe
Édition	Julie Korell, réviseure

Registre des révisions et émissions

Nº DE RÉVISION	DATE	DESCRIPTION
00	20 octobre 2024	Émission de la version finale pour approbation
00	11 novembre 2024	Émission de la version finale

Propriété et confidentialité

« Ce document est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute utilisation du rapport doit prendre en considération l'objet et la portée du mandat en vertu duquel le rapport a été préparé ainsi que les limitations et conditions qui y sont spécifiées et l'état des connaissances scientifiques au moment de l'émission du rapport. Englobe Corp. ne fournit aucune garantie ni ne fait aucune représentation autre que celles expressément contenues dans le rapport.

Ce document est l'œuvre d'Englobe Corp. Toute reproduction, diffusion ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite d'Englobe Corp. et de son Client. Pour plus de certitude, l'utilisation d'extraits du rapport est strictement interdite sans l'autorisation écrite d'Englobe Corp. et de son Client, le rapport devant être lu et considéré dans sa forme intégrale.

Aucune information contenue dans ce rapport ne peut être utilisée par un tiers sans l'autorisation écrite d'Englobe Corp. et de son Client. Englobe Corp. se dégage de toute responsabilité pour toute reproduction, diffusion, adaptation ou utilisation non autorisée du rapport.

Table des matières

1	INTRODUCTION	1
2	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	3
2.1	Revue de la documentation existante	3
2.2	Conceptualisation du risque climatique	3
2.3	Structure de l'évaluation	4
2.3.1	Paramètres généraux pour l'évaluation	6
3	EXPOSITION AUX ALÉAS	7
3.1	Climat passé récent	7
3.1.1	Climat actuel	7
3.1.2	Tempêtes historiques récentes	7
3.2	Changements climatiques au Québec	9
3.3	Sélection des interactions climat-infrastructure	11
3.3.1	Liste des interactions	11
3.3.2	Choix de catégorisation et chaînes d'impact	12
4	ÉVOLUTION DES ALÉAS CLIMATIQUES	17
4.1	Choix des indicateurs	17
4.2	Critères d'attribution pour les scores de probabilité	19
4.2.1	Attribution des scores de probabilité	21
5	SENSIBILITÉS ET RISQUES	41
5.1	Scores de sensibilité	41
5.2	Scores de risque	42
5.3	Synthèse de l'analyse de risque	42
6	MESURES D'ADAPTATION PROPOSÉES	51
7	LIMITES DE L'ÉVALUATION	55
8	RÉFÉRENCES	57

TABLEAUX

Tableau 1 : Interactions composante-aléa sélectionnées pour l'analyse de risque	11
Tableau 2 : Chaînes d'impact.....	13
Tableau 3 : Aléas climatiques, indicateurs quantitatifs et scores de probabilité pour la ville de Baie-Comeau.....	18
Tableau 4 : Critères d'attribution des scores de probabilité de la démarche du CVIIP	19
Tableau 5 : Projection de la hauteur d'élévation des différentes zones d'étude	24
Tableau 6 : Critères d'attribution des scores de sensibilité	42
Tableau 7 : Grille de détermination des scores de risque de la démarche du CVIIP	42
Tableau 8 : Fiche 1 - Risque pour la structure de la chaussée superficielle	43
Tableau 9 : Fiche 2 - Risque pour les systèmes de drainage, les ponceaux, réseaux sous-terrain.....	45
Tableau 10 : Fiche 3 - Risque pour les ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.).....	46
Tableau 11 : Fiche 4 - Risque pour les panneaux de signalisation et autres équipements.....	48
Tableau 12 : Fiche 5 - Risque pour les humains	49
Tableau 13 : Recommandations d'adaptation pour les risques modérés et élevés	52

FIGURES

Figure 1 : Schéma de la structure de l'évaluation	5
Figure 2 : Trajectoire des cyclones extratropicaux en Gaspésie (tirée de <i>Historical Hurricane Tracks</i> [NOAA])	8
Figure 3 : Trajectoire des cyclones extratropicaux ou tropicaux dans un périmètre de 40 miles nautiques aux îles-de-la- Madeleine (tirée de <i>Historical Hurricane Tracks</i> [NOAA]).....	8
Figure 4 : Réponse du système climatique par rapport à 1850-1900 (tirée de GIEC, 2021).....	10
Figure 5 : Définitions des différentes projections climatiques basées sur les SSP	20
Figure 6 : Évolution de la moyenne annuelle des températures pour la région du Bas-Saint-Laurent (tirée d'Ouranos, 2023)	22
Figure 7 : Mouvements verticaux actuels, tels que calculés à partir de données GPS (James et coll., 2014).....	23
Figure 8 : Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion pour 2070 en Matanie	25
Figure 9 : Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion pour 2070 : Haute-Gaspésie.....	25
Figure 10 : Tendance de l'équivalent en eau de la neige maximale en % par décennie.....	31
Figure 11 : Événements de gel-dégel pour le Bas -Saint-Laurent annuellement	36
Figure 12 : Changement projeté de l'indicateur Q1MAX20HP au cours du 21 ^e siècle sous un scénario RCP8.5 (tirée de CEHQ, 2013)	37
Figure 13 : Changement projeté de l'indicateur Q1MAX20EA au cours du 21 ^e siècle sous un scénario RCP8.5 (tirée de CEHQ, 2013)	38
Figure 14 : Projection a) du nombre de grands feux et b) de la superficie annuelle brûlée par année par grands feux (tirée de RNC, 2020)	40

ANNEXE

Annexe A	Données et tendances climatiques
----------	----------------------------------



1

1 Introduction

Dans le cadre de la mise en œuvre de son programme décennal d'intervention pour la protection des infrastructures routières face aux aléas côtiers sur son territoire, la Direction générale du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine (DGBGI) du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD) a mandaté Englobe Corp. pour la réalisation de l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE). En raison du nombre élevé de sites identifiés et retenus le long des 1 500 km de côtes du territoire ainsi que de la sensibilité des milieux côtiers le long desquels les sites se trouvent, l'objectif de l'ÉIE à portée régionale est de soumettre un programme décennal dans sa globalité, tout en assurant la mobilité et la sécurité des usagers du réseau routier, de façon à minimiser les interventions d'urgence et à effectuer les interventions de manière préventive.

Pour répondre à la directive émise spécifiquement pour le programme décennal d'intervention, il est nécessaire d'aborder la résilience aux changements climatiques en se basant sur le guide du MELCCFP (2021) ainsi que la conceptualisation du risque de la norme ISO 14091:2021. Comme aucune solution n'est actuellement connue pour chacun des sites, il n'est pas possible d'évaluer la résilience d'un ouvrage précis dans un milieu donné. Par conséquent, cet aspect est abordé de la manière à établir la liste des aléas susceptibles d'influencer la conception des projets à l'étape des autorisations environnementales.



2

2 Approche méthodologique

2.1 Revue de la documentation existante

Les principales sources d'information de nature climatologique sont les suivantes :

- Les données des portails web *Portraits climatiques* d'Ouranos et *Donneesclimatiques.ca* du Centre canadien des services climatiques (CCSC) d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) ;
- La *Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* (Ouranos, 2015) ;
- Le *Canada's Changing Climate Report* (Bush et Lemmen, 2019) ;
- L'*Atlas hydroclimatique du Québec méridional* (Centre d'expertise hydrique du Québec [CEHQ], 2013).

Rappelons que les éléments décisionnels ainsi que l'évaluation des risques résiduels (après application éventuelle des mesures d'adaptation proposées) sont considérés hors de la portée de la présente évaluation. Pour cette évaluation, les interactions composante-aléa jugées pertinentes du point de vue de la résilience climatique, mais pour lesquelles l'information est manquante pour déterminer des scores de probabilité (d'occurrence de l'aléa) ou de sensibilité (de la composante à l'aléa), sont clairement identifiées.

2.2 Conceptualisation du risque climatique

La présente évaluation est dite « de résilience aux changements climatiques », car elle vise à favoriser la résilience des infrastructures qui seront aménagées dans le contexte du programme décennal d'intervention. Cependant, l'évaluation est principalement structurée autour du concept de risque, dans l'esprit de la norme ISO 14091:2021.

Un risque climatique existe lorsqu'il y a exposition d'une composante de l'infrastructure, du bâtiment ou du site concerné à un aléa climatique, une probabilité d'occurrence non nulle pour l'aléa ainsi qu'une certaine sensibilité de la composante face à l'aléa. Cela peut être représenté par la relation de risque suivante :

$$\text{Exposition} \otimes \text{Probabilité} \otimes \text{Sensibilité} \rightarrow \text{Risque}$$

Il convient de noter que le symbole \otimes utilisé dans cette relation ne doit pas nécessairement être interprété dans le sens d'une multiplication mathématique et qu'il exprime avant tout l'idée de croisement, d'intersection ou de conditions réunies. Néanmoins, certaines démarches suggèrent de traiter cette relation comme une formule mathématique, dans le but d'assigner un score numérique à chaque risque et d'ensuite pouvoir positionner les différents risques sur une échelle commune. Dans un tel cas, le score numérique pour chaque risque (R) découle de scores numériques pour l'exposition (E), la probabilité (P) et la sensibilité (S), qui sont traités comme des facteurs multiplicatifs. Puisque cela est le cas de la démarche suggérée dans le *Guide d'évaluation préalable de haut niveau* du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP, 2021) et que les échelles de score de cette démarche ont été adoptées pour la présente évaluation (moyennant des changements dans la notation), la relation de risque sera ci-après traitée comme suit :

$$R = E \times P \times S \quad (\text{équation 1})$$

L'exposition constitue une forme de préanalyse du risque, au sens où le risque ne sera pas traité davantage s'il n'y a pratiquement aucune chance que l'aléa survienne au lieu de la composante concernée, alors qu'il sera analysé de manière plus détaillée dans le cas contraire. Dans le cadre d'une interprétation mathématique de la relation de risque, le facteur E prend la valeur 1 s'il y a exposition et la valeur 0 s'il n'y a pas exposition. En pratique, le traitement de l'exposition correspond à la sélection des interactions composante-aléa.

La probabilité est souvent exprimée via la période de retour correspondante, par exemple 1 fois aux 25 ans ou 3 fois par année. La démarche du CVIIP fonctionne avec une échelle de probabilité (P) allant d'un score P1 (susceptible de survenir moins souvent qu'en climat historique) à un score P5 (susceptible de survenir plus souvent qu'en climat historique) et est calibrée en assignant le score P3 à la probabilité en climat historique (susceptible de survenir aussi souvent qu'en climat historique). Puisque certains aléas se prêtent difficilement à un traitement en termes de probabilité, l'échelle peut aussi être utilisée pour refléter la modification de l'intensité ou d'un autre paramètre lié à l'aléa, tout en conservant l'idée générale d'assigner le score central P3 à une manifestation usuelle de l'aléa.

La sensibilité est souvent traitée de manière qualitative, puis transposée sur une échelle quantitative via un pairage entre des qualificatifs et des scores. La démarche du CVIIP fonctionne avec une échelle de sensibilité (S) allant d'un score S1 (très basse) à un score S5 (très élevée).

Enfin, il convient d'ajouter que l'adaptation climatique correspond aux mesures mises en place pour diminuer le niveau d'un risque climatique (en intervenant généralement au niveau de l'exposition ou de la sensibilité) ou pour profiter d'une opportunité découlant des changements du climat. Quant à la résilience climatique, elle correspond à une situation de préservation anticipée à l'égard d'un aléa climatique. Dans le cadre de la présente évaluation, une situation de vulnérabilité est considérée comme contraire à une situation de résilience.

2.3 Structure de l'évaluation

Sur la base des objectifs et de la portée du programme décennal d'intervention ainsi que de la conceptualisation du risque climatique (section 2.2), la structure de la présente évaluation correspond essentiellement aux étapes suivantes :

- Examen de la documentation disponible ;
- Sélection des interactions entre aléas climatiques et composantes du projet (notion d'exposition) ;

- Sélection d’indicateurs climatiques quantitatifs pour représenter les aléas climatiques ;
- Attribution des scores de probabilité aux aléas ;
- Attribution des scores de sensibilité des composantes face aux aléas ;
- Détermination des scores (et des qualificatifs) de risque à partir des scores de probabilité et de sensibilité ;
- Proposition de mesures d’adaptation ;
- Formulation des énoncés de résilience préliminaires.

Bien que ces étapes soient présentées comme une séquence, le processus réflexif impliqué dans une évaluation de résilience aux changements climatiques correspond en réalité à une approche holistique s'opérant de manière itérative plutôt que strictement linéaire. La nécessité d'une approche holistique est notamment liée au fait que la priorisation des composantes et la priorisation des aléas climatiques dépendent l'une de l'autre ainsi qu'au fait qu'il n'y ait pas d'étape initiale totalement indépendante des autres étapes. Par exemple, l'analyse détaillée des risques nécessite la sélection préalable de composantes et d'aléas, mais une sélection pertinente des composantes et des aléas nécessite une certaine préconception des risques.

La figure 1 présente la structure de l'évaluation. Cette évaluation traite des risques tels qu'ils sont appréhendés en fonction des éléments de conception connus au moment de l'analyse. La priorisation pour le traitement des risques est établie pour la situation *avant mesures d'adaptation*, ce qui signifie qu'il est possible que les mesures décidées par le MTMD en réponse à la présente évaluation modifient la situation. La synthèse de l'analyse de risque est présentée sous forme de tableau de bord à la section 5.3. En fonction de cette priorisation, des mesures d'adaptation sont proposées et des énoncés de résilience préliminaires sont formulés. Les décisions du MTMD à l'égard des mesures d'adaptation proposées (et pouvant tenir compte d'éventuelles études supplémentaires, notamment de nature géotechnique), les risques résiduels effectifs (après mesures d'adaptation) ainsi que la formulation d'énoncés de résilience définitifs ne font pas partie du domaine de la présente évaluation.

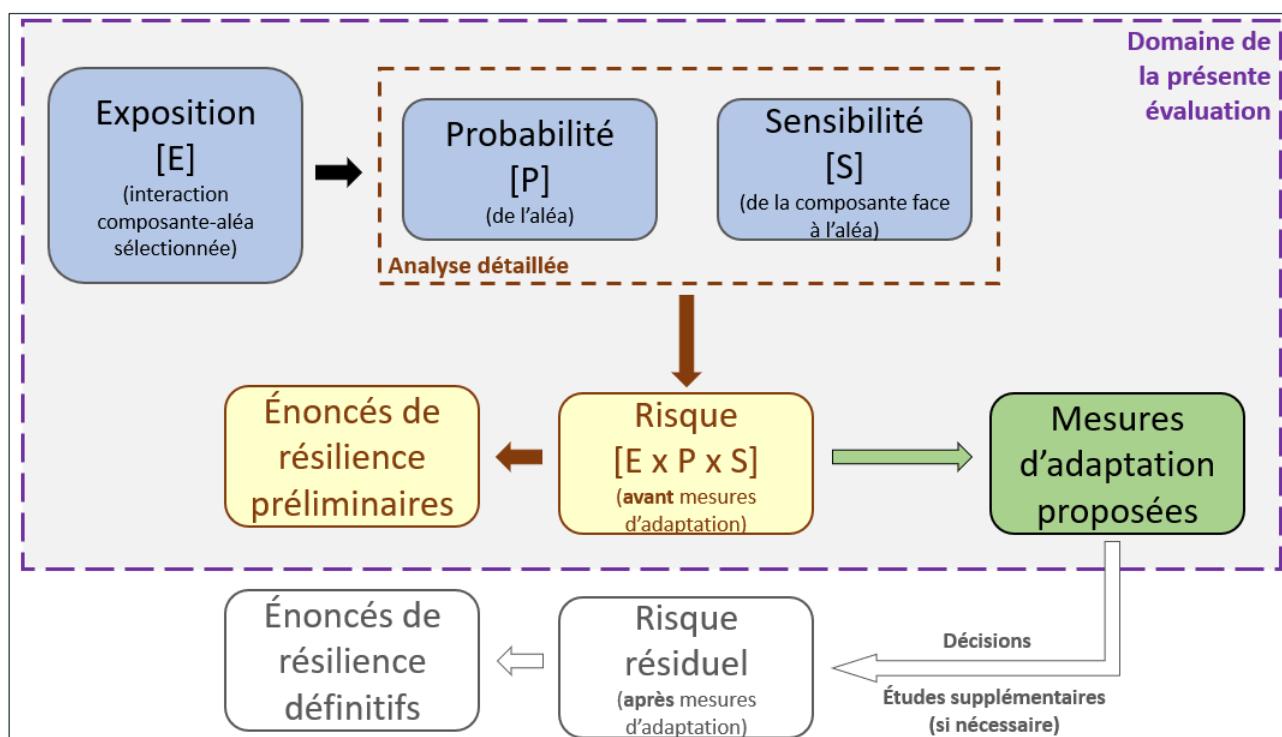


Figure 1 : Schéma de la structure de l'évaluation

2.3.1 Paramètres généraux pour l'évaluation

Certains des choix méthodologiques pour cette évaluation sont les suivants :

- L'infrastructure a été traitée comme un actif unique indépendamment de ses composantes comme les solutions ne sont pas connues à cette étape ;
- Deux horizons de temps futur ont été privilégiés, soit la période 2041-2070 et la période 2071-2100. Cependant, il est à noter qu'il y a des aléas et des indicateurs pour lesquels il n'existe pas d'information publique disponible pour ces périodes spécifiques. Le cas échéant, des périodes proches sont utilisées ;
- La période de référence privilégiée est 1991-2020. Lorsqu'il n'existe pas d'information publique disponible pour cette période spécifique, des périodes proches sont utilisées. Ce choix de période de référence privilégiée reflète la période de référence pour les indicateurs du portail web *Portraits climatiques* d'Ouranos (au moment de réaliser l'évaluation) ;
- L'incertitude climatique est considérée autant que possible grâce à l'utilisation des résultats de simulations générées par plusieurs modèles numériques indépendants du climat, ce qui permet de comparer et de valider les projections. Ces simulations sont basées sur différents scénarios de concentration de gaz à effet de serre (GES) : SSP2-4.5 (scénario d'émissions modérées) et SSP3-7.0 (scénario d'émissions élevées). Lorsque ces nouvelles données ne sont pas disponibles, les scénarios RCP4.5 (souvent considéré optimiste) et RCP8.5 (souvent considéré pessimiste) sont utilisés. Ces différents scénarios offrent une vue d'ensemble des possibles trajectoires futures, couvrant un large éventail de conditions climatiques ;
- Les événements combinés ou interdépendants (p. ex. pluies extrêmes et vents forts favorisant conjointement les infiltrations d'eau) n'ont pas été considérés.



3 Exposition aux aléas

3.1 Climat passé récent

3.1.1 Climat actuel

Les régions du Bas-Saint-Laurent, de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine connaissent des variations climatiques marquées tout au long de l'année. Les hivers sont rigoureux avec des températures très basses et des précipitations abondantes, principalement sous forme de neige. Les étés, bien que plus courts, peuvent être ponctués de vagues de chaleur occasionnelles. Il est cependant rare que les températures atteignent les 30 °C aux Îles-de-la-Madeleine. Les précipitations annuelles sont élevées, incluant des épisodes de fortes pluies qui peuvent provoquer des inondations. La neige est abondante en hiver, avec des accumulations importantes qui peuvent perdurer jusqu'à la fin avril en Gaspésie. Le vent est un facteur climatique significatif, notamment aux Îles-de-la-Madeleine, avec des rafales pouvant atteindre des vitesses très élevées, surtout durant les tempêtes hivernales ou aux passages de restant de tempêtes tropicales. Les cycles de gel et de dégel sont courants, posant des défis pour les infrastructures locales.

Les normales climatiques les plus récentes établies par le Service météorologique du Canada (ECCC, 2024) pour la période 1991 à 2020 sont résumées pour chacun des secteurs à partir d'une station représentative (Mont-Joli, Gaspé et Îles-de-la-Madeleine ; annexe A).

3.1.2 Tempêtes historiques récentes

La Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine sont sur le chemin des tempêtes extratropicales ou tropicales en provenance de l'Atlantique Nord. Depuis le début des relevés en 1845, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a recensé près de 30 à 50 tempêtes ayant touché les Îles-de-la-Madeleine dans un périmètre de 40 miles nautiques, ainsi que la Gaspésie.

Les figures 2 et 3 présentent des captures d'écran issues de l'outil *Historical Hurricane Tracks* de la NOAA (2024), qui est continuellement mis à jour. Ces figures indiquent les trajectoires des tempêtes passées ainsi que leur intensité selon l'échelle de Saffir-Simpson (représentée par différentes couleurs, comme indiqué dans la légende insérée en haut à droite de chaque image) au cours des dernières années, mettant en évidence celles qui ont touché les secteurs.

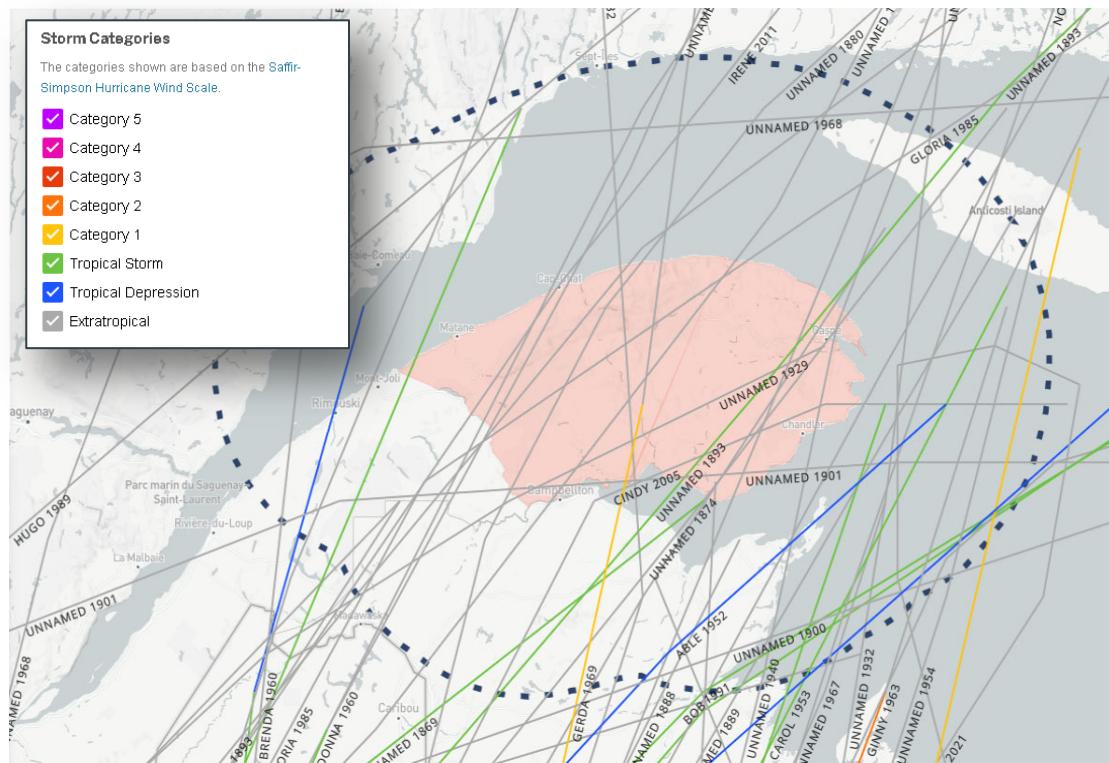


Figure 2 : Trajectoire des cyclones extratropicaux en Gaspésie (tirée de *Historical Hurricane Tracks* [NOAA])

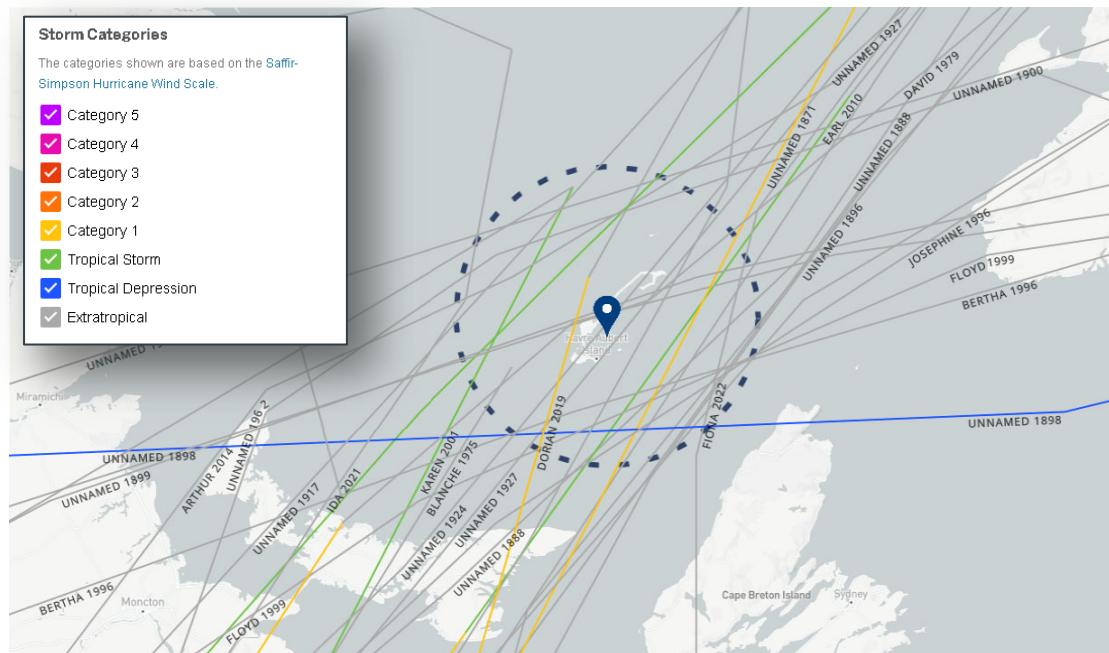


Figure 3 : Trajectoire des cyclones extratropicaux ou tropicaux dans un périmètre de 40 miles nautiques aux îles-de-la-Madeleine (tirée de *Historical Hurricane Tracks* [NOAA])

Parmi ces tempêtes, celles ayant balayé récemment la Gaspésie et les îles sont :

- Fiona, septembre 2022

Devenue post-tropicale avant de toucher terre dans les Maritimes, la tempête Fiona a apporté des pluies torrentielles provoquant des crues soudaines, des affouillements, l'effondrement de routes, la submersion de ponceaux et l'érosion des lits des routes. Des vents puissants, accompagnés de fortes ondes de tempête et de vagues atteignant 30 m au large des côtes, ont également été observés. De 80 à 150 mm de pluie ou plus sont tombés sur les Maritimes et l'est du Québec, avec des taux de précipitation pouvant dépasser les 30 mm/h. Au Québec, les îles-de-la-Madeleine ont été les plus durement touchées : les rafales maximales ont atteint 132 km/h. L'archipel a dû procéder à plusieurs évacuations, fermer des routes et déclarer l'état d'urgence (ECCC « événements marquants », 2024).

