



Projections climatiques pour la région de la capitale nationale

Volume 1: Résultats et interprétation des principaux
indices climatiques

Juin 2020

The logo for the City of Ottawa, featuring a stylized white wave or leaf shape to the left of the word "Ottawa" in a white, lowercase, sans-serif font.



**NCC
CCN**

Question ou révision	Révisé par :	Date :	Produit par :
Final	V. Leys	2020/04/21	L. Braschi L. Wilcott
Ébauche 3	V. Leys	2020/03/25	L. Braschi L. Wilcott
Ébauche 2	V. Leys	2020/01/24	L. Braschi L. Wilcott
Ébauche 1	V. Leys N. Corrin	2019/09/27	L. Braschi L. Wilcott
 <p>Le présent document a été préparé pour la partie indiquée aux présentes. Les documents et les renseignements contenus dans le document reflètent l'opinion et le jugement de CBCL Limited en fonction des renseignements disponibles au moment de la préparation. Toute utilisation du présent document ou utilisation de son contenu par des tiers relève de la responsabilité du tiers. CBCL Limited n'accepte aucune responsabilité pour les dommages subis par suite de l'utilisation de ce document par un tiers.</p>			

Table des matières

Volume 1

SOMMAIRE 1

CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	9
1.1	Objet 10
1.2	Méthodologie du projet..... 11
1.3	Scénarios climatiques futurs 12
1.4	Qu'est-ce qu'un modèle climatique?..... 14
1.5	Horizons temporels..... 15
1.6	Sélection des indices climatiques 15
1.7	Interprétation des projections du modèle..... 17
1.8	Liste des indices climatiques..... 17
CHAPITRE 2 RÉSULTATS.....	21
2.1	Observations historiques..... 22
2.1.1	Sources de renseignements 22
2.1.2	La température moyenne a augmenté..... 23
2.1.3	Les précipitations totales ont augmenté..... 24
2.1.4	Modèles et observations 26
2.2	Principales constatations..... 27
2.3	Projections de températures..... 31
2.3.1	Augmentation de la température moyenne (toutes les saisons) 31
2.3.2	Moins de froids extrêmes..... 34
2.3.3	Plus de chaleurs extrêmes..... 35
2.3.4	Modification des caractéristiques saisonnières..... 38
2.3.5	Variation des cycles de gel et de dégel 39
2.4	Projections des précipitations 41
2.4.1	Augmentation des précipitations totales (sauf en été)..... 41
2.4.2	Aucune modification de la fréquence des jours de pluie..... 44
2.4.3	Précipitations plus intenses 44
2.4.4	Diminution des chutes de neige totales 50
2.4.5	Une saison d'enneigement plus courte 53
2.4.6	Variabilité élevée dans la neige extrême 56
2.5	Projections pour le vent..... 57
2.5.1	Aucune tendance décelable des moyennes..... 58
2.5.2	Réduction du refroidissement éolien..... 59
2.6	Projections d'humidité 59
2.6.1	Aucune tendance décelable des moyennes..... 60
2.6.2	Augmentation de l'indice humidex 60
2.7	Variation spatiale dans la zone du projet 61
2.7.1	Variation spatiale des indices climatiques de référence..... 62
2.7.2	Variation spatiale des indices climatiques projetés..... 64
2.8	Événements extrêmes et autres phénomènes climatiques 66
2.8.1	Pluie verglaçante et tempêtes de verglas 66

2.8.2	Neige extrême et blizzards	67
2.8.3	Vents et rafales extrêmes	68
2.8.4	Tornades	69
2.8.5	Ouragans	70
2.8.6	Foudre.....	71
2.8.7	Évapotranspiration, sécheresse et feux de forêt.....	72
2.8.8	Qualité de l'air.....	74
2.8.9	Pluies acides	74
2.8.10	Rayonnement solaire de courtes longueurs d'ondes	75
2.9	Comparaison avec d'autres études	76
CHAPITRE 3 RÉPERCUSSIONS SUR LA RÉGION DE LA CAPITALE NATIONALE.....		78
3.1	Répercussions climatiques régionales sur les secteurs clés.....	78
3.1.1	Santé et sécurité	78
3.1.2	Services d'eau	79
3.1.3	Bâtiments, immobilier et planification.....	80
3.1.4	Transports.....	80
3.1.5	Ressources naturelles, tourisme et loisirs.....	80
3.2	Inondations riveraines.....	81
3.3	Gestion de l'incertitude dans les évaluations d'impact et l'adaptation.....	83
3.3.1	Sources d'incertitude	84
3.3.2	Atténuation de l'incertitude grâce à l'évaluation des risques	84
3.3.3	Pratiques exemplaires pour les nouvelles infrastructures.....	86
3.3.4	Répercussions sur l'adaptation	87
3.4	Réagir aux changements scientifiques.....	87
CHAPITRE 4 CONCLUSION		89
Liste des annexes du volume 1		
ANNEXE A – Contexte de la modélisation climatique.....		93
ANNEXE B – Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques.....		99
ANNEXE C – Méthodologie.....		105
ANNEXE D – Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes.....		115
ANNEXE E – Références		129
Volume 2		
Liste des annexes du volume 2		
APPENDIX F – Graphiques sur les indices climatiques		
APPENDIX G – Tableaux sur les indices climatiques.....		
LISTE DES FIGURES		
Figure 1.1:	Zone d'étude.....	9
Figure 1.2:	Phases de l'adaptation aux changements climatiques	10
Figure 1.3:	Méthodologie du projet.....	11
Figure 1.4:	Évolution des émissions annuelles mondiales de CO ₂ (Historique et avec le RCP, GIEC 2013)	13

Figure 1.5:	Variation de la température moyenne mondiale par rapport à la période de référence de 1986-2005 pour le RCP 2.6, le RCP 4.5 et le RCP 8.5 (Centre canadien des services climatiques).....	13
Figure 2.1:	Tendances observées de la moyenne annuelle de la température moyenne quotidienne dans la RCN (stations climatiques d'ECCC).....	23
Figure 2.2:	Tendances observées de la moyenne de la température hivernale quotidienne dans la RCN (stations climatiques d'ECCC).....	24
Figure 2.3:	Tendances observées des précipitations annuelles totales (stations climatiques d'ECCC).....	25
Figure 2.4:	Précipitations maximales annuelles sur une journée selon la station climatique à la Ferme expérimentale (Ville d'Ottawa, 2011).....	25
Figure 2.5:	Tendances observées dans l'équivalent en eau de la neige, ensemble de données CANGRID pour 1981-2015 (Mudryk <i>et coll.</i> 2018).....	26
Figure 2.6:	Température annuelle moyenne.....	32
Figure 2.7:	Température moyenne mensuelle (seule la médiane est indiquée).....	33
Figure 2.8:	Température mensuelle la plus froide — Janvier.....	34
Figure 2.9:	Nombre d'événements de gel profond (Temp. min. quotidienne < -10 °C).....	35
Figure 2.10:	Température la plus chaude de l'année.....	36
Figure 2.11:	Nombre de jours chauds (température maximale quotidienne > 30 °C).....	37
Figure 2.12:	Fréquence des vagues de chaleur (température maximale sur 2 jours > 31 °C et température minimale > 20 °C).....	37
Figure 2.13:	Moment du premier gel d'automne.....	38
Figure 2.14:	Moment du dernier gel printanier.....	39
Figure 2.15:	Cycles saisonniers de gel et de dégel — hiver.....	40
Figure 2.16:	Cycles saisonniers de gel et de dégel — automne.....	40
Figure 2.17:	Précipitations annuelles totales.....	42
Figure 2.18:	Précipitations mensuelles totales (seule la médiane est indiquée).....	43
Figure 2.19:	Nombre de jours de précipitations de plus de 20 mm.....	45
Figure 2.20:	Précipitations annuelles maximales sur une journée.....	46
Figure 2.21:	Nombre mensuel de jours de précipitations de plus de 10 mm (seule la médiane est indiquée).....	47
Figure 2.22:	Précipitations mensuelles maximales sur une journée (seule la médiane est affichée).....	48
Figure 2.23:	Chutes de neige annuelles totales.....	51
Figure 2.24:	Total des chutes de neige par mois (présentation de la médiane seulement).....	52
Figure 2.25:	Moment de la première chute de neige.....	53
Figure 2.26:	Moment de la dernière chute de neige.....	54
Figure 2.27:	Nombre de jours avec chute de neige.....	55
Figure 2.28:	Nombre de jours avec couverture de neige.....	55
Figure 2.29:	Chute de neige maximale annuelle sur une journée.....	56
Figure 2.30:	Épaisseur maximale annuelle de neige.....	57
Figure 2.31:	Vitesse moyenne mensuelle du vent — Décembre.....	58
Figure 2.32:	Nombre de jours où le refroidissement éolien se situe entre -25 °C et -35 °C.....	59
Figure 2.33:	Humidité relative moyenne mensuelle au moment de la température quotidienne maximale — Septembre.....	60

Figure 2.34:	Nombre de jours où l'humidex dépasse 40 °C pendant 2 jours.....	61
Figure 2.35:	Exemples de cartes des indices de température (données de référence de 1981 à 2010).....	63
Figure 2.36:	Exemples de cartes des indices de précipitations (données de référence de 1981 à 2010).....	64
Figure 2.37:	Cartes des différences pour le nombre de nuits tropicales.....	65
Figure 2.38:	Portée de la tempête de verglas de 1998 (Rice, 2015).....	67
Figure 2.39:	Vue de la tornade depuis la route 17 près du quartier est-Ottawa de Cumberland le 2 juin 2019 (CBC News).....	69
Figure 2.40:	Carte des tornades de 1972 à 2009 et des zones sujettes à la formation de tornades (Sills et coll. 2012).....	70
Figure 2.41:	Historique des trajectoires des ouragans (National Hurricane Center 2017).....	70
Figure 2.42:	La foudre pendant la tempête du 21 juillet 2010. Photo prise du 200, rue Rideau (Ottawa Citizen).....	71
Figure 2.43:	Changements projetés dans l'occurrence d'incendies causés par la foudre et l'allumage par l'humain, selon deux MCG (Wotton et coll. 2010).....	73
Figure 3.1:	Bassin versant de la rivière des Outaouais.....	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1:	Scénarios d'émissions du GIEC.....	12
Tableau 1.2:	Utilisation de MCG et de MRC pour différents paramètres et indices.....	14
Tableau 1.3:	Liste des indices pour les température.....	18
Tableau 1.4:	Liste des indices pour les précipitations, l'humidité et le vent.....	19
Tableau 1.5:	Liste des indices pour les autres paramètres.....	20
Tableau 2.1:	Projections pour les précipitations extrêmes fondées sur de multiples méthodes (2070-2100). La valeur fournie est la médiane, les 10e et 90e centiles étant fournis entre parenthèses. Notez que la valeur de référence d'ECCC est de 116,5 mm....	50

Sommaire

Le climat du Canada continuera de se réchauffer en raison des émissions de gaz à effet de serre provenant de l'activité humaine. Le réchauffement passé et futur au Canada est, en moyenne, environ le double de l'ampleur du réchauffement mondial (Rapport sur le climat changeant du Canada, RNCan 2019). Cela pose des risques pour tous les secteurs de l'économie et pour la qualité de vie des Canadiens. Des mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques sont nécessaires pour limiter les répercussions sur la population, l'économie et les écosystèmes naturels.

La Commission de la capitale nationale (CCN) et la Ville d'Ottawa (ci-après appelées les partenaires du projet) ont demandé à la société CBCL Limited d'entreprendre une étude exhaustive des projections des changements climatiques pour la région de la capitale nationale (RCN). Le projet a utilisé une approche axée sur la collaboration et a fait appel à la rétroaction itérative des partenaires du projet et des intervenants comme la Ville de Gatineau et les offices de protection de la nature. Il s'est appuyé sur les données et les conseils du Centre canadien des services climatiques (CCSC) d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Cette étude complète le travail effectué par la Ville de Gatineau en partenariat avec Ouranos.

Objectifs

Les projections climatiques utilisent la science et la modélisation du climat pour estimer les changements futurs de la température, des précipitations, des vents et des événements extrêmes. Les projections climatiques sont utilisées dans les évaluations des risques climatiques et appuient la planification de l'adaptation et de la résilience pour de multiples secteurs. L'approche régionale d'élaboration de projections climatiques favorise l'uniformité entre les multiples administrations. Les projections climatiques de cette étude (phase 1) aideront les décideurs à comprendre les répercussions sur les collectivités, l'infrastructure, l'économie et l'environnement naturel (phase 2) et à planifier les initiatives de résilience et d'adaptation aux changements climatiques (phase 3). Cette étude s'appuie sur des études antérieures (Services publics et Approvisionnement Canada, la Ville de Gatineau et Hydro Ottawa) et est plus complète en ce qui concerne la couverture des données et la portée géographique, avec l'intention d'atteindre le plus grand nombre possible d'utilisateurs et d'applications.



Les données climatiques contenues dans ce rapport ont été rendues publiques afin d'appuyer une compréhension commune de la façon dont le climat dans la région change et continuera de changer. Les intervenants de la RCN sont encouragés à utiliser les résultats de cette étude sur les

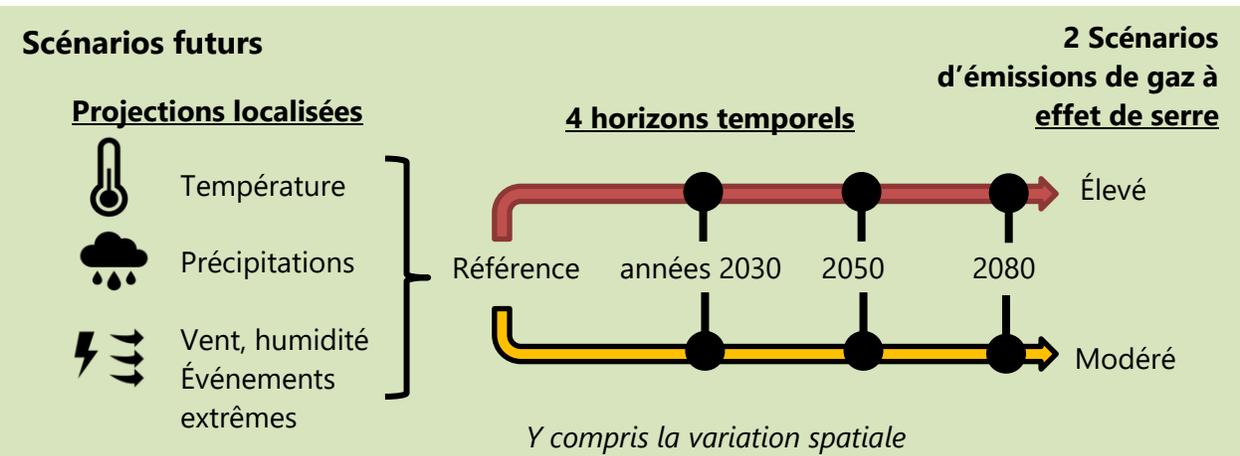
projections climatiques dans les évaluations des risques climatiques, la planification et les projets d'adaptation.

Scénarios futurs et horizons temporels

L'évaluation des répercussions, la gestion des risques climatiques et l'élaboration de politiques aujourd'hui doivent être éclairées par une gamme de scénarios d'émissions, ou « profils représentatifs d'évolution de concentration » (ou RCP, de l'anglais « Representative Concentration Pathways ») utilisées pour orienter les modèles climatiques. Les scénarios du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Cinquième rapport d'évaluation du GIEC 2013) comprennent des scénarios d'émissions faibles, modérées et élevées. Si les objectifs mondiaux d'atténuation des gaz à effet de serre de l'Accord de Paris de 2015 sont atteints, les émissions réelles devraient se situer entre les scénarios faibles et modérés. Le rythme et l'ampleur des changements climatiques dépendront des émissions mondiales futures de gaz à effet de serre; les émissions mondiales sont actuellement supérieures au scénario d'émissions modérées.

Étant donné que le scénario de faibles émissions est jugé improbable, cette étude fournit une gamme de résultats pour les scénarios d'émissions modérées à élevées (RCP 4.5 et RCP 8.5) pour trois horizons de projection, ou tranches de temps, comparativement à la période de référence de 1981 à 2010 :

- années 2030 (2021-2050).
- années 2050 (2041-2070).
- années 2080 (2071-2100).



Projections climatiques

Les résultats des modèles climatiques comprennent des paramètres comme la température, les précipitations, l'humidité, la neige et le vent. Les indices, c'est-à-dire les calculs fondés sur des paramètres, ont été spécifiquement désignés pour fournir des projections pouvant être utilisées par les décideurs.

Dans l'ensemble, on prévoit que **la RCN sera plus chaude et plus humide**. Le réchauffement est prévu pour toutes les saisons. On prévoit une augmentation des précipitations en toutes

saisons, sauf en été. On s'attend à **ce que le moment des saisons change** et à ce que les périodes de chaleur extrême deviennent plus courantes. Les précipitations devraient augmenter, tant en volume qu'en intensité. On prévoit **moins de chutes de neige et une saison d'enneigement plus courte**. Les conditions favorables aux événements extrêmes comme la pluie verglaçante, les tornades et les feux de forêt devraient devenir plus courantes.