- Dorian, septembre 2019

Les îles-de-la-Madeleine et la Gaspésie ont été gravement touchées par la tempête post-tropicale Dorian. Les vagues puissantes et les vents violents ont causé une érosion significative des berges (atteignant un recul de 15 m aux îles-de-la-Madeleine), déjà fragilisées dans plusieurs portions de l'archipel. Les infrastructures routières ont été particulièrement touchées, avec des parties de routes et de pistes cyclables affaissées et endommagées.

Outre les tempêtes tropicales, les secteurs sont sujets à des tempêtes ravageuses remontant la côte est américaine en hiver, ainsi qu'à d'autres types de tempêtes tout au long de l'année. Récemment, en janvier 2023, des inondations dues au déferlement de vagues et aux vents violents ont endommagé la route 132 près de Marsoui.

Le 6 décembre 2010, de fortes vagues se sont abattues sur le littoral de l'Est-du-Québec et de la Côte-Nord causant d'importantes inondations. Plusieurs tronçons de route le long du Saint-Laurent ont dû être fermés à la circulation. Lors de cette même tempête, les îles-de-la-Madeleine ont subi des dommages majeurs. Les routes côtières ont été particulièrement touchées par l'érosion causée par les vagues puissantes, entraînant un recul des berges de 15 à 25 m par endroits.

3.2 Changements climatiques au Québec

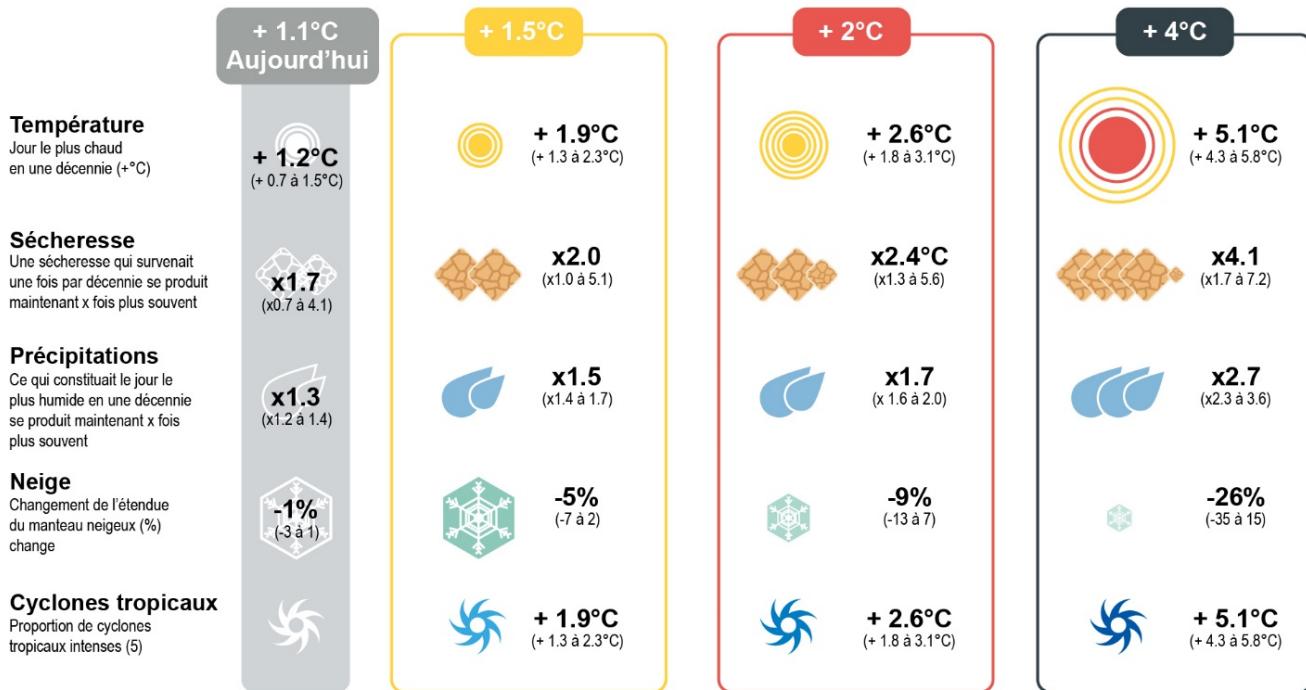
Le consensus international, renforcé par les rapports du GIEC, affirme que les activités humaines sont la principale cause du réchauffement climatique. Les travaux récents du GIEC mettent en lumière l'urgence de réduire les émissions de GES afin de limiter l'augmentation des températures mondiales. Ils reconnaissent également l'inévitabilité et la possible irréversibilité de certains effets des changements climatiques. La synthèse du rapport du GIEC (2023) indique que les modifications rapides et étendues observées récemment dans l'atmosphère, dans les océans et sur les terres sont sans précédent depuis des siècles, soulignant en particulier le réchauffement de l'océan qui représente 91 % du réchauffement du système climatique et l'augmentation du niveau moyen de la mer, surtout depuis 2006.

Bien que quelques aspects soient plus certains que d'autres, ces changements climatiques sont entachés d'incertitudes, notamment concernant l'ampleur exacte de l'évolution des températures. Cette incertitude provient en grande partie de l'incapacité à prévoir avec précision les futures émissions de GES, entraînant des variations dans les différents modèles climatiques. De plus, des phénomènes naturels, comme les événements El Niño, complexifient la situation à cause de leurs variabilités naturelles. Bien que les scientifiques comprennent les mécanismes généraux de ces phénomènes, prédire quand ces événements se produiront et leur intensité exacte reste difficile. Cette incertitude est due en partie à la complexité des interactions entre l'atmosphère et l'océan, ainsi qu'à la variabilité inhérente de ces phénomènes.

La figure 4, tirée du dernier résumé technique du GIEC (2021), illustre comment divers degrés de réchauffement global influenceront différentes variables climatiques comparativement à la situation actuelle, y compris les épisodes de chaleur extrême, les sécheresses, les variations de précipitations, les modifications de la répartition des neiges et la force des cyclones tropicaux. Ces phénomènes, qui toucheront les futures générations, auront un impact significatif sur la qualité de vie. Les modifications observées dans la situation actuelle sont basées sur une augmentation de la température globale de 1 °C depuis la période préindustrielle (1850-1900).

Réponse du système climatique par rapport à 1850-1900

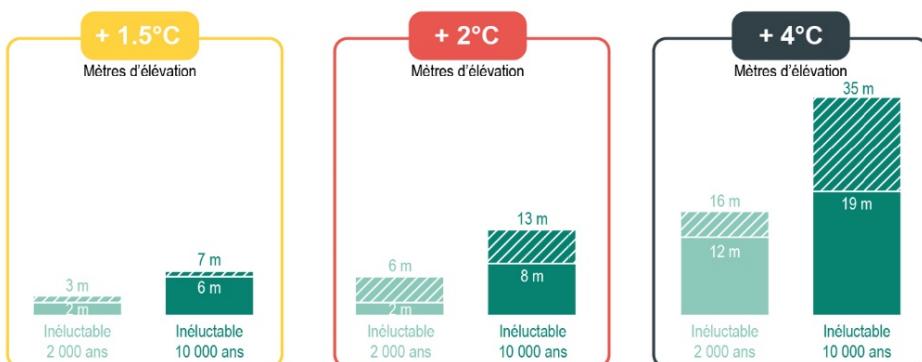
Beaucoup d'aspects du système climatique réagissent rapidement aux changements de température. Pour des niveaux de réchauffement planétaire de plus en plus élevés, les conséquences sont plus graves. (fourchette min./max)



Conséquences à long terme : élévation du niveau de la mer

Le niveau de la mer s'est déjà élevé de 20 cm et il augmentera encore de 30 cm à 1 m ou plus d'ici à 2100, en fonction des émissions futures.

Le niveau de la mer réagit très lentement au réchauffement planétaire, de sorte qu'une fois amorcée, la hausse se poursuit pendant des milliers d'années



Le futur...

Le climat que notre génération et les jeunes générations connaîtront dépendra des émissions à venir. Une réduction rapide des émissions limitera les changements à venir, mais la poursuite des émissions déclenchera des changements plus importants et plus rapides, qui affecteront de plus en plus toutes les régions. Certains changements persisteront pendant des centaines ou des milliers d'années, si bien que les choix que nous faisons aujourd'hui auront des répercussions à très long terme.

Figure 4 : Réponse du système climatique par rapport à 1850-1900 (tirée de GIEC, 2021)

Ces changements climatiques représentent un défi considérable au Québec. Se réchauffant à un rythme deux fois plus rapide que la moyenne mondiale, le Québec subit déjà des impacts directs comme des inondations majeures et des vagues de chaleur extrême. Ces événements ne sont pas isolés, mais ils constituent des manifestations concrètes du réchauffement global. Cette situation impose une stratégie d'adaptation prenant en compte les impacts locaux et régionaux. Il est essentiel d'intégrer des mesures proactives pour gérer les effets sur les infrastructures, la santé humaine, la sécurité publique et l'environnement naturel. Une collaboration étroite entre les différents intervenants est cruciale pour une adaptation efficace.

3.3 Sélection des interactions climat-infrastructure

L'objectif de cette section est d'établir une liste d'interactions entre composantes d'infrastructures et aléas climatiques. L'établissement de cette liste correspond en pratique au traitement de la notion d'exposition (représentée par le symbole E), au sens où l'exercice consiste à effectuer un premier tri entre ce qui est exposé à un risque d'origine climatique et ce qui ne l'est pas. Ainsi, les interactions concevables et jugées comme potentiellement problématiques (E = 1) sont retenues pour analyse plus approfondie en termes de probabilité et de sensibilité, alors que les interactions concevables et d'emblée jugées comme peu problématiques (E = 0) ne sont pas retenues pour analyse plus approfondie.

3.3.1 Liste des interactions

La liste des interactions infrastructure-climat sélectionnées est présentée au tableau 1, où chaque ligne correspond à une composante d'infrastructure et où chaque colonne correspond à un aléa climatique (certains des aléas pourraient être qualifiés d'hydroclimatiques, mais l'adjectif « climatique » est conservé tout au long du rapport, par conformité avec l'appellation « résilience climatique » utilisée pour ce type de rapport). Chaque case marquée d'un « X » indique une interaction de la liste, c'est-à-dire une paire composante-aléa (ligne-colonne) sélectionnée pour analyse subséquente plus approfondie. Puisqu'il est difficile de connaître la liste exacte des composantes à prendre en compte pour les interactions infrastructure-climat qui seront mises en place, nous avons choisi d'identifier des composantes potentielles à risque regroupant les projets de construction à venir.

Tableau 1 : Interactions composante-aléa sélectionnées pour l'analyse de risque

Composantes	Aléa climatique											
	Graduel* (intensité)		Épisodique (fréquence)									
	Érosion	Niveau de la mer	Précipitations extrêmes	Couvert de neige	Onde de tempête et vague	Chaleur extrême	Vents forts	Verglas	Foudre	Cycle de gel/dégel	Crue	Feu de forêt
Structure de la chaussée superficielle (inclus : accotement, fossé talus/mur de soutènement, enrochements et fondation)	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Système de drainage, ponceaux, réseaux souterrains	X	X	X	X	X	X						X
Ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.)	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Panneaux de signalisation et équipements			X	X		X	X	X	X	X		X
Humains	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X

3.3.2 Choix de catégorisation et chaînes d'impact

Une interaction composante-aléa n'est retenue pour analyse détaillée que si une chaîne d'impact pertinente peut être imaginée entre des conditions hydrométéorologiques plausibles et des effets potentiels sur la composante. De manière générale, divers choix sont possibles pour les points de départ des chaînes d'impact, surtout lorsque l'aléa est de nature hydrométéorologique. Ainsi, plusieurs choix de catégorisation des aléas sont a priori possibles. En outre, les composantes de projet peuvent être conceptuellement découpées de diverses manières et le choix de ce qui constitue une composante et de ce qui constitue une sous-composante est forcément subjectif.

Dans ce contexte, la décomposition de la problématique a émané d'un regard holistique appuyé sur les principes organisateurs suivants :

- Cerner tous les risques élevés, quitte à ratisser large et à introduire dans la liste initiale certaines interactions dont l'analyse approfondie révélera un risque bas ;
- Justifier la présence de chaque interaction de la liste au moyen d'une chaîne d'impact pertinente et plausible ;
- Minimiser le nombre de points de départ des chaînes d'impact (aléas distincts) ;
- Minimiser le nombre de points d'arrivée des chaînes d'impact (composantes distinctes), en groupant les sous-composantes lorsque les impacts associés peuvent être analysés conjointement ;
- Minimiser la redondance parmi les chaînes d'impact.

En plus de justifier la sélection des interactions composante-aléa, les chaînes d'impact (tableau 2) servent de base conceptuelle pour l'attribution des scores de sensibilité (section 4.2.1). Il est à noter que les chaînes d'impact ne correspondent pas nécessairement toutes à la réalité (c'est-à-dire à la conception dans son état d'avancement au moment de l'évaluation). Il s'agit plutôt d'un ensemble d'hypothèses initiales imaginées dans le but de tenter de cerner tous les risques possibles. Les hypothèses ne correspondant pas à la réalité seront réfutées ou modifiées par l'analyse détaillée, ce qui se traduira dans beaucoup de cas par un score de risque bas.

Tableau 2 : Chaînes d'impact

Composante d'infrastructure	Aléa climatique	Chaîne d'impact (hypothèse à analyser)
Structure de la chaussée superficielle (incluant : accotement, fossé talus/mur de soutènement, enrochements et fondation)	Érosion côtière	<ul style="list-style-type: none"> → Intégrité structurelle des routes menacée par l'érosion → déstabilisation des fondations → effondrement des falaises, mur de soutènement ou glissement de terrain → routes emportées → Érosion accrue en hiver due au manque de glace et l'exposition aux vagues entraînant des zones à risque grandissantes → fermetures ou restrictions de routes → Érosion accrue → gestion de réparation accrue
	Niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> → Inondation de certains tronçons de route → endommagement de la surface de la chaussée → dépôts de débris → affaissement des accotements, des talus → fermetures ou restrictions de routes
	Précipitations extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> → Surcharge rapide des systèmes de drainage → augmentation du niveau de saturation des sols sous la chaussée → déformation et accumulation d'eau sur les routes → inondations → ralentissement des interventions d'urgence → affaissement des routes → fermetures ou restrictions de routes → En cas d'ornièrage linéaire → formation de flaques d'eau → risque d'aquaplanage → Risque accru d'inondation et d'érosion → dégradation accélérée de la chaussée → réduction de leur rigidité et formation d'ornières et de dépressions → gestion de réparation accrue → Débit d'eau dépassant la capacité des ponceaux → emportement ou endommagement des ponceaux → inondations → fermetures ou restrictions de routes
	Couvert de neige	<ul style="list-style-type: none"> → Détérioration du béton accru à cause des agents de déneigement
	Ondes de tempête et vagues	<ul style="list-style-type: none"> → Submersion des routes côtières avec la hausse du niveau de la mer sur les tronçons à bas niveau et endommagement de la route → routes coupées → Dépôts des débris marins → risque accru d'accidents
	Chaleur extrême	<ul style="list-style-type: none"> → Vague de chaleur prolongée → ramollissement et expansion des chaussées → perte de résistance → formation d'ornières sous les véhicules lourds et des suintements du liant de surface, favorisant l'apparition d'ornières par fluage et fissuration → Chaleur extrême suivie de pluie → infiltrations d'eau accrues dans les chaussées affaiblies → dommages de surface comme les nids de poule
	Verglas	<ul style="list-style-type: none"> → Accumulation de glace → augmentation des charges mortes (poids de la glace) sur la structure → endommagement et chaussée glissante → risque d'accident
	Foudre	<ul style="list-style-type: none"> → Impact direct sur la route et risque de dommage
	Cycle de gel/dégel	<ul style="list-style-type: none"> → Augmentation des redoux hivernaux → endommagement accru du revêtement des routes dû au gel et dégel répété de l'eau accumulée → Infiltration d'eau dans les fissures existante → expansion des fissures → formation de nids de poule → Réduction de l'espérance de vie des routes et autoroutes
	Crue	<ul style="list-style-type: none"> → Inondation de certains tronçons de route → endommagement de la chaussée et érosion → dépôts de débris → fermetures ou restrictions de routes
	Feu de forêt	<ul style="list-style-type: none"> → Propagation du feu (via la végétation en bordure des chaussées) → destruction ou dommages de la composante → dépôts de débris ou chutes d'arbres → fermetures ou restrictions de routes

Tableau 2 : Chaînes d'impact (suite)

Composante d'infrastructure	Aléa climatique	Chaîne d'impact (hypothèse à analyser)
Système de drainage, ponceaux, réseaux sous-terrain	Érosion	<ul style="list-style-type: none"> → Saturation des systèmes de drainage → écoulement excessif d'eau → érosion et affaiblissement des fossés et canalisation → Accumulation de débris dans les ponceaux → réduction de la capacité d'évacuation des eaux → pression accrue sur les parois internes des conduites et des ponceaux → risque d'affaiblissement, fissuration ou effondrement des systèmes de drainage → Intégrité structurelle du système de drainage menacée par l'érosion
	Niveau de la mer/ Onde de tempête et vagues	<ul style="list-style-type: none"> → Saturation des systèmes de drainage → inondation de certains tronçons de route → fermetures ou restrictions de routes → Accumulation de débris dans les ponceaux réduisant la capacité d'évacuation des eaux → inondation de certains tronçons de route → fermetures ou restrictions de routes → Corrosion des matériaux réduisant leur durée de vie → détérioration de la chaussée
	Précipitations extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> → Augmentation de l'eau dans la chaussée (remblai) immédiatement après les pluies et importantes accumulations d'eau sur les routes → refoulement des eaux → inondation et risque d'aquaplanage → affaissement des routes → Submersion des dispositifs de drainage → érosion des matériaux → endommagement de la chaussée et des bordures, trottoirs → inondation des routes → Apport de débris importants et blocage des dispositifs → inondation des routes
	Couvert de neige	<ul style="list-style-type: none"> → Ponceaux bloqués → accumulation d'eau dans les fossés → mauvaise évacuation des eaux → risque d'inondation des routes si l'accumulation dépasse la capacité de drainage
	Chaleur extrême	<ul style="list-style-type: none"> → Isolation thermique partielle par le remblai routier → expansion thermique possible de certains matériaux (variation de l'expansion selon le type de matériau) → risque de déformation, de fissuration ou d'affaiblissement de l'infrastructure pouvant compromettre l'intégrité structurelle et fonctionnelle des infrastructures de drainage.
	Crue	<ul style="list-style-type: none"> → Submersion des dispositifs de drainage → augmentation de la vitesse d'écoulement → apport de sédiments → abrasion des matériaux et érosion du radier et des parois des ponceaux → endommagement de la chaussée et des bordures, trottoirs → inondation et affaissement des routes
Ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.)	Érosion	<ul style="list-style-type: none"> → Précipitations intenses et montée des niveaux d'eau → surcharge des systèmes de drainage → écoulement et force accrue de l'eau contre les fondations et les perrés de pont → érosion des perrés de pont → risque de stabilisation de la structure
	Niveau de la mer	<ul style="list-style-type: none"> → Inondation possible → dépôts de débris → fermeture des ponts, viaducs, etc.

Tableau 2 : Chaînes d'impact (suite)

Composante d'infrastructure	Aléa climatique	Chaîne d'impact (hypothèse à analyser)
Ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.) (suite)	Précipitations extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> → Érosion des sous-structures des ponts et des fondations → risque d'affaiblissement des fondations selon leur profondeur et dimensionnement des semelles → risque de dommages structurels → Augmentation de la teneur en eau dans les remblais d'approche → réduction de leur rigidité → déformation des structures
	Couvert de neige	<ul style="list-style-type: none"> → Accumulation de neige lourde → surcharge des structures auxiliaires, en particulier celles non conçues pour supporter de lourdes charges de neige → risque d'effondrement des structures secondaires (passerelles, etc.)
	Onde de tempête et vagues	<ul style="list-style-type: none"> → Inondation, submersion temporaire possible → Dommages structurels liés aux vagues (choc des vagues répétées) → corrosion des matériaux → dépôt de débris → fermeture des ponts, viaduc.
	Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> → Exposition à des forces latérales élevées, potentiellement au-delà de ce que les structures du pont peuvent supporter → dommages ou des déformations
	Verglas	<ul style="list-style-type: none"> → Utilisation de produits de déglaçage (comme le sel et les produits chimiques) pour faire fondre le verglas → risque de corrosion accélérée du béton et du métal utilisés dans la construction des ponts si les membranes de protection ne sont pas présentes ou sont endommagées
	Foudre	<ul style="list-style-type: none"> → Dommages directs possibles aux composants électriques et métalliques du pont → risque d'incendie après un impact (si mise à la terre des ouvrages d'art défaillante)
	Cycle de gel/dégel	<ul style="list-style-type: none"> → Dégradation des tabliers et glissières de sécurité → craquelures dans le béton
	Crue	<ul style="list-style-type: none"> → Inondation possible et submersion partielle ou totale → dépôts de débris → corrosion des matériaux → fermeture des ponts, viaduc, etc.
	Feu de forêt	<ul style="list-style-type: none"> → Dommages structurels aux composants des ponts/viaduc → effondrement ou affaiblissement des structures → fermeture ou restriction de circulation
Panneaux de signalisation et équipements	Précipitations extrêmes	<ul style="list-style-type: none"> → Visibilité réduite des panneaux de signalisation due à des précipitations intenses, potentiellement couverts ou partiellement submergés
	Couvert de neige	<ul style="list-style-type: none"> → Accumulation de neige collante obstruant les panneaux de signalisation, nécessitant des opérations de dégagement fréquentes
	Chaleur extrême	<ul style="list-style-type: none"> → Détérioration accélérée des matériaux des panneaux due à l'exposition à des températures élevées → risque de déformation ou de décoloration
	Vents forts	<ul style="list-style-type: none"> → Risque de déformation, arrachement ou de dommages aux panneaux de signalisation et feux de signalisation en raison de rafales puissantes → défaillance des feux de circulation
	Verglas	<ul style="list-style-type: none"> → Formation de glace sur les panneaux et poids accru → déformation des panneaux → obstruction de la visibilité
	Foudre	<ul style="list-style-type: none"> Dommages directs → déformation des panneaux → dommages aux systèmes électroniques et interruption des systèmes de communications → défaillance des feux de circulation
	Cycle de gel/dégel	<ul style="list-style-type: none"> → Détérioration des fixations
	Feu de forêt	<ul style="list-style-type: none"> → Endommagement ou destruction des panneaux de signalisation et des feux de signalisation

Tableau 2 : Chaînes d'impact (suite)

Composante d'infrastructure	Aléa climatique	Chaîne d'impact (hypothèse à analyser)
Humains	Érosion	→ Risque accru d'accident (en cas d'effondrement de la route)
	Précipitations extrêmes	→ Risque accru d'accident (aquaplanage) → Visibilité réduite et réduction de vitesse → risque d'accidents et ralentissement du trafic
	Couvert de neige	→ Impact sur les réponses d'urgence et la sécurité publique → routes glissantes ou inaccessibles → risque d'accident
	Niveau de la mer/ Onde de tempête et vagues	→ Inondation localement et projections de débris → risque accru d'accidents et routes impraticables → entretiens difficiles
	Chaleur extrême	→ Perte de productivité lors des entretiens → Risque de coup de chaleur
	Vents forts	→ Poudrerie haute → visibilité réduite accrue due à la combinaison de neige + vents forts → accidents accrus et réduction de vitesse → Danger de projections d'objets → risque d'accident
	Verglas	→ Risque d'accident accru (routes glissantes) et blessures graves → Impact sur les réponses d'urgence et la sécurité publique
	Foudre	→ Risque d'accident → Risque de blessures en cas d'entretien
	Feux de forêt	→ Risque d'accident accru (visibilité réduite à cause de la fumée, routes bloquées, etc.) et blessures graves (débris, chaleur intense, personnes piégées par les flammes) → Impact sur les réponses d'urgence et la sécurité publique



4

4 Évolution des aléas climatiques

4.1 Choix des indicateurs

On réfère généralement à un aléa climatique en tant que phénomène. Or, afin de pouvoir attribuer une probabilité d'occurrence à un aléa, il faut le réexprimer sous forme d'indicateur quantitatif. Une forme générale d'indicateur appropriée pour cet objectif est « Journées dont la variable X possède une valeur excédant le seuil S ». Dans un tel cas, il est possible d'établir la fréquence d'occurrence de dépassement du seuil pendant une longue période, puis d'utiliser cette fréquence comme probabilité (il s'agit alors d'une simplification conceptuelle, puisque fréquence d'occurrence et probabilité ne correspondent pas exactement au même concept ; cet enjeu ne sera pas traité davantage dans ce rapport).

Les aléas épisodiques (de courte durée) se prêtent bien à cette forme générale d'indicateur, mais les aléas graduels (se développant à long terme) s'y prêtent moins. À titre d'exemple d'aléa graduel, le phénomène de hausse du niveau de la mer peut n'être perceptible que sur une durée équivalente à la durée de vie d'une infrastructure. Pour les aléas graduels, ce que la démarche du CVIIP nomme « score de probabilité » peut alors, dans les faits, correspondre à un score d'intensité.