Les températures devraient être plus chaudes selon le scénario à émissions élevées. Autrement dit, il y a une plus grande différence entre les scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) pour les indices fondés sur la température. Les résultats sont plus variables pour les indices de précipitations, et certains montrent une différence négligeable entre les scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) ou entre les horizons temporels subséquents.

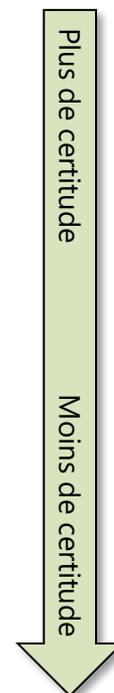
La température et les précipitations sont deux paramètres des plus typiques du modèle climatique; par conséquent, un plus grand ensemble de modèles climatiques est disponible pour ces paramètres, ce qui permet une meilleure caractérisation. Dans chacune des constatations clés suivantes (et dans le reste du rapport), les deux valeurs citées (p. ex., 5- 8 °C dans les années 2030) sont **pour des scénarios à émissions modérées (RCP 4,5) et élevées (RCP 8,5) respectivement**. Ces valeurs représentent une « année moyenne » pour la période, car elles sont établies en moyenne sur des tranches de 30 ans.

Dans le présent rapport, les deux valeurs déclarées pour chaque indice (p. ex., de 5- 8 °C) ne sont pas des fourchettes; elles représentent les valeurs moyennes pour les scénarios à émissions modérées (RCP 4,5) et élevées (RCP 8,5). Lorsqu'une diminution est prévue, par exemple pour la quantité de neige, la deuxième valeur sera inférieure à la première valeur.

Un résumé simplifié des projections pour le scénario à émissions élevées RCP 8.5 est fourni dans le tableau suivant, appuyé par un résumé plus détaillé dans les prochaines sous-sections.

Résumé du climat futur dans la région de la capitale du Canada

À quoi s'attendre*	Années 2030	Années 2050	Années 2080
Température			
Température moyenne	↑ 1,8 °C	↑ 3,2 °C	↑ 5,3 °C
Jours très chauds (au-dessus de 30 °C)	2,5 fois plus	4 fois plus	6,5 fois plus
Jours très froids (moins de -10 °C)	20 % moins	35 % moins	65 % moins
Saisons			
Les hivers sont plus courts de	4 semaines	5 semaines	8 semaines
Les printemps sont plus tôt de	2 semaines	2 semaines	4 semaines
Gel-dégel hivernal	↑ 15 %	↑ 35 %	↑ 55 %
Précipitations			
Précipitations automne-hiver-printemps	↑ 5 %	↑ 8 %	↑ 12 %
Précipitations intenses	↑ 5 %	↑ 15 %	↑ 20 %
Chute de neige	↓ 10 %	↓ 20 %	↓ 45 %
Événements extrêmes			
Augmentation possible de la pluie verglaçante			
Le réchauffement favorise les conditions propices aux tempêtes et aux feux de forêt			



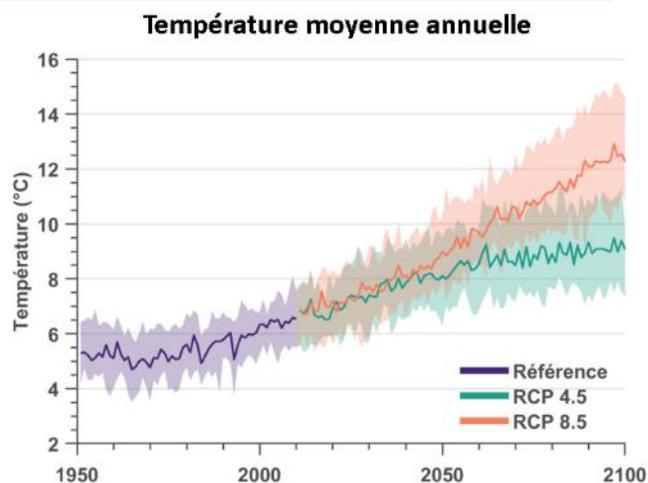
* Pour le scénario à émissions élevées RCP 8.5

Plus de certitude

Moins de certitude

Projections de température :

- **Augmentation de la température moyenne (toutes les saisons)** – La température annuelle moyenne, qui s'élève à environ 6,1 °C pour la période de référence, devrait passer à environ 7,5-7,9 °C dans les années 2030, à 8,2-9,3 °C dans les années 2050 et à 8,8-11,4 °C dans les années 2080. Aucune saison ne devrait se réchauffer beaucoup plus vite que les autres.
- **Moins de froids extrêmes** – On s'attend à ce que les froids extrêmes diminuent en intensité et en fréquence. Par exemple, le nombre de jours par année où la température minimale quotidienne est inférieure à -10 °C



(« **phénomènes de gel profond** ») devrait diminuer, passant d'environ 71 jours pour la période de référence à environ 59-57 jours dans les années 2030, 53-46 jours dans les années 2050 et 48-28 jours dans les années 2080. Bien que ces projections soient pour un indice extrême, elles représentent une « année moyenne » puisqu'elles sont des moyennes sur des tranches de temps de 30 ans.

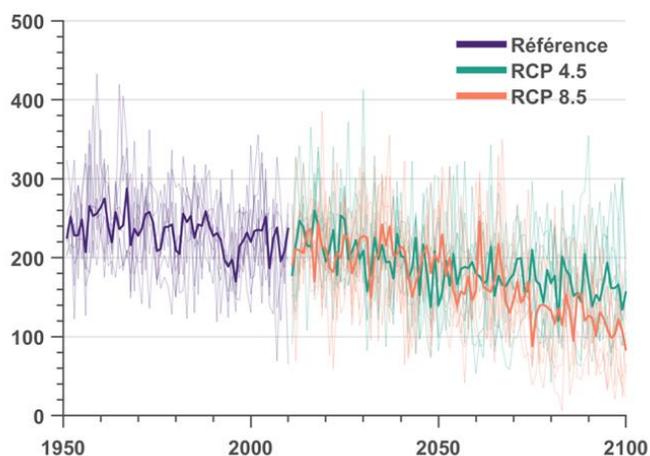
- **Plus de chaleurs extrêmes** – Il y aura une augmentation de la fréquence et de l'intensité des chaleurs extrêmes. Pour la période de référence, la RCN a connu environ 11 jours qui ont atteint 30 °C (« **jours chauds** ») par année. Les modèles prévoient une augmentation allant jusqu'à environ 25-28 jours dans les années 2030, 32-43 jours dans les années 2050 et 36-72 jours dans les années 2080. Cela équivaut à deux fois plus de journées chaudes dans les années 2030, trois à quatre fois plus dans les années 2050 et trois à six fois plus dans les années 2080.
- **Variation des caractéristiques saisonnières** – Le **premier jour de gel automnal** devrait se produire environ une à deux semaines plus tard dans les années 2030, de deux à trois semaines plus tard dans les années 2050 et de trois à quatre semaines plus tard dans les années 2080 par rapport à la période de référence. Le **dernier jour de gel printanier** devrait se produire environ une à deux semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et deux à quatre semaines plus tôt dans les années 2080.
- **L'évolution des cycles de gel et de dégel** – Les modèles prévoient que les températures hivernales se maintiendront autour de 0 °C plus fréquemment à l'avenir. Par conséquent, les **cycles de gel et de dégel hivernaux** (de décembre à février) devraient augmenter, tandis que les cycles de gel et de dégel qui se produisent au printemps (de mars à mai) et à l'automne (de septembre à novembre) devraient diminuer à mesure que les températures se réchauffent.

Projections des précipitations :

- **Augmentation des précipitations totales (sauf l'été)** – Les **précipitations annuelles totales** dans la RCN (y compris la pluie et la neige), qui sont d'environ 921 mm/année pour la période de référence, devraient passer à environ 949-968 mm dans les années 2030, 979-993 mm dans les années 2050 et 983-1028 mm dans les années 2080. Les augmentations seront concentrées durant l'hiver et les saisons intermédiaires, et aucune augmentation n'est prévue pour juin-septembre.
- **Aucun changement de la fréquence des jours de pluie** — Bien que les précipitations annuelles totales augmentent, on prévoit que les précipitations seront concentrées dans le **même nombre de jours de pluie** (où les précipitations sont supérieures à 1 mm) que celui qui a été observé pour la période de référence.
- **Précipitations plus intenses** – Les **précipitations maximales annuelles** qui tombent en une journée devraient augmenter, passant d'environ 37 mm pour la période de référence à 39-39 mm dans les années 2030, 41-42 mm dans les années 2050 et 41-44 mm dans les années 2080. L'augmentation des précipitations correspond à une plus grande quantité de précipitations totales tombant le même nombre de jours de pluie (voir ci-dessus). Les précipitations extrêmes (par exemple, un événement à récurrence de 100 ans) devraient augmenter pour de multiples durées (précipitations horaires, quotidiennes et sur plusieurs jours). Ces projections représentent une « année moyenne » (puisqu'elles sont établies sur des tranches de temps de 30 ans), pour une zone de 10 km x 10 km.

- **Diminution de la chute de neige totale – Les chutes de neige totales annuelles** devraient diminuer, passant d'environ 223 cm au cours de la période de référence à 193-201 cm au cours des années 2030, 184-179 cm au cours des années 2050 et 154-124 cm au cours des années 2080. Cela représente une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. En raison de la variabilité d'une année à l'autre, des valeurs semblables à la période de référence sont encore possibles après le milieu du siècle.

Projections du total annuel des chutes de neige (cm)



- **Saison d'enneigement plus courte** – La première chute de neige devrait avoir lieu plus tard dans l'année, et la dernière chute de neige devrait avoir lieu plus tôt. Par conséquent (et en raison de l'augmentation des températures), le **nombre de jours avec couverture de neige** devrait diminuer, passant d'environ 115 jours pour la période de référence à environ 95-94 jours dans les années 2030, 90-72 jours dans les années 2050 et 78-43 jours dans les années 2080.
- **Variabilité élevée de la neige extrême** – Les projections suggèrent une diminution de l'épaisseur maximale de la neige et des résultats mitigés pour une chute de neige maximale sur une journée. Les projections moyennes suggèrent que les **chutes de neige maximales annuelles sur une journée** (moyenne dans toute la zone d'étude) passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080. Il y a une diminution d'ici les années 2080 pour le scénario à émissions élevées (RCP 8.5), mais pas pour le scénario à émissions modérées (RCP 4.5). Ces projections représentent les chutes de neige totales sur la zone à l'étude au cours d'une « année moyenne » (étant donné qu'elles sont des moyennes sur des périodes de 30 ans). En raison de la variabilité d'une année à l'autre, des valeurs semblables ou supérieures à la période de référence sont encore possibles au-delà du milieu du siècle.

Humidité, vent, phénomènes extrêmes et autres phénomènes

Aucune tendance pour les vents et l'humidité moyens n'a été décelée; toutefois, on s'attend à ce que le refroidissement éolien élevé diminue, alors que le nombre de jours avec un humidex élevé devrait augmenter. Bien que l'incertitude demeure élevée, les conditions favorables aux conditions météorologiques extrêmes (comme la pluie verglaçante, les tornades, la foudre, les ouragans et les feux de forêt) devraient augmenter.

Répercussions climatiques importantes sur les secteurs clés

Cette étude n'a pas examiné les risques et les vulnérabilités spécifiques, car cela sera réalisé à la phase 2; toutefois, les répercussions potentielles sont généralement connues et peuvent être résumées comme suit.

Santé et sécurité – Un climat plus chaud et plus humide, propice aux événements extrêmes, aura de vastes répercussions sur la santé et la sécurité publiques. Par exemple, les inondations, les vagues de chaleur, les feux de forêt et les pannes de courant prolongées peuvent avoir de grandes répercussions sur les personnes directement touchées et exercer une pression supplémentaire sur les services d'urgence. Les feux de forêt augmentent la concentration de particules en suspension dans l'air, ce qui a une incidence sur la qualité de l'air. Les conditions favorables à la transmission de maladies à transmission vectorielle, comme la maladie de Lyme et le virus du Nil occidental, seront plus courantes.

Services d'eau – Des précipitations plus intenses, y compris la pluie hivernale, augmenteront les risques d'inondation, d'érosion, de débordements des égouts unitaires et de production de lixiviat dans les sites d'enfouissement. Les vents violents peuvent augmenter les pannes d'électricité dans les services d'eau, ce qui nécessite des systèmes d'alimentation de secours. Les faibles débits estivaux peuvent accroître le risque d'odeurs dans le réseau de collecte des eaux usées.

Bâtiments, biens immobiliers et planification – On s'attend à ce que la demande d'énergie change selon les saisons, les besoins en chauffage diminuant pendant les mois d'hiver et la demande de climatisation augmentant pendant les mois d'été. Les systèmes de drainage des toits et des fondations des bâtiments seront touchés par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes. Pour les nouvelles constructions, les changements climatiques influenceront sur les éditions futures du Code national du bâtiment du Canada. La planification municipale doit tenir compte des répercussions climatiques, y compris les risques d'inondation futurs.

Transports – Les changements climatiques auront une incidence sur l'infrastructure de transport (comme l'espérance de vie des routes et les inondations) et les opérations (comme les pannes d'électricité et les retards de déplacement). Un climat changeant pourrait aussi offrir des possibilités au secteur des transports, comme des saisons de construction plus longues ou une réduction du déneigement hivernal.

Ressources naturelles, tourisme et loisirs – Des hivers plus courts avec moins de neige, moins de glace et de pluie sur la neige auront des répercussions négatives sur les activités populaires comme le ski de fond dans le parc de la Gatineau ou le patinage sur le canal Rideau. Les étés plus secs et plus chauds peuvent avoir des répercussions sur les espèces végétales et animales, favorisant potentiellement les espèces envahissantes et l'agriculture, bien que des précipitations variables puissent poser des défis supplémentaires. Les saisons changeantes auront une incidence sur le moment privilégié pour le festival des tulipes.

Inondations riveraines – Les inondations riveraines peuvent se produire sur toutes les rivières de la RCN, surtout le long de la rivière Gatineau, de la rivière Rideau et de la rivière des Outaouais. La RCN a connu d'importantes inondations le long de ces rivières, y compris au cours des printemps 2017 et 2019. De nombreux facteurs contribuent aux risques d'inondation, dont la plupart ne sont pas visés par la présente étude. Les crues printanières, par exemple, sont

touchées par les précipitations et la fonte des neiges dans tout le bassin versant de la rivière des Outaouais, qui s'étend bien au-delà de la zone d'étude actuelle.

Gérer l'incertitude

Les sources d'incertitude dans les projections comprennent la **variabilité naturelle**, l'**incertitude du scénario** et l'**incertitude du modèle**. L'importance respective des sources d'incertitude change en fonction de la durée de vie utile restante prévue de la politique, du programme ou du bien en question. L'incertitude liée à la variabilité naturelle est relativement plus importante à court terme, alors que les prévisions associées à chaque scénario d'émissions divergent à long terme. Les stratégies de gestion de l'incertitude comprennent :

- Projections climatiques (le présent rapport) — Utilisation d'un **ensemble de modèles climatiques** et **d'une gamme de scénarios**.
- Intégration des répercussions de l'incertitude dans les **évaluations des risques climatiques** (c.-à-d. la phase 2)
- En ce qui concerne la planification et l'adaptation (c.-à-d. la phase 3), lorsque cela est possible, l'utilisation d'une **approche de faibles regrets** qui tient compte de l'ensemble des projections climatiques peut rendre un projet plus résilient aux futurs phénomènes climatiques extrêmes, comme suit :
 - ✓ Planification et conception des **conditions climatiques les plus probables** pendant la durée de vie prévue.
 - ✓ **Inclure de la souplesse** ou des facteurs de sécurité supplémentaires pour d'autres plans d'action si les conditions climatiques s'écartent des hypothèses de planification ou de conception.
 - ✓ **Surveiller les conditions climatiques** et le rendement du projet au fil du temps.
 - ✓ Choisir des adaptations qui procurent un **avantage financier ou social clair**, peu importe la façon dont les changements climatiques se produiront à l'avenir.
 - ✓ Mettre en œuvre des **modifications** à la conception et à la construction en réponse aux changements observés.

Application des projections climatiques

Les données climatiques présentées dans ce rapport peuvent soutenir une grande variété d'évaluations des risques et de planification de l'adaptation qui renforcent la résilience des personnes, des biens et des services aux conditions climatiques futures.

À l'avenir, lorsque de nouveaux modèles seront publiés, il sera utile de surveiller les nouvelles projections et de les comparer aux résultats présentés dans le rapport au cas par cas. Il ne faut pas présumer automatiquement que les évaluations des risques et des répercussions sont désuètes lorsque des données deviennent disponibles, car de nouvelles données pourraient ne pas changer le résultat de l'évaluation.

Chapitre 1 Introduction

Le climat du Canada continuera de se réchauffer en raison des émissions de gaz à effet de serre provenant de l'activité humaine. Le réchauffement passé et futur au Canada est, en moyenne, environ deux fois plus grand en ampleur que le réchauffement mondial (RNCAN, 2019). Cela pose des risques pour tous les secteurs de l'économie et pour la qualité de vie des Canadiens. Des mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques sont essentielles pour limiter les répercussions sur la population et les écosystèmes.

La Commission de la capitale nationale (CCN) et la Ville d'Ottawa (ci-après appelées les partenaires du projet) s'engagent à renforcer la résilience et à s'adapter aux changements climatiques. Les services, les programmes, l'infrastructure et les biens qui relèvent de la CCN et de la Ville d'Ottawa soutiennent la région de la capitale nationale, qui compte environ 1,3 million de Canadiens.

Le partenariat a été formé en 2019 pour réaliser une étude exhaustive de projection des changements climatiques pour la région de la capitale nationale (RCN). La zone d'étude du projet comprend la RCN, telle qu'elle est définie dans la *Loi sur la capitale nationale*, ainsi que l'étendue complète de la Ville d'Ottawa et de la Ville de Gatineau. Cette étude complète le travail effectué par la Ville de Gatineau (en partenariat avec Ouranos).

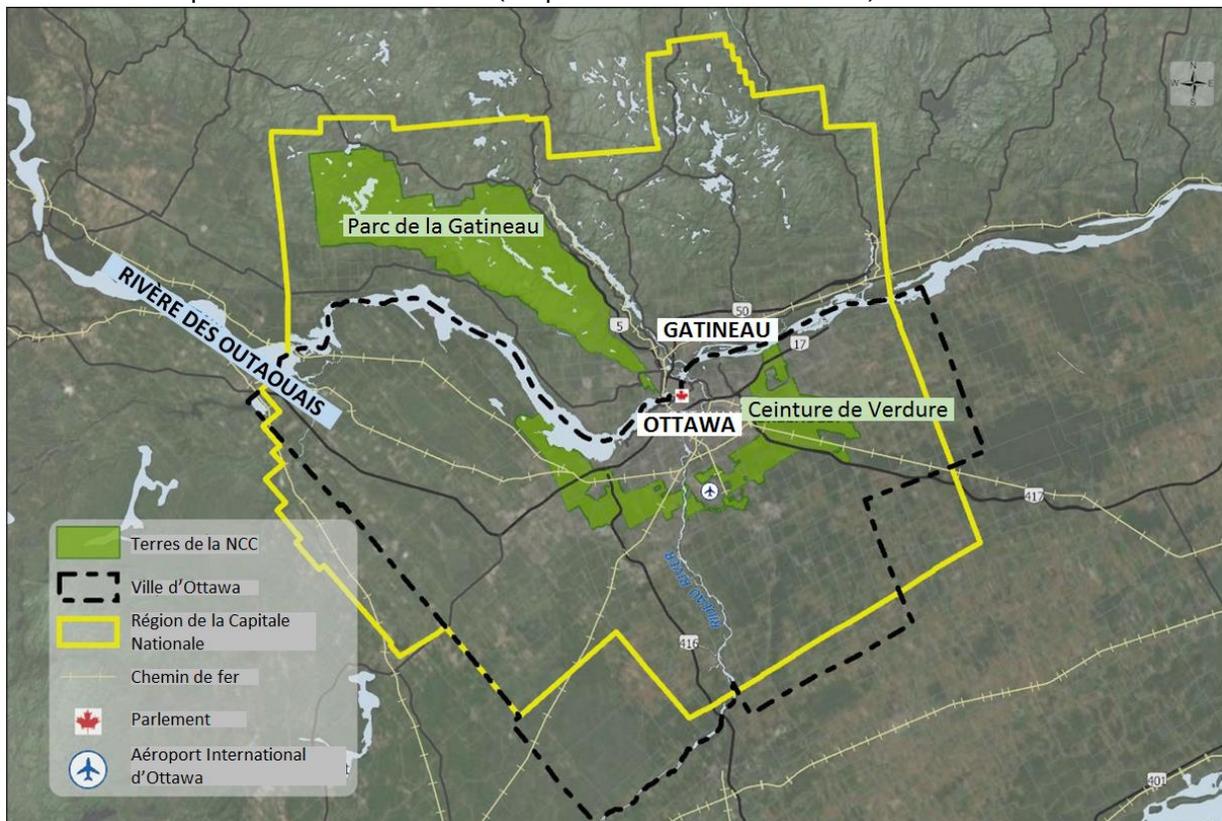


Figure 1.1: Zone d'étude

1.1 Objet

Ce projet fournit les données nécessaires pour comprendre comment le climat changera au cours du XXI^e siècle et évaluer les risques globaux pour la population, l'infrastructure, l'économie et l'environnement naturel.

L'approche régionale favorise l'uniformité entre les multiples administrations dont les répercussions climatiques et les besoins d'adaptation se chevauchent. Il s'agit d'une étude exhaustive en matière de couverture des données et de la portée géographique. L'objectif est de soutenir des utilisateurs multiples qui ont un large éventail de besoins.

Ce projet est le premier d'une initiative d'adaptation en plusieurs phases pour la CCN et la Ville d'Ottawa. Cette première phase du projet comprend la collecte, l'analyse et la communication de projections climatiques pour la RCN. Les phases subséquentes du projet comprendront l'application des données. Ces projections aideront les décideurs à comprendre les répercussions sur les collectivités, l'infrastructure, l'économie et l'environnement naturel (phase 2) et à planifier les initiatives de résilience et d'adaptation aux changements climatiques (phase 3).



Figure 1.2: Phases de l'adaptation aux changements climatiques

La présente étude constitue la phase 1.

Les répercussions climatiques générales sont mentionnées de façon générale tout au long du présent rapport parce qu'elles fournissent un contexte important pour le choix des indices appropriés ainsi que pour l'interprétation des résultats. Une évaluation exhaustive des vulnérabilités et des répercussions sera effectuée au cours des étapes suivantes. La portée et l'échelle des évaluations des répercussions et des risques peuvent varier, de l'évaluation d'une incidence unique dans un secteur (p. ex., l'incidence de la chaleur extrême sur les populations vulnérables) à l'évaluation de multiples répercussions sur de multiples secteurs. (p. ex., les répercussions des changements climatiques sur les infrastructures municipales). Les évaluations des répercussions peuvent également être réalisées dans l'ensemble des organisations, y compris la collaboration de plusieurs ordres de gouvernement. En fait, une vaste représentation multidisciplinaire au sein de l'équipe d'évaluation d'impact renforcera l'évaluation des risques, la gestion de l'incertitude et la détermination de mécanismes d'adaptation efficaces.

1.2 Méthodologie du projet

Cette étude sur les projections climatiques utilise les outils de modélisation du climat les plus récents au Canada. Le projet a été abordé sous l'angle de la collaboration et il a bénéficié de commentaires itératifs de la part des partenaires du projet de la **CCN et de la Ville d'Ottawa**, des principaux groupes d'intervenants ainsi que des données et des conseils d'experts du personnel du **Centre canadien des services climatiques (CCSC) d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC)**. Le CCSC a participé dès le début à la définition de la portée du projet, à la prise de décisions clés et à l'examen du produit final.

La méthodologie de cette évaluation comprenait les étapes suivantes :

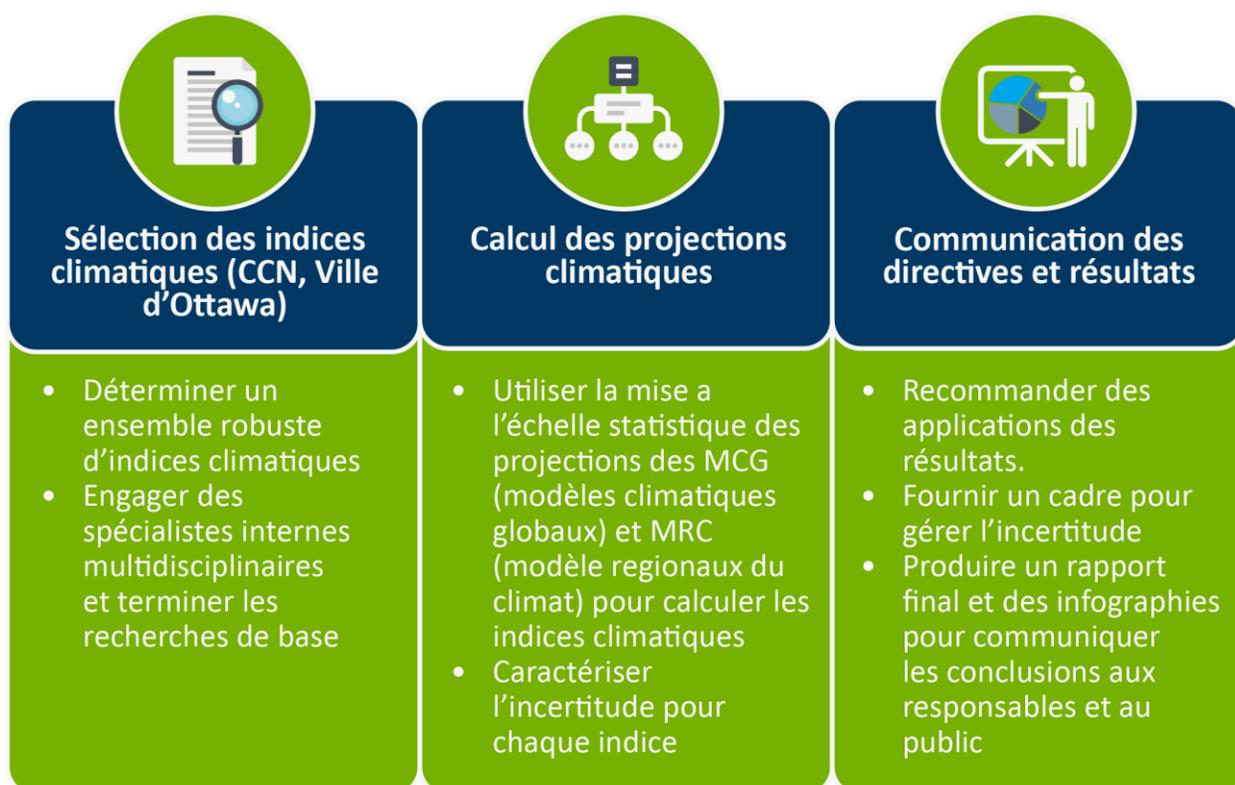


Figure 1.3: Méthodologie du projet

(MCG = Modèle climatique global, MRC = Modèle régional du climat)

1.3 Scénarios climatiques futurs

Les gaz à effet de serre (GES), comme le dioxyde de carbone et le méthane, emprisonnent la chaleur du soleil dans l’atmosphère, ce qui cause le réchauffement du climat. Le climat futur dépend des émissions anthropiques futures de GES. Les scénarios d’émissions représentent les modèles possibles d’émissions de GES au XXI^e siècle. Ces scénarios représentent des avenir différents fondés sur la quantité de GES anthropiques émis à l’échelle mondiale, qui dépend de la croissance et le mouvement de la population, les technologies futures et les énergies de remplacement, les politiques et les conflits. Il y a actuellement quatre scénarios normalisés de l’industrie, appelés profils représentatifs d’évolution de concentration (ou RCP, de l’anglais « Representative Concentration Pathways »), qui ont été établis par le Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC).

Tableau 1.1: Scénarios d’émissions du GIEC

Scénario d’émissions	Émissions mondiales de GES	Réchauffement planétaire pour 2081-2100, fourchette moyenne et probable	Conforme à l’Accord de Paris de 2015 pour maintenir l’augmentation de la température mondiale à un niveau inférieur à 2 °C d’ici 2100
Faible RCP 2.6	Réduction importante immédiate pour atteindre zéro avant 2070	1,0 °C (0,3 à 1,7)	Oui
Modéré RCP 4.5	Légère augmentation jusqu’en 2040 et réduction radicale par la suite	1,8 °C (1,1 à 2,6)	Possible
Modéré-élevé RCP 6.0	Hausse modérée jusqu’en 2070 puis réduction	2,2 °C (1,4 à 3,1)	Improbable
Élevé RCP 8.5	Augmentation importante en continue	3,7 °C (2,6 à 4,8)	Non

Pour ce projet, les scénarios à émissions moyennes (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) ont été pris en compte. Le scénario à émissions modérément élevées (RCP 6.0) n’a pas été utilisé, car un plus petit nombre de modèles ont utilisé ce profil RCP. Le scénario à émissions faibles (RCP 2.6) n’a pas été utilisé, car il suppose que les émissions de GES demeureront constantes jusqu’en 2020, puis diminueront jusqu’en 2100. Compte tenu des tendances récentes des émissions mondiales, ce scénario est considéré comme irréaliste.

Les émissions pour chaque scénario sont indiquées dans la Figure 1.4. La Figure 1.5 affiche l’évolution de la température moyenne globale pour trois trajectoires d’émissions des profils RCP, telles que projetées par les modèles climatiques.

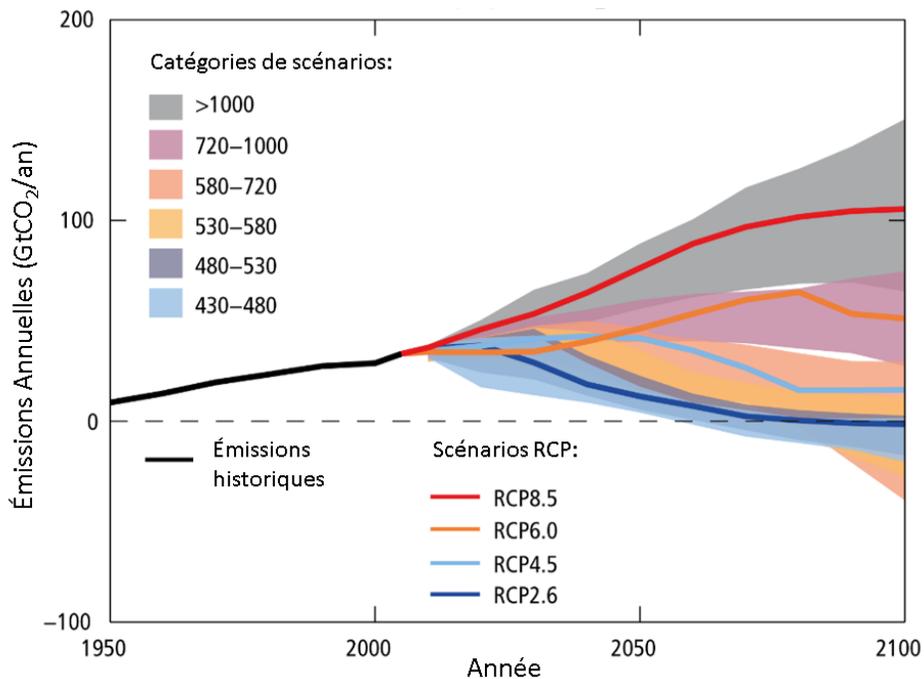


Figure 1.4: Évolution des émissions annuelles mondiales de CO₂ (Historique et avec le RCP, GIEC 2013)

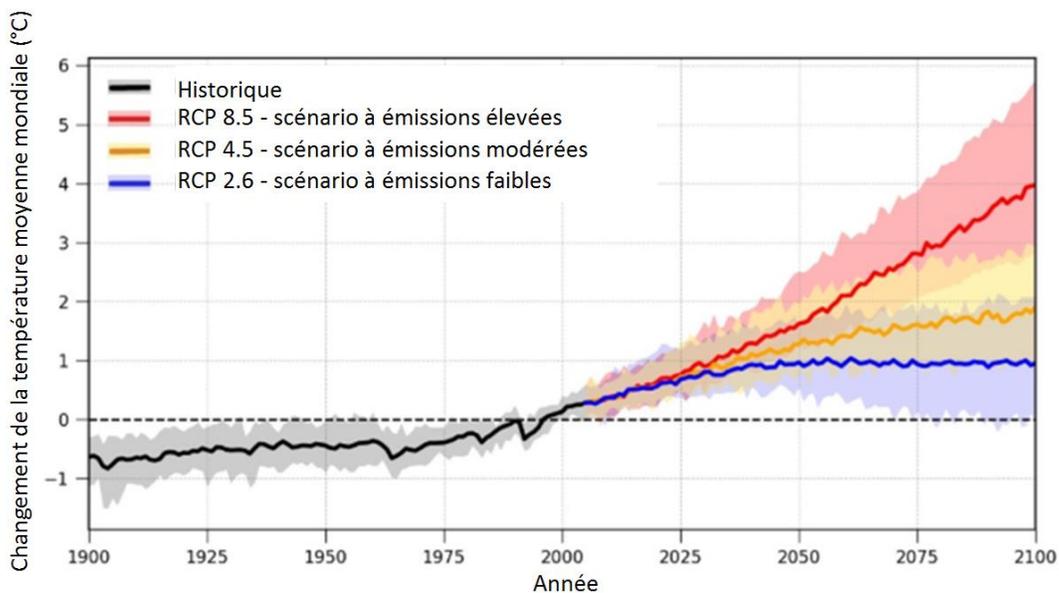


Figure 1.5: Variation de la température moyenne mondiale par rapport à la période de référence de 1986-2005 pour le RCP 2.6, le RCP 4.5 et le RCP 8.5 (Centre canadien des services climatiques)

1.4 Qu'est-ce qu'un modèle climatique?

Modèles climatiques globaux et modèles régionaux du climat

Les modèles climatiques divisent la terre en cellules 3D et ils utilisent des équations pour simuler des processus atmosphériques, océaniques et d'autres processus. Il y a plus de 30 modèles climatiques globaux (MCG) qui appartiennent à des institutions scientifiques partout dans le monde et qui nécessitent une puissance de calcul importante. Les MCG utilisent des scénarios d'émissions de GES comme intrants.