Les scores de probabilité attribués aux aléas (par le biais de leurs indicateurs respectifs) sont indiqués au tableau 3 et englobent les résultats des trois stations (Rimouski, Gaspé, Cap-aux-Meules) utilisées pour 2071-2100 ; les détails techniques liés aux critères et aux éléments de justification des scores sont présentés dans la section 4.2.1. La mention *Indications limitées* est utilisée dans les cas où le score de probabilité n'est pas établi sur un ou plusieurs indicateurs quantitatifs, mais plutôt sur un ensemble d'informations diverses. Certains scores pour lesquels trop peu d'informations scientifiques existent peuvent demeurer non déterminés (n. d.). Il est à noter que l'échelle de score de probabilité du CVIIP (2021) porte sur le changement entre deux périodes et qu'une forte augmentation peut parfois découler d'une très faible probabilité future couplée à une probabilité de référence encore plus faible. L'interprétation doit en tenir compte.

Tableau 3 : Aléas climatiques, indicateurs quantitatifs et scores de probabilité pour la ville de Baie-Comeau

Aléa [Sources]	Indicateur	Référence	Projection 2071-2100 (Δ)
Climat plus chaud [Portraits climatiques Ouranos]	Moyenne annuelle des températures	1991-2020	↑ P4 - P5
Hausse du niveau de la mer [Donneesclimatiques.ca, climatecentral]	Niveau moyen de l'eau	2010	↑ P5
Érosion côtière	Agents d'érosion	Depuis 2000	↑↓ P3 - ↑ P5
Précipitations [Indications limitées : littératures, portraits climatiques Ouranos]	Précipitations extrêmes : maximum des précipitations (liquides et solides) cumulées sur 5 jours (mm)	1991-2020	↑↓ P3 - ↑ P5
	Pluie extrême : Intensité des pluies de courte durée 1 heure - 100 ans	1968-2021	↑ P4
	Pluie extrême : Intensité des pluies de courte durée 24 heures - 5 ans		
Couvert de neige [Indications limitées : littératures]	Indications générales concernant les projections pour l'équivalent en eau de la neige et de la durée d'enneigement	-	↓ P1 - P2
Onde de tempêtes et vagues [Indications limitées : littératures]	Fréquence	Actuel	n. d.
Chaleur extrême [Portraits climatiques Ouranos]	Pour les humains : nombre de jours de vague de chaleur (nombre annuel de jours où la température est au-dessus d'un certain seuil soit $T_{max} > 31^{\circ}\text{C}$ et $T_{min} > 16^{\circ}\text{C}$)	1991-2020	↑↓ P3 - ↑ P5
	Pour le matériel : le nombre de jours annuel $> 32^{\circ}\text{C}$		↑ P4 - ↑ P5
Vents forts [Indications limitées : littératures]	Nombre annuel de jours avec vitesse maximale du vent supérieure ou égale à 70 km/h	1961-2000	↑↓ P3 - ↑ P5
	Fréquence des tempêtes tropicales		n. d.
Pluie verglaçante [Indications limitées : littératures]	Épisodes annuels $\geq 10 \text{ mm}$	1991-2020	↓ P1 - ↑ P4
	Épisodes annuels $\geq 6 \text{ h}$		
Foudre [Indications limitées : littératures]	Nombre d'éclairs nuage-sol par km^2 par heure (augmentation projetée de l'ordre de $12 \pm 5\%$ par $^{\circ}\text{C}$ de réchauffement global)	1991-2020	↑ P4 - ↑ P5
Cycle de gel-dégel [Portraits climatiques Ouranos]	Nombre de jours en hiver pour lesquels la température minimale (T_{min}) est inférieure à 0°C et la température maximale (T_{max}) est supérieure à 0°C	1991-2020	↑↓ P3 - ↑ P5
Crue [Portraits climatiques CEHQ]	Indicateur de crues extrêmes	1981-2010	↑↓ P3 - ↑ P4
Feux de forêt [Indications limitées : littératures]	Pourcentage de superficie brûlée annuellement	1961-1990	↑ P4 - ↑ P5
	Densité d'occurrence de feux de superficie supérieure à 200 ha		

4.2 Critères d'attribution pour les scores de probabilité

Les critères d'attribution des scores de probabilité sont présentés au tableau 4. Ces critères découlent d'une tentative d'uniformiser le traitement de tous les indicateurs.

Tableau 4 : Critères d'attribution des scores de probabilité de la démarche du CVIIP

Score de probabilité	Approche de la référence centrée	Critère d'attribution pour la période future	Justification suggérée
P5	↑	Attendu de survenir plus souvent qu'en période de référence	Augmentation de la fréquence ou de l'intensité de 50 % et plus par rapport à la valeur de référence
P4	↑		Augmentation de la fréquence ou de l'intensité d'entre 10 et 50 % par rapport à la valeur de référence
P3	↑↓	Attendu de survenir aussi souvent qu'en période de référence	Fréquence ou intensité sujette à peu de changement ($\pm 10 \%$) par rapport à la valeur de référence
P2	↓		Diminution de la fréquence ou de l'intensité d'entre 10 et 50 % par rapport à la valeur de référence
P1	↓	Attendu de survenir moins souvent qu'en période de référence	Diminution de la fréquence ou de l'intensité de 50 % et plus par rapport à la valeur de référence

En ce qui concerne les aléas épisodiques, la démarche du CVIIP (2021) consiste à calibrer l'échelle des scores de probabilité en associant le score P3 à la probabilité obtenue pour la période de référence, puis à attribuer un score à la période future, en se basant sur le différentiel entre la probabilité de référence et la probabilité future.

Pour les aléas graduels (et certains aléas épisodiques), il faut procéder en intensité. L'échelle est encore calibrée en associant le score P3 à la période de référence, mais l'attribution du score pour la période future peut difficilement suivre une procédure uniforme d'un aléa à l'autre, car celui-ci peut être exprimé dans des unités différentes.

Dans tous les cas, la considération de l'incertitude est intégrée dans le processus d'attribution du score. Ainsi, un intervalle de score est utilisé lorsque les connaissances scientifiques disponibles ne justifient pas l'utilisation d'un score unique.

Les principales sources d'information de nature climatologique qui ont été utilisées dans cette démarche incluent à la fois des données quantitatives et qualitatives. Les sources quantitatives comprennent :

- les données des sites Internet : Portraits climatiques d'Ouranos (2023), Atlas climatique du Canada (2019) et Donneesclimatiques.ca (2024) ;
- l'*Atlas hydroclimatique du Québec méridional* (Centre d'expertise hydrique du Québec [CEHQ], 2013) ;
- les normales et les moyennes climatiques de 1981-2010 (ECCC, 2024).

Ces plateformes fournissent des informations détaillées sur la température, les précipitations, l'humidité, le vent, etc., à différents points dans l'espace et le temps.

Les sources qualitatives, quant à elles, sont les suivantes :

- La *Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec* (Ouranos, 2015) ;
- Le *Rapport sur le climat changeant du Canada* de Bush et Lemmen (2019) ;
- Des publications scientifiques récentes sur des aléas climatiques spécifiques.

Pour simuler le climat futur, les climatologues utilisent des modèles climatiques, notamment les modèles climatiques régionaux (MCR) et les modèles climatiques globaux (MCG). Ces modèles, qui couvrent la période de 1850 à 2100, nécessitent des données sur les concentrations passées et futures de GES pour simuler l'influence de ces données sur le climat. Les résultats de ces simulations, bien qu'ils soient virtuels, améliorent la compréhension des processus climatiques et aident à décrire le climat futur dans un contexte de concentrations changeantes de GES.

Les scénarios de concentration de GES utilisés dans la modélisation climatique sont passés des profils représentatifs de concentrations connus sous le nom de RCP (de l'anglais *Representative Concentration Pathways*) aux trajectoires communes d'évolution socioéconomiques (de l'anglais *Shared Socio-economic Pathways* [SSP]). Les RCP, utilisés dans le cinquième rapport du GIEC, se concentraient sur le forçage radiatif, terme climatologique désignant la différence entre l'énergie reçue et retornée par le système climatique. À titre d'exemple, RCP4.5 et RCP8.5 représentaient des concentrations de GES atteignant des valeurs de forçage radiatif de 4,5 W/m² et 8,5 W/m² en 2100. En revanche, les SSP, adoptées dans le sixième rapport du GIEC, quantifient à la fois les paramètres socioéconomiques futurs et les émissions de GES. Ils lient ainsi les choix sociétaux sur le plan du réchauffement global. Les SSP couvrent un large éventail de scénarios climatiques potentiels, comme SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5, soit allant de scénarios à faibles émissions à des scénarios à fortes émissions conformes aux objectifs de l'Accord de Paris (figure 5). Ouranos explique sur son site Internet que :

« Le terme "SSPx-y" où "x" est le numéro du descriptif et "y" réfère au forçage radiatif atteint en 2100, à la manière des RCP. Par exemple, le SSP2-4.5 repose sur le SSP2, le milieu de route, avec un forçage radiatif de 4,5 W/m² en 2100. Il faut toutefois être prudents lorsqu'on compare les RCP et les SSP. Ainsi, bien que les forçages radiatifs des RCP et des SSP soient similaires à la fin du siècle, l'évolution des concentrations de GES des deux générations de scénarios est complètement distincte. Ceci est dû aux trajectoires qui diffèrent dans le temps » (Ouranos, 2023).

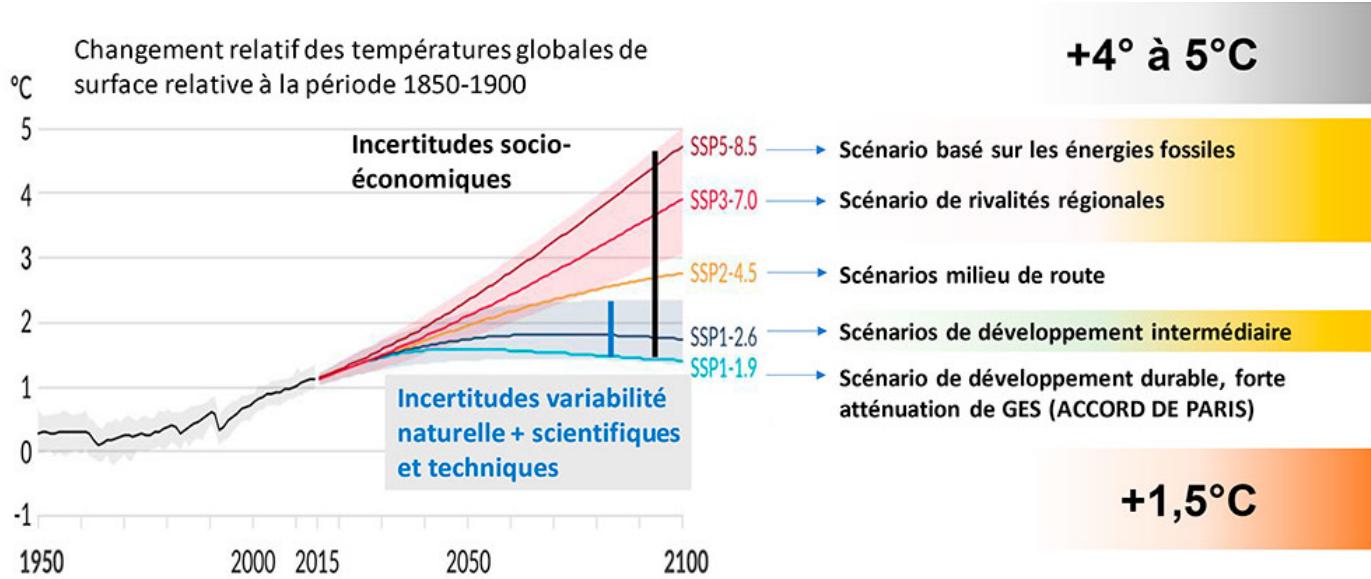


Figure 5 : Définitions des différentes projections climatiques basées sur les SSP

D'après le résumé technique du dernier rapport AR6 du GIEC (2021), le franchissement du seuil de réchauffement global de 1,5 °C est anticipé au début des années 2030 pour la majorité des scénarios d'émission, exception faite du SSP5-8.5 où ce seuil est très probablement atteint entre 2021 et 2040. Les scénarios à haute émission, tels que SSP5-8.5 et SSP3-7.0, prévoient un dépassement de 2 °C avant le milieu du siècle, avec des augmentations de température variant entre 1,0 et 5,7 °C d'ici la fin du siècle (2081-2100), reflétant l'impact significatif des émissions de GES. Ces prévisions soulignent l'importance critique de mettre en place des politiques climatiques proactives et des mesures d'atténuation ambitieuses. La transition des RCP vers les SSP dans les modélisations climatiques, bien qu'elle ne soit pas encore universellement adoptée par tous les portails climatiques, est fondamentale pour comprendre les trajectoires d'émissions futures et guider l'élaboration de stratégies d'adaptation. Malgré les incertitudes modélisées, un consensus demeure sur le fait que le futur sera incontestablement plus chaud, avec des niveaux et des vitesses de réchauffement variables selon les scénarios envisagés.

4.2.1 Attribution des scores de probabilité

4.2.1.1 Climat plus chaud



Dans le présent contexte, l'aléa « climat plus chaud » correspond au fait que l'air extérieur est en moyenne plus chaud sur une période de 30 ans. Il ne s'agit pas d'un aléa de nature épisodique (c'est-à-dire d'un aléa soudain ou d'une durée relativement courte à l'échelle humaine) comme c'est le cas pour les autres aléas couverts dans cette étude. En particulier, l'aléa « climat plus chaud » n'est pas ici utilisé pour représenter la chaleur extrême survenant sous forme de vagues de chaleur épisodiques (qui est traitée comme un aléa distinct).

Dans le cadre de la présente évaluation, l'aléa « climat plus chaud » est utilisé à titre informatif sur l'évolution des températures ainsi que pour servir d'intrant dans le calcul de l'évolution future des indicateurs pour les aléas « pluie extrême » et « foudre ». L'aléa « climat plus chaud » est représenté pour les différentes zones à l'étude (Bas-Saint-Laurent, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine) par les valeurs de l'indicateur *Moyenne annuelle des températures* du portail «Portraits climatiques d'Ouranos». Cet aléa est ensuite représenté par les valeurs saisonnières, où chaque rangée correspond à un scénario de changement des températures moyennes (annexe A).

Les résultats présentés à l'annexe A montrent une augmentation significative des températures d'ici 2100, pour les trois villes représentant les secteurs, particulièrement en hiver et en été, avec des hausses allant de +5°C à +7°C. Les saisons de transition verront également une augmentation importante, bien que légèrement moindre, de +4°C à +5°C.

Il est à noter que les valeurs de température présentées dans cette section concernent des points de grille dont la résolution ne permet pas de prendre en compte le phénomène d'îlot urbain de chaleur très localisé et découlant notamment de la minéralisation des surfaces.

Le score de probabilité pour cet indicateur doit être établi en mode intensité. Sur la base de la figure 6 (capture d'écran du portail Portraits climatiques d'Ouranos), l'intervalle de scores adopté s'étend de P4 à P5. Ce choix est subjectivement motivé par le fait que le bas de l'enveloppe de valeurs pour le scénario SSP2-4.5 (émissions modérées) en 2071-2100 n'est pas tout à fait détaché de l'enveloppe historique (score adopté de P4) alors que le haut de l'enveloppe de valeurs pour le scénario SSP3-7.0 (émissions élevées) en 2071-2100 se situe substantiellement au-dessus de l'enveloppe historique (score adopté de P5).

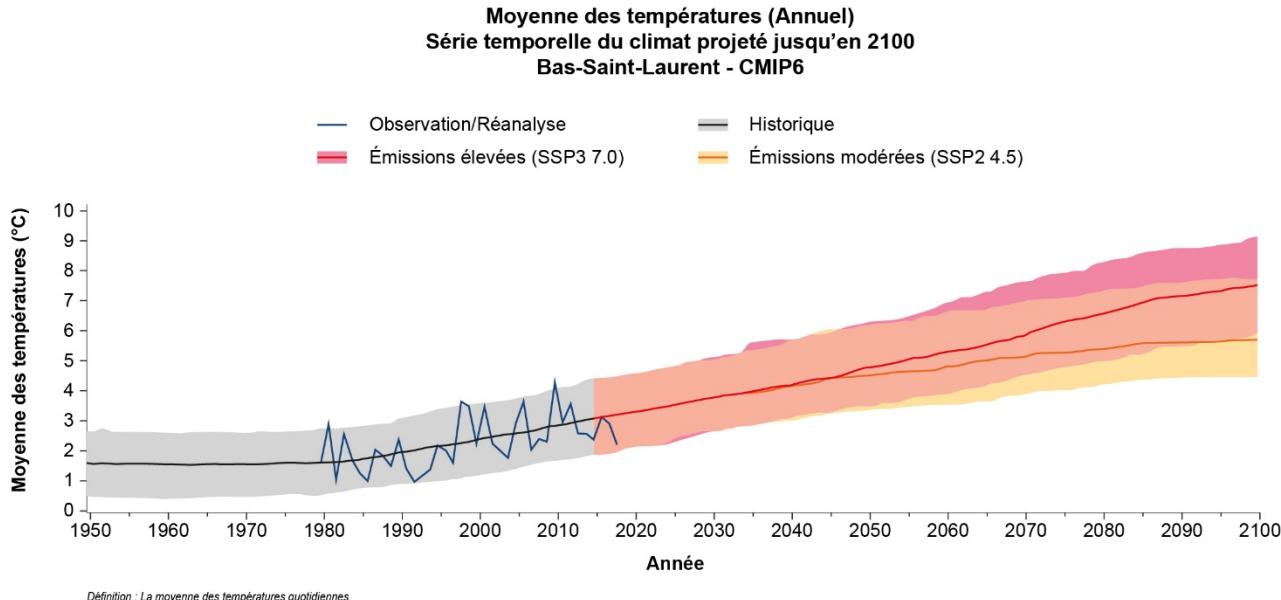


Figure 6 : Évolution de la moyenne annuelle des températures pour la région du Bas-Saint-Laurent (tirée d'Ouranos, 2023)

4.2.1.2 Niveau de la mer



Les extraits suivants issus de la synthèse d'Ouranos (2015) font état d'un portrait général de la situation à venir pour l'aléa « hausse du niveau de la mer » :

- « Dans le golfe du Saint-Laurent, la projection médiane de l'ensemble du GIEC, basée sur le scénario de fortes émissions de GES, laisse entrevoir une hausse du niveau relatif de la mer de 30 à 75 cm (pour la période 2081-2100 par rapport à la période 1986-2005). »
- « En effet, à une échelle plus régionale, le niveau d'eau dépend fortement des courants marins, de la circulation atmosphérique, de la densité de l'eau de mer (fonction des températures en surface, mais aussi de l'apport d'eau douce par des cours d'eau ou la fonte de glace), de la proximité des calottes et glaciers (effets gravitationnels) ou d'autres phénomènes géophysiques (effets rotationnels). Certains phénomènes se combinent en s'annulant ou bien fluctuent dans le temps à des échelles interannuelles et parfois décennales faisant en sorte qu'il est plus difficile de détecter des tendances significatives. »

Afin d'évaluer l'aléa « hausse du niveau de la mer » à un endroit précis, il importe aussi de prendre en compte l'ajustement isostatique glaciaire, c'est-à-dire le mouvement vertical (soulèvement ou enfoncement) de la croûte terrestre. La combinaison de la hausse locale absolue du niveau de l'eau et du relèvement isostatique local détermine la hausse locale relative du niveau de la mer, qui est la quantité pertinente pour comprendre l'évolution des interactions entre un quai et le plan ou le cours d'eau attenant. À ce propos, la synthèse d'Ouranos (2015) mentionne : « À noter que les hausses du niveau relatif de la mer seront légèrement plus faibles dans l'estuaire et le long de la Côte-Nord, car ces régions subissent un faible ajustement isostatique d'environ 30 à 45 cm d'ici 2100, alors que les Îles-de-la-Madeleine et une partie de la Gaspésie se seront enfoncées d'environ 10 cm. »

La figure 7, tirée de l'étude de James et coll. (2014), illustre le mouvement vertical de la croûte terrestre dérivé des observations du système de positionnement global (GPS). Les secteurs qui subissent un enfoncement sont en bleu et ceux qui subissent un soulèvement sont en rouge

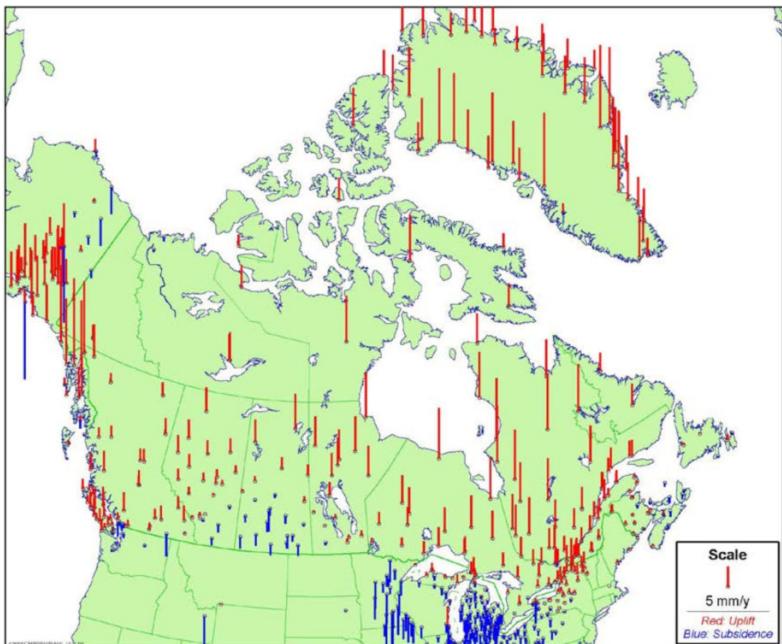


Figure 7 : Mouvements verticaux actuels, tels que calculés à partir de données GPS (James et coll., 2014)

L’Outil canadien d’adaptation aux niveaux d’eau extrêmes (OCANEE), basé sur les données scientifiques du 6^e rapport d’évaluation du GIEC, est employé dans cette étude pour déterminer les hauteurs d’élévation nécessaires, décrite dans le glossaire de l’outil comme : « les distances verticales recommandées auxquelles les infrastructures côtières doivent s’élèver pour prévenir le risque d’inondation dû à l’élévation du niveau de la mer. Ces estimations reposent sur la combinaison de deux facteurs :

- les projections de l’évolution future du niveau relatif de la mer ainsi que les incertitudes liées à ces projections ;
- les données historiques sur les niveaux d’eau, y compris les marées et les ondes de tempête (aussi appelées marées de tempête) sur les sites dotés de marégraphes. Dans les ports pour petits bateaux ne disposant pas de données de marégraphe, des modèles d’ondes de tempête sont utilisés pour simuler les marées de tempête historiques. L’OCANEE n’intègre pas les variations des marées de tempête au cours du siècle à venir, car l’état actuel des connaissances liées aux projections de l’activité orageuse est limité ».

L’OCANEE (Greenan, 2022) prend en compte des variables clés telles que l’élévation du niveau de la mer, les projections de surcote de tempête et les mouvements verticaux du terrain dus à l’ajustement isostatique glaciaire. Ces facteurs sont cruciaux pour offrir des recommandations précises pour les mesures d’adaptation des infrastructures côtières. Au tableau 5, la hauteur d’élévation recommandée pour différents sites est indiquée, reflétant la nécessité d’ajuster l’infrastructure côtière pour maintenir la fréquence actuelle d’inondations malgré les changements futurs du niveau de la mer.

Il est important de souligner que l’OCANEE ne prend pas en compte les variations futures des surcotes de tempête en raison des limites actuelles des connaissances sur les projections de l’activité orageuse. Les projections au tableau 5 pour les différentes zones d’étude, par rapport à l’année de référence 2010, indiquent une élévation du niveau de la mer pouvant atteindre ou dépasser 1 m d’ici 2100 selon le scénario SSP5-8.5.

Tableau 5 : Projection de la hauteur d'élévation des différentes zones d'étude

Hauteur d'élévation (m) relative au niveau moyen de l'eau de 2010												
Scénarios	BSL (Pointe-au-Père)		Matane (Havre)		Gaspésie (Mont-Louis Ouest)		Gaspésie (Bonaventure)		Îles-de-la- Madeleine (Cap-aux- Meules)		Îles-de-la- Madeleine (Grosse-Île)	
	2 050	2 100	2 050	2 100	2 050	2 100	2 050	2 100	2 050	2 100	2 050	2 100
SSP2-4.5	0,18	0,59	0,20	0,70	0,23	0,78	0,28	0,86	0,35	1,09	0,37	1,19
SSP5-8.5	0,20	0,92	0,23	1,10	0,26	1,22	0,31	1,28	0,39	1,55	0,40	1,69

Le portail web *Donneesclimatiques.ca* présente également des scénarios d'évolution du niveau de la mer par rapport aux conditions de 1986-2005. Il est à noter que ce site web utilise le CMIP5 et les RCP, contrairement à l'OCANEE qui utilise des données du CMIP6 et les SSP. Sur *Donneesclimatiques.ca*, au sujet des scénarios d'évolution du niveau de la mer, il est mentionné que « Pour les décisions à long terme qui peuvent être influencées par les changements du niveau de la mer, un principe de précaution indiquerait l'utilisation des valeurs du 95^e centile du scénario à émissions élevées (RCP 8.5). Dans le cas d'une faible tolérance au risque et pour des périodes de projet s'étendant au-delà de 2100, il serait prudent d'envisager le scénario renforcé décrit ci-dessous. Le scénario renforcé ajoute 65 cm supplémentaires d'élévation du niveau mondial de la mer à la projection médiane du scénario climatique le plus élevé (RCP8.5) pour 2100. Ces 65 cm représentent une contribution supplémentaire potentielle de la calotte glaciaire antarctique. » L'élévation basée sur le RCP8.5 (95^e centile) d'ici 2100 varie de 80 cm au Bas-Saint-Laurent à 100 cm en Gaspésie et 118 cm aux Îles-de-la-Madeleine.