En général, les cellules des MCG sont trop larges pour permettre d'accéder aux détails locaux nécessaires à la planification de l'adaptation. Les précipitations, par exemple, nécessitent l'utilisation de modèles régionaux du climat (MRC). Les MRC sont semblables aux MCG, sauf qu'ils ont des résolutions spatiales plus élevées et concernent une région restreinte du globe. Les extrants du MCG peuvent également être mis à l'échelle locale en utilisant des processus statistiques appelés « réduction d'échelle ».

Cette étude utilise des modèles climatiques globaux et régionaux décrits dans le tableau suivant. D'autres détails techniques sur les modèles, les projections et l'incertitude sont fournis à l'ANNEXE A — *Contexte de la modélisation climatique*.

Tableau 1.2: Utilisation de MCG et de MRC pour différents paramètres et indices

	MCG	MRC
Température et précipitations quotidiennes	x	
Neige, vent et humidité quotidiens		x
Précipitations et vent infra-quotidiens (p. ex., horaires)		x
Paramètres combinés (p. ex., refroidissement éolien, humidex)	x	x

Certains phénomènes climatiques ne sont pas bien saisis par les modèles climatiques. Il s'agit de la pluie verglaçante et les tempêtes de verglas, la neige extrême et les blizzards, les vents extrêmes et les rafales, les tornades, les ouragans, la foudre, l'évapotranspiration, la sécheresse et les feux de forêt, la qualité de l'air, les pluies acides et le rayonnement (UV) à de courtes longueurs d'onde. Dans ce cas-ci, nous avons utilisé une caractérisation fondée sur le processus qui examine la façon dont les facteurs qui influent sur ces phénomènes changent, afin de comprendre les tendances.

Comptabilisation de l'incertitude du modèle

Les modèles climatiques utilisent un grand nombre d'approximations dans leurs formules mathématiques. Ces approximations constituent une solution pratique pour tenir compte des phénomènes qui se produisent à une échelle spatiale plus petite que leur cellule de grille. Par conséquent, les modèles ne peuvent pas saisir toute la complexité du système climatique. Ainsi, un modèle peut surestimer ou sous-estimer les paramètres climatiques simulés. Comme différents modèles utilisent des approximations différentes, ils donneront des solutions différentes, chacune de ces solutions représentant un futur possible. Par conséquent, plus d'un modèle devrait être utilisé pour les projections climatiques. La gamme des solutions des modèles couvre la gamme des possibilités (dans la mesure où elles peuvent être modélisées).

Cette approche de gestion de l'incertitude et de la variabilité du modèle est appelée modélisation d'ensemble. Cette étude est basée sur la modélisation d'ensemble. Les résultats des ensembles sont présentés avec des graphiques et des relevés qui indiquent la distribution des données afin d'illustrer la confiance globale du résultat modélisé. Les graphiques présentés dans ce rapport montrent les 10e et 90e centiles de l'ensemble comme une indication de l'incertitude et les figures montrent les résultats de l'ensemble de modèles correspondant au scénario à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5). De plus amples renseignements sur la façon de lire les graphiques sont présentés à l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*.

1.5 Horizons temporels

Les trois horizons de projection, ou tranches de temps, qui ont été choisis pour cette étude sont les suivants :

- Années 2030 (2021–2050).
- Années 2050 (2041–2070).
- Années 2080 (2017–2100).

Ces horizons temporels représentent une **valeur moyenne sur une période de 30** ans et sont comparés à une période de référence (1981 à 2010). Les valeurs pour la période de référence sont le résultat de modèles qui ont été utilisés pour simuler le passé (« simulation rétrospective »), et donc, elles décrivent le climat historique. Les projections présentées pour ces horizons discrets peuvent ensuite être utilisées dans les évaluations des risques et des vulnérabilités en appariant la durée de vie utile restante du programme ou de l'actif à l'horizon approprié. Si la durée de vie prévue d'un bien dépasse 2100, on encourage tout de même à évaluer les projections pour les horizons temporels plus courts (les années 2030 et 2050), car certains indices peuvent avoir de plus grandes répercussions à court terme.

Ces horizons temporels ont été choisis pour faciliter, dans la mesure du possible, la comparaison avec d'autres travaux, y compris les normales climatiques (p. ex., la période de référence de 1981-2010 correspond aux normales climatiques d'ECCL), et la cohérence avec les autres ressources disponibles à l'échelle nationale (p. ex., Atlas climatique du Canada, donneesclimatiques.ca) et les projets antérieurs et en cours dans la région (Services publics et Approvisionnement Canada, la Ville de Gatineau et Hydro Ottawa).

1.6 Sélection des indices climatiques

Cette étude fournit des projections pour 178 indices climatiques. La liste des indices climatiques est disponible à la section 1.8, et les formules pour les indices se trouvent à l'ANNEXE F — *Graphiques des indices climatiques*.

Paramètres et indices

Les résultats des MCG et des MRC comprennent des paramètres comme la température, les précipitations, l'humidité, la neige et le vent. Les indices sont ensuite calculés à partir de ces

paramètres afin de fournir des projections détaillées que les décideurs peuvent utiliser. Les termes « paramètre » et « indice » du climat ont des interprétations différentes en science du climat et en science de l'impact. Aux fins de la présente étude :

- Le terme **paramètre** sera utilisé pour faire référence aux extrants directs de modèles comme la température, les précipitations, la neige et le vent.
- Le terme **indice** sera utilisé pour faire référence à des calculs fondés sur des paramètres, comme le « nombre de cycles de gel et de dégel ».

Il existe de nombreux types d'indices, comme la durée, les seuils, les valeurs minimales, maximales ou extrêmes. Certains indices exigent une combinaison de paramètres, comme l'humidex, qui comprend à la fois l'humidité et la température. La liste complète des indices produits dans le cadre de cette étude est présentée à la section 1.8.

Sélection des indices

La sélection des indices climatiques dépend à la fois des besoins spécifiques ciblés des intervenants et de la science du climat sous-jacente. Pour que l'étude soit à la fois très informative et simple à utiliser, les indices climatiques ont été établis en consultation avec les utilisateurs représentant un large éventail de secteurs.

Une liste des paramètres et des indices qui pourraient être utilisés par les intervenants pour les évaluations futures des risques et de la vulnérabilité a été dressée à partir des entrevues avec le personnel, des réunions en personne avec certains utilisateurs et les commentaires des partenaires du projet fondés sur leur connaissance des besoins de la CCN et de la Ville d'Ottawa.

Une fois la liste préliminaire des indices dressée, un atelier d'une demi-journée a eu lieu le 9 juillet 2019 afin de recueillir les commentaires d'un groupe plus vaste d'intervenants internes et de finaliser la liste des indices proposés. Plus de 60 personnes ont participé à l'atelier, principalement du personnel de la CCN et de la Ville d'Ottawa, ainsi que des représentants de la Ville de Gatineau et de trois offices de protection de la nature de l'Ontario. L'atelier comprenait une série de présentations sur les projections et les indices du changement climatique, suivies de discussions de groupe axées sur les secteurs suivants :

- les services d'eau;
- la santé et la sécurité;
- les immeubles, les biens immobiliers et la planification;
- les transports;
- les ressources naturelles, le tourisme et les loisirs.

L'objectif de ces groupes de discussion était de déterminer les processus climatiques et les répercussions sur leur secteur et de déterminer les indices qui leur seraient utiles dans les futures évaluations des risques et des vulnérabilités. La liste finale des indices inclus dans l'étude était fondée sur une compréhension des besoins des intervenants et des commentaires des partenaires du projet.

Calcul des indices et des projections climatiques

L'approche de l'ensemble a été utilisée dans l'étude, de sorte que les indices climatiques ont été calculés pour chaque membre de l'ensemble. Les détails techniques sont fournis à l'ANNEXE C — *Méthodologie*.

1.7 Interprétation des projections du modèle

L'application appropriée des données présentées dans ce rapport exige l'interprétation des résultats et la caractérisation de l'incertitude. Il existe de nombreuses sources d'incertitude, allant de l'incertitude du scénario des émissions de GES à l'incertitude du modèle et à la variabilité naturelle (voir l'ANNEXE A - *Contexte de la modélisation climatique*, section A3). L'incertitude dominante dépend de l'échelle de temps et du paramètre ou de l'indice. Les résultats sont présentés pour les scénarios à émissions de GES modérées et élevées (RCP 4.5 et RCP 8.5 respectivement), au moyen d'une approche d'ensemble des modèles, la distribution des données et la médiane étant montrées dans les graphiques (Voir l'ANNEXE B - *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*)

La section 2 comprend des graphiques scientifiques, des cartes et des interprétations pour les principaux indices climatiques. Le chapitre 3 présente des recommandations sur la façon de gérer l'incertitude pour les évaluations futures des changements climatiques ainsi que les principaux impacts climatiques sur les secteurs clés. L'ANNEXE F – *Les graphiques des indices climatiques* comprennent des données scientifiques et des graphiques pour tous les indices climatiques générés dans cette étude. Les résultats numériques de tous les indices sont disponibles à l'ANNEXE G — *Tableaux sur les indices climatiques* sous forme de tableau. De plus amples renseignements sur la méthodologie sont disponibles à l'ANNEXE C — *Méthodologie*.

1.8 Liste des indices climatiques

Cette étude fournit des projections pour 178 indices climatiques. Les tableaux suivants comprennent les définitions des indices, les unités et l'endroit dans le rapport où ils sont présentés. Un tableau semblable se trouve à l'ANNEXE F — *Graphiques sur les indices climatiques*, qui comprend également les formules pour chaque indice.

Tableau 1.3: Liste des indices pour les températures

Type d'indice	Nom de l'indice	Unité	Section	Annexe F Graphiques	Annexe G Tableaux	
TEMPÉRATURES	Maximums et minimums	Température la plus chaude de l'année	°C	2.3.3	F1	G1
		Température la plus froide de l'année	°C		F1	G1
		Température mensuelle la plus chaude	°C		F1	G1
		Minimum mensuel de la température maximale quotidienne	°C			G1
		Maximum mensuel de la température minimale quotidienne	°C			G1
		Température mensuelle la plus froide	°C	2.3.2	F1	G1
	Seuils et plages	Nombre de jours chauds (température maximale quotidienne > 30°C)	nbre jours/année	2.3.3	F1	G1
		Nombre de nuits tropicales (Température minimale quotidienne > 20°C)	nbre jours/année		F1	G1
		Nombre d'événements de gel profond (température minimale quotidienne < -10°C)	nbre jours/année	2.3.2	F1	G1
		Nombre de jours où les températures maximales quotidiennes < -34, -5, 0, ou > 0, 5, 10, 15, 20, 25, 35°C	nbre jours/saison			G1
		Nombre de jours où les températures minimales quotidiennes < -34, -28, -20, -15, -5, 0°C	nbre jours/saison			G1
		Nombre de jours où la température maximale quotidienne se situe entre -20 et -10, -10 et 0, 0 à 5, 4 à 10, 10 à 15, 15 à 20, 20 à 25, 18 à 34, 26 à 29, 22 à 30°C.	nbre jours/saison			G1
	Moyennes, durées et saisons	Plage de températures saisonnières	°C			G1
		Température annuelle moyenne	°C	2.3.1	F1	G1
		Température moyenne saisonnière	°C		F1	G1
		Température moyenne mensuelle	°C	2.3.1	F1	G1
		Durée de la saison de croissance	nbre jours/année		F1	G1
		Durée de la saison de gel	nbre jours/année		F1	G1
		Durée de la saison de croissance des pommes de terre	nbre jours/année			G1
		Unités thermiques de maïs	unités			G1
		Emergence et de la floraison des tulipes	jour		F1	G1
		Premier gel d'automne	jour	2.3.4	F1	G1
		Dernier gel printanier	jour	2.3.4	F1	G1
		Mois le plus chaud	mois		F1	G1
		Mois le plus froid	mois		F1	G1
		Fonte des neiges et gel/dégel	Épisode de fonte hivernale	nbre jours/saison		
	Cycles annuels de gel et de dégel		nbre jours/année		F1	G1
	Cycles saisonniers de gel et de dégel		nbre jours/saison	2.3.5	F1	G1
	Vagues de chaleur et vagues de froid	Fréquence des vagues de chaleur (température maximale > 32°C pendant 3 jours)	nbre périodes/année			G1
		Fréquence des vagues de chaleur (température maximale > 31°C et température minimale > 20°C, pendant 2 jours)	nbre périodes/année	2.3.3	F1	G1
		Fréquence des vagues de chaleur (température maximale > 31°C et température minimale > 20°C)	nbre jours/année			G1
		Fréquence des vagues de froid (température maximale ≤ -10°C pendant 5 jours)	nbre périodes/année		F1	G1
Températures de calcul	Degrés-jours de chauffage	°C jours		F1	G1	
	Degrés-jours de gel	°C jours			G1	
	Degrés-jours au-dessus du point de congélation	°C jours			G1	
	Degrés-jours de refroidissement (18°C)	°C jours		F1	G1	
	Degrés-jours de fonte hivernale	°C jours			G1	
	Approximation de la température de calcul de 2,5 % pour le mois de janvier	°C			G1	
	Approximation de la température de calcul de 2,5 % pour le mois de juillet	°C			G1	

Tableau 1.4: Liste des indices pour les précipitations, l'humidité et le vent

	Type d'indice	Nom de l'indice	Unité	Section	Annexe F Graphiques	Annexe G Tableaux
PRÉCIPITATIONS	Totaux	Précipitations annuelles totales	mm	2.4.1	F2	G2
		Précipitations mensuelles totales	mm	2.4.1	F2	G2
	Périodes de récurrence	Précipitations sur un jour à récurrence de 100 ans	mm	2.4.3	F2	G2
		Précipitations sur un jour à récurrence de 2, 5, 20, 50, 350 ans	mm		F2	G2
		Précipitations à récurrence de 100, 350 ans (sur 2 jours, 5 jours)	mm		F2	G2
		Précipitations horaires à récurrence de 50 ans	mm	2.4.3	F2	G2
		Précipitations à récurrence de 2, 5, 10, 20, 50, 100 ans (sur 1, 3, 6, 12 heures)	mm		F2	G2
		Précipitations annuelles maximales sur un jour	mm	2.4.3	F2	G2
	Maximums	Précipitations annuelles maximales (2 jours, 5 jours)	mm		F2	G2
		Précipitations mensuelles maximales sur un jour	mm	2.4.3	F2	G2
		Précipitations mensuelles maximales (2 jours, 5 jours)	mm			G2
	Seuils	Nombre de jours où les précipitations > 20 mm	nbre jours/année	2.4.3	F2	G2
		Nombre de jours (pour chaque mois) où les précipitations > 10 mm	nbre jours	2.4.3		G2
		Nombre de jours où les précipitations > 1, 10, 25, 50 mm	nbre jours/année		F2	G2
		Nombre de périodes de 2 heures où les précipitations > 50 mm	nbre périodes/année		F2	G2
		Nombre d'heures où les précipitations > 25, 50 mm	nbre heures/année			G2
	Périodes pluvieuses/sèches	Longueur maximale de la période sèche	nbre jours		F2	G2
		Longueur maximale de période pluvieuse	nbre jours		F2	G2
Calendrier	Mois le plus humide	mois			G2	
	Mois le plus sec	mois			G2	
PRÉCIPITATIONS(NEIGE)	Totaux et maximums	Total annuel des chutes de neige	cm	2.4.4	F2	G2
		Total mensuel des chutes de neige	cm	2.4.4	F2	G2
		Maximum annuel des chutes de neige sur un jour	cm/jour	2.4.6	F2	G2
	Seuils	Nombre de jours avec chute de neige	nbre jours/année	2.4.5	F2	G2
		Nombre de jours avec chutes de neige ≥ 10 cm/jour	nbre jours/année		F2	G2
	Épaisseur de la neige	Maximum annuel de l'épaisseur de neige	cm	2.4.6	F2	G2
		Nombre de jours avec une épaisseur de neige > 8, 21 cm	nbre jours/année		F2	G2
		Maximum annuel de l'eau de fonte des neiges sur 3 jours et 7 jours	mm		F2	G2
	Durée	Nombre de jours avec couverture de neige	nbre jours/année	2.4.5	F2	G2
		Durée de la première à la dernière journée de neige	nbre jours		F2	G2
	Calendrier	Mois de l'année avec la chute de neige maximale	mois		F2	G2
		Mois de l'année avec l'épaisseur de neige maximale	mois		F2	G2
		Première chute de neige	jour	2.4.5	F2	G2
		Dernière chute de neige	jour	2.4.5	F2	G2
		Jour de l'année où se produit le maximum de la fonte des neiges sur 3 et 7 jours	jour		F2	G2
HUM. / VENTS	Moyennes	Vitesse moyenne mensuelle du vent	m/s	2.5.1	F3	G3
		Vitesse du vent sur 3 heures à récurrence de 2, 5, 10, 20, 50, 100 ans	m/s		F3	G3
	Extrêmes	Nombre d'heures où la vitesse du vent > 10, 20, 40 km/h	nbre heures/année			G3
		Humidité relative moyenne mensuelle pendant l'heure de la température quotidienne maximale	%	2.6.1	F4	G4