Considérant cette recommandation et les scénarios de la hausse du niveau relatif de la mer, un **score de P5** est subjectivement attribué (en mode intensité).

4.2.1.3 Érosion côtière



L'érosion côtière, influencée par divers facteurs environnementaux et anthropiques, représente un défi critique pour les régions de l'est du Québec. Des prises de données menées par l'Université du Québec à Rimouski (SIGEC web) ont permis d'observer :

- Un taux de recul du littoral important, pour les Îles-de-la-Madeleine, atteignant souvent 1 m depuis l'an 2000 au nord-est de l'île particulièrement ;
- En Gaspésie et dans le Bas-Saint-Laurent, le taux de recul est généralement compris entre 0,10 m à 1 m avec un des secteurs pouvant dépasser les 1 m.

Les travaux de l'UQAR (Drejza, 2021) offrent une analyse détaillée des zones côtières de l'est du Québec face à l'érosion. L'indice est appliqué à huit sites témoins dont le Bas-Saint-Laurent et la Haute-Gaspésie, chacun représentant différentes caractéristiques de vulnérabilité selon des critères multiples incluant l'exposition à l'érosion, les usages sociaux, le patrimoine côtier et la capacité d'adaptation des communautés. Les zones de grande vulnérabilité identifiées dans le rapport incluent plusieurs secteurs où des augmentations significatives de vulnérabilité sont prévues pour 2070. Les indices de vulnérabilité étudiés et qui touchent le périmètre de l'étude sont représentés aux figures 8 et 9.

Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion 2070 : La Matanie

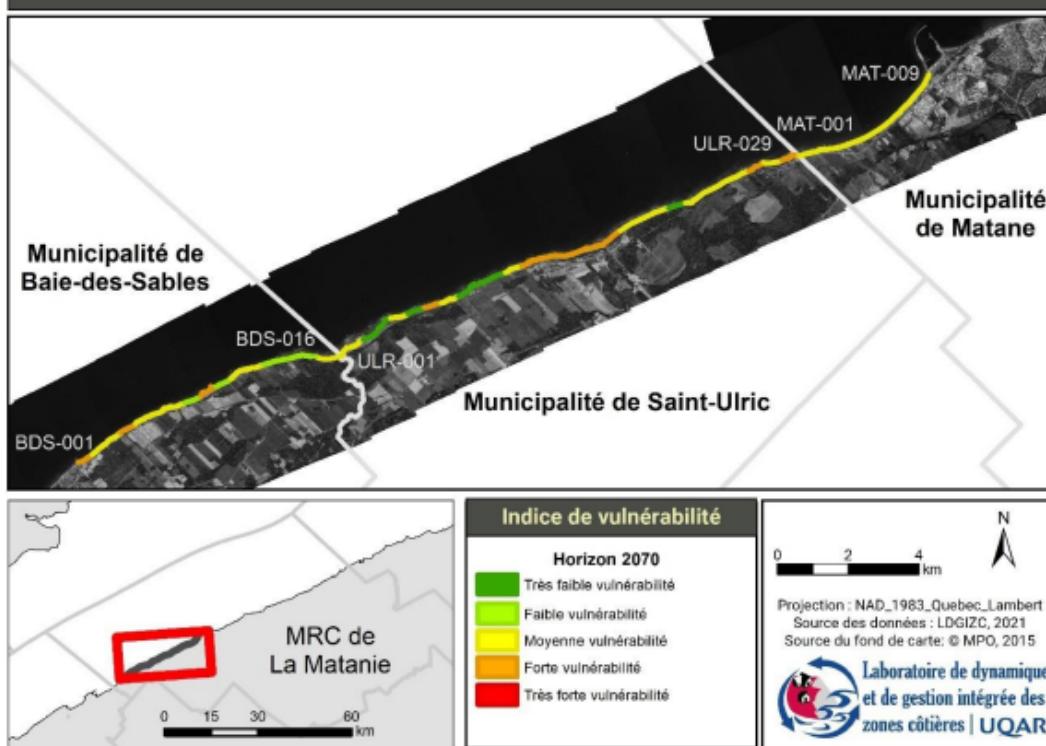


Figure 8 : Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion pour 2070 en Matanie

Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion 2070 : Haute-Gaspésie

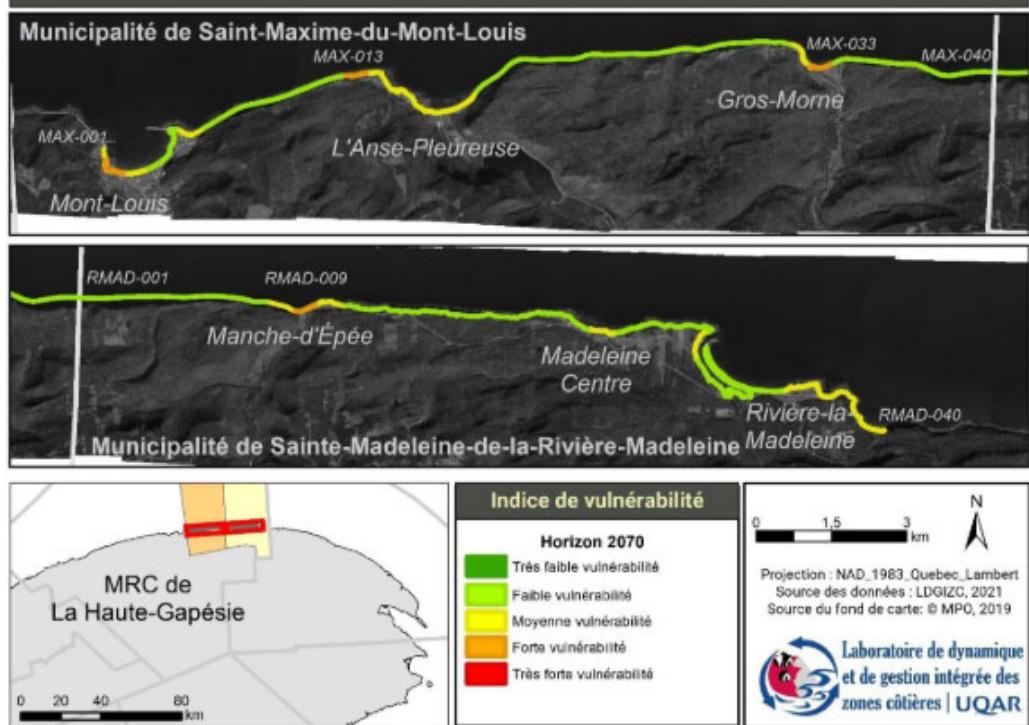


Figure 9 : Indice de vulnérabilité de la zone côtière à l'érosion pour 2070 : Haute-Gaspésie

Selon Bernatchez et Dubois (2004), l'érosion côtière dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent est particulièrement sévère dans les zones de sols meubles, avec un recul des côtes de 0,5 à 2 m/a. Dans le contexte des changements climatiques, il est prévu que ce phénomène s'aggravera, principalement en raison de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale et de l'accroissement possible de l'intensité des tempêtes.

Prédire les taux exacts futurs d'érosion sur le littoral de l'est du Québec représente un défi complexe, en grande partie en raison de la multitude de facteurs naturels et anthropiques qui influent sur ce phénomène, la grande diversité de types de côte et l'absence de projections pour certains d'entre eux. Les données pertinentes à cette problématique d'érosion côtière pour les années futures, provenant de diverses sources telles que Bernatchez et Dubois (2004), Bernatchez (2015) et Morneau (2014), sont les suivantes :

- **Élévation du niveau de la mer** : cette hausse globale amplifie le risque d'érosion : environ 66 % des côtes du Bas-Saint-Laurent, de 70 à 84 % de celles des Îles-de-la-Madeleine et 39 % de celles de la Gaspésie sont à risque de submersion (Bernatchez, 2015) ;
- **Intensification des tempêtes** : les tempêtes accélèrent l'érosion côtière tout au long de l'année, même en hiver en absence de couvert de glace. Cependant l'évolution future des trajectoires de tempête demeure incertaine (GIEC, 2023) ;
- **Action des vagues générée par le vent** : particulièrement prononcée lors de grandes marées associées aux surcotes de tempêtes, les vagues peuvent atteindre une hauteur plus importante, augmentant leur énergie et leur capacité d'éroder la côte. Les côtes sablonneuses sont plus sensibles que les falaises argileuses (Bernatchez, 2004) ;
- **Processus cryogéniques** : l'accélération de ces processus contribue à l'érosion. Entre 43 et 73 % du recul annuel des falaises de sédiments fins est attribuable aux processus cryogéniques (Bernatchez, 2015) ;
- **Diminution du couvert de glace** : influencée par la hausse des températures hivernales, la réduction de la glace expose davantage les côtes aux forces hydrodynamiques et aux tempêtes hivernales ;
- **Formation et mouvement des glaces** : influencés par la température de l'eau, ces phénomènes, combinés à la hausse du niveau marin, influencent l'érosion. Les glaces jouent un rôle important dans l'érosion des schorres et des plateformes littorales de l'estuaire moyen, de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. Elles peuvent arracher de grands radeaux de schorre et déplacer des mégablocs. Le départ répété des glaces pendant la saison glacielle et l'augmentation du nombre de cycles glaciaux assurent un maintien du transit sédimentaire sur le bas de plage en hiver. Ce phénomène pourrait s'accentuer avec le réchauffement climatique (Bernatchez, 2004) ;
- **Éolisation** : les vents forts et continus dans certaines zones, principalement les côtes sablonneuses, accélèrent l'érosion. Dans l'estuaire maritime, bien qu'elle soit généralement négligeable et ponctuelle, l'activité éolienne a tout de même un impact sur les hauts de plage exposés aux vents dominants (Bernatchez, 2004) ;
- **Cycles de gel-dégel** : L'alternance de ces périodes peut causer des décrochements et contribuer à l'érosion. Ce processus est particulièrement efficace dans les falaises et plateformes rocheuses, où le gel-dégel répété entraîne l'éclatement des dépôts argileux et silteux marins en gélifract et leur effondrement, ou la liquéfaction et la solifluxion des matériaux. L'érosion des falaises s'accélère aux endroits où il y a suintement de la nappe phréatique ou résurgence d'eau (Bernatchez, 2004) ;
- **Activités humaines** : les actions directes de l'homme, comme le développement côtier et la modification des paysages naturels, jouent également un rôle (Bernatchez, 2004).

À partir de ces données et de l'étendue du territoire, un score de probabilité pour l'aléa érosion côtière est établi, allant de P3 (érosion faible) à P5 (érosion importante). Ce score reflète la gamme des scénarios possibles jusqu'à 2100, en considérant l'interaction complexe de ces facteurs spécifiques.

4.2.1.4 Précipitations extrêmes

Dans le cadre de la présente évaluation, l'aléa « précipitations extrêmes » est représenté par le maximum des précipitations cumulées sur 5 jours et les pluies extrêmes. Les informations fournies à l'annexe A sont présentées à titre informatif sur l'évolution des précipitations et proviennent du portail Ouranos.

Pour la période de 2041-2070, les projections climatiques indiquent une augmentation générale des précipitations totales (solides et liquides) pour Rimouski, Gaspé et Cap-aux-Meules, avec des variations notables dans les précipitations solides, reflétant une incertitude significative liée à l'impact des changements climatiques :

- À **Rimouski**, une augmentation des précipitations totales est prévue, allant de +61 mm à +145 mm. Cependant, les précipitations solides montrent une variabilité accrue, oscillant entre une augmentation modeste et des réductions significatives (de +35 mm à -69 mm) ;
- À **Gaspé**, la tendance à l'augmentation des précipitations totales est également claire, avec des projections allant de +50 mm à +157 mm. Pour les précipitations solides, la variabilité est encore plus marquée, avec des changements allant d'une augmentation potentielle de +39 mm à des diminutions drastiques pouvant atteindre -103 mm ;
- Pour les **Îles-de-la-Madeleine (Cap-aux-Meules)**, bien que les précipitations totales soient également projetées pour augmenter (de +39 mm à +136 mm), les précipitations solides pourraient subir des réductions importantes, allant jusqu'à -159 mm d'ici 2041-2070.

Pour la période de 2071-2100, les projections climatiques indiquent toujours une augmentation des précipitations totales (solides et liquides) à Rimouski, Gaspé, et Cap-aux-Meules. Toutefois, les tendances montrent des variations plus marquées dans les précipitations solides : on observe une persistance de la variabilité au Bas-Saint-Laurent (Rimouski), alors que les prévisions suggèrent une baisse en Gaspésie et une diminution significative aux Îles-de-la-Madeleine :

- À **Rimouski**, l'augmentation des précipitations totales reste importante, avec des projections allant de +65 mm à +217 mm. Cependant, les précipitations solides pourraient présenter des changements plus extrêmes, avec des variations allant de -98 mm à +18 mm, indiquant un potentiel plus sévère de réductions pour les événements de neige ou de grêle comparé à la période précédente ;
- À **Gaspé**, l'augmentation des précipitations totales s'étend de +69 mm à +227 mm, reflétant une intensification potentielle des précipitations. En ce qui concerne les précipitations solides, les projections varient encore largement, allant d'une légère augmentation de +13 mm à une réduction marquée de -147 mm. Ces résultats suggèrent que les hivers pourraient devenir nettement moins neigeux, avec des implications pour les ressources en eau et l'agriculture ;
- Pour les **Îles-de-la-Madeleine (Cap-aux-Meules)**, les précipitations totales pourraient augmenter, avec des projections allant de +49 mm à +196 mm. Les précipitations solides montrent des réductions encore plus prononcées que pour la période précédente, avec des changements allant de -206 mm à -64 mm, signalant une tendance vers des conditions hivernales moins rigoureuses et potentiellement moins de couverture neigeuse.

MAXIMUM DES PRÉCIPITATIONS CUMULÉES SUR 5 JOURS

Dans le cadre de la présente évaluation, l'aléa « précipitations extrêmes » est représenté par l'indicateur « maximum des précipitations (liquides et solides) cumulées sur 5 jours (mm) » du portail d'*Ouranos*.

Pour la période projetée de 2041 à 2070, les modélisations climatiques prévoient une variation notable des précipitations extrêmes dans les différentes régions de l'étude. À Rimouski, une légère augmentation allant de +4 mm (10^e centile du scénario SSP2-4.5) à +16 mm (90^e centile du scénario SSP3-7.0) est anticipée. À Gaspé, l'augmentation prévue varie de +3 à +19 mm, alors qu'à Cap-aux-Meules, les projections vont d'une légère baisse de -1 mm à une hausse de +15 mm.

Pour la période de 2071 à 2100, les projections s'intensifient avec des augmentations plus marquées. À Rimouski, l'augmentation des précipitations est estimée entre +5 mm et +20 mm. À Gaspé, les prévisions sont encore plus significatives, avec une augmentation allant de +5 mm à +28 mm. À Cap-aux-Meules, les projections varient de +2 mm à +21 mm.

Les projections suggèrent un score de probabilité de **P3 à P5**.

PLUIE EXTRÊME

Dans le cadre de la présente évaluation, l'aléa « pluie extrême » est représenté par l'indicateur « intensité des pluies de courte durée », où le concept d'intensité est le même que dans le contexte des courbes intensité-durée-fréquence (IDF). Les courbes IDF issues du portail *Donneesclimatiques.ca* de la station de Mont-Joli (Mont-Joli, QC, 7055122) ont été utilisées, car les données de cette station, s'étendant sur 44 ans de 1968 à 2021, offrent une base de données plus complète (annexe A).

La majoration des courbes IDF pour considérer les changements climatiques est effectuée selon deux approches, soit :

- L'utilisation des facteurs de majoration mentionnés dans le *Guide du MELCCFP* (2021) et de ceux prévus pour les ouvrages routiers du MTMD (2024) ;
- L'utilisation de facteurs de mise à l'échelle dépendants des changements de température projetés, comme recommandé par le portail *Donneesclimatiques.ca* et le guide technique *CSA PLUS 4013:19 (Technical guide. Development, interpretation, and use of rainfall intensity-duration-frequency [IDF] information: Guideline for Canadian water resources practitioners)*.

Le tableau 3 du *Guide du MELCCFP* (2021) demande de « concevoir le système de drainage en utilisant un facteur de majoration de 18 % par rapport aux débits de pointe de ruissellement » et ajoute en note de bas de page qu'un document du « MTMDT (2018)¹ spécifie un facteur de majoration de 20 % pour le sud du Québec ». Les débits de ruissellement ne sont pas traités dans la présente évaluation et cette section applique les facteurs de majoration aux intensités des pluies extrêmes (présumément à l'origine des débits de ruissellement de même durée-fréquence). Les facteurs de majoration du MELCCFP et du MTMDT ne sont pas fonction de l'horizon de temps futur concerné par un projet.

Le portail *Donneesclimatiques.ca* et le guide technique *CSA PLUS 4013:19* recommandent, pour projeter les courbes IDF dans le futur, de considérer que les intensités de pluie vont augmenter de 7 % pour chaque degré Celsius (ou Kelvin) de réchauffement local. Cette approche découle du fait bien établi que la capacité de rétention de vapeur d'eau d'une parcelle d'air augmente d'environ 7 % lorsque sa température augmente de 1 °C (réflétant la formule de Clausius-Clapeyron en thermodynamique) ainsi que de la supposition selon laquelle les pluies extrêmes vont suivre cette proportion de +7 % par °C de réchauffement local. Cette supposition contient plusieurs sous-suppositions, dont la couverture dépasserait la portée de la présente évaluation (voir la section 5 du guide technique *CSA PLUS 4013:19* pour une introduction).

Avec cette approche, l'estimation des changements futurs dans les intensités de pluie passe par l'estimation des changements futurs dans la température, en appliquant l'équation suivante :

$$I_{fut} = I_{his}(1.07)^{\Delta T} \quad (\text{équation 2})$$

où :

I_{fut} est l'intensité future totale (c'est-à-dire intégrée sur toute la durée), en mm

I_{his} est l'intensité historique totale (c'est-à-dire intégrée sur toute la durée), en mm

ΔT est le changement de température projeté, en °C

¹ Il est à noter qu'une mise à jour de ce document a été publiée en janvier 2024.

Considérant *Donneesclimatiques.ca*, le guide technique *CSA PLUS 4013:19* ainsi que les paramètres du projet, les considérations suivantes s'appliquent :

- Le même facteur de mise à l'échelle (+7 % par °C) est utilisé pour tous les ensembles de paramètres durée-fréquence ; cela implique que le score de probabilité obtenu pour cet indicateur est indépendant de l'ensemble de paramètres durée-fréquence considéré ;
- Deux ensembles de paramètres durée-fréquence sont ici utilisés pour illustrer la méthode de mise à l'échelle des intensités ; il est à noter que la fréquence est ici exprimée par sa période de retour correspondante (voir section précédente pour la sélection des courbes IDF de référence) ;
- La période de référence (historique) pour les scénarios de ΔT (1991-2020) couvre la période pour laquelle sont établies les courbes IDF de référence (1968-2021) à la station Mont-Joli ;
- L'incertitude sur les changements climatiques futurs est considérée, en construisant un intervalle pour les valeurs I_{fut} à partir des intervalles pour les changements de température (ΔT) reflétant l'incertitude sur les trajectoires de GES ainsi que la diversité des formulations de la physique dans les modèles numériques du climat ;
- Les valeurs de ΔT utilisées correspondent aux changements dans la température moyenne annuelle ; il est à noter qu'il n'y a actuellement pas de consensus scientifique quant au meilleur choix de variable de température pour effectuer la mise à l'échelle des courbes IDF et que des alternatives comme la température moyenne de périodes de l'année particulières, la température moyenne des jours de fortes pluies et la moyenne du point de rosée sont aussi considérées (voir la section 6.3.4.9 du guide technique *CSA PLUS 4013:19*).

Les résultats de l'application de l'équation 2 sur les valeurs de I_{his} sont présentés pour les pluies 1 heure - 100 ans d'ici 2041-2070 et 2071-2100 et pour les pluies 24 heures - 5 ans d'ici 2041-2070 et 2071-2100 (annexe A). Chaque tableau de l'annexe A possède la même structure, à savoir :

- Chaque rangée correspond à une projection plausible pour les températures moyennes ; l'ensemble des rangées permet de couvrir l'incertitude ; il est à noter que les deux dernières rangées correspondent aux facteurs de majoration fixes mentionnés dans le *Guide du MELCCFP (2021)* ;
- Les 6^e, 7^e et 8^e colonnes (mises en évidence en jaune) représentent la valeur centrale ainsi que l'intervalle de confiance pour I_{his} ; les mêmes valeurs apparaissent dans toutes les rangées du tableau, parce que toutes les projections partent du même état de référence ;
- Les 9^e, 10^e et 11^e colonnes (mises en évidence en rouge) représentent la valeur centrale ainsi que l'intervalle de confiance pour I_{fut} (après mise à l'échelle ou majoration fixe) ; les valeurs diffèrent d'une rangée à l'autre, reflétant l'incertitude sur ΔT ;
- Toutes les valeurs pour I_{his} et I_{fut} sont arrondies à l'unité près subséquemment à l'application de l'équation 2.

Le score de probabilité pour cet indicateur doit être établi en mode intensité. Si l'on suit la recommandation du portail *Donneesclimatiques.ca* et du guide technique *CSA PLUS 4013:19*, seule la colonne « facteur de mise à l'échelle (1.07 ΔT) » importe pour l'attribution du score, puisque l'échelle adoptée porte directement sur le changement.

Dans le présent cas, le plus bas facteur de mise à l'échelle (rangée SSP2-4.5 - 10^e centile) indique une augmentation de 9 % et le plus haut facteur de mise à l'échelle (rangée SSP3-7.0 - 90^e centile) indique une augmentation de 26 %, d'ici 2041-2070.

Pour 2071-2100 le plus bas facteur de mise à l'échelle (rangée SSP2-4.5 - 10^e centile) indique une augmentation de 17 % et le plus haut facteur de mise à l'échelle (rangée SSP3-7.0 - 90^e centile) indique une augmentation de 46 %.

Ces résultats conduisent à un score de P4. Les demandes du MELCCFP (facteur de majoration de 18 %) et du MTMDT (facteur de majoration de 20 %) dictent le score de probabilité P4 sur l'échelle du CVIIP (2021).

4.2.1.5 Couvert de neige

Les portails web de données climatiques (*ClimateAtlas.ca* ; *Donneesclimatiques.ca* ; *Portraits climatiques* d'Ouranos) ne contiennent aucun indicateur relié aux projections du couvert de neige.

Selon les extraits suivants tirés de la synthèse d'Ouranos (2015) :

- « Le Québec connaît une tendance au réchauffement des températures et à l'augmentation des précipitations durant la saison froide. La façon dont le couvert de neige réagira aux tendances de ces deux variables variera selon les régions en fonction de l'altitude, du régime climatique, du type de surface et de la végétation. »
- « Une évaluation préliminaire des projections des modèles climatiques de l'ensemble CMIP5 basées sur le scénario RCP8.5 suggère une réduction de la durée de l'enneigement pour la période 2041-2070 par rapport à la moyenne de 1970-1999. Les réductions médianes atteignent jusqu'à 25 jours dans le Nord-du-Québec, 25 à 45 jours dans le Centre, 45 à 75 jours pour le golfe du Saint-Laurent et 45 à 65 jours pour le Sud du Québec. »

Le chapitre 5 du *Rapport sur le climat changeant du Canada* par Bush et Lemmen (2019) mentionne également : « Les changements projetés de l'équivalent en eau de neige saisonnier maximal (l'EEN_{max}) indiquent que les réductions seront considérables (de 5 % à 10 % par décennie jusqu'en 2050, ou une perte cumulative de 15 % à 30 % sur toute la période de 2020 à 2050) dans une grande partie du sud du Canada [...]. La figure 10 tirée de l'extrait précédent représente la tendance projetée de l'équivalent en eau de la neige maximale entre 2020 à 2050.

De plus, le dernier rapport du GIEC (2021) abonde dans le même sens : l'effet de la hausse des températures hivernales, qui favorisera les précipitations liquides aux dépens des précipitations glacées et fera fondre la neige au sol davantage, devrait de manière générale l'emporter sur l'effet de la hausse des précipitations hivernales, ce qui résulterait en une diminution de la moyenne de l'épaisseur maximale de neige au cours du 21^e siècle pour l'Amérique du Nord (et à l'exception des latitudes arctiques). Cependant, la variabilité interannuelle demeurera élevée et des bordées de neige pourraient encore se traduire, certaines années, par des épaisseurs élevées du couvert de neige.

Malgré l'absence d'indicateurs publiquement disponibles et présentant une résolution suffisante pour permettre d'évaluer quantitativement (en probabilité ou en intensité) les changements liés au couvert de neige au sol pour les villes de Rimouski, Gaspé, et Cap-aux-Meules. La Gaspésie et les Maritimes sont les régions qui seront le plus susceptibles de connaître une forte baisse du couvert de neige. Un intervalle de scores de probabilité allant de P1 à P2 est attribué à cet aléa, afin de refléter les considérations scientifiques générales actuelles.

Malgré l'absence d'indicateurs publiquement disponibles et présentant une résolution suffisante pour permettre d'évaluer quantitativement (en probabilité ou en intensité) les changements liés au déclin du couvert de neige au sol pour la ville de Baie-Comeau, un intervalle de scores de probabilité allant de P4 à P5 est attribué à cet aléa, afin de refléter les considérations scientifiques générales actuelles.

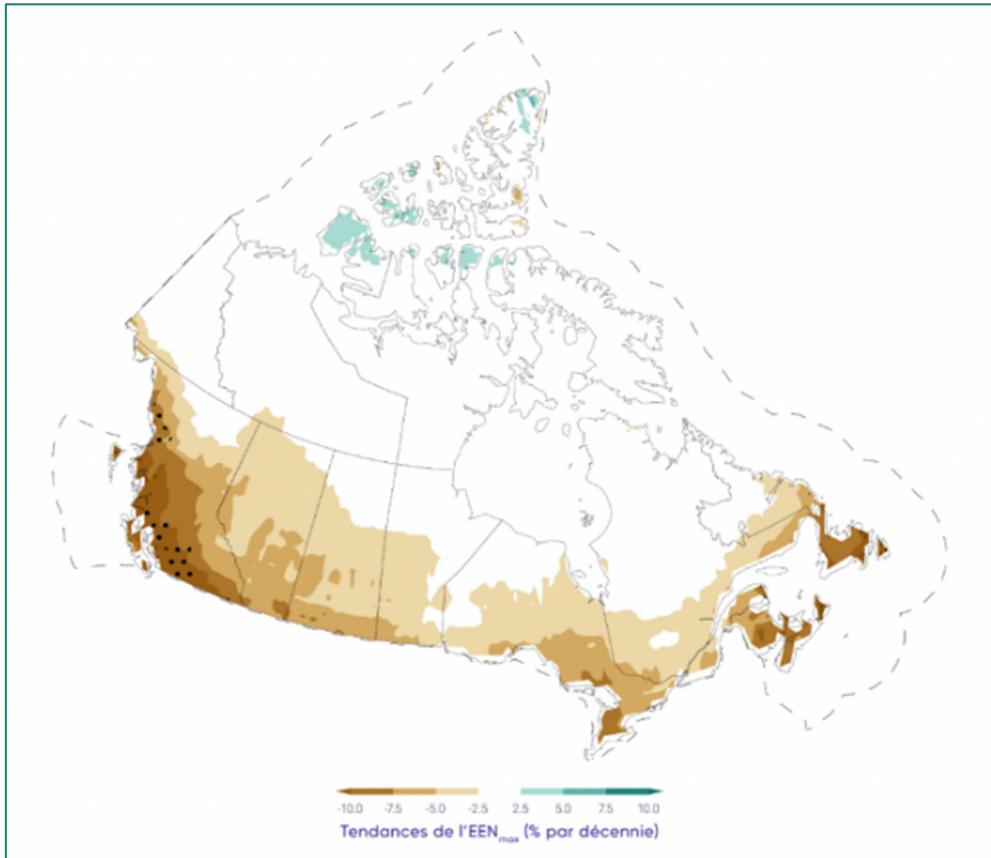


Figure 10 : Tendance de l'équivalent en eau de la neige maximale en % par décennie

4.2.1.6 Onde de tempête et vagues

Les portails web de données climatiques (*ClimateAtlas.ca* ; *Donneesclimatiques.ca* ; *Portraits climatiques* d'Ouranos) ne contiennent aucun indicateur correspondant à des projections pour les surcotes et vagues.

Les ondes de tempête, qui entraînent le phénomène de surcote (élévation temporaire du niveau d'eau par rapport à la marée prédictive) ainsi que les vagues, sont associées au passage de dépressions ou de tempêtes (systèmes de basses pressions atmosphériques). Les vents associés à ces tempêtes s'intensifient à mesure que la pression atmosphérique diminue, ce qui peut générer de puissantes vagues. De plus, la trajectoire des tempêtes déterminera les régions les plus à risque au phénomène de surcote.

D'après la synthèse du rapport du GIEC (2021) : « La probabilité d'inondations composites (surcote marine due à une onde de tempête, pluies extrêmes et/ou débit fluvial extrême) a augmenté à certains endroits et continuera d'augmenter à cause de l'élévation du niveau de la mer et de l'augmentation des fortes précipitations, y compris les changements d'intensité des précipitations qui accompagnent les cyclones tropicaux (degré de confiance élevé) ».

De plus dans la synthèse d'Ouranos (2015), il est mentionné : « Dans le golfe et l'estuaire du Saint-Laurent, les changements climatiques vont globalement augmenter les risques de submersion des terres basses. [...] Les infrastructures de transports terrestres et maritimes, comme les ports, les routes côtières et de nombreux bâtiments commerciaux (hôtels, restaurants, etc.) et gouvernementaux, seront exposées à plus de vagues de tempêtes à la suite de la réduction de 90 % du volume des glaces marines et côtières d'ici 2100. Les surcotes et les niveaux extrêmes, de plus en plus élevés, permettront aux vagues de tempêtes de déferler plus haut sur la côte et avec plus d'énergie, augmentant ainsi leur impact sur les infrastructures côtières et sur l'érosion de berges friables. »

En l'absence de résultats d'études, il est difficile d'anticiper l'évolution future liée aux surcotes et aux vagues en termes de fréquence et d'intensité pour les différents sites d'étude. L'évolution du couvert de glace étant projeté à la baisse d'ici 2100 et le niveau de la mer étant projeté à la hausse, le risque de surcote et vagues pourrait s'accroître, notamment durant l'hiver. Cependant, l'évolution future du régime de tempêtes dans l'est du Canada est incertaine. Étant donné l'absence d'indications précises, le score de probabilité pour les surcotes et vagues est comme considéré **non déterminé (n. d.)** pour la présente évaluation.

4.2.1.7 Chaleur extrême

NOMBRE DE JOURS DE VAGUE DE CHALEUR EXTRÊME

Pour la composante « Humains (employés et usagers) », l'indicateur « nombre annuel de jours de vague de chaleur » du portail web *Portraits climatiques* d'Ouranos a été utilisé afin de représenter l'aléa « chaleur extrême ». Cet indicateur correspond aux nombres de jours (J) où la température est au-dessus d'un certain seuil pour lesquels $T_{\max} > 31^{\circ}\text{C}$ et $T_{\min} > 16^{\circ}\text{C}$, suivant la recommandation de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) pour la région sociosanitaire du Bas-Saint-Laurent. Les valeurs de référence et les changements projetés de 1991-2020 aux périodes 2041-2070 et 2071-2100 sont présentés à l'annexe A pour Rimouski et Gaspé. Aux Îles-de-la-Madeleine, aucun changement notable n'est projeté en ce qui concerne l'augmentation du nombre de jours avec des températures dépassant les seuils d'ici 2100.

Il est à noter que les valeurs de température présentées dans cette section concernent des points de grille dont la résolution ne permet pas de prendre en compte les phénomènes de rafraîchissement lié à l'eau de la rivière ou de réchauffement lié aux surfaces minéralisées (de telles modulations sont très localisées et peuvent dépendre d'autres variables météorologiques).

D'ici 2100, un changement significatif du nombre de jours où les températures dépassent les seuils recommandés est prévu dans le Bas-Saint-Laurent, avec des variations à Rimouski allant de +0,4 à +15,8 jours selon les différents scénarios climatiques. Alors que de telles journées sont actuellement rares dans cette région, une augmentation notable est attendue. De même, en Gaspésie, les projections indiquent un changement allant de +0,1 à +4,2 jours à Gaspé, alors que la normale est actuellement de zéro. Ces prévisions mettent en évidence une tendance croissante vers des conditions plus chaudes dans ces régions.

NOMBRE DE JOURS TRÈS CHAUDS $>32^{\circ}\text{C}$

Pour la composante « matériel » l'indicateur « nombre de jours très chauds » du portail web *Portraits climatiques* d'Ouranos a été utilisé afin de représenter le nombre de jours où la température maximale atteinte durant la journée est supérieure à un seuil de 32°C et est représenté à l'annexe A pour Rimouski et Gaspé.

Les projections à Rimouski varient considérablement en fonction des scénarios climatiques envisagés, allant de +0,8 jour dans le 10^e centile d'un scénario modéré à +17,5 jours dans le 90^e centile d'un scénario élevé. De même, pour la région de Gaspé, les projections indiquent une augmentation allant de +0,5 à +9,3 jours de très forte chaleur d'ici 2100. Ces variations significatives entre Rimouski et Gaspé soulignent l'incertitude et la sensibilité de ces régions aux changements climatiques futurs. Si les tendances vers des scénarios plus chauds se confirment, ces deux régions pourraient donc connaître une augmentation notable du nombre de jours extrêmement chauds d'ici la fin du siècle.

4.2.1.8 Vents forts

RAFALES DE 70+ KM/H

Les portails web de données climatiques (*ClimateAtlas.ca* ; *Donneesclimatiques.ca* ; *Portraits climatiques* d'Ouranos) ne contiennent aucun indicateur correspondant à des projections pour les vents.

Les documents de synthèse des connaissances des centres de services climatiques (Ouranos, 2015 ; Bush et Lemmen, 2019) ne présentent pas de recommandations pouvant guider la prise en compte de l'évolution future des statistiques liées aux vents dans les évaluations de résilience climatique.

Le degré de confiance des climatologues à l'égard des projections pour les vents forts est généralement très limité. La raison générale en est que les vents forts sont souvent liés à des phénomènes météorologiques difficiles à modéliser, et ce, même pour le climat historique. En particulier, plusieurs aspects du cycle de vie des tempêtes (formation, intensification et déclin) ne sont pas complètement compris par les climatologues et les modèles numériques du climat présentent des difficultés avec le positionnement des trajectoires de tempêtes (Ouranos, 2015).

Dans ce contexte, l'étude de Cheng et coll. (2014) est utilisée pour attribuer un score de probabilité à l'aléa « vents forts ». L'indicateur utilisé est « nombre de journées avec vitesse maximale du vent atteignant ou dépassant le seuil de 70 km/h ». Ce seuil est l'un des seuils utilisés comme critère de lancement d'un avertissement de vents forts par ECCC. L'étude de Cheng et coll. (2014) divise le Canada en régions correspondant à différents régimes de rafales de vent. Les zones sont comprises dans la région étiquetée A1 et C2 :

- Les projections pour les vents forts dans la région A1 de Cheng et coll. (2014) sont basées sur les données de sept stations météorologiques (Mont-Joli, Moncton, Halifax, Sydney, Shearwater, Greenwood, Yarmouth) ainsi que sur un ensemble de simulations issues de huit modèles numériques du climat et couvrant deux scénarios d'émissions de GES (nommés A2 et B1 et datant d'avant l'adoption des *Representative concentration pathways* [RCP] par la communauté scientifique). Les projections du « nombre de journées avec vitesse maximale du vent atteignant ou dépassant le seuil de 70 km/h » pour la région A1 correspondent à des changements de l'ordre de +8 à +14 % entre 1961-2000 et 2046-2065 et à des changements de l'ordre de +5 à +17 % entre 1961-2000 et 2081-2100.
- Les projections pour les vents forts dans la région C2 de Cheng et coll. (2014) sont basées sur les données de huit stations météorologiques (Sault-Sainte-Marie, Sudbury, North Bay, Ottawa, Roberval, Sept-Îles, Gaspé et Charlottetown) ainsi que sur un ensemble de simulations issues de huit modèles numériques du climat et couvrant deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (nommés A2 et B1, et datant d'avant l'adoption des *Representative concentration pathways* - RCP - par la communauté scientifique). Les projections du nombre annuel de jours avec vitesse maximale du vent supérieure ou égale à 70 km/h pour la région C2 correspondent à des changements de l'ordre de +3 à +13 % entre 1961-2000 et 2046-2065, et à des changements de l'ordre de +2 à +13 % entre 1961-2000 et 2081-2100.

Il convient de souligner que le score de probabilité pour l'indicateur sélectionné est basé sur les résultats d'une seule étude divisant le Canada en zones très vastes et que d'éventuelles méta analyses pourraient mener à l'attribution d'un score différent.

TEMPÊTE TROPICALE

Le dernier rapport du GIEC (2021) mentionne :

- « Il est probable que la proportion de cyclones tropicaux intenses a augmenté au cours des quatre dernières décennies et que la variabilité naturelle ne peut expliquer entièrement cette tendance. Les changements observés récemment concernant le nombre total de cyclones extratropicaux dans les deux hémisphères bénéficient d'un degré de confiance faible. La proportion de cyclones tropicaux intenses devrait augmenter (degré de confiance élevé), mais le nombre total de cyclones tropicaux dans le monde devrait diminuer ou rester inchangé (degré de confiance moyen).
- L'intensité moyenne et maximale des pluies associées aux cyclones tropicaux et extratropicaux, aux rivières atmosphériques et aux violentes tempêtes convectives augmentera donc également avec le réchauffement futur (degré de confiance élevé). Dans certaines régions, l'intensité maximale des précipitations des cyclones tropicaux augmentera de plus de 7 % par °C de réchauffement en raison de la convergence accrue de l'humidité à basse altitude causée par l'intensification des vents (degré de confiance moyen).

- Il est estimé avec un degré de confiance élevé que la vitesse moyenne des vents de pointe liés aux cyclones tropicaux et la proportion de cyclones de catégorie 4 ou 5 augmenteront avec le réchauffement et que les vents maximaux accompagnant les systèmes les plus intenses augmenteront ».

D'après l'article de Hwan-Young Choi et coll. (2024), les vagues de chaleur marines, devenues plus fréquentes et intenses avec le réchauffement climatique, renforcent significativement l'intensité des cyclones tropicaux. Il a été démontré que leur force maximale augmente de 35,4 % et entraînent également plus de précipitations autour du centre cyclones.

En conclusion, les récentes études confirment que les cyclones tropicaux s'intensifient, avec des vents plus forts et plus de précipitations, notamment à cause de l'élévation de la température des océans. Cette chaleur accrue permet aux tempêtes remontant vers l'est du Canada de maintenir leur force sur une plus grande distance. Cependant, la prédition d'une augmentation du nombre de ces tempêtes est compliquée par des facteurs comme le cisaillement du vent (plus ou moins présent lors des oscillations ENSO), qui peut empêcher leur formation. L'évolution future du régime de tempêtes tropicales dans l'est du Canada est incertaine, un score de probabilité n. d. est alors attribué.

4.2.1.9 Verglas

Le portail web de données climatiques *Portraits climatiques* d'Ouranos propose deux indicateurs relatifs aux épisodes de pluie verglaçante : l'un pour les épisodes de longue durée ($>=6$ h) et l'autre pour les épisodes intenses (avec au moins 10 mm de pluie verglaçante). Ces deux indicateurs montrent des tendances similaires en termes de fréquence annuelle projetée dans les régions de Rimouski, Gaspé et Cap-aux-Meules (annexe A).

Les projections pour les périodes de 2041-2070 et 2071-2100 indiquent une grande variabilité et une incertitude notable dans l'évolution des épisodes de pluie verglaçante. À Rimouski, les projections fluctuent entre une importante diminution et des augmentations modérées, avec des écarts allant de -0,12 (proche de zéro épisode) à +0,19 épisode d'ici la fin du siècle, illustrant l'incertitude significative entourant la fréquence future de ces événements. À Gaspé, la variabilité des projections est encore plus prononcée, oscillant entre -0,45 (proche de zéro) à +0,24 épisode d'ici 2100. À Cap-aux-Meules, les projections montrent une forte diminution, variant de -0,37, impliquant potentiellement aucun épisode, à une légère augmentation +0,07 épisode, signalant une tendance globale à la baisse, mais accompagnée d'incertitudes pour certaines projections spécifiques.

4.2.1.10 Foudre

Les portails web de données climatiques (*ClimateAtlas.ca*; *Donneesclimatiques.ca*; *Portraits climatiques* d'Ouranos) ne contiennent aucun indicateur correspondant à des projections pour la foudre.

Les documents de synthèse des connaissances des centres de services climatiques (Ouranos, 2015 ; Bush et Lemmen, 2019) ne présentent pas de recommandations pouvant guider la prise en compte de l'évolution future des statistiques liées à la foudre dans les évaluations de résilience climatique. Certains des énoncés de la synthèse d'Ouranos (2015) concernant la foudre et les orages sont les suivants :

- « Il n'est pas encore possible de se prononcer sur le comportement de la foudre en climat futur. En effet, les connaissances sur plusieurs processus sont encore limitées et leur prise en compte dans les modèles climatiques doit être grandement améliorée. De plus, les aérosols influencent la formation de la foudre, mais le niveau de confiance est très faible quant à leur évolution. »
- « L'état actuel des connaissances sur la foudre et le verglas ne permet pas encore d'effectuer des projections pour ces phénomènes. En ce qui a trait aux orages, quelques études préliminaires laissent entrevoir une hausse de leur fréquence et de leur intensité au fur et à mesure que l'on s'approche de l'année 2100 sans toutefois pouvoir établir un niveau de confiance dans ces projections [...]. »

Afin de quantifier l'évolution de la foudre, une indication générale tirée de l'article de Romps et coll. (2014) est utilisée, soit une augmentation projetée de l'ordre de $12 \pm 5\%$ par $^{\circ}\text{C}$ de réchauffement global pour le taux d'éclairs (nombre d'éclairs nuage-sol par km^2 par heure). Cette valeur a été obtenue pour les États-Unis. Elle est utilisée dans le cadre de la présente évaluation étant donné l'absence de projections pour les zones d'études.

Avec cette approche, l'estimation des changements futurs dans le taux d'éclairs passe par l'estimation des changements futurs dans la température, en appliquant l'équation suivante :

$$\frac{\text{Éclairs}_{\text{fut}}}{\text{Éclairs}_{\text{his}}} = (1 + p)^{\Delta T} \quad (\text{équation 3})$$

où :

$\text{Éclairs}_{\text{fut}} / \text{Éclairs}_{\text{his}}$ est le ratio entre les taux d'éclairs des périodes future et passée

p est le paramètre spécifié par Romps et coll. (2014) et égal à $0,12 \pm 0,05$

ΔT est le changement de température projeté, en $^{\circ}\text{C}$

Les résultats de l'application de l'équation 3 sont présentés à l'annexe A, pour lesquels :

- Chaque rangée correspond à une projection plausible pour les températures moyennes ; l'ensemble des rangées permet de couvrir l'incertitude climatique (voir la section 4.3.1, d'où sont issues les valeurs de la colonne « ΔT ») ;
- Les 4^e, 5^e et 6^e colonnes représentent la valeur centrale ainsi que l'intervalle de confiance pour le facteur de mise à l'échelle $(1+p)^{\Delta T}$; il est à noter que les valeurs pour $\text{Éclairs}_{\text{his}}$ et $\text{Éclairs}_{\text{fut}}$ ne sont pas requises dans le cadre de la présente évaluation, puisque le score de probabilité est basé sur le changement, exprimé ici par le facteur de mise à l'échelle.

L'ensemble des facteurs des tableaux de l'annexe A reflètent l'incertitude sur l'ampleur du réchauffement climatique local ainsi que sur le paramètre spécifié par Romps et coll. (2014). Dans le présent cas, pour la période de 2041-2070 le plus bas facteur de mise à l'échelle (rangée SSP2-4.5 - 10^e centile et colonne « limite basse ») indique une augmentation de 9 % et le plus haut facteur de mise à l'échelle (rangée SSP3-7.0 - 90^e centile et colonne « limite haute ») indique une augmentation de 71 %.

Pour la période de 2071-2100 le plus bas facteur de mise à l'échelle (rangée SSP2-4.5 - 10^e centile et colonne « limite basse ») indique une augmentation de 18 % et le plus haut facteur de mise à l'échelle (rangée SSP3-7.0 - 90^e centile et colonne « limite haute ») indique une augmentation de 141 %.

Il est à noter que les facteurs de mise à l'échelle utilisés dans le cadre de la présente évaluation sont plus élevés que les facteurs indiqués par Romps et coll. (2014), puisque les simulations climatiques projettent généralement de plus forts réchauffements sur les continents que pour l'échelle globale.

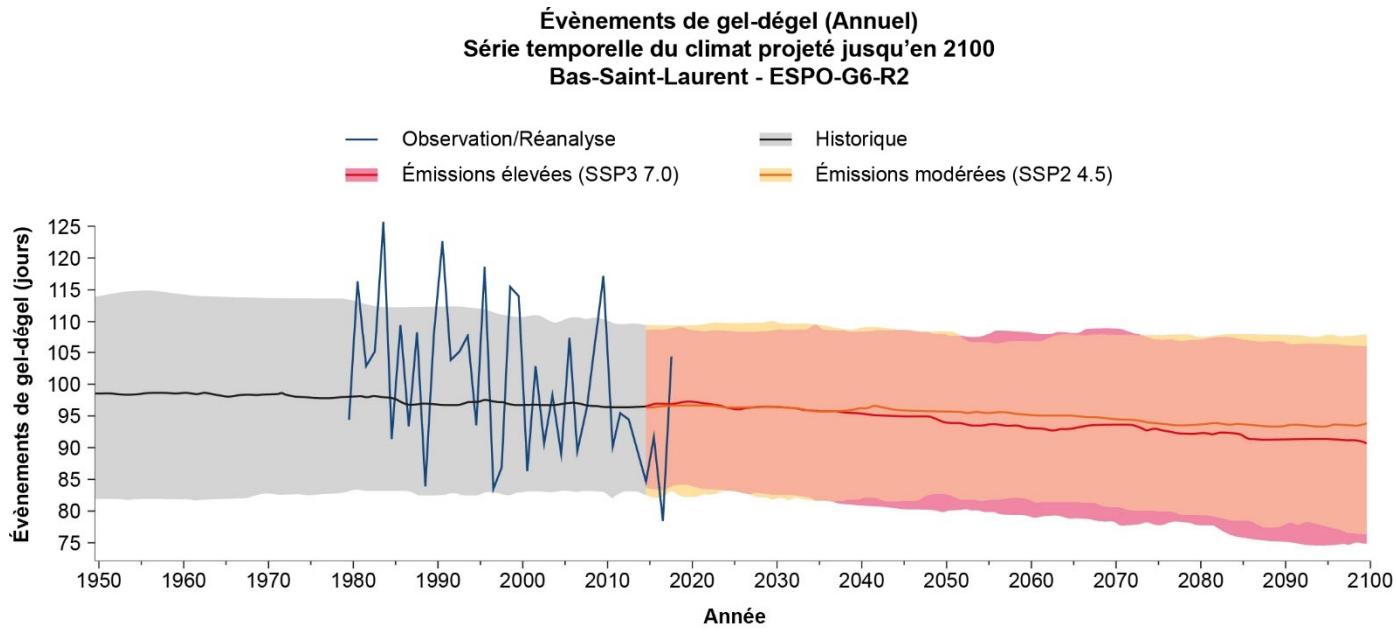
4.2.1.11 Cycles de gel/dégel



Le portail web de données climatiques *Portraits climatiques* d'Ouranos contient un indicateur nommé « Nombre annuel d'événements de gel-dégel ». Cet indicateur décrit un événement quotidien de gel-dégel qui survient quand, dans une période de 24 heures, la température minimale est inférieure à 0°C et la température maximale est supérieure à 0°C .

Une tendance à la baisse des événements de gel-dégel est observée annuellement dans les zones d'étude, comme illustré à la figure 11 pour le Bas-Saint-Laurent. Toutefois, une augmentation de ces événements est projetée spécifiquement durant les mois d'hiver (annexe A).

À Rimouski, les projections montrent une augmentation des jours de gel-dégel hivernal allant de +5,2 à +20,4 jours d'ici 2100, indiquant une augmentation potentielle des contraintes sur l'infrastructure due à des cycles de gel et dégel plus fréquents. À Gaspé, cette augmentation est encore plus marquée, avec des projections de +6,2 à +24,7 jours pour la même période. Pour Cap-aux-Meules, bien que l'augmentation soit moins prononcée, elle reste significative, avec des changements allant de -0,1 à +5,7 jours.



Définition : un événement quotidien de gel-dégel survient quand dans une période de 24 heures, la température minimale est inférieure à 0°C et la température maximale est supérieure à 0°C

Figure 11 : Événements de gel-dégel pour le Bas -Saint-Laurent annuellement

4.2.1.12 Crue



Le document de synthèse d'Ouranos (2015) contient des informations limitées ne procurant pas de recommandations pouvant guider la prise en compte de l'évolution future des statistiques liées aux crues extrêmes pour la ville de Baie-Comeau, mais il mentionne : « Bien qu'il soit clair que le volume des crues de printemps risque de diminuer avec la diminution du couvert de neige, les effets des changements climatiques sur les débits de pointe maximaux sont moins évidents. Au printemps, les débits de pointe sont liés à la combinaison de la fonte d'un couvert de neige potentiellement réduit avec des pluies qui pourraient être plus intenses. À l'été et à l'automne, les débits de pointe sont liés, d'une part, à l'augmentation des précipitations intenses, mais d'autre part, à une possible diminution des conditions d'humidité des sols, antécédente à la précipitation. »

Le fait de projeter l'évolution future des crues extrêmes probables des cours d'eau présente de grandes difficultés scientifiques, notamment pour les raisons suivantes :

- De manière générale, les déterminants majeurs des crues printanières extrêmes, tels que la pluie maximale probable (PMP) et le maximum probable de l'équivalent en eau de la neige, sont des quantités difficiles à estimer même pour le passé récent. En particulier, le rôle de la neige dépend de la quantité de neige à fondre, de la vitesse de fonte et du niveau de saturation des sols. La quantité de précipitations pouvant coïncider avec la période de fonte représente aussi un déterminant majeur ;
- Le réseau hydrographique est complexe et il est peu régulé n'ayant que des barrages sur les rivières Mitis et Matane. Les difficultés méthodologiques de nature hydrologique s'accompagnent donc de la difficulté à anticiper les capacités de régulation à long terme.

Malgré ces difficultés, il existe des sources d'informations indirectes pouvant étayer un score de probabilité pour l'aléa « crue extrême », notamment l'*Atlas hydroclimatique du Québec méridional* réalisé par le CEHQ (2013) qui présente les changements anticipés dans les affluents non régulés des bassins versants dans l'est de la province. Il est à noter qu'il n'y a pas de données aux Îles-de-la-Madeleine.

L'indicateur Q1MAX20AN, qui mesure le débit journalier maximal attendu une fois tous les 20 ans, montre une augmentation probable de 2,6 % à plus de 12 % lorsque l'on compare les données historiques de 1981-2010 avec les projections pour 2071-2100 sous les scénarios climatiques RCP4.5 et RCP8.5. C'est en Gaspésie que l'augmentation est la plus marquée. Cependant, les différents modèles climatiques ne s'accordent pas sur la direction précise que prendra cette variation pour le Bas-Saint-Laurent.

La figure 12 illustre Q1MAX20HP (débit journalier maximal sur la période hiver-printemps avec une récurrence de 20 ans). Bien que La Pointe, La Haute-Gaspésie et la Baie-des-Chaleurs connaîtront une augmentation du débit anticipée dans le scénario RCP8.5, la tendance pour les tronçons des rivières traversant la Côte, la Vallée et le Bas-Saint-Laurent pourrait varier d'une légère diminution à une légère augmentation des débits.