Tableau 1.5: Liste des indices pour les autres paramètres

	Type d'indice	Nom de l'indice	Unité	Section	Annexe F Graphiques	Annexe G Tableaux
COMBINÉS	Précipitations hivernales et fonte	Approximation des chutes de neige (en fonction des précipitations et des températures)	mm			G5
		Approximation des pluies hivernales (en fonction des précipitations et des températures de déc. à févr.)	mm			G5
		Somme maximale sur 3 jours de fonte des neiges et de précipitations	mm		F5	G5
		Pluie hivernale > 10 mm et gel	nbre jours/année			G5
		Équivalent eau de fonte de neige > 10 mm et gel	nbre jours/année			G5
	Comb. avec les vents	Vents > 20 km/h et précipitations hivernales > 1 mm	nbre jours/année			G5
		Nombre de jours où le refroidissement éolien se situe entre -35°C et -25°C	nbre jours/année	2.5.1	F5	G5
		Nombre de jours où le vent > 10, 20 km/h et la chute de neige > 1, 5 cm	nbre jours/année		F5	G5
	Conditions estivales et sécheresse	Nombre de jours où l'humidex > 30, 35, 40°C	nbre jours/année		F5	G5
		Nombre de périodes où l'humidex > 40°C pendant 2 jours	nbre périodes/année	2.6.2	F5	G5
		Nombre de périodes où l'humidex > 30, 35°C pendant 2 jours	nbre périodes/année		F5	G5
		Nombre de jours où l'indice de combustion de Chandler (indice de danger de feu) > 75, 90	nbre jours/année			G5
		Approximation de la rareté de l'eau (en fonction des précipitations et de la température)	nbre jours/année			G5
EXTRÊMES ET AUTRES	Événements extrêmes	Pluie verglaçante et tempêtes de verglas	Non applicable	2.8.1		
		Neige extrême et blizzards	Non applicable	2.8.2		
		Vents extrêmes et rafales	Non applicable	2.8.3		
		Tornades	Non applicable	2.8.4		
		Ouragans	Non applicable	2.8.5		
		Foudre	Non applicable	2.8.6		
	Autres	Évapotranspiration, sécheresse et feux de forêt	Non applicable	2.8.7		
		Qualité de l'air	Non applicable	2.8.8		
		Pluies acides	Non applicable	2.8.9		
		Rayonnement de courtes longueurs d'onde (UV)	Non applicable	2.8.10		

Chapitre 2 Résultats

Ce chapitre présente les **principaux résultats de l'analyse des projections climatiques**. Les tendances historiques sont résumées à la section 2.1. Les principales conclusions des projections futures sont résumées à la section 2.2. La température et les précipitations sont deux paramètres typiques du modèle climatique; par conséquent, un plus grand ensemble de modèles climatiques est disponible pour ces paramètres et ils sont présentés en premier. La neige, le vent et l'humidité sont présentés par la suite, ainsi que des projections pour des paramètres combinés (p. ex., humidex basé sur la température et l'humidité) parce qu'un ensemble plus petit de modèles climatiques est disponible pour ces projections. Des projections qualitatives fondées sur l'analyse de la documentation scientifique sont ensuite fournies pour les événements extrêmes et d'autres phénomènes climatiques comme la pluie verglaçante et les tempêtes de verglas, la neige extrême et les blizzards, les vents extrêmes et les rafales, les tornades, les ouragans, la foudre, l'évapotranspiration, la sécheresse et les feux de forêt, la qualité de l'air, les pluies acides et le rayonnement à de courtes longueurs d'onde. Enfin, les résultats de ce projet sont comparés à ceux d'autres études sur les projections climatiques dans la RCN.

Les indices présentés et reportés dans ce chapitre ont été sélectionnés pour montrer les principaux résultats. Des **graphiques supplémentaires et d'autres indices** sont disponibles à l'ANNEXE F — *Graphiques sur les indices climatiques*. Les résultats numériques de tous les indices sont disponibles à l'ANNEXE G — *Tableaux sur les indices climatiques* sous forme de tableau.

Étant donné que différentes sources de données ont été utilisées pour différents paramètres climatiques, l'interprétation des projections et l'incertitude pour différents paramètres et indices varient. Par exemple, les projections de neige représentent « la neige qui tombe sur l'ensemble de la zone d'étude », alors que les projections de précipitations représentent « les précipitations qui tombent sur une zone de 10 km x 10 km ». Ces types de distinctions dans la façon d'interpréter les projections sont expliqués dans le texte.

D'autres conseils sur la façon de lire et d'interpréter les divers types de graphiques présentés dans le présent chapitre se trouvent à l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*. Par exemple, les graphiques de séries chronologiques diffèrent des autres graphiques parce qu'ils montrent des variations d'une année à l'autre, tandis que les cartes et les graphiques mensuels montrent des projections moyennes sur des tranches de 30 ans. Des conseils sur la lecture des graphiques sont également disponibles dans tout le texte.

Le lecteur est invité à consulter les annexes suivantes pour obtenir de l'information et des documents supplémentaires:

- ANNEXE A – Contexte de la modélisation climatique
- ANNEXE B – Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques
- ANNEXE C – Méthodologie

- ANNEXE D – Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes
- ANNEXE E – Références
- ANNEXE F – Graphiques sur les indices climatiques
- ANNEXE G – Tableaux sur les indices climatiques

2.1 Observations historiques

Les analyses des données des stations climatiques dans la RCN concordent avec les constatations régionales indiquant une **augmentation de la température moyenne et des précipitations totales par rapport aux données historiques**. Selon le Rapport sur le climat changeant du Canada (RNCan 2019), il est *pratiquement certain* que le climat du Canada s'est réchauffé, et des augmentations importantes des précipitations ont été observées dans certaines parties du sud du Canada (Zhang *et coll.* 2019). Les analyses des données des stations climatiques dans la RCN révèlent également que la **variabilité d'une année à l'autre est élevée**, certaines années étant beaucoup plus chaudes (ou plus humides) que d'autres.

2.1.1 Sources de renseignements

Les renseignements sur le climat historique dans la RCN ont été obtenus auprès de :

- Une analyse ciblée de plusieurs dossiers de stations climatiques d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Les tendances de quelques indices importants (températures minimales, moyennes et maximales, précipitations totales et précipitations maximales sur une journée) ont été explorées à l'échelle saisonnière et annuelle.
- Un rapport de 2011 de la Ville d'Ottawa (« Characterization of Ottawa's Watersheds ») qui présente des graphiques de données provenant de la station climatique de la ferme expérimentale du ministère de l'Agriculture du Canada.
- Une étude de Mudryk *et al.* (2018) sur les tendances observées et futures (modélisées) de la neige au Canada.

Un certain prétraitement était nécessaire pour les données des stations climatiques d'ECCC. On a constaté que l'inclusion des années manquantes et la durée de l'enregistrement choisi pour l'analyse avaient toutes deux une incidence sur l'ampleur des tendances. Par conséquent, plusieurs seuils pour l'exhaustivité et la longueur des données ont été testés. Il est à noter que, bien que les tendances générales soient présentées dans cette section, aucune analyse systématique de l'information historique n'a été effectuée. Par exemple, le changement au fil du temps ou entre les stations pourrait être en partie attribuable à une combinaison de facteurs, notamment :

- les différences au fil du temps dans les méthodes et les instruments de mesure;
- le climat de la station est influencé par des facteurs locaux comme l'utilisation des terres.

Par conséquent, les tendances devraient être interprétées comme des indications générales de changements passés. Néanmoins, les analyses ont été suffisantes pour illustrer que la température et les précipitations ont augmenté dans la RCN au cours du XXe siècle.

2.1.2 La température moyenne a augmenté

Les données des stations climatiques d'ECCE montrent une augmentation de la température moyenne quotidienne annuelle. Cette tendance positive est illustrée pour quatre stations climatiques dans la Figure 2.1 et la Figure 2.2. Le taux d'augmentation de la température annuelle moyenne à la Ferme expérimentale du ministère de l'Agriculture du Canada entre le milieu des années 40 et le milieu des années 2010 est d'environ 1,3 °C (Ville d'Ottawa, 2011).

L'augmentation de la température en hiver pour les quatre stations climatiques est également illustrée. Le taux d'augmentation de la température hivernale à la Ferme expérimentale du ministère de l'Agriculture du Canada était de 2 °C entre le milieu des années 40 et le milieu des années 2010 (Ville d'Ottawa, 2011).

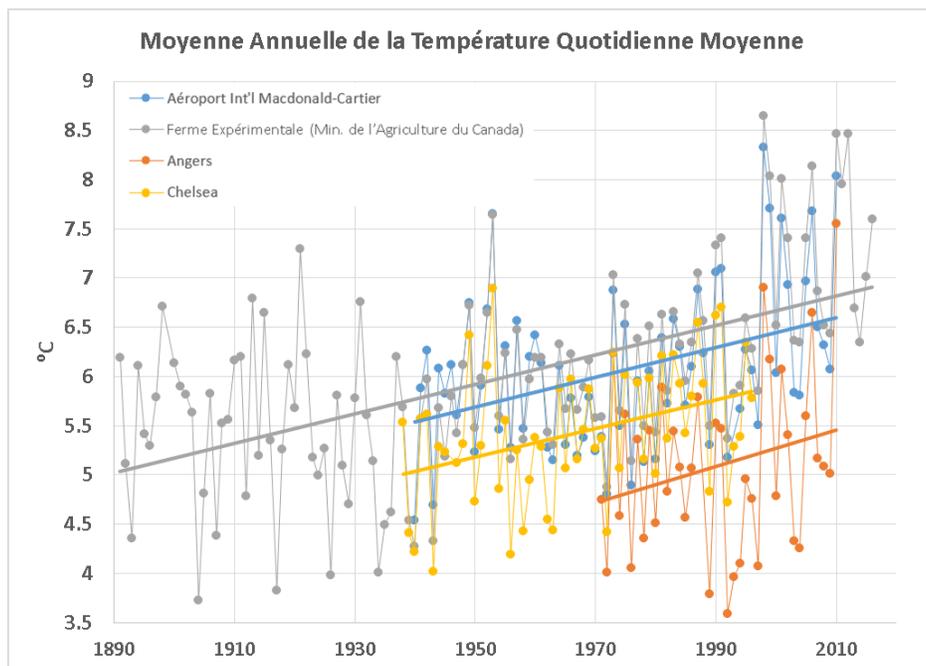


Figure 2.1: Tendances observées de la moyenne annuelle de la température moyenne quotidienne dans la RCN (stations climatiques d'ECCE)

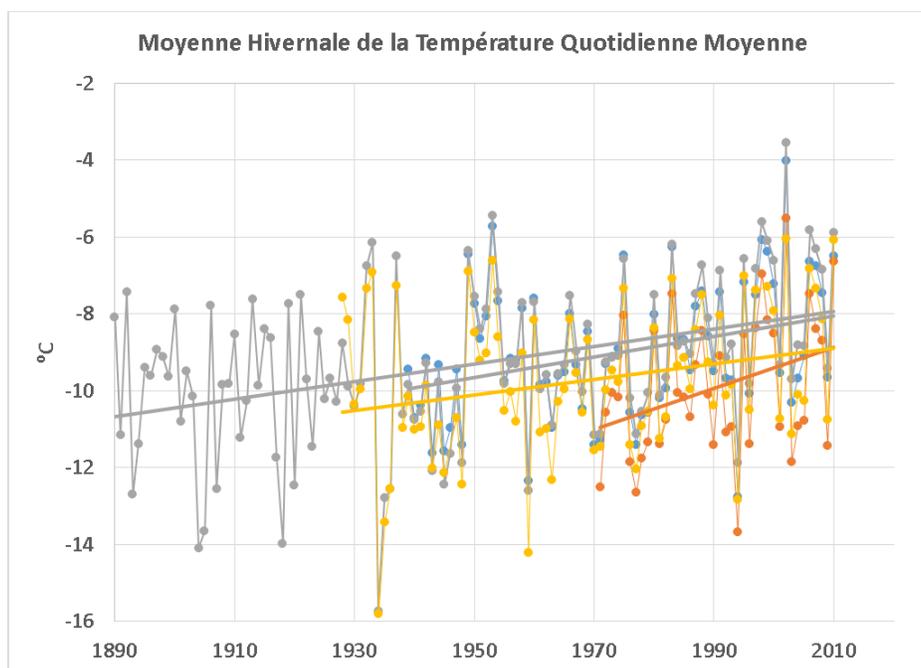


Figure 2.2: Tendances observées de la moyenne de la température hivernale quotidienne dans la RCN (stations climatiques d'ECCC)

2.1.3 Les précipitations totales ont augmenté

Les données des stations climatiques d'ECCC montrent une augmentation générale des précipitations annuelles totales pour les quatre stations climatiques, ainsi qu'une forte variabilité d'une année à l'autre (Figure 2.3). Par conséquent, la Ville d'Ottawa (2011) signale qu'à la Ferme expérimentale, l'augmentation des précipitations annuelles totales depuis les années 1920 a été concentrée à l'automne et au printemps. Il est à noter que la Ville d'Ottawa (2011) n'a pas décelé de tendances en ce qui concerne les précipitations intenses à la Ferme expérimentale du ministère canadien de l'Agriculture (précipitations annuelles maximales sur une journée; Figure 2.4). Toutefois, la station climatique de l'aéroport international Macdonald-Cartier a enregistré une diminution de l'intensité des tempêtes de moins de 6 heures depuis 1967 (Groupe des ressources en eau de la Ville d'Ottawa, comm. pers.; l'analyse des données historiques n'a pas été effectuée dans le cadre de ce projet). Il n'est pas approprié d'extrapoler ces tendances historiques horaires pour obtenir des projections futures (voir la section 2.1.4).

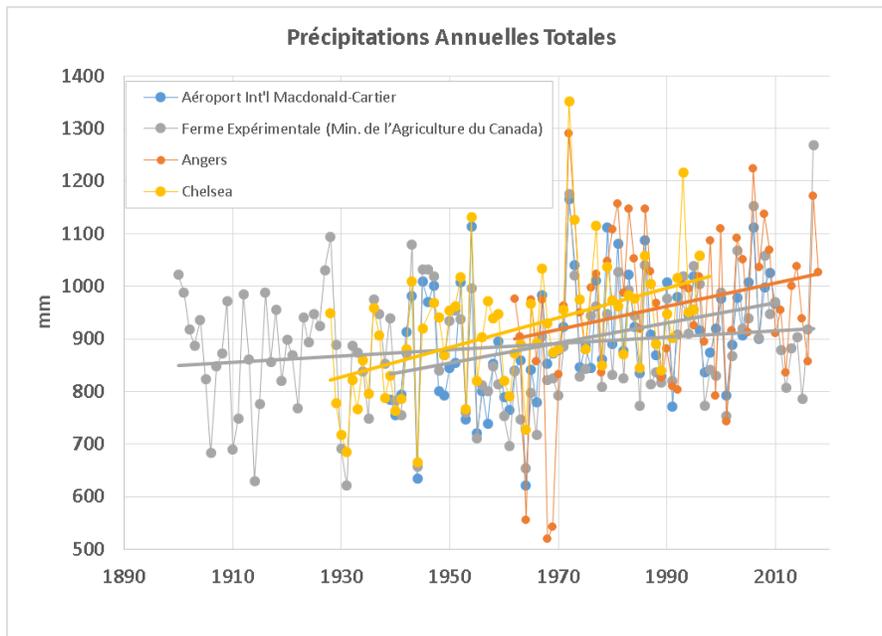


Figure 2.3: Tendances observées des précipitations annuelles totales (stations climatiques d'ECCE)

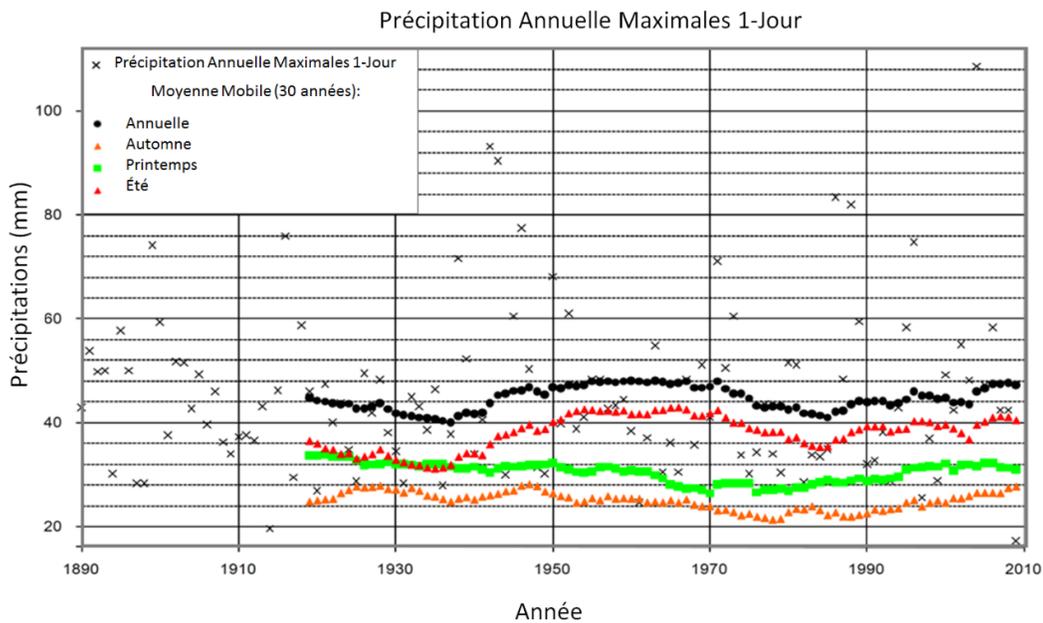


Figure 2.4: Précipitations maximales annuelles sur une journée selon la station climatique à la Ferme expérimentale (Ville d'Ottawa, 2011)

En ce qui concerne les tendances historiques d'accumulation de neige, Mudryk *et coll.* (2018) suggèrent une diminution de l'équivalent maximal en eau de la neige de 1981 à 2010 (**Figure 2.5**). Il est à noter que cette constatation est fondée sur un ensemble de données sur grille et que les constatations peuvent différer selon la source d'information.