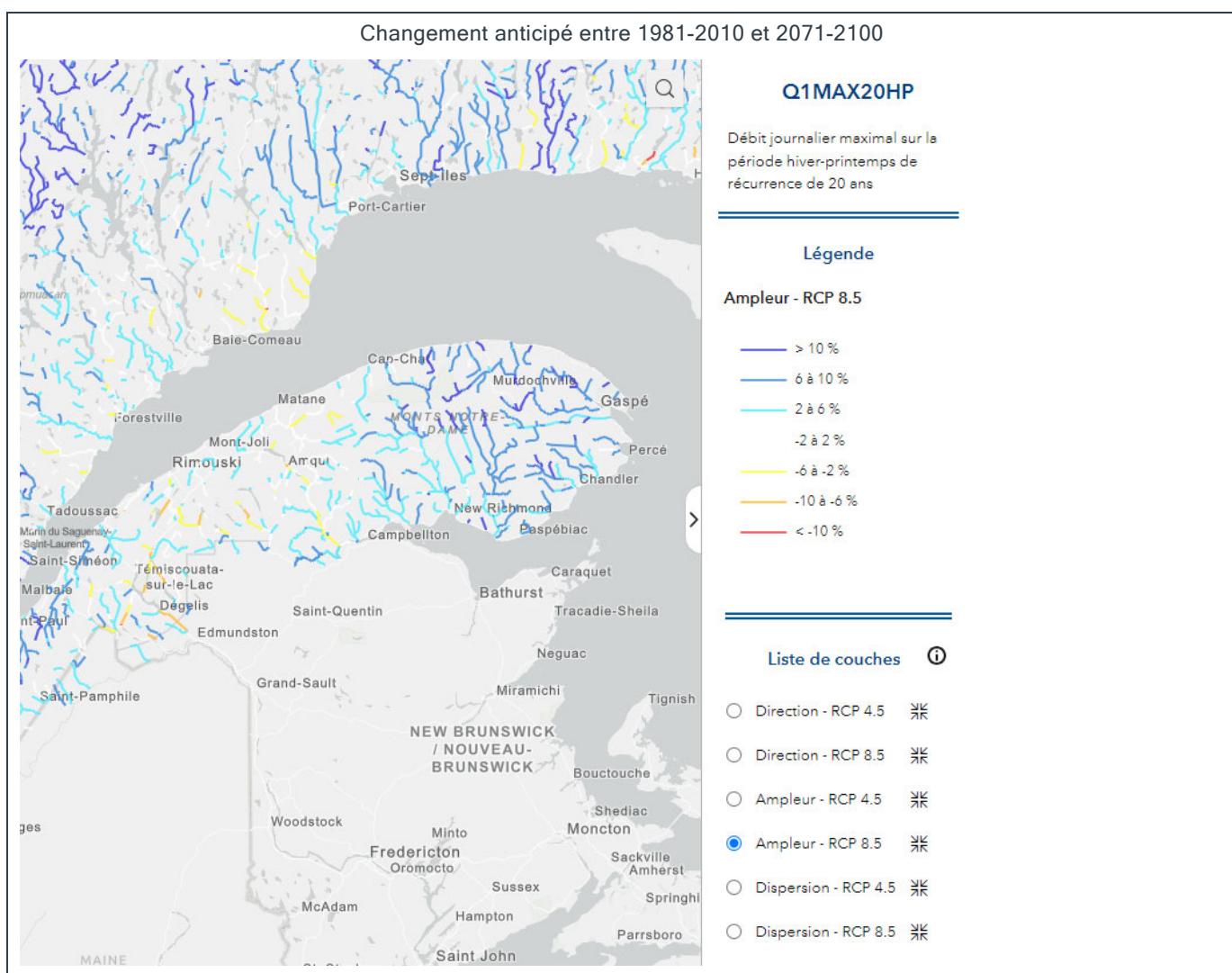


Figure 12 : Changement projeté de l'indicateur Q1MAX20HP au cours du 21^e siècle sous un scénario RCP8.5 (tirée de CEHQ, 2013)

La figure 13, pour l'indicateur Q1MAX20EA, qui concerne le débit journalier maximal en été et en automne, montre que les projections suggèrent une augmentation notable du débit, pouvant varier entre 5 % et plus de 25 %, en fonction des scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

Sur la base des indications disponibles, qui ne permettent pas de déterminer avec précision la probabilité, un score de probabilité entre P3 et P4 est attribué de manière subjective à cet aléa climatique. Cette estimation pourrait être affinée par des études supplémentaires et la collecte de données plus complètes, ce qui permettrait de réduire la marge d'erreur dans l'évaluation.

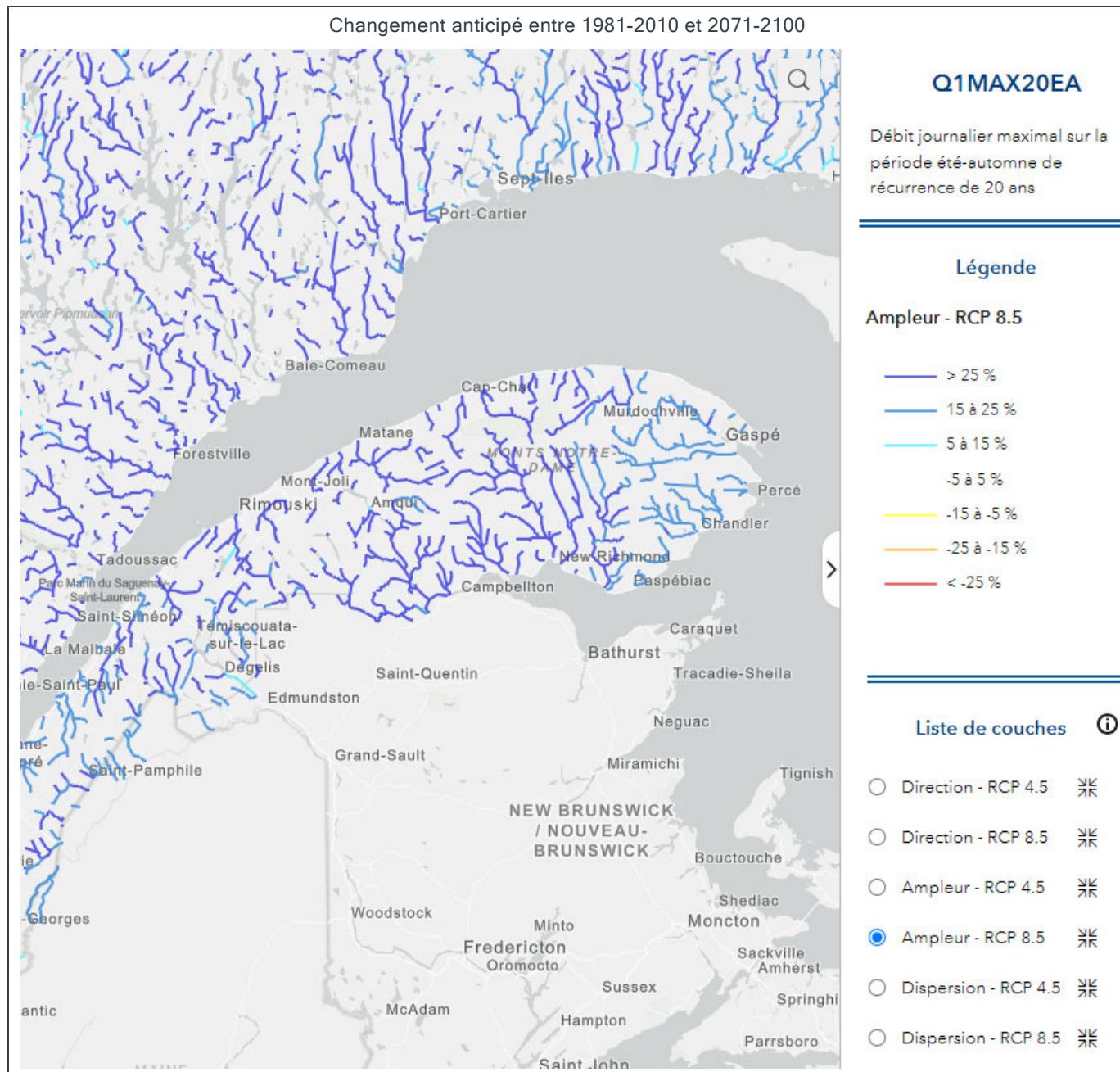


Figure 13 : Changement projeté de l'indicateur Q1MAX20EA au cours du 21^e siècle sous un scénario RCP8.5 (tirée de CEHQ, 2013)

4.2.1.13 Feu de forêt

D'après les données fournies par Ressources naturelles Canada (2020), une augmentation substantielle de la superficie annuelle brûlée et du nombre de grands feux de forêt est anticipée au Canada en raison des conditions plus chaudes et sèches anticipées. Il est attendu que ces facteurs climatiques prolongent la saison des incendies et doublent la superficie brûlée annuellement, avec une augmentation de 1,5 fois le nombre de grands incendies (> 200 hectares) d'ici la fin du siècle.

Les projections pour la région incluant les zones d'étude du programme décennal d'intervention signalent une tendance marquée vers une hausse des incendies de forêt en termes de fréquence et d'étendue (figure 14). La période de référence 1981-2010 montre que la superficie brûlée annuelle se situe entre 0,2 et 0,5 %, avec une possibilité d'augmentation significative, passant à 1 à 2 % d'ici la fin du siècle sous le scénario RCP 8.5. Ce scénario suppose une hausse continue des émissions de GES, entraînant des conditions plus sèches et plus chaudes et, par conséquent, des feux plus fréquents et plus intenses. En contraste, le scénario RCP 2.6 prévoit peu ou pas de changement, grâce aux mesures d'atténuation envisagées. De plus, la fréquence annuelle des grands feux (> 200 ha) pourrait légèrement augmenter, passant de 0,05 à 0,1 durant la période de référence à 0,1 à 0,2 dans un contexte de RCP 8.5.

De plus, l'indication générale de la synthèse d'Ouranos (2015) concernant les feux de forêt à l'échelle du Québec est la suivante : « Les projections moyennes les plus récentes faites en utilisant les simulations CMIP3 tendent à converger vers une activité des feux accrue d'environ un facteur deux pour la période 2081 à 2100 par rapport au régime de 1961 à 1999. En revanche, celles-ci demeurent associées à une large plage d'incertitude principalement liée à l'incertitude climatique, allant d'un facteur d'environ 1,5 jusqu'à 3 fois plus d'activité par rapport à la période de référence [...]. De plus, comme la composition des paysages boréaux évoluera aussi au cours du 21^e siècle, il reste difficile de projeter avec précision l'activité des feux du futur, notamment en raison d'un possible enfeuillage de certaines régions boréales, végétation d'une plus faible inflammabilité qui pourrait dans une certaine mesure compenser l'effet des déterminants météorologiques [...]. »

Pour les niveaux régional et local, il est difficile d'obtenir des projections d'ensemble couvrant l'incertitude, entre autres parce que les indices de feu de forêt requièrent de nombreuses variables météorologiques.

En se basant sur les données d'un seul modèle climatique, Boulanger et coll. (2014) ont procédé à des estimations de l'évolution de deux indicateurs liés aux feux de forêt. Leurs résultats indiquent que, pour la zone de régime des feux homogènes (*North Atlantic*), le pourcentage de superficie brûlée annuellement, estimé à moins de 0,5 % par an pour la période 1961-1990, pourrait augmenter d'un facteur de l'ordre de 1,11 à 1,33 pour l'horizon 2041-2070 (et d'un facteur de l'ordre de 1,5 à 2 pour l'horizon 2071-2100). La densité d'occurrence de feux (d'aire supérieure à 200 ha), estimée à moins de 10 par 100 000 km² par an pour la période 1961-1990, pourrait quant à elle augmenter d'un facteur de l'ordre de 1,33 à 1,5 pour l'horizon 2041-2070 (et d'un facteur de l'ordre de 1,5 à 2 pour l'horizon 2071-2100). Considérant les résultats pour chacun des deux indicateurs et pour 2071-2100, un score de P4 à P5 est attribué.

Il convient de souligner que le score de probabilité pour les indicateurs sélectionnés est basé sur les résultats d'une seule étude et des données Ressources Naturelles Canada divisant le Canada en zones très vastes, et que d'éventuelles méta analyses pourraient mener à l'attribution d'un score différent pour les zones d'étude.

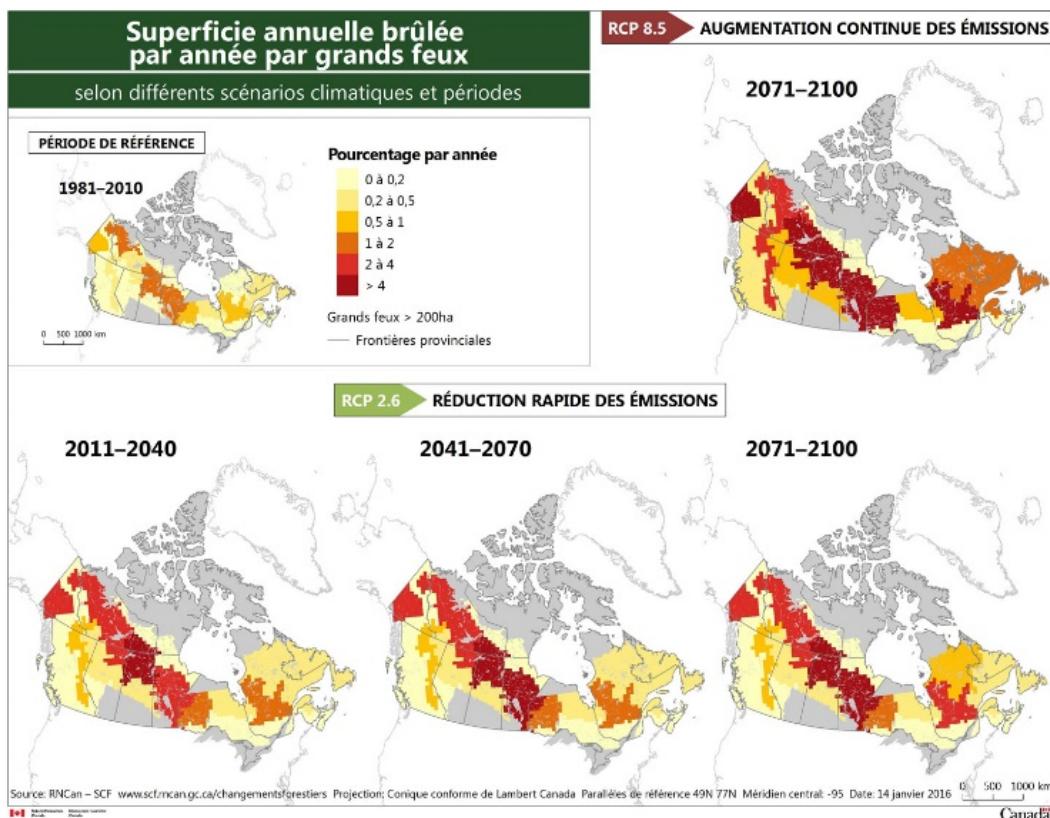
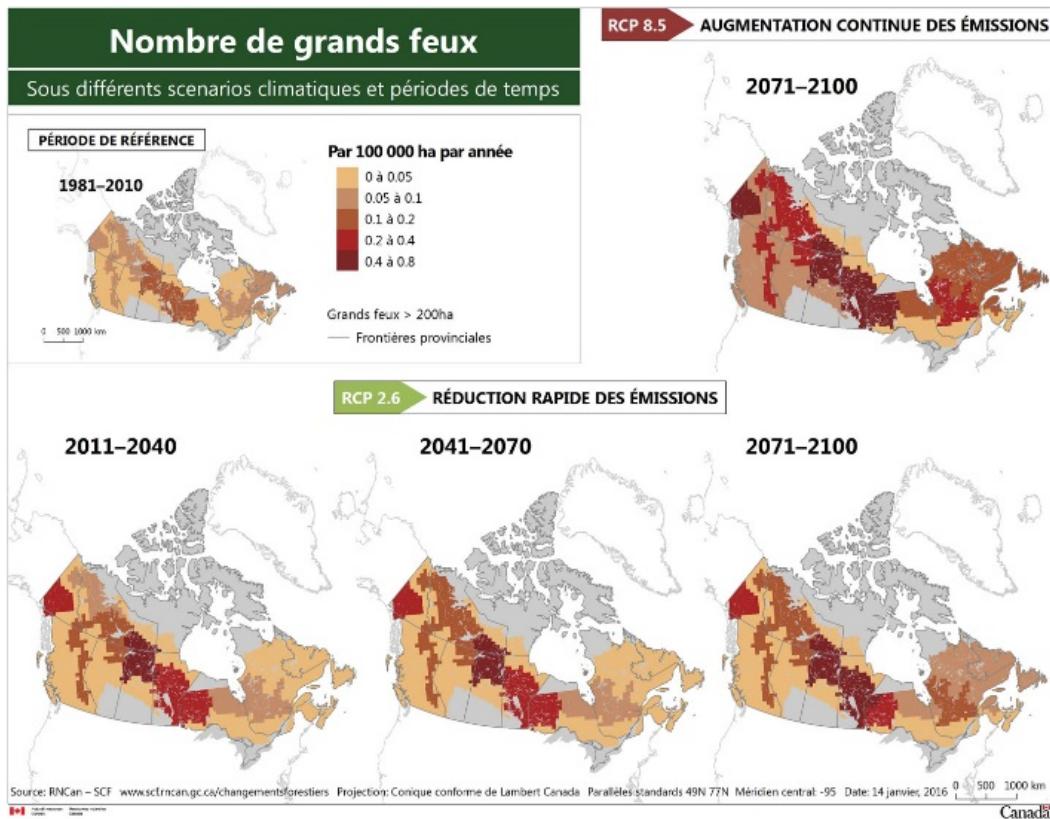


Figure 14 : Projection a) du nombre de grands feux et b) de la superficie annuelle brûlée par année par grands feux (tirée de RNC, 2020)



5

5 Sensibilités et risques

5.1 Scores de sensibilité

Les scores de sensibilité des composantes face aux aléas climatiques ont été attribués indépendamment des scores de probabilité des aléas. L'échelle utilisée pour les scores de sensibilité est présentée dans le tableau 6. Les qualificatifs allant de « très bas » (pour le score S1) à « très élevé » (pour le score S5) sont repris du CVIIP (2021). Des critères généraux ont été développés pour compléter les qualificatifs du CVIIP, avec pour objectif d'uniformiser autant que possible l'attribution des scores. Ces critères couvrent deux catégories distinctes de sensibilité, la première correspondant aux dommages physiques (DP) relatifs à la composante et la deuxième correspondant aux contraintes opérationnelles (CO) relatives à la composante. Les scores attribués doivent être interprétés comme des jugements provisoires, la portée du mandat ne permettant pas de rassembler tous les détails factuels et tous les avis d'experts qui seraient nécessaires à une éventuelle attribution de scores plus intersubjectifs et plus définitifs.

Tableau 6 : Critères d'attribution des scores de sensibilité

Score de sensibilité	Qualificatif du CVIIP	Dommages physiques (DP)	Contraintes opérationnelles (CO)
S5	Très élevé	Dommages irréparables ou destruction de la composante Défaillance effective et complète Composante ne pouvant plus jouer son rôle	Accès à la composante quasiment impossible Travail d'entretien quasiment impossible
S4	Élevé	Dommages majeurs réparables Dégradation fortement accélérée Défaillance potentielle	Accès à la composante fortement limité Travail d'entretien fortement entravé Gestion d'opérations supplémentaires
S3	Modéré	Dommages mineurs réparables Dégradation accélérée Dysfonctionnement	Accès à la composante limité Travail d'entretien ralenti Gestion d'opérations supplémentaires
S2	Faible	Dommages superficiels Fonctionnement sous-optimal	Aucun problème d'accès Travail d'entretien ralenti Gestion d'opérations supplémentaires
S1	Très faible	Aucun dommage à la composante Aucun problème de fonctionnement	Aucun problème d'accès Aucune entrave au travail d'entretien

5.2 Scores de risque

Les scores de risque du CVIIP (2021) sont déterminés par la multiplication des scores d'exposition ($E = 0$ ou 1), de probabilité (variant de 1 à 5) et de sensibilité (variant de 1 à 5). Il en résulte donc la grille de détermination présentée au tableau 7, pour les interactions composante-aléa sélectionnées à l'étape du traitement de l'exposition (c'est-à-dire pour lesquelles $E = 1$). Dans le cadre de la présente évaluation, le score de risque découlant d'un intervalle de scores de probabilité est déterminé en considérant le plus haut score de probabilité (l'incertitude est donc réduite à cette étape, en appliquant une certaine forme du principe de précaution). Par exemple, une interaction composante-aléa caractérisée par les scores P2 - P3 et S4 serait caractérisée par un score de risque de 12. La démarche du CVIIP (2021) suggère en outre de traiter les risques selon trois grandes catégories de scores et de distinguer ces catégories au moyen d'un code de couleur (vert pour les scores de risque inférieurs à 10 ; jaune pour les scores de risque compris entre 10 et 16, inclusivement ; et rouge pour les scores de risque supérieurs à 16).

Tableau 7 : Grille de détermination des scores de risque de la démarche du CVIIP

S5	Sensibilité	5	10	15	20	25	
S4		4	8	12	16	20	
S3		3	6	9	12	15	
S2		2	4	6	8	10	
S1		1	2	3	4	5	
		Probabilité					
		P1	P2	P3	P4	P5	

5.3 Synthèse de l'analyse de risque

Il est à noter que les scores de sensibilité sont attribués en considérant la situation a priori, c'est-à-dire en prenant en compte les informations disponibles et les choix de conception envisagés au moment de l'évaluation. Ne possédant pas de détails sur les matériaux ou autres données spécifiques pour les différents projets à venir, les notes factuelles pour la sensibilité de chaque composante correspondront étroitement à celles de la chaîne d'impact. Certains commentaires du MTMD, à l'étape des projets, seront intégrés et permettront d'évaluer un peu plus précisément ce score de sensibilité.

En effet, certaines mentions, apparaissant en vert, correspondent à des éléments de conception déjà envisagés que l'on trouve dans la Collection Normes - Ouvrages routiers du MTMD et permettent de limiter le score de sensibilité.

Les fiches 1 à 5 (tableaux 8 à 12) correspondent aux scores de sensibilité et de risque attribués aux interactions composante-aléa (les scores de probabilité déjà présentés à la section 4.2.1 y sont aussi présentés, ce qui fait du tableau une synthèse de l'analyse de risque).

Tableau 8 : Fiche 1 - Risque pour la structure de la chaussée superficielle

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Érosion	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Effondrement, affaissement des routes dû à l'érosion accrue des falaises/murets de protection et fermeture de route sur une longue durée <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires pour effectuer des travaux d'urgence <p>[Conception : revêtements de protection (enrochements et géotextiles) : TOME IV - Abords de route (MTMD, 2024d)]</p>	S3	P5	R15
Niveaux de la mer	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Inondation et fermeture des tronçons de route trop près du rivage ou à une hauteur inadéquate par rapport au niveau d'eau prévu <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et bloqués – Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence <p>[Conception : adaptation de l'altitude et emplacement des tronçons en zones côtières : TOME IV - Abords de route [MTMD, 2024b)]</p>	S3	P5	R15
Précipitations extrêmes	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Capacité des systèmes excédée en cas d'importante quantité de pluie et inondation des routes <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires pour des travaux d'urgence <p>[Conception : optimisation du dimensionnement des systèmes de drainage : TOME III - Ouvrages d'art (MTMD, 2024c)]</p>	S4	P3-P5	R15
Couvert de neige	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Détérioration accrue due aux équipements de déneigement et agents de déglaçage <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires (besoin de plus de machinerie) 	S2	P1-P2	R4
Onde de tempête et vague	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Inondation et fermeture des tronçons de route trop près du rivage ou à une hauteur inadéquate <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence <p>[Conception : adaptation de l'altitude et emplacement des tronçons en zones côtières : TOME IV - Abords de route (MTMD, 2024b)]</p>	S4	n. d.	n. d.

Tableau 8 : Fiche 1 - Risque pour la structure de la chaussée superficielle (suite)

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Chaleur extrême	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Déterioration accélérée de l'enrobé bitumineux due à un possible ramollissement et à l'expansion thermique. Phénomène de ressuage possible, où le liant bitumineux remonte à la surface de la chaussée, réduisant l'adhérence et créant des risques de déformation (ornières, surfaces lisses). <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion des opérations supplémentaires d'entretien <p>[Conception : utilisation d'enrobés bitumineux à haute performance thermique : TOME III - Construction routière (MTMD, 2024b)]</p>	S2	P4-P5	R10
Verglas	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Déterioration accrue due aux équipements et agents de déglaçage <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion des opérations supplémentaires d'entretien – Délais des services d'urgence plus longs en raison d'un ralentissement significatif des déplacements 	S2	P2-P4	R8
Foudre	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dommages accrus en cas d'impact direct <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Maintenance accrue 	S2	P4-P5	R10
Cycle de gel/dégel	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Déterioration accélérée du revêtement et des fondations (mouvement des pierres possible si mal compactées) – Formation accrue de nids de poule <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion des opérations supplémentaires d'entretien (nécessité d'interventions fréquentes pour réparer les routes) – Risques accrus de blessures physiques (chocs) en raison de l'état dégradé des routes <p>[Conception : TOME VII - Matériaux (MTMD, 2024e)]</p>	S3	P3-P5	R15
Crue	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Inondation et fermeture des tronçons de route trop près des rivières ou à une hauteur inadéquate <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles – Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence. 	S4	P3-P4	R16
Feu de forêt	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fermeture temporaire des routes affectées par les feux et endommagement des routes <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion supplémentaire, problèmes de gestion des flux logistiques – Travaux d'urgence – Détournement et retard des itinéraires de transport 	S3	P4-P5	R15

Tableau 9 : Fiche 2 - Risque pour les systèmes de drainage, les ponceaux, réseaux sous-terrain

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Érosion	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Érosion accrue lors d'épisode de pluie extrême et d'obstruction des conduites et ponceaux provoquant un affaiblissement des fondations des systèmes de drainage <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger pour les équipes d'intervention – Gestion d'opérations supplémentaires (défaillance progressive des systèmes) 	S3	P5	R15
Niveau de la mer	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Surcharge des systèmes de drainage entraînant des risques d'inondations – Obstruction accrue des ponceaux et systèmes de drainage dû au dépôt de sédiments entraînant des risques d'inondations <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires <p>[Conception : installation de dispositifs anti-sédimentation aux embouchures des conduites : TOME IV - Abords de route (MTMD, 2024b)]</p>	S4	P5	R20
Précipitations extrêmes	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Surcharge des systèmes de drainage entraînant des risques d'inondations et érosion des chaussées <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires <p>[Conception : majoration des données IDF (MELCC, 2023)]</p>	S3	P3-P5	R15
Couvert de neige	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Obstruction accrue des ponceaux réduisant leur capacité à évacuer l'eau efficacement <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P1-P2	R4
Onde de tempête et vagues	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Surcharge des systèmes de drainage entraînant des risques d'inondations – Obstruction accrue des ponceaux et systèmes de drainage dû au dépôt de sédiments entraînant des risques d'inondations <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès difficiles et danger – Gestion d'opérations supplémentaires <p>[Conception : renforcement des systèmes de drainage en bordure de mer : TOME IV - Abords de route (MTMD, 2024b)]</p>	S3	n.d	n.d
Chaleur extrême	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Déterioration accélérée des matériaux due à une dilatation légère sous l'effet de la chaleur <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P4-P5	R10

Tableau 9 : Fiche 2 - Risque pour les systèmes de drainage, les ponceaux, réseaux sous-terrain (suite)

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Crue	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> Surcharge des systèmes de drainage entraînant des risques d'inondations Obstruction accrue des ponceaux réduisant leur capacité à évacuer l'eau efficacement <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> Accès difficiles et danger Gestion d'opérations supplémentaires 	S3	P3-P4	R12

Tableau 10 : Fiche 3 - Risque pour les ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.)

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Érosion	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> Érosion accrue des perrés de pont et des fondations sous l'effet des précipitations intenses et de niveaux d'eau élevés. <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> Accès bloqués. Gestion d'opérations supplémentaires pour restaurer la stabilité et renforcer les perrés. <p>[Conception : gestion des effets d'érosion et de surcharge hydraulique par dimensionnement des ouvrages d'art selon les critères hydrauliques : TOME III - Ouvrages d'arg (MTMD, 2024a). Chapitre 2, Section 2.1.3 - Hydrologie et hydraulique.]</p>	S2	P5	R10
Niveau de la mer	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> Inondation, submersion et fermeture possible si la hauteur inadéquate par rapport au niveau d'eau prévu <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> Accès bloqués Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence <p>[Conception : TOME III (2021/01/30), chapitre 2, conception des ouvrages d'art (2.1.3.2 Hydraulique, A) niveau d'eau) : En présence de marée, les niveaux d'eau calculés de la marée doivent être majorés pour tenir compte du rehaussement du niveau des mers causé par les changements climatiques]</p>	S2	P5	R10
Précipitations extrêmes	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> Érosion accélérée des matériaux et détérioration accrue Érosion des talus et détérioration des fondations en cas de débit extrême <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> Accès difficiles et danger Gestion d'opérations supplémentaires <p>[Conception : adaptation des infrastructures hydrauliques aux précipitations extrêmes avec utilisation de données IDF majorées pour les calculs : TOME III - Ouvrages d'art (MTMD, 2024c), Chapitre 2, Section 2.1.3 - Hydrologie et hydraulique]</p>	S2	P5	R10
Couvert de neige	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> Déformation accrue et risque d'effondrement dû au poids de la neige <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> Accès limité Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P1-P2	R4

Tableau 10 : Fiche 3 - Risque pour les ouvrages d'art (pont, viaduc, etc.) (suite)

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Onde de tempête et vagues	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Inondation, submersion et dommages structurels possible entraînant la fermeture de certains ponts, viaduc, etc. si la hauteur inadéquate par rapport au niveau d'eau prévu combiné aux effets des vagues et onde de tempête <p>[Conception : majoration des niveaux d'eau pour les infrastructures en présence de marées, intégrant les prévisions d'élévation du niveau de la mer : TOME III - Ouvrages d'art (MTMD, 2024c), Chapitre 2, section 2.1.3.2 Hydraulique]</p> <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès bloqués – Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence 	S3	n.d.	n.d.
Vents forts	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Exposition accrue aux vents augmentant les risques de déformations ou dommages <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P3-P4	R8
Verglas	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Détérioration accrue due aux équipements et agents de déglaçage – Dommege accru dû à l'augmentation de la charge structurelle <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès limité – Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P2-P4	R8
Foudre	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dommege accru en cas d'impact direct <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S2	P4-P5	R10
Cycle de gel/dégel	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Affaiblissement accru des fondations et fissurations accrues, particulièrement pour les ouvrages avec des fondations superficielles, les remblais d'approche ou le tablier de ponts <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S3	P1-P5	R15
Crue	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Inondation, submersion et dommages structurels possible entraînant la fermeture de certains ponts, viaduc, etc. si la hauteur inadéquate par rapport au niveau d'eau prévu en cas de crue <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Accès bloqués – Gestion d'opérations supplémentaires pour dégager les débris et effectuer des travaux d'urgence <p>[Conception : prise en compte des crues pour le dimensionnement des ouvrages d'art selon des données hydrologiques actualisées : TOME III - Ouvrages d'art (MTMD, 2024a), chapitre 2, section 2.1.3 - Hydrologie et hydraulique]</p>	S2	P3-P4	R8
Feu de forêt	<p>DP :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dommege structurels dus à l'exposition des températures élevées ou chute d'arbres <p>CO :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Gestion d'opérations supplémentaires 	S3	P4-P5	R15

Tableau 11 : Fiche 4 - Risque pour les panneaux de signalisation et autres équipements

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Précipitation extrêmes	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Dommages accélérés à la base des poteaux et au pied des panneaux. – Visibilité réduite des panneaux CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée. 	S2	P3-P5	R10
Couvert de neige	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Accumulation accrue de neige collante sur les panneaux CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S1	P1-P2	R2
Chaleur extrême	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Déterioration et déformation accélérée des matériaux – Surchauffe accrue des composantes électriques CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S2	P5	R10
Vents forts	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Dommages accusés des panneaux et des poteaux d'éclairage, risque de chute et déformation CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S2	P3-P4	R8
Verglas	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Déformation accrue des panneaux due au poids de la glace CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S2	P2-P4	R8
Foudre	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Surtension des panneaux électrifiés et endommagement des équipements électroniques. CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée. 	S2	P4-P5	R10
Cycle de gel/dégel	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Dégradation accrue des bases des poteaux, craquelures dans les matériaux CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S2	P1-P5	R10
Feu de forêt	DP : <ul style="list-style-type: none"> – Dommages accusés ou destruction des panneaux et des poteaux d'éclairage CO : <ul style="list-style-type: none"> – Aucune problématique identifiée 	S2	P4-P5	R10

Tableau 12 : Fiche 5 - Risque pour les humains

Aléas	Justification sensibilité	Score de sensibilité	Score de probabilité	Score de risque
Érosion	CO : – Risque d'accident accru en cas d'effondrement d'une portion de routes	S3	P5	R15
Niveau de la mer	CO : – Risque d'accident accru d'aquaplanage et accès difficile ou impossible. – Complexité des interventions d'entretien.	S3	P5	R15
Précipitations extrêmes	CO : – Risque d'accident accru d'aquaplanage et accidents dû à une visibilité réduite	S2	P3-P5	R10
Couvert de neige	CO : – Risque d'accident accru dû à une accumulation rapide de neige	S3	P1-P2	R6
Onde de tempête et vagues	CO : – Risque d'accident accru dû à la submersion de la route à cause des vagues et dépôts de débris	S3	n. d.	n. d.
Chaleur extrême	CO : – Coups de chaleur lors des entretiens des infrastructures	S3	P5	R15
Vents forts	CO : – Risque d'accident accru dû à la poudrerie (en cas de neige), projections d'objet et risques de blessures graves	S2	P3-P4	R8
Verglas	CO : – Risque d'accident accru dû aux routes glissantes et risques de blessures graves	S2	P2-P4	R8
Foudre	CO : – Risque d'accident accru et risques de blessures graves	S2	P4-P5	R10
Feu de forêt	CO : – Risque d'accident accru dû à la propagation rapide des feux, des débris tombés et la réduction de visibilité entraînant des risques de blessures graves	S3	P4-P5	R15



6 Mesures d'adaptation proposées

Le tableau 13 présente les mesures d'adaptation proposées afin de potentiellement réduire les risques « élevés » et « modérés ». Ces mesures ne résument pas nécessairement tout ce qui est entrepris par le MTMD pour favoriser la résilience aux changements climatiques ; certaines mesures d'adaptation sont implicites dans la conception (normes de construction et habitudes de travail tenant compte des événements météorologiques marquants), alors que d'autres ont été supposées à l'étape de l'évaluation des scores de sensibilité. Il est donc ici question de mesures supplémentaires qui ont été suggérées, mais étant donné que les solutions futures sont inconnues à cette étape-ci, elles pourraient changer. Par conséquent, les scores de sensibilité pourraient également diminuer, réduisant ainsi les risques à venir.

Enfin, il est à noter que les mesures sont formulées du point de vue de la résilience climatique et ne constituent que des propositions. Les mesures n'ont pas été formulées du point de vue réglementaire et leur adéquation avec les lois et règlements municipaux, provinciaux et fédéraux sera validée à l'étape de la conception des projets.

Tableau 13 : Recommandations d'adaptation pour les risques modérés et élevés

Interaction climat-infrastructure	Score de risque	Recommandations d'adaptation
Crue	R16	<ul style="list-style-type: none"> Documenter les zones à risque et critiques puis intégrer les facteurs de sécurité en lien avec les potentielles montées des eaux ; Élever ou renforcer les tronçons de route les plus vulnérables ; Relocaliser les infrastructures critiques ; Planifier des voies d'évacuation.
Niveau de la mer	R15	<ul style="list-style-type: none"> Documenter les zones à risques et critiques puis incorporer les facteurs de sécurité liés à la montée des eaux le long du littoral ; S'assurer que les facteurs de sécurité proviennent des dernières mises à jour du GIEC Renforcer et mettre à niveau les infrastructures à risque ; Relocaliser les infrastructures critiques ; Évaluer la possibilité d'une adaptation graduelle ; Programmes réguliers de surveillance et de nettoyage des systèmes de drainage pour éviter les blocages liés aux sédiments ; Installer des systèmes de surveillance des niveaux d'eau pour anticiper les risques d'inondation et de défaillance structurelle.
Érosion	R15	<ul style="list-style-type: none"> Documenter les zones à risques et critiques et renforcer les berges et talus ; Utiliser des matériaux résistants à l'érosion pour les chaussées et autres infrastructures ; Installer des protections appropriées pour les talus de remblai, comme des enrochements, pour éviter l'infiltration de l'eau dans la structure de la chaussée et protéger contre l'érosion due aux inondations Mettre en œuvre des mesures de protection côtière qui visent à réduire l'énergie des vagues et à prévenir les dommages aux côtes liés à l'érosion. Utiliser de la végétation pour aider à stabiliser le sol et réduire l'érosion ; Intégrer des programmes de gestion des sédiments pour maintenir les berges.
Précipitations extrêmes	R15	<ul style="list-style-type: none"> S'assurer d'améliorer et d'agrandir les systèmes de drainage en intégrant un facteur de sécurité dans la capacité d'évacuation de l'eau ; Mettre en place des bassins de rétention pour limiter le débit de pointe à évacuer, réduisant ainsi la pression sur les systèmes de drainage et les ponceaux. Privilégier les revêtements et trottoirs perméables pour favoriser le drainage et réduire les risques d'accumulation d'eau et de gel ; Mettre en œuvre des programmes réguliers de surveillance et de nettoyage des systèmes de drainage pour éviter les blocages.
Feu de forêt	R15	<ul style="list-style-type: none"> Maintenir une zone de dégagement et une gestion proactive de la végétation autour des routes afin de minimiser le risque de propagation. S'assurer que le plan de mesures d'urgence (PMU) est adapté aux probabilités accrues d'un feu de forêt à proximité des routes situées dans des zones à haut risque de feux et inclure un itinéraire alternatif.
Onde de tempêtes et vagues	n. d.	<ul style="list-style-type: none"> Incorporer les facteurs de sécurité liés à la montée des eaux le long du littoral combiné avec des risques de surcote et de remontée des vagues le long des composantes d'infrastructures ; Utiliser de la végétation comme zone tampon ; Renforcer, mettre à niveau ou rehausser les infrastructures à risque ; Relocaliser les infrastructures critiques ; Mettre en œuvre des mesures de protection côtière qui visent à réduire l'énergie des vagues et à prévenir les dommages aux côtes liés à l'érosion Évaluer la possibilité d'une adaptation graduelle ; Faire des études supplémentaires afin de s'assurer que le mur de soutènement, falaise ou autres demeurent stables face à l'éventualité d'une force hydrostatique supplémentaire occasionnée par la hausse du niveau de l'eau (à marée haute) dans les zones critiques.

Tableau 13 : Recommandations d'adaptation pour les risques modérés et élevés (suite)

Interaction climat-infrastructure	Score de risque	Recommandations d'adaptation
Cycle de gel/dégel	R15	<ul style="list-style-type: none"> – Utiliser des matériaux flexibles et résistants aux cycles de gel et dégel ; – Surveiller et réparer rapidement des fissures surtout en hiver pour éviter les infiltrations d'eau ; – Utiliser des remblais à convection d'air et des remblais isolés pour minimiser les effets des températures extrêmes et des cycles de gel-dégel.
Vents forts	R15	<ul style="list-style-type: none"> – Aménager des zones tampons dans les secteurs à risque de forts vents.
Chaleur extrême	R15	<ul style="list-style-type: none"> – Utiliser des matériaux résistants à la chaleur pour éviter le ramollissement et l'expansion ; – Aménager de zones ombragées avec des arbres le long des routes où la température peut très vite grimper dans le respect des règles de dégagement pour éviter, qu'en cas de sortie de route, un véhicule n'entre en collision avec un arbre ; – Consulter des études de cas similaires où des stratégies d'adaptation ont été mises en œuvre. Un exemple est l'évaluation menée pour la ville de Toronto qui, pour améliorer la résilience des infrastructures routières, a utilisé des liants de chaussée conçus spécifiquement pour prévenir l'usure prématuée de celle-ci et garantir l'utilisation de matériaux routiers plus résilients à l'avenir (https://donneesclimatiques.ca/etude-de-cas/chaussee-et-temperature-extremes-dans-la-ville-de-toronto/).



7

7 Limites de l'évaluation

L'évaluation de résilience aux changements climatiques pour le programme décennal d'intervention est basée sur des résultats scientifiques reconnus, crédibles et récents. De plus, une approche holistique a été adoptée afin de favoriser la cohérence de la vision d'ensemble sur la problématique. Enfin, les limites, incertitudes et suppositions ont été clairement indiquées tout au long du rapport. Certaines des limites de l'évaluation sont les suivantes :

- Aucune documentation n'a été fournie. Les solutions de chaque projet ne sont pas encore connues, alors l'évaluation se base sur des hypothèses prudentes reconnues dans le domaine. Des études supplémentaires sont à prévoir pour affiner les résultats et les conclusions de cette évaluation. Il n'y a pas eu de visite du site, ce qui peut poser une limite pour la description du projet ou pour l'anticipation de certaines interactions entre composante de projet et aléa climatique ;
- La présente évaluation n'a pas pu bénéficier de résultats d'étude géotechnique portant sur la stabilisation du roc ou la stabilisation des sols meubles ;
- Aucune coupe n'a été fournie ;
- Il existe un grand manque d'informations pour les indicateurs qui ne sont pas directement liés aux températures et aux précipitations, une situation qui n'est pas indépendante de l'absence de projections pour ces variables sur les portails web de données climatiques ;
- Le traitement de l'incertitude climatique future n'est pas uniforme d'un indicateur à l'autre. Les scénarios de concentration de GES SSP2-4.5 SSP 3-7.0 ont servi de bornes autant que possible, mais, pour certains indicateurs l'information disponible ne correspond pas à cette paire de scénarios ;

Les scores de sensibilité une fois les solutions de chaque projet connu devront être revus et découler d'un accord intersubjectif impliquant un nombre limité de parties prenantes.



8 Références

BERNATCHEZ, P. 2015. *Bilan des connaissances sur l'érosion et la submersion côtière au Québec : enjeux, causes et perspectives*. [En ligne] : https://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/colloques/2015/resentations/bernatchez2015.pdf.

BERNATCHEZ, P ET J-M, DUBOIS. 2004. Bilan des connaissances de la dynamique de l'érosion des côtes du Québec maritime laurentien. *Géographie physique et Quaternaire* 58(1), 45-71. En ligne : <https://www.erudit.org/fr/revues/gpq/2004-v58-n1-gpq1200/013110ar/>, consulté en octobre 2023.

BOULANGER Y., GAUTHIER S., ET P.J. BURTON. 2014. A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogeneous fire regime zones. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 365-376.

BUSH, E. ET LEMMEN, D.S. 2019. *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa, Ontario, 446 pages. [En ligne] : <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/a-propos/>.

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). 2013. *Atlas hydroclimatique du Québec méridional : Impacts des changements climatiques sur les régimes de crue, d'étiage et d'hydraulicité à l'horizon 2050*. Québec, Centre d'expertise hydrique du Québec. [En ligne] : http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/atlas/atlas_hydroclimatique.pdf.

CHENG, C.S., LOPES, E., FU, C. ET HUANG, Z. 2014. *Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscaled Future Climate Conditions: Updated for Canada*. Journal of Climate, vol. 27, p. 1255-1270, doi : 10.1175/JCLI-D-13-00020.1.

COMITÉ SUR LA VULNÉRABILITÉ DE L'INGÉNIERIE DE L'INFRASTRUCTURE PUBLIQUE (CVIIP). 2021. *PI/EVC High Level Screening Guide*. Beta Version 1.01 - Nov. 10, 2021.

DONNÉESCLIMATIQUES.CA. 2024. *Les données climatiques pour assurer l'avenir du Canada*. En ligne : <https://donneesclimatiques.ca/>, consulté en octobre 2023

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2024. *Normales climatiques canadiennes*. En ligne : https://climat.meteo.gc.ca/climate_normals/index_f.html, consulté en décembre 2023.

ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA (ECCC). 2019. *ATLAS CLIMATIQUE DU CANADA*.

GREENAN, B. 2022. *Outil canadien d'adaptation aux niveaux d'eau extrêmes (OCANEE)*. Secteur des sciences des écosystèmes et des océans, Pêches et Océans Canada, Dartmouth, (N-É). En ligne : <https://gisp.dfo-mpo.gc.ca/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=39b77f2331b24522841ba7d4289a0b2>, consulté en décembre 2023.

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC). 2023. *Sections*. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115.

GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR LE CLIMAT (GIEC). 2021. *Résumé à l'intention des décideurs*. In : Changement climatique 2021 : les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat [publié sous la direction de Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gobis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K., Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu et B. Zhou]. Cambridge University Press.

HWAN-YOUNG CHOI, PARK, MS., KIM, HS. ET COLL. Marine heatwave events strengthen the intensity of tropical cyclones. *Commun Earth Environ* 5, 69 (2024). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01239-4>

JAMES, T.S., HENTON, J.A., LEONARD, L.J., DARLINGTON, A., FORBES, D.L. AND CRAYMER, M. 2014 *Relative Sea-level Projections in Canada and the Adjacent Mainland United States*. Geological Survey of Canada, Open File 7737, 72 pages, doi : 10.4095/295574.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP). 2021. *Guide*.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS ET DE LA MOBILITÉ DURABLE (MTMD). 2024.

MORNEAU, F. 2014. *Environnement maritime, vulnérabilité, impacts et adaptation : « Vers une gestion adaptative des zones côtières »*. Ouranos. [En ligne] : <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-07/prog-enviromarit-doc.pdf>

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2024. *Mapping tool : « Historical hurricane tracks »*. [En ligne] : <https://coast.noaa.gov/hurricanes/#map=4/32/-80>, consulté en juin 2024.

OURANOS. 2023. *Portraits climatiques*. En ligne : <https://portraits.ouranos.ca/fr>, consulté en octobre 2024.

OURANOS. 2015. *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec*. Édition 2015. Ouranos, Montréal, Québec. 415 pages.

RESSOURCES NATURELLES CANADA (RNC). 2020. *Régime des feux*. En ligne : https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/impacts-adaptation/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-fore/regime-feux/17781?_gl=1*1utgzyo*_ga*MjAyNjE0MjkwNi4xNjc1MzY4Nzk1*_ga_C2N57Y7DX5*MTcwNjE1MjQ0Ny4zMS4xLjE3MDYxNTI0NTIuMC4wLjA, consulté en décembre 2023.

Annexe A

Données et tendances climatiques



ENGLOBE

Annexe A1

Normales climatiques pour la période 1991 à 2020

Mont-Joli

Tableau A-1 : Normales climatiques de 1991-2020 pour la ville de Mont-Joli

Normales climatiques de 1991-2020	
Température moyenne quotidienne annuelle	3,9 °C
Extrême maximum	35,9 °C le 4 juillet 1983
Humidex record	42,7 °C le 16 juin 1994
Extrême minimum	-34,7°C le 3 janvier 2014
Refroidissement éolien record	-51,3 le 18 janvier 1982
Jours avec des températures maximales > 30 °C	1,5 jour de mai à septembre
Jours avec des températures minimales < -20 °C	16 jours de décembre à avril
Chute de pluie annuelle	630,0 mm
Jours avec pluie >= 25 mm	3,7 jours par an
Extrême quotidien de pluie	76,8 mm le 10 septembre 1999
Chute de neige annuelle	385 cm
Couverture de neige moyenne (cm)	Novembre : 2 cm ; décembre : 11 cm ; janvier : 21 cm ; février : 33 cm ; mars: 36 cm ; avril : 6 cm
Extrême quotidien de neige	60 cm le 5 février 1995
Extrême quotidien couverture de neige (cm)	213 cm le 22 février 1959
Jours avec neige >= 10 cm	9 jours par an
Jours de pluie/bruine verglaçante	5 jours par an
Jours avec brouillard	31 jours par an
Vitesse extrême de rafales de vent	137 km/h le 20 juin 1964
Date moyenne premier gel	14 octobre
Date moyenne dernier gel	16 mai

Source : Environnement et Changement climatique Canada (ECCC, 2024)

Gaspé

Tableau A-2 Normales climatiques de 1991-2020 pour la ville de Gaspé

Normales climatiques de 1991-2020 pour	
Température moyenne quotidienne annuelle	3,4 °C
Extrême maximum	36 °C le 27 juin 2003
Humidex record	43,9 °C le 15 août 2002
Extrême minimum	-35,5 °C le 22 janvier 1984
Refroidissement éolien record	-47,2 le 18 janvier 1982
Jours avec des températures maximales > 30 °C	4 jours de mai à septembre
Jours avec des températures minimales < -20 °C	27 jours de décembre à avril
Chute de pluie annuelle	797,8 mm
Jours avec pluie >= 25 mm	7,5 jours par an
Extrême quotidien de pluie	144,2 mm le 24 avril 1980
Chute de neige annuelle	385 cm
Couverture de neige moyenne (cm)	Décembre et novembre : 15 cm ; janvier : 33 cm ; février : 52 cm ; mars : 56 cm ; avril : 24 cm
Extrême quotidien de neige	74 cm le 19 janvier 2007
Extrême quotidien couverture de neige (cm)	244 cm le 11 mars 1995
Jours avec neige >= 10 cm	12 jours par an
Jours de pluie/bruine verglaçante	7,4 jours par an
Jours avec brouillard	28 jours par an
Vitesse extrême de rafales de vent	122 km/h le 7 avril 1989
Date moyenne premier gel	17 septembre
Date moyenne dernier gel	4 juin

Source : Environnement et Changement climatique Canada (ECCC, 2024)

Îles-de-la-Madeleine

Tableau A-3 : Normales climatiques de 1991-2020 pour les Îles-de-la-Madeleine

Normales climatiques de 1991-2020 pour	
Température moyenne quotidienne annuelle	5,6 °C
Extrême maximum	30,1 °C le 10 août 2001
Humidex record	36,9 °C le 22 août 2015
Extrême minimum	-26,5°C le 26 janvier 1994
Refroidissement éolien record	-42,1 le 18 janvier 1982
Jours avec des températures maximales > 30 °C	0,03 jour (en août)
Jours avec des températures minimales < -20 °C	1,6 jour de janvier à mars
Précipitation annuelle	1 037,7 mm
Jours avec des précipitations >= 25 mm	5,9 jours par an
Extrême quotidien de pluie	84,8 mm le 1 ^{er} août 1990
Chute de neige annuelle	224,6 cm
Couverture de neige moyenne (cm)	Décembre et novembre : 15 cm ; janvier : 33 cm ; février : 52 cm ; mars : 56 cm ; avril : 24 cm
Extrême quotidien de neige	31 cm le 1 ^{er} février 1987
Extrême quotidien couverture de neige (cm)	98 cm le 23 mars 2015
Jours avec neige >= 10 cm	4,2 jours par an
Jours de pluie/bruine verglaçante	7,1 jours par an
Jours avec brouillard	20 jours par an
Vitesse extrême de rafales de vent	132 km/h le 7 novembre 1994
Date moyenne premier gel	17 septembre
Date moyenne dernier gel	4 juin

Annexe A2 Évolution des aléas climatiques identifiés

Climat plus chaud : Évolution de la température d'ici 2100

Rimouski

Tableau A-4 : Rimouski - Évolution de la moyenne des températures annuelles

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
3,8°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,4°	+5,6°
		50 ^e	+2,4°	+4,3°
		10 ^e	+1,7°	+3,6°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,3°	+4,7°
		50 ^e	+2,0°	+2,9°
		10 ^e	+1,3°	+2,4°