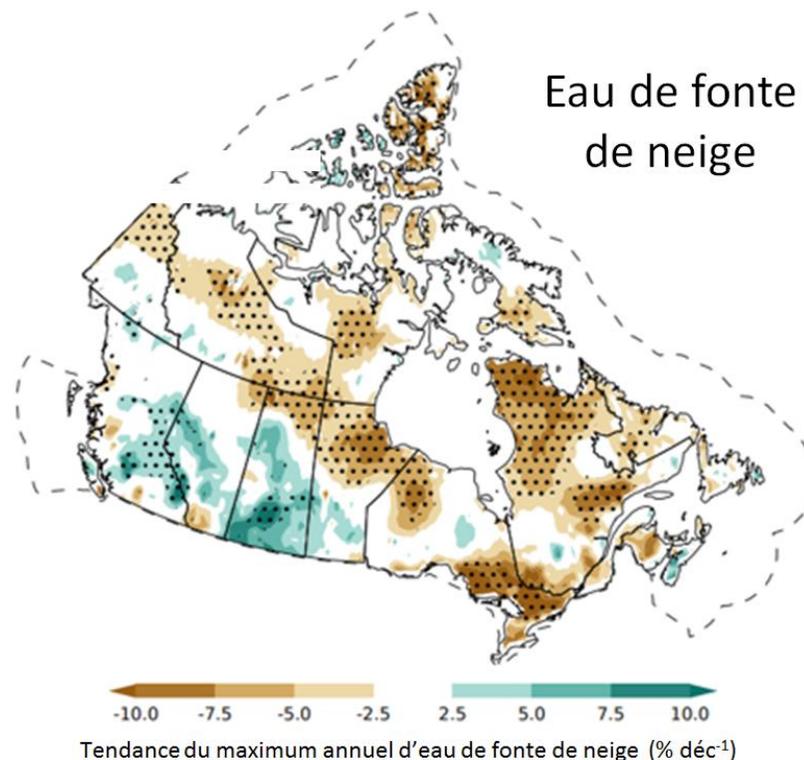


Figure 2.5: Tendances observées dans l'équivalent en eau de la neige, ensemble de données CANGRID pour 1981-2015 (Mudryk *et coll.* 2018)

2.1.4 Modèles et observations

Les modèles peuvent être utilisés pour étudier le climat futur; les tendances observées ne peuvent pas être utilisées. Ceci est dû au fait que le système climatique se comporte de façon non linéaire (par exemple, une tendance peut changer une fois qu'un certain seuil est franchi). L'extrapolation des tendances observées ne peut se faire que dans certaines situations, sur de courtes échelles de temps, lorsque la cause de la tendance est bien comprise. Dans ce contexte, l'extrapolation est parfois utilisée avec prudence lorsqu'il n'y a pas d'autres sources d'information disponibles.

Les projections des modèles doivent être comparées aux observations avant qu'elles puissent être utilisées pour éliminer les biais des modèles. Par conséquent:

- Les projections pour les précipitations et la température, qui ont été fournies par le Centre canadien des services climatiques, ont fait l'objet d'une correction de biais à l'aide d'observations historiques sur grille de Ressources Naturelles Canada (RNCAN). La correction des biais a été effectuée par le Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) avant ce projet.
- Les projections pour d'autres paramètres (neige, vent, humidité) ont fait l'objet d'une correction de biais dans le cadre de ce projet à l'aide des données des stations climatiques de l'aéroport d'Ottawa (voir l'ANNEXE C – *Méthodologie*).

Autrement dit, les ensembles de données de modélisation ont été comparés aux données historiques dans le cadre du traitement des données, et le reste du rapport porte sur l'utilisation des projections des modèles.

2.2 Principales constatations

Les principales constatations qui suivent résument les projections et les résultats climatiques les plus importants obtenus dans le cadre de ce projet, avec plus de détails dans les sections subséquentes. Ces valeurs représentent une « année moyenne » (puisqu'elles sont des moyennes sur des tranches de temps de 30 ans) et la médiane de l'ensemble des modèles.

Dans le présent rapport, les deux valeurs déclarées pour chaque indice (p. ex., 5-8 °C) ne sont pas des fourchettes; elles représentent les valeurs moyennes pour les scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5). Lorsqu'une diminution est prévue, par exemple pour la quantité de neige, la deuxième valeur sera inférieure à la première valeur.

Projections de température :

- **Augmentation de la température moyenne (toutes les saisons)** – La température annuelle moyenne, qui s'élève à environ 6,1 °C pour la période de référence, devrait passer à environ 7,5-7,9 °C dans les années 2030, à 8,2-9,3 °C dans les années 2050 et à 8,8-11,4 °C dans les années 2080. Aucune saison ne devrait se réchauffer beaucoup plus vite que les autres.
- **Moins de froids extrêmes** – On s'attend à ce que les froids extrêmes diminuent en intensité et en fréquence. Le nombre de jours par année où la température minimale quotidienne est inférieure à -10 °C (« **phénomènes de gel profond** ») devrait diminuer, passant d'environ 71 jours pour la période de référence à environ 59-57 jours dans les années 2030, 53-46 jours dans les années 2050 et 48-28 jours dans les années 2080. Bien que ces projections soient pour un indice extrême, elles représentent une « année moyenne » puisqu'elles sont des moyennes sur des tranches de temps de 30 ans.
- **Plus de chaleurs extrêmes** – Il y aura une augmentation de la fréquence et de l'intensité des chaleurs extrêmes. Pour la période de référence, la RCN a connu environ 11 jours qui ont atteint 30 °C (« jours chauds ») par année. Les modèles prévoient une augmentation jusqu'à environ 25-28 jours dans les années 2030, 32-43 jours dans les années 2050 et 36-72 jours dans les années 2080. Cela équivaut à deux fois plus de journées chaudes dans les années 2030, trois à quatre fois plus dans les années 2050 et trois à six fois plus dans les années 2080.
- **Variation des caractéristiques saisonnières** – Le premier jour de gel automnal devrait se produire environ 1-2 semaines plus tard dans les années 2030, 2-3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3-4 semaines plus tard dans les années 2080 par rapport à la période de référence. Le dernier jour de gel printanier devrait se produire environ 1-2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2-4 semaines plus tôt dans les années 2080.
- **L'évolution des cycles de gel et de dégel** – Les modèles prévoient que les températures hivernales se maintiendront autour de 0 °C plus fréquemment à l'avenir. Par conséquent, les cycles de gel et de dégel hivernaux (de décembre à février) devraient augmenter, tandis que

les cycles de gel et de dégel qui se produisent au printemps (de mars à mai) et à l'automne (de septembre à novembre) devraient diminuer à mesure que les températures se réchauffent.

Projections des précipitations

- **Augmentation des précipitations totales (sauf l'été)** – Les précipitations annuelles totales dans la RCN, qui sont environ 921 mm/année pour la période de référence, devraient passer à environ 949-968 mm dans les années 2030, 979-993 mm dans les années 2050 et 983-1028 mm dans les années 2080. Les augmentations seront concentrées durant l'hiver et les saisons intermédiaires, et aucune augmentation n'est prévue de juin à septembre.
- **Aucun changement de la fréquence des jours de pluie** — Bien que les précipitations annuelles totales augmentent, on prévoit que les précipitations seront concentrées dans le même nombre de jours de pluie (où les précipitations sont supérieures à 1 mm) que celui qui a été observé dans la période de référence.
- **Précipitations plus intenses** – Les précipitations maximales annuelles qui tombent en une journée devraient augmenter, passant d'environ 37 mm pour la période de référence à 39-39 mm dans les années 2030, 41-42 mm dans les années 2050 et 41-44 mm dans les années 2080. L'augmentation des précipitations correspond à une plus grande quantité de précipitations totales tombant le même nombre de jours de pluie (voir ci-dessus). Les précipitations extrêmes devraient augmenter pendant de nombreuses périodes (précipitations horaires, quotidiennes et sur plusieurs jours). Ces projections représentent une « année moyenne » (puisqu'elles sont établies sur des tranches de temps de 30 ans), pour une zone de 10 km x 10 km.
- **Diminution des chutes de neige annuelles** – Les chutes de neige annuelles devraient diminuer, passant d'environ 223 cm au cours de la période de référence à 193-201 cm au cours des années 2030, 184-179 cm au cours des années 2050 et 154-124 cm au cours des années 2080. Cela représente une diminution de 31 à 44 % d'ici les années 2080. En raison de la variabilité d'une année à l'autre, des valeurs semblables à la période de référence sont encore possibles après le milieu du siècle.
- **Saison d'enneigement plus courte** – La première chute de neige devrait avoir lieu plus tard dans l'année, et la dernière chute de neige devrait avoir lieu plus tôt. Par conséquent (et en raison de l'augmentation des températures), le nombre de jours avec couverture de neige devrait diminuer, passant d'environ 115 jours pour la période de référence à environ 95-94 jours dans les années 2030, 90-72 jours dans les années 2050 et 78-43 jours dans les années 2080.
- **Variabilité élevée de la neige extrême** – Les projections suggèrent une diminution de l'épaisseur maximale de la neige et des résultats mitigés pour les chutes de neige maximales journalières. Les projections moyennes suggèrent que les chutes de neige maximales annuelles sur une journée (moyenne dans toute la zone d'étude) passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080. Il y a une diminution d'ici les années 2080 pour le scénario à émissions élevées (RCP 8.5), mais pas pour le scénario à émissions modérées (RCP 4.5). Ces projections représentent les chutes de neige totales sur la zone à l'étude au cours d'une « année moyenne » (étant donné qu'elles sont des moyennes sur des

périodes de 30 ans). En raison de la variabilité d'une année à l'autre, des valeurs semblables ou supérieures à la période de référence sont encore possibles au-delà du milieu du siècle.

Projections éoliennes

- **Aucune tendance décelable dans les moyennes** – Les projections pour la vitesse mensuelle moyenne du vent indiquent peu ou pas de changement. Toutefois, seulement deux MRC disposant de projections éoliennes étaient disponibles pour cette étude, ce qui réduit la confiance dans les résultats.
- **Réduction du refroidissement éolien** – En raison du réchauffement des températures, les modèles prévoient que le nombre de jours avec refroidissement éolien entre -35 °C et -25 °C passera d'environ 17 jours pour la période de référence à 11-8 jours dans les années 2030, 6-5 jours dans les années 2050 et 5-1 jour dans les années 2080. Ces valeurs représentent une « année moyenne » (puisqu'elles sont moyennes sur des tranches de temps de 30 ans).

Projections sur l'humidité :

- **Aucune tendance décelable dans les moyennes** – Les projections sur l'humidité quotidienne (se produisant pendant la période la plus chaude de la journée) ne montrent pas de tendances. Il est à noter que les projections sur l'humidité (comme celles pour la neige et le vent) ont moins de modèles disponibles que les projections de température et de précipitations, et ont donc un taux de confiance inférieur.
- **Augmentation de l'humidex** – Le nombre de cas avec deux jours avec la valeur d'humidex supérieure à 40 (un indice important pour la santé publique) devrait passer d'environ un cas pour la période de référence à 4-4 cas dans les années 2030, 5-6 cas dans les années 2050 et 6-9 cas dans les années 2080. Il s'agit d'une augmentation de 5-8 cas en un siècle.

Événements extrêmes et autres phénomènes

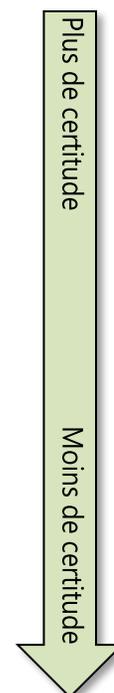
- **Pluie verglaçante et tempêtes de verglas** – Une augmentation possible de la pluie verglaçante pendant les mois les plus froids est prévue en raison de la fréquence plus élevée des conditions autour de 0 °C . Une diminution ou aucun changement est prévu pendant les saisons de transition.
- **Neige extrême et blizzards** – Les modèles prévoient généralement une diminution des chutes de neige moyennes, mais une grande variabilité d'une année à l'autre fait en sorte qu'il est difficile de prévoir les changements extrêmes.
- **Vents extrêmes et rafales** – Des augmentations sont possibles; toutefois, la documentation et les modèles à l'appui ne sont pas concluants pour le moment.
- **Tornades** – On ne sait pas avec certitude si la fréquence des tornades changera avec le climat; toutefois, on prévoit que les changements climatiques favoriseront les conditions atmosphériques qui favorisent leur formation.
- **Ouragans** – La quantité de précipitations produites par les ouragans et leur intensité augmenteront probablement en moyenne. De plus, la latitude d'intensité maximale semble se déplacer vers le nord, ce qui augmenterait l'exposition de la RCN à ces phénomènes.
- **Foudre** – Il n'y a pas de consensus scientifique sur la façon dont la fréquence et l'intensité de la foudre seront touchées par le changement climatique, bien que l'augmentation de l'activité convective suggère une augmentation possible.

- **Feux de forêt** – On prévoit que la saison des feux de forêt s’allongera et que le nombre et l’étendue des feux de forêt augmenteront, surtout dans les types de forêt boréale.
- **Qualité de l’air** – Il est possible que le réchauffement climatique aggrave certains aspects de la qualité de l’air, mais il n’y a pas suffisamment d’information pour tirer des conclusions.

Le tableau suivant présente un résumé simplifié des projections pour le scénario à émissions élevées RCP 8.5.

Résumé du climat futur dans la région de la capitale du Canada

À quoi s’attendre*	Années 2030	Années 2050	Années 2080
Température			
Température moyenne	↑ 1,8 °C	↑ 3,2 °C	↑ 5,3 °C
Jours très chauds (au-dessus de 30 °C)	2,5 fois plus	4 fois plus	6,5 fois plus
Jours très froids (moins de -10 °C)	20 % moins	35 % moins	65 % moins
Saisons			
Les hivers sont plus courts de	4 semaines	5 semaines	8 semaines
Les printemps sont plus tôt de	2 semaines	2 semaines	4 semaines
Gel-dégel hivernal	↑ 15 %	↑ 35 %	↑ 55 %
Précipitations			
Précipitations automne-hiver-printemps	↑ 5 %	↑ 8 %	↑ 12 %
Précipitations intenses	↑ 5 %	↑ 15 %	↑ 20 %
Chute de neige	↓ 10 %	↓ 20 %	↓ 45 %
Événements extrêmes			
Augmentation possible de la pluie verglaçante			
Le réchauffement favorise les conditions propices aux tempêtes et aux feux de forêt			



* Pour le scénario à émissions élevées RCP 8.5



2.3 Projections de températures

Le climat dans la RCN se réchauffe. Bien que cela puisse avoir certains avantages, cela aura des conséquences dans de nombreux secteurs et il faut examiner attentivement quels aspects du climat devraient changer, et à quelle vitesse. Le réchauffement devrait se manifester sous forme d'une augmentation des températures moyennes relativement constante tout au long de l'année. Par conséquent, on prévoit que janvier et février continueront d'être les mois les plus froids de l'année et que juillet continuera d'être le mois le plus chaud de l'année. En plus des changements dans les moyennes, le réchauffement dans la RCN devrait entraîner une diminution des froids extrêmes et une augmentation des chaleurs extrêmes, ainsi qu'un changement dans les caractéristiques saisonnières et le moment des cycles de gel et de dégel.

La principale cause du réchauffement est la modification du bilan énergétique de la terre à différentes échelles. Les changements de température sont habituellement influencés par des processus qui couvrent une plus grande superficie (comparativement aux précipitations). Cela signifie que les indices basés sur la température sont généralement modélisés avec une plus grande confiance par des modèles climatiques avec des grands mailles de grille (GIEC, 2013).

Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus pour l'ensemble de la zone de la RCN. Les cartes de certains indices basés sur la température (c.-à-d. montrant une variation spatiale limitée) sont présentées à la section 2.7.

Dans le présent rapport, les deux valeurs déclarées pour chaque indice (p. ex., 5-8 °C) ne sont pas des fourchettes; elles représentent les valeurs moyennes pour les scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5). Lorsqu'une diminution est prévue, par exemple pour la quantité de neige, la deuxième valeur sera inférieure à la première valeur.

2.3.1 Augmentation de la température moyenne (toutes les saisons)

La **température annuelle moyenne** (Figure 2.6) est un indice important pour la RCN parce qu'elle résume le degré global de réchauffement projeté. Le réchauffement global aura des répercussions dans la plupart des secteurs. La température annuelle moyenne dans la RCN, qui s'élève à environ 6,1 °C pour la période de référence, devrait passer à environ 7,5-7,9 °C dans les années 2030, 8,2-9,3 °C dans les années 2050 et 8,8-11,4 °C dans les années 2080. Il s'agit d'une augmentation substantielle de 2,7-5,3 °C en moins d'un siècle.

Les valeurs indiquées ici sont les conditions moyennes sur une période de 30 ans. Chaque année, les températures annuelles moyennes pourraient être supérieures ou inférieures à ces moyennes de 30 ans, en raison de la variabilité du climat d'une année à l'autre. La variabilité d'une année à l'autre est visible (en partie) à partir des hauts et des bas des lignes épaisses dans la série chronologique ci-dessous (bien que cette ligne représente la moyenne de nombreux modèles et soit une version lissée de la variabilité réelle). La plage entre le 10e et le 90e centiles

de l'ensemble de modèles (calculée pour chaque année) est indiquée dans les couleurs ombrées. Pour de plus amples renseignements, veuillez consulter l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*.

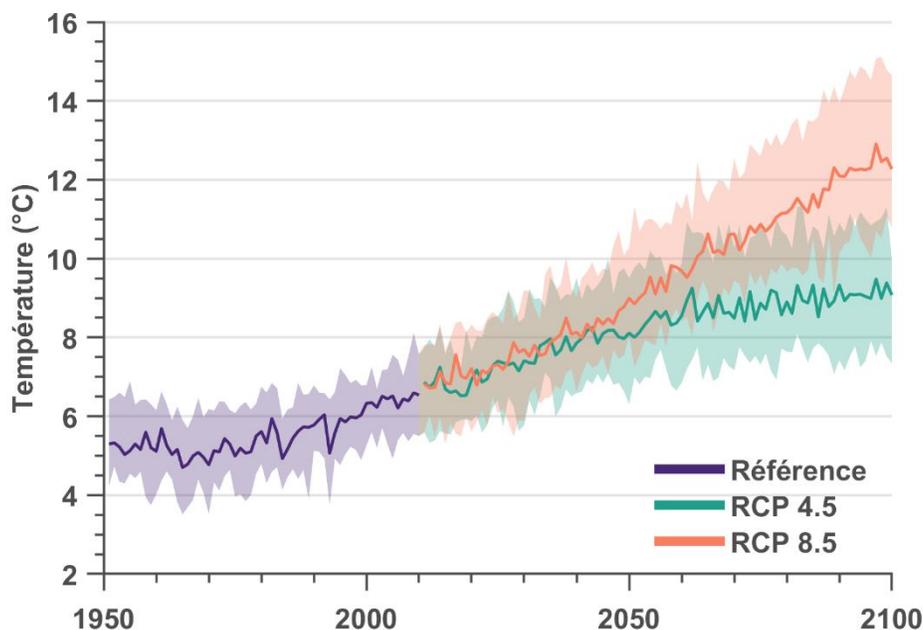


Figure 2.6: Température annuelle moyenne

Fait intéressant, l'augmentation des températures dans la RCN devrait être relativement constante tout au long de l'année (aucune saison ne devrait se réchauffer beaucoup plus rapidement que les autres). Le graphique des **températures moyennes mensuelles** (Figure 2.7) montre que des augmentations relativement semblables des températures moyennes sont prévues pour chaque mois (les lignes sont parallèles). Cette figure montre seulement la médiane de l'ensemble des MCG, statistiquement mis à l'échelle locale, et ne donne donc pas de mesure de l'incertitude (voir l'ANNEXE F – *Graphiques des indices climatiques* pour les 10e et 90e centiles de l'ensemble de modèles). À partir de ce graphique, on peut également lire que, d'ici les années 2080, les températures moyennes de janvier (étoile bleue) seront à peu près celles des températures moyennes de mars (étoile rouge) pendant la période de référence. Des conseils sur l'interprétation de ces graphiques mensuels sont disponibles à l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*.

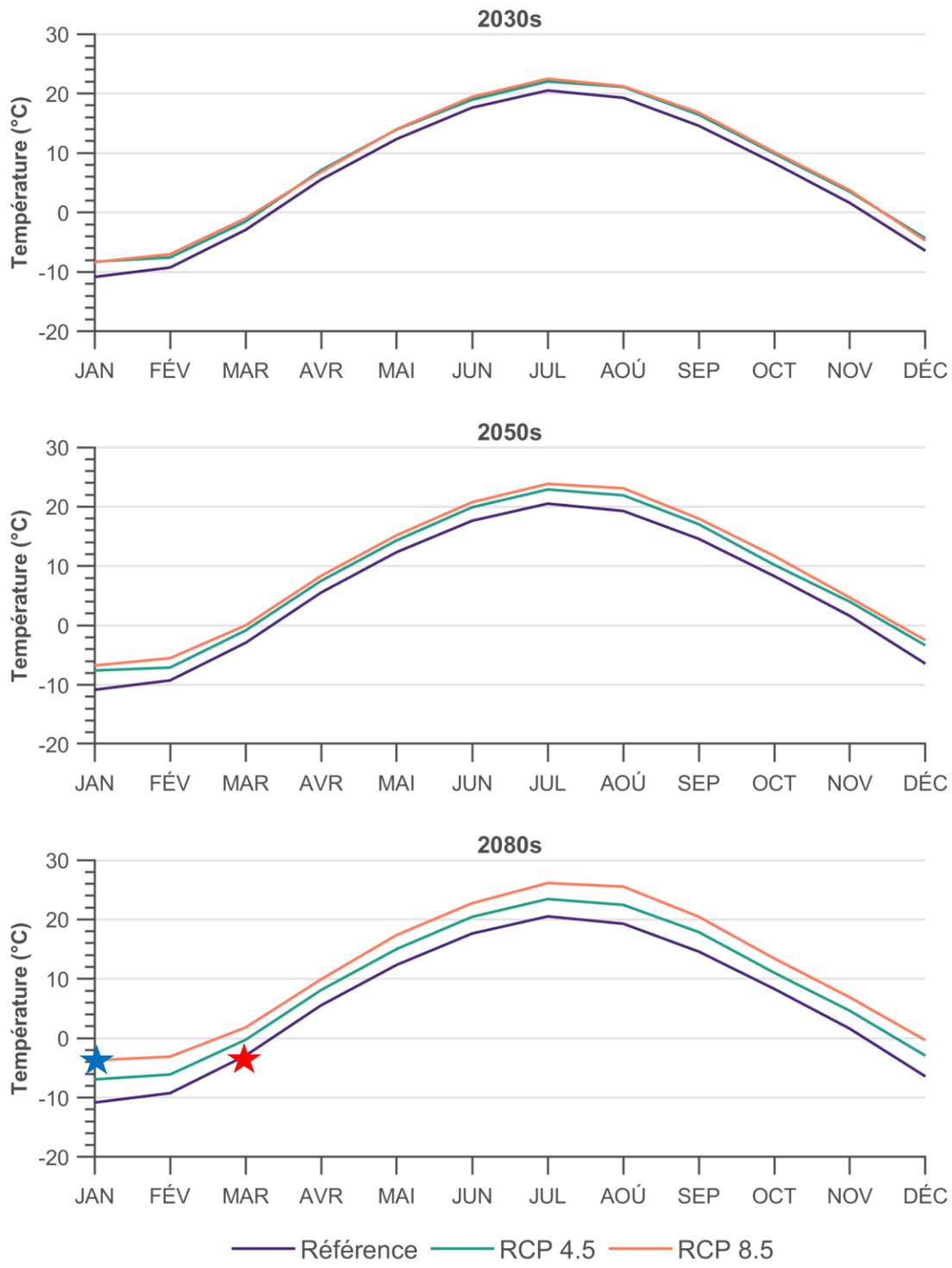


Figure 2.7: Température moyenne mensuelle (seule la médiane est indiquée). L'étoile bleue montre les températures moyennes de janvier (années 2080) et l'étoile rouge montre les températures moyennes de mars (période de référence).

Conformément au réchauffement qui devrait être relativement constant tout au long de l'année, le **moment du mois le plus froid** et le **moment du mois le plus chaud** devraient demeurer les mêmes que pendant la période de référence (les mois de janvier et de février continueront d'être les mois les plus froids, et juillet continuera d'être le mois le plus chaud). Ces indices sont calculés comme le mois où le plus grand nombre de MCG statistiquement mis à l'échelle locale indique qu'il s'agit du mois le plus froid et le plus chaud de chaque période de 30 ans.

2.3.2 Moins de froids extrêmes

Tous les modèles projettent que les températures maximales diurnes et les températures minimales nocturnes augmenteront, mais on prévoit que les températures minimales nocturnes augmenteront plus rapidement. Par conséquent, on s'attend à une diminution de la fréquence et de l'intensité des épisodes de froid extrême, en particulier pendant la nuit. L'évolution des phénomènes de froid extrême a des répercussions sur un certain nombre de secteurs, y compris, mais sans s'y limiter, la patinoire du canal Rideau, la mort des ravageurs forestiers et les services de gestion des urgences.

L'une des méthodes utilisées pour étudier les extrêmes de froid consiste à calculer la température mensuelle la plus froide, qui est définie comme le minimum nocturne d'un mois donné. Pour la période de référence, la **température mensuelle la plus froide pour janvier** (Figure 2.8) était en moyenne d'environ $-30,0$ °C. L'ensemble des MCG à statistiquement mis à l'échelle locale prévoit des valeurs d'environ $-26,9$ - $-26,2$ °C dans les années 2030, $-25,2$ - $-22,9$ °C dans les années 2050 et $-23,4$ - $-18,2$ °C dans les années 2080. Il s'agit d'une augmentation d'environ $6,6$ - $11,8$ °C d'ici les années 2080. À noter que ces valeurs ne représentent pas les températures les plus froides qui pourraient être observées en janvier, mais plutôt les conditions d'une « année moyenne » (puisqu'elles sont calculées sur des tranches de temps de 30 ans). Par conséquent, cet indice aide à décrire la « nouvelle normale » projetée pour la température la plus froide de janvier dans la RCN.

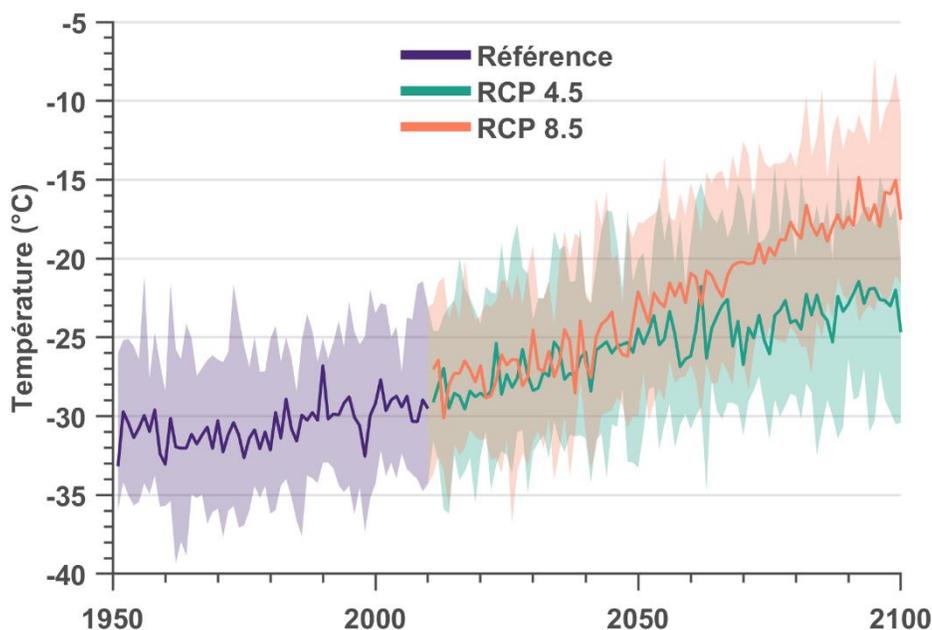


Figure 2.8: Température mensuelle la plus froide — Janvier

Non seulement les froids extrêmes devraient être moins graves, mais ils devraient aussi être moins fréquents en moyenne. Bien que la température mensuelle la plus froide soit un indice qui illustre la gravité des extrêmes de froid, la fréquence peut être illustrée à l'aide d'un indice de dépassement d'un seuil. Par exemple, le nombre de jours où la température minimale quotidienne est inférieure à -10 °C (« **phénomènes de gel profond** »; Figure 2.9) devrait diminuer, passant d'environ 71 jours par année pour la période de référence à environ 59-57 jours dans les années 2030, 53-46 jours dans les années 2050 et 48-28 jours dans les années 2080.

Ces résultats sont présentés dans les diagrammes ci-dessous. Pour créer ces diagrammes, les moyennes pour chaque modèle sont d'abord calculées pour les tranches de temps de 30 ans. La *moyenne* de ces valeurs est ensuite indiquée par la ligne foncée au centre de la boîte, ce qui représente la projection du milieu de la plage pour les conditions moyennes sur 30 ans. La boîte à moustaches (les lignes qui s'étendent à partir de la boîte) montre la variabilité entre les modèles et peut être interprétée comme l'incertitude dans les projections; plus la moustache est longue, plus l'incertitude est grande (voir l'ANNEXE B – *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*).

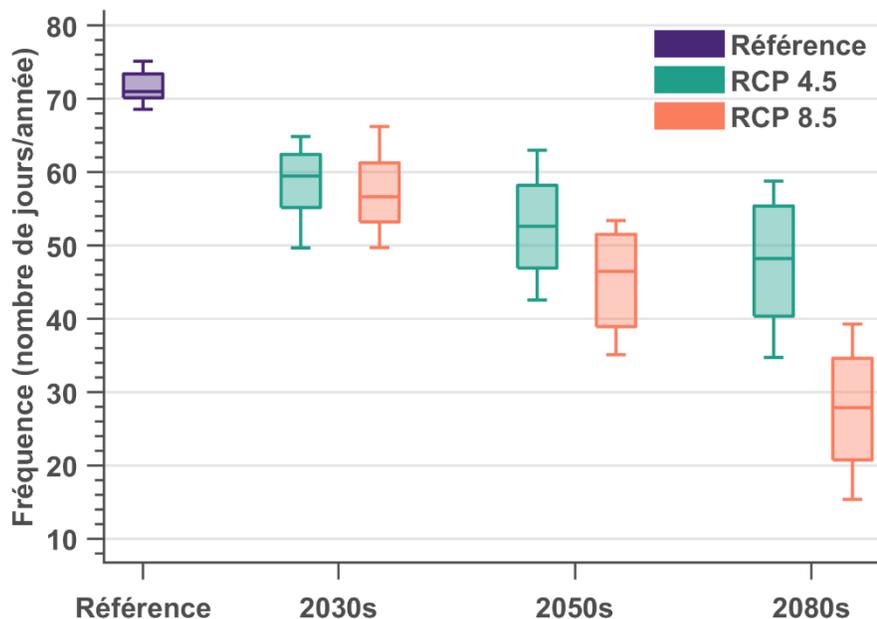


Figure 2.9: Nombre d'événements de gel profond (Temp. min. quotidienne < -10 °C)

2.3.3 Plus de chaleurs extrêmes

Alors qu'on s'attend à ce que les froids extrêmes diminuent en intensité et en fréquence, on s'attend à ce que les chaleurs extrêmes augmentent en intensité et en fréquence. L'un des indices de chaleur extrême est la **température la plus chaude de l'année** (Figure 2.10), qui est définie comme la température diurne la plus élevée au cours d'un mois donné (habituellement pendant les mois d'été). La température la plus chaude de l'année, qui s'élève à environ $33,5\text{ °C}$ pour la période de référence, devrait passer à environ $35,3\text{-}35,6\text{ °C}$ dans les années 2030, $36,2\text{-}37,1\text{ °C}$

dans les années 2050 et 36,7-39,7 °C dans les années 2080. Il s'agit d'une augmentation d'environ 3,2-6,2 °C d'ici les années 2080. Comme il est décrit ci-dessus, ces valeurs représentent les conditions d'une « année moyenne », pendant les tranches de 30 ans.