Tableau A-5 : Rimouski - Évolution de la moyenne des températures du printemps

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
1,6°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,0°	+4,7°
		50 ^e	+2,1°	+4,1°
		10 ^e	+1,3°	+3,1°
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,9°	+4,0°
		50 ^e	+1,9°	+2,6°
		10 ^e	+0,8°	+1,6°

Tableau A-6 : Rimouski - Évolution de la moyenne des températures d'été

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
17,1°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,2°	+5,5°
		50 ^e	+2,2°	+3,8°
		10 ^e	+1,5°	+2,9°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,1°	+4,6°
		50 ^e	+2,0°	+2,6°
		10 ^e	+1,1°	+1,8°

Tableau A-7 : Rimouski - Évolution de la moyenne des températures d'automne

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
6,1°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,2°	+5,0°
		50 ^e	+2,2°	+3,8°
		10 ^e	+1,7°	+3,1°
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,9°	+4,2°
		50 ^e	+1,8°	+2,7°
		10 ^e	+1,1°	+2,1°

Tableau A-8 : Rimouski - Évolution de la moyenne des températures d'hiver

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
-9,8°	SSP3-7.0	90 ^e	+4,5°	+7,4°
		50 ^e	+3,3°	+5,1°
		10 ^e	+2,2°	+4,5°
	SSP2-4.5	90 ^e	+4,6°	+5,8°
		50 ^e	+2,5°	+4,0°
		10 ^e	+1,7°	+3,3°

Gaspé

Tableau A-9 : Gaspé - Évolution de la moyenne des températures annuelles

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
2,6°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,3°	+5,5°
		50 ^e	+2,5°	+4,2°
		10 ^e	+1,8°	+3,5°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,3°	+4,7°
		50 ^e	+2,0°	+2,8°
		10 ^e	+1,2°	+2,3°

Tableau A-10 : Gaspé - Évolution de la moyenne des températures du printemps

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
-0,3°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,3°	+5,1°
		50 ^e	+2,1°	+3,8°
		10 ^e	+1,4°	+3,0°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,1°	+4,4°
		50 ^e	+1,9°	+2,5°
		10 ^e	+0,8°	+1,8°

Tableau A-11 : Gaspé - Évolution de la moyenne des températures d'été

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
15,0°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,3°	+5,6°
		50 ^e	+2,2°	+3,7°
		10 ^e	+1,5°	+3,1°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,2°	+4,9°
		50 ^e	+1,9°	+2,5°
		10 ^e	+1,0°	+1,9°

Tableau A-12 : Gaspé - Évolution de la moyenne des températures d'automne

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
5,2°	SSP3-7.0	90 ^e	+2,9°	+4,8°
		50 ^e	+2,1°	+3,7°
		10 ^e	+1,6°	+2,9°
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,8°	+4,1°
		50 ^e	+1,7°	+2,5°
		10 ^e	+1,0°	+1,9°

Tableau A-13 : Gaspé - Évolution de la moyenne des températures d'hiver

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
-9,9°	SSP3-7.0	90 ^e	+4,1°	+6,7°
		50 ^e	+3,1°	+5,3°
		10 ^e	+2,3°	+5,2°
	SSP2-4.5	90 ^e	+4,1°	+5,7°
		50 ^e	+2,5°	+4,0°
		10 ^e	+1,7°	+3,2°

Cap-aux-Meules

Tableau A-14 : Cap-aux-Meules - Évolution de la moyenne des températures annuelles

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
5,5°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,1°	+4,8°
		50 ^e	+2,4°	+3,8°
		10 ^e	+1,7°	+3,2°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,1°	+4,2°
		50 ^e	+1,9°	+2,7°
		10 ^e	+1,0°	+2,1°

Tableau A-15 : Cap-aux-Meules - Évolution de la moyenne des températures du printemps

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
0,9°	SSP3-7.0	90 ^e	+2,9°	+4,5°
		50 ^e	+2,2°	+3,6°
		10 ^e	+1,4°	+2,7°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,1°	+3,8°
		50 ^e	+1,8°	+2,4°
		10 ^e	+0,7°	+1,6°

Tableau A-16 : Cap-aux-Meules - Évolution de la moyenne des températures d'été

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
15,1°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,2°	+5,1°
		50 ^e	+2,3°	+3,8°
		10 ^e	+1,5°	+3,2°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,3°	+4,7°
		50 ^e	+2,0°	+2,6°
		10 ^e	+1,0°	+1,9°

Tableau A-17 : Cap-aux-Meules - Évolution de la moyenne des températures d'automne

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
9,5°	SSP3-7.0	90 ^e	+2,9°	+4,7°
		50 ^e	+2,0°	+3,7°
		10 ^e	+1,6°	+3,0°
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,8°	+3,9°
		50 ^e	+1,8°	+2,4°
		10 ^e	+1,0°	+1,9°

Tableau A-18 : Cap-aux-Meules - Évolution de la moyenne des températures d'hiver

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔT) (°C) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
-3,5°	SSP3-7.0	90 ^e	+3,4°	+5,2°
		50 ^e	+2,5°	+4,2°
		10 ^e	+2,0°	+3,4°
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,4°	+4,4°
		50 ^e	+2,3°	+3,3
		10 ^e	+1,3°	+2,5°

Précipitations extrêmes : Évolution des précipitations totales annuelles

Rimouski

Tableau A-19 : Rimouski- Évolution des précipitations totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
1 024	SSP3-7.0	90 ^e	+119	+217
		50 ^e	+91	+156
		10 ^e	+66	+100
	SSP2-4.5	90 ^e	+145	+183
		50 ^e	+93	+98
		10 ^e	+61	+65

Tableau A-20 : Rimouski- Évolution des précipitations solides annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
294	SSP3-7.0	90 ^e	+29	+15
		50 ^e	-6	-56
		10 ^e	-58	-108
	SSP2-4.5	90 ^e	+35	+18
		50 ^e	+5	-32
		10 ^e	-69	-98

Gaspésie

Tableau A-21 : Gaspé- Évolution des précipitations totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
1 188	SSP3-7.0	90 ^e	+142	+227
		50 ^e	+119	+160
		10 ^e	+66	+101
	SSP2-4.5	90 ^e	+157	+176
		50 ^e	+108	+121
		10 ^e	+50	+69

Tableau A-22 : Gaspé- Évolution des précipitations solides annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
401	SSP3-7.0	90 ^e	+39	-10
		50 ^e	-37	-106
		10 ^e	-103	-147
	SSP2-4.5	90 ^e	+13	-7
		50 ^e	-37	-60
		10 ^e	-75	-135

Îles-de-la-Madeleine

Tableau A-23 : Cap-aux-Meules- Évolution des précipitations totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
1 193	SSP3-7.0	90 ^e	+130	+196
		50 ^e	+75	+128
		10 ^e	+54	+62
	SSP2-4.5	90 ^e	+136	+160
		50 ^e	+76	+87
		10 ^e	+39	+49

Tableau A-24 : Cap-aux-Meules- Évolution des précipitations solides annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
330	SSP3-7.0	90 ^e	-43	-133
		50 ^e	-100	-198
		10 ^e	-159	-224
	SSP2-4.5	90 ^e	-19	-64
		50 ^e	-105	-152
		10 ^e	-170	-206

Précipitations extrêmes : Évolution des précipitations extrêmes totales annuelles

Rimouski

Tableau A-25 : Rimouski - Évolution des précipitations extrêmes totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
72	SSP3-7.0	90 ^e	+16	+20
		50 ^e	+7	+15
		10 ^e	+4	+7
	SSP2-4.5	90 ^e	+15	+18
		50 ^e	+10	+10
		10 ^e	+4	+5

Gaspé

Tableau A-26 : Gaspé - Évolution des précipitations extrêmes totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
91	SSP3-7.0	90 ^e	+19	+28
		50 ^e	+11	+16
		10 ^e	+4	+7
	SSP2-4.5	90 ^e	+18	+26
		50 ^e	+10	+10
		10 ^e	+3	+5

Cap-aux-Meules

Tableau A-27 : Cap-aux-Meules - Évolution des précipitations extrêmes totales annuelles

Moyenne pour 1991-2020 (mm)	Changements (Δ) projetés (mm)			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
80	SSP3-7.0	90 ^e	+15	+21
		50 ^e	+7	+10
		10 ^e	+2	+3
	SSP2-4.5	90 ^e	+13	+18
		50 ^e	+6	+10
		10 ^e	-1	+2

Précipitations extrêmes : Courbes IDF historiques

Les paramètres durée-fréquence n'ont pas été indiqués par le MTMF, mais deux ensembles de durée-fréquence potentiellement utiles ont été sélectionnés afin d'illustrer les approches de prise en compte des changements climatiques, soit :

- Durée de 1 heure et fréquence d'une fois tous les 100 ans (ci-après nommé « 1 heure - 100 ans ») ;
- Durée de 24 heures et fréquence d'une fois tous les 5 ans (ci-après nommé « 24 heures - 5 ans »).

Les informations du tableau A-28 sont extraites des figures A1 et A2 qui illustrent respectivement sous forme graphique et numérique des courbes IDF historiques fournies sur le portail Donneesclimatiques.ca pour la station de Mont-Joli (Mont-Joli, QC, 7055122). Ces courbes sont basées sur 44 années de données (allant de 1968 à 2021) et indiquent l'intensité historique associée au paramètre sélectionné (mises en évidence en vert et en orange dans les figures). De plus, la conversion des intensités horaires moyennes (en mm/h) en intensités totales (en mm) s'est faite en multipliant simplement l'intensité horaire par la durée.

Tableau A-28 : Intensité totale des précipitations

Durée (heures)	Fréquence (années)	Intensité moyenne (mm h ⁻¹)	Intensité totale (mm)
1	100	28,9 ± 4,9	28,9 ± 4,9
24	5	2,3 ± 0,3	55,2 ± 7,2

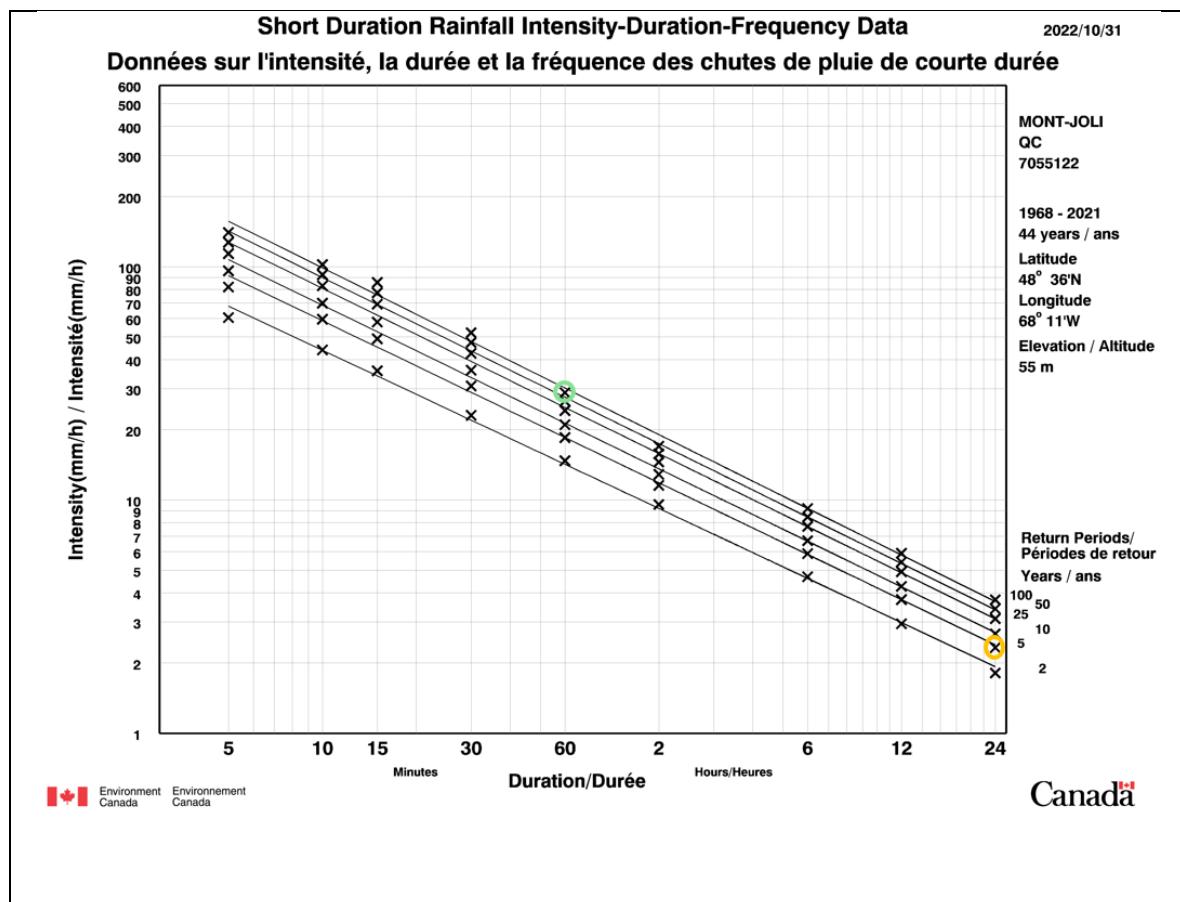


Figure A1 : Courbes IDF historiques pour la station de Mont-Joli (paramètres de travail mis en évidence)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Duration	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year
2	5 min	60.6	82.0	96.2	114.1	127.4	140.5
3	10 min	44.0	59.6	70.0	83.0	92.7	102.3
4	15 min	35.8	49.2	58.0	69.2	77.5	85.7
5	30 min	23.1	30.9	36.1	42.6	47.4	52.2
6	1 h	14.8	18.6	21.1	24.2	26.6	28.9
7	2 h	9.6	11.6	12.9	14.6	15.8	17.0
8	6 h	4.7	5.9	6.7	7.7	8.5	9.2
9	12 h	3.0	3.7	4.3	4.9	5.4	5.9
10	24 h	1.8	2.3	2.7	3.1	3.4	3.7
11	5 min_95%_confi	6.5	10.9	14.8	19.9	23.8	27.8
12	10 min_95%_confi	4.7	8.0	10.8	14.5	17.4	20.2
13	15 min_95%_confi	4.1	6.8	9.2	12.4	14.9	17.3
14	30 min_95%_confi	2.4	4.0	5.4	7.3	8.7	10.1
15	1 h_95%_confider	1.1	1.9	2.6	3.5	4.2	4.9
16	2 h_95%_confider	0.6	1.0	1.4	1.9	2.2	2.6
17	6 h_95%_confider	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6
18	12 h_95%_confide	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0
19	24 h_95%_confide	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

Figure A2 : Fichier numérique des courbes IDF historiques pour la station Mont-Joli (paramètres de travail mis en évidence)

Précipitations extrêmes : Évolution projetée pour l'intensité des pluies

Tableau A-29 : Évolution projetée pour l'intensité des pluies 1 heure - 100 ans d'ici 2041-2070

Source	Trajectoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	ΔT (°C)	Facteur de mise à l'échelle (1.07 $^{\Delta T}$)	I _{his} (1981-2010) (mm)			I _{fut} (2041-2070) (mm)		
					Limite basse	Valeur centrale	Limite haute	Limite basse	Valeur centrale	Limite haute
CSA PLUS 4013:19 (+7 % par degré)	SSP3-7.0	90 ^e	+3,4°	1,259	24	29	34	30	36	43
		50 ^e	+2,5°	1,184	24	29	34	28	34	40
		10 ^e	+1,7°	1,122	24	29	34	27	32	38
	SSP2-4.5	90 ^e	+3,3°	1,250	24	29	34	30	36	42
		50 ^e	+2,0°	1,145	24	29	34	27	33	39
		10 ^e	+1,3°	1,092	24	29	34	26	32	37
MELCC (+18 %)	Non applicable				24	29	34	28	34	40
MTMDET (+20 %)					24	29	34	29	35	41

Tableau A-30 : Évolution projetée pour l'intensité des pluies 1 heure - 100 ans d'ici 2071-2100

Source	Trajetoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	ΔT (°C)	Facteur de mise à l'échelle (1.07 $^{\Delta T}$)	I _{his} (1981-2010) (mm)			I _{fut} (2071-2100) (mm)		
					Limite basse	Valeur centrale	Limite haute	Limite basse	Valeur centrale	Limite haute
CSA PLUS 4013:19 (+7 % par degré)	SSP3-7.0	90 ^e	+5,6°	1,461	24	29	34	35	42	49
		50 ^e	+4,2°	1,329	24	29	34	32	38	45
		10 ^e	+3,6°	1,276	24	29	34	31	37	43
	SSP2-4.5	90 ^e	+4,8°	1,384	24	29	34	33	40	47
		50 ^e	+2,8°	1,209	24	29	34	29	35	41
		10 ^e	+2,3°	1,168	24	29	34	28	34	39
MELCC (+18 %)	Non applicable				24	29	34	28	34	40
MTMDET (+20 %)					24	29	34	29	35	41

Tableau A-31 : Évolution projetée pour l'intensité des pluies 24 heures - 5 ans d'ici 2041-2070

Source	Trajetoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	ΔT (°C)	Facteur de mise à l'échelle (1.07 $^{\Delta T}$)	I _{his} (1981-2010) (mm)			I _{fut} (2041-2070) (mm)		
					Limite basse	Valeur centrale	Limite haute	Limite basse	Valeur centrale	Limite haute
CSA PLUS 4013:19 (+7 % par degré)	RCP8.5	90 ^e	+3,4°	1,259	48	55	62	60	69	79
		50 ^e	+2,5°	1,184	48	55	62	57	65	74
		10 ^e	+1,7°	1,122	48	55	62	54	62	70
	RCP4.5	90 ^e	+3,3°	1,250	48	55	62	60	69	78
		50 ^e	+2,0°	1,145	48	55	62	55	63	71
		10 ^e	+1,3°	1,092	48	55	62	52	60	68
MELCC (+18 %)	Non applicable				48	55	62	57	65	74
MTMDET (+20 %)					48	55	62	58	66	75

Tableau A-32 : Évolution projetée pour l'intensité des pluies 24 heures - 5 ans d'ici 2071-2100

Source	Trajectoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	ΔT (°C)	Facteur de mise à l'échelle (1.07 ΔT)	I _{his} (1981-2010) (mm)			I _{fut} (2071-2100) (mm)		
					Limite basse	Valeur centrale	Limite haute	Limite basse	Valeur centrale	Limite haute
CSA PLUS 4013:19 (+7 % par degré)	RCP8.5	90 ^e	+5,6°	1,461	48	55	62	70	81	91
		50 ^e	+4,2°	1,329	48	55	62	64	73	83
		10 ^e	+3,6°	1,276	48	55	62	61	70	80
	RCP4.5	90 ^e	+4,8°	1,384	48	55	62	66	76	86
		50 ^e	+2,8°	1,209	48	55	62	58	67	75
		10 ^e	+2,3°	1,168	48	55	62	56	64	73
MELCC (+18 %)	Non applicable				48	55	62	57	65	74
MTMDET (+20 %)					48	55	62	58	66	75

Chaleur extrême : Nombre annuel de jours de vague de chaleur

Rimouski

Tableau A-33 : Rimouski - Nombre annuel de jours de vague de chaleur

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔJ) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
0,0	SSP3-7.0	90 ^e	+3,1	+15,8
		50 ^e	+0,7	+5,5
		10 ^e	+0,5	+1,3
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,6	+4,8
		50 ^e	+0,8	+1,2
		10 ^e	+0,2	+0,4

Gaspé

Tableau A-34 : Gaspé - Nombre annuel de jours de vague de chaleur

Moyenne (J) pour 1991-2020	Changements (ΔJ) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
0,0	SSP3-7.0	90 ^e	+0,8	+4,2
		50 ^e	+0,4	+1,6
		10 ^e	+0,0	+0,7
	SSP2-4.5	90 ^e	+0,6	+2,3
		50 ^e	+0,2	+0,6
		10 ^e	+0,0	+0,1

Chaleur extrême : Nombre de jours très chauds

Rimouski

Tableau A-35 : Rimouski - Nombre de jours très chauds

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements (ΔJ) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
0,2	SSP3-7.0	90 ^e	+4,0	+17,5
		50 ^e	+1,4	+6,6
		10 ^e	+0,7	+2,3
	SSP2-4.5	90 ^e	+4,0	+7,1
		50 ^e	+1,3	+2,4
		10 ^e	+0,3	+0,8

Gaspé

Tableau A-36 : Gaspé - Nombre de jours très chauds

Moyenne (J) pour 1991-2020	Changements (ΔJ) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
0,1	SSP3-7.0	90 ^e	+2,4	+9,3
		50 ^e	+1,2	+4,7
		10 ^e	+0,6	+1,6
	SSP2-4.5	90 ^e	+2,8	+4,9
		50 ^e	+1,1	+1,7
		10 ^e	+0,2	+0,5

Verglas : Épisodes de verglas ≥ 10 mm

Rimouski

Tableau A-37 : Rimouski : Épisodes de verglas ≥ 10 mm annuel selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne pour 1991-2020 (nombre d'épisodes)	Changement (Δ) projeté de 1981-2010 à		2041-2070	2071-2100
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	Δ (épisodes)	Δ (épisodes)
0,13	SSP3-7.0	90 ^e	-0,02	-0,04
		50 ^e	-0,09	-0,08
		10 ^e	-0,11	-0,11
	SSP2-4.5	90 ^e	+0,18	+0,19
		50 ^e	-0,06	-0,09
		10 ^e	-0,12	-0,12

Gaspé

Tableau A-38 : Gaspé ; Épisodes de verglas ≥ 10 mm annuel selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne pour 1991-2020 (nombre d'épisodes)	Changement (Δ) projeté de 1981-2010 à		2041-2070	2071-2100
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	Δ (épisodes)	Δ (épisodes)
0,46	SSP3-7.0	90 ^e	+0,01	-0,17
		50 ^e	-0,34	-0,43
		10 ^e	-0,41	-0,45
	SSP2-4.5	90 ^e	+0,26	+0,24
		50 ^e	-0,30	-0,36
		10 ^e	-0,41	-0,44

Cap-aux-Meules

Tableau A-39 : Cap-aux-Meules : Épisodes de verglas ≥ 10 mm annuel selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne pour 1991-2020 (nombre d'épisodes)	Changement (Δ) projeté de 1981-2010 à		2041-2070	2071-2100
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	Δ (épisodes)	Δ (épisodes)
0,37	SSP3-7.0	90 ^e	-0,11	-0,37
		50 ^e	-0,37	-0,37
		10 ^e	-0,37	-0,37
	SSP2-4.5	90 ^e	-0,37	+0,07
		50 ^e	-0,32	-0,37
		10 ^e	-0,37	-0,37

Foudre : Évolution projetée pour le taux d'éclairs

Rimouski

Tableau A-40 : Rimouski - Évolution projetée pour le taux d'éclairs

Trajectoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	Changement (ΔT) de 1991-2020 à 2041-2070 ($^{\circ}\text{C}$)	Facteur de mise à l'échelle		
			Limite basse ($1,07^{\Delta T}$)	Valeur centrale ($1,12^{\Delta T}$)	Limite haute ($1,17^{\Delta T}$)
SSP3-7.0	90 ^e	+3,4	1,26	1,47	1,71
	50 ^e	+2,4	1,18	1,31	1,46
	10 ^e	+1,7	1,12	1,21	1,31
SSP2-4.5	90 ^e	+3,3	1,25	1,45	1,68
	50 ^e	+2,0	1,14	1,25	1,37
	10 ^e	+1,3	1,09	1,16	1,23

Gaspé

Tableau A-41 : Gaspé - Évolution projetée pour le taux d'éclairs

Trajectoire de GES	Centile dans l'ensemble des simulations	Changement (ΔT) de 1989-2020 à 2071-2100 ($^{\circ}\text{C}$)	Facteur de mise à l'échelle		
			Limite basse ($1,07^{\Delta T}$)	Valeur centrale ($1,12^{\Delta T}$)	Limite haute ($1,17^{\Delta T}$)
SSP3-7.0	90 ^e	+5,6	1,46	1,89	2,41
	50 ^e	+4,3	1,34	1,63	1,96
	10 ^e	+3,6	1,28	1,50	1,76
SSP2-4.5	90 ^e	+4,1	1,37	1,70	2,09
	50 ^e	+2,9	1,22	1,39	1,58
	10 ^e	+2,4	1,18	1,31	1,46

Cycle de gel/dégel : Événements de gel-dégel hivernal

Rimouski

Tableau A-42 : Rimouski - Événements de gel-dégel hivernal selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements Δ (jours) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
14,8	SSP3-7.0	90 ^e	+11,5	+20,4
		50 ^e	+7,5	+14,2
		10 ^e	+3,5	+8,0
	SSP2-4.5	90 ^e	+11,8	+15,3
		50 ^e	+6,8	+9,1
		10 ^e	+2,2	+5,2

Gaspé

Tableau A-43 : Gaspé - Événements de gel-dégel hivernal selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements Δ (jours) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
15,2	SSP3-7.0	90 ^e	+12,7	+24,7
		50 ^e	+8,4	+16,8
		10 ^e	+5,0	+10,5
	SSP2-4.5	90 ^e	+12,5	+15,3
		50 ^e	+7,4	+9,2
		10 ^e	+2,1	+6,2

Cap-aux-Meules

Tableau A-44 : Cap-aux-Meules - Événements de gel-dégel hivernal selon le portail *Portraits climatiques* d'Ouranos

Moyenne (T) pour 1991-2020 (°C)	Changements Δ (jours) projetés			
	Trajectoire de GES	Centile parmi les 14 simulations	2041-2070	2071-2100
28,9	SSP3-7.0	90 ^e	+5,2	+5,7
		50 ^e	+3,4	+2,5
		10 ^e	+0,8	-0,1
	SSP2-4.5	90 ^e	+5,1	+5,2
		50 ^e	+2,4	+3,3
		10 ^e	+0,7	+0,5



englobecorp.com