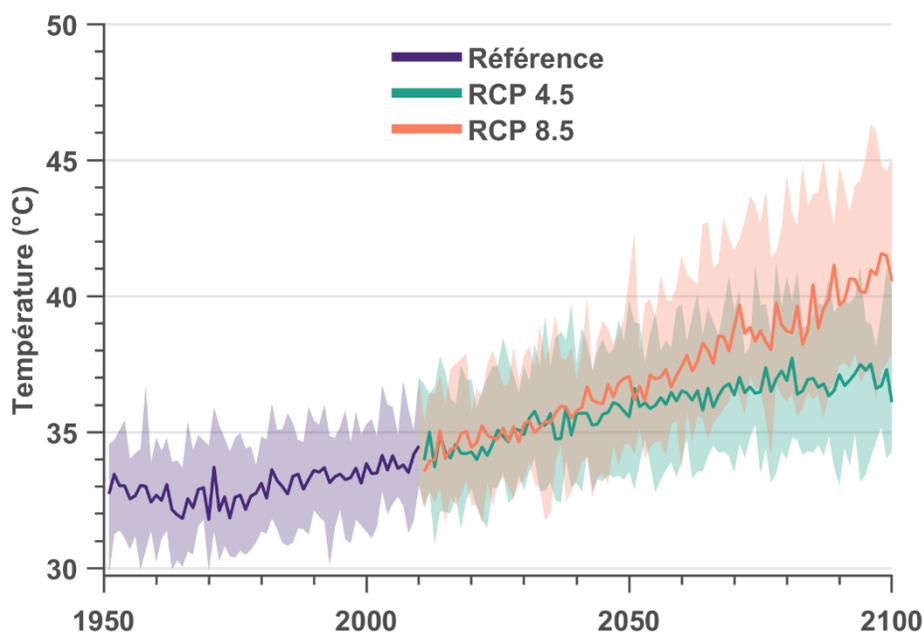


Figure 2.10: Température la plus chaude de l'année

Non seulement on prévoit que les épisodes de chaleurs extrêmes deviendront plus chauds, mais on prévoit aussi qu'ils deviendront plus fréquents. Le nombre de jours chauds et le nombre de vagues de chaleur sont des indices qui évaluent la fréquence des épisodes de chaleur extrême. Pour la période de référence, la RCN a connu environ 11 jours qui ont atteint 30 °C par année (« **jours chauds** »; Figure 2.11). Le nombre de jours chauds devrait passer à environ 25-28 jours dans les années 2030, 32-43 jours dans les années 2050 et 36-72 jours dans les années 2080 (Figure 2.11). Il s'agit d'un changement radical, avec (en moyenne) plus de deux fois plus de jours chauds dans les années 2030, 2-3 fois plus dans les années 2050 et 3-6 fois plus dans les années 2080. Cette constatation a des répercussions importantes parce qu'elle représente ce que l'on vit comme « chaleur estivale » dans la RCN.

La fréquence des vagues de chaleur (Figure 2.12) est un seuil sur plusieurs jours. Elle est définie comme le nombre de périodes où la température quotidienne maximale est de plus de 31 °C et la température quotidienne minimale est de plus de 20 °C pendant au moins deux jours consécutifs. La fréquence des vagues de chaleur est négligeable pour la période de référence (pour l'« année moyenne » fondée sur une médiane de 30 ans). Toutefois, on prévoit qu'elles passeront à environ 1-1 vague dans les années 2030, 1-3 vagues dans les années 2050 et 2-6 vagues dans les années 2080 (Figure 2.12). Il est à noter que la variabilité entre les modèles pour cet indice est élevée (comme l'indique la largeur des régions ombrées). Cette grande incertitude est en partie attribuable au fait qu'il est plus difficile de prévoir un indice ayant une faible valeur numérique (c.-à-d. qu'il est plus rare). Néanmoins, ces tendances ont d'importantes

répercussions sur le secteur de la santé publique et des retombées sur d'autres secteurs comme les loisirs et la gestion des urgences.

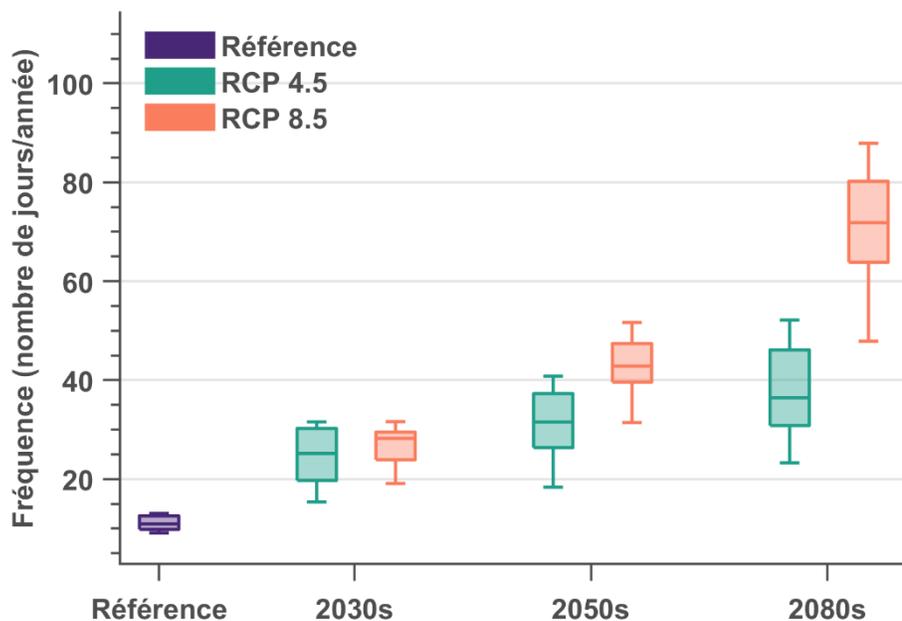


Figure 2.11: Nombre de jours chauds (température maximale quotidienne > 30 °C)

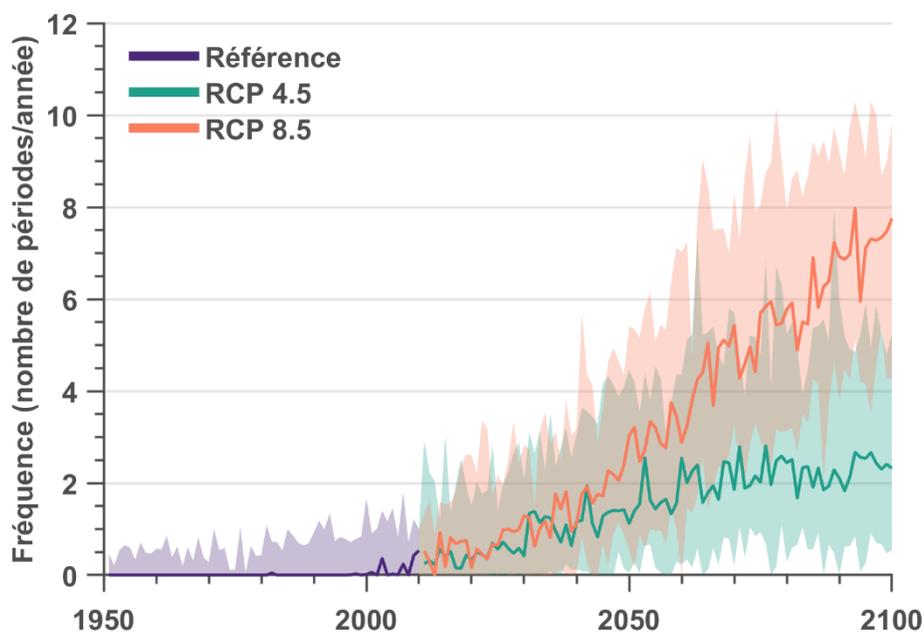


Figure 2.12: Fréquence des vagues de chaleur (température maximale sur 2 jours > 31 °C et température minimale > 20 °C)

2.3.4 Modification des caractéristiques saisonnières

Les saisons de cette étude sont définies en fonction des mois, l'hiver ayant lieu de décembre à février, le printemps de mars à mai, l'été de juin à août et l'automne de septembre à novembre. À mesure que les températures changent, les caractéristiques moyennes de ces saisons changent également. Certains indices fondés sur des seuils (comme le moment du premier gel automnal) devraient se produire à des moments différents de ce qu'ils auraient été par le passé. Les caractéristiques saisonnières ont des répercussions sur la végétation (aménagement paysager, agriculture et aménagement forestier), ainsi que sur les loisirs et le tourisme.

Le **moment du premier gel automnal** (Figure 2.13) est défini comme le premier jour où les températures quotidiennes minimales sont $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pour la période de référence, le gel commence à se produire, en moyenne, à la fin de septembre ou au début d'octobre. À mesure que le siècle avance, on prévoit que le premier jour de gel automnal se déplacera vers octobre, soit environ 1-2 semaines plus tard dans les années 2030, 2-3 semaines plus tard dans les années 2050 et 3-4 semaines plus tard dans les années 2080. On prévoit que le **dernier gel printanier** (le dernier jour où les températures quotidiennes minimales sont $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Figure 2.14) se produira environ 1-2 semaines plus tôt dans les années 2030 et 2050, et 2-4 semaines plus tôt dans les années 2080, comparativement à la période de référence. Autrement dit, le dernier jour de gel printanier devrait passer du début mai/mi-mai à la fin avril. Les conditions sans gel devraient être la nouvelle normale pour septembre et mai.

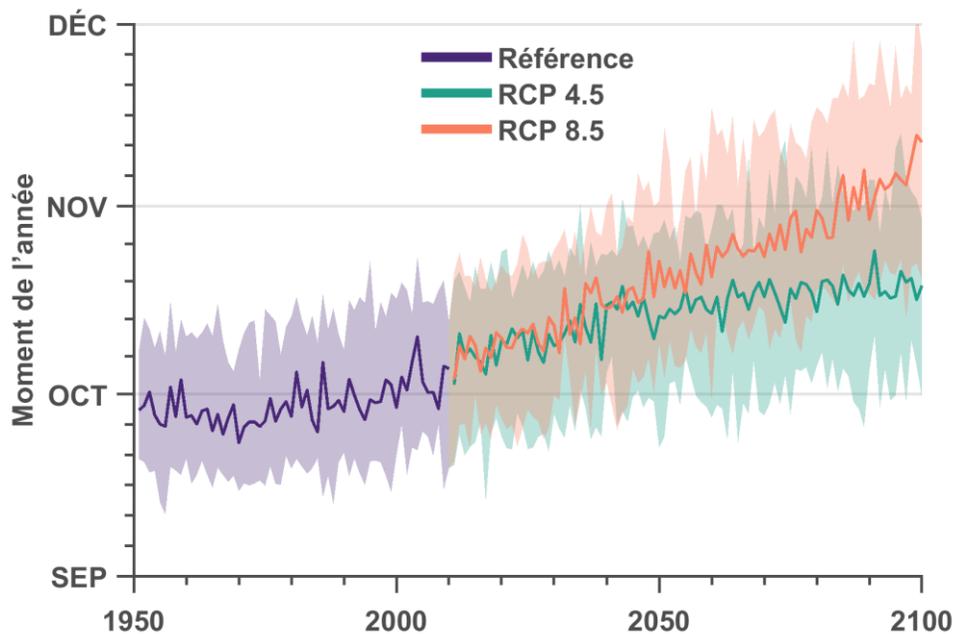


Figure 2.13: Moment du premier gel d'automne

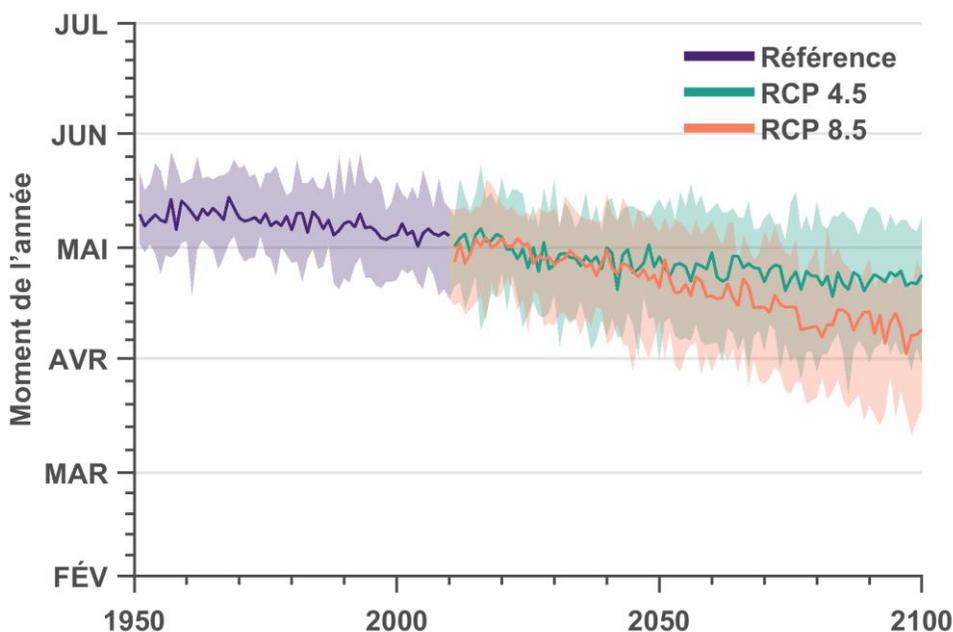


Figure 2.14: Moment du dernier gel printanier

Les changements dans les caractéristiques des saisons et le moment des changements de température dans l'année sont particulièrement importants pour le calendrier des activités agricoles et de l'aménagement paysager. Les indices supplémentaires disponibles à l'ANNEXE E – *Graphiques des indices climatiques* comprennent la durée de la saison de croissance (augmentation prévue), le moment de l'émergence des tulipes, le moment de la floraison des tulipes et les unités thermiques du maïs.

2.3.5 Variation des cycles de gel et de dégel

Les changements saisonniers affectent aussi les cycles de gel et de dégel. Le nombre de cycles de gel et de dégel est un indice important, notamment pour estimer l'effet d'altération sur les matériaux de construction et sur les opérations des routes d'hiver.

Les modèles prévoient que les températures hivernales se maintiendront autour de 0 °C plus fréquemment à l'avenir. Par conséquent, on prévoit que le nombre de jours des **cycles de gel et de dégel hivernaux** (définis comme le nombre de jours où la température quotidienne maximale dépasse 0 °C et la température quotidienne minimale est inférieure à 0 °C, de décembre à février; Figure 2.15) passera d'environ 24 jours pour la période de référence à environ 28-27 jours dans les années 2030, de 30-32 jours dans les années 2050 et de 32-37 jours dans les années 2080. Ces valeurs représentent les « conditions moyennes » sur une période de 30 ans. Une assez grande plage de valeurs est projetée pour cet indice (les boîtes dans les diagrammes sont étirées verticalement), ce qui indique une plus grande incertitude associée à cet indice.

Contrairement à la période hivernale, le **nombre de cycles de gel et de dégel** qui se produisent au printemps [mars-mai] et à l'automne [septembre-novembre] devrait diminuer. Par exemple, on prévoit que les cycles de gel et de dégel automnaux passeront d'environ 24 jours dans la période de référence à environ 19-18 jours dans les années 2030, 17-14 jours dans les années 2050 et 16-8 jours dans les années 2080. Cela correspond à une diminution d'environ 20-25 % pour les années 2030, de 30-40 % pour les années 2050 et de 30-70 % pour les années 2080. Le **nombre annuel de cycles de gel et de dégel** (en tenant compte des tendances des saisons hivernales et des intersaisons) devrait diminuer dans l'ensemble (non illustré ici, voir l'ANNEXE F1 – *Graphiques des indices climatiques*).

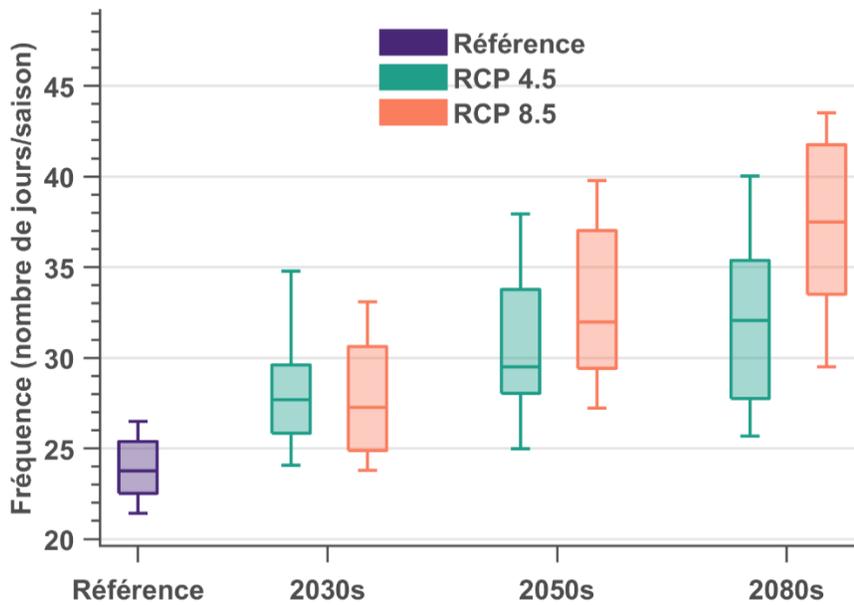


Figure 2.15: Cycles saisonniers de gel et de dégel — hiver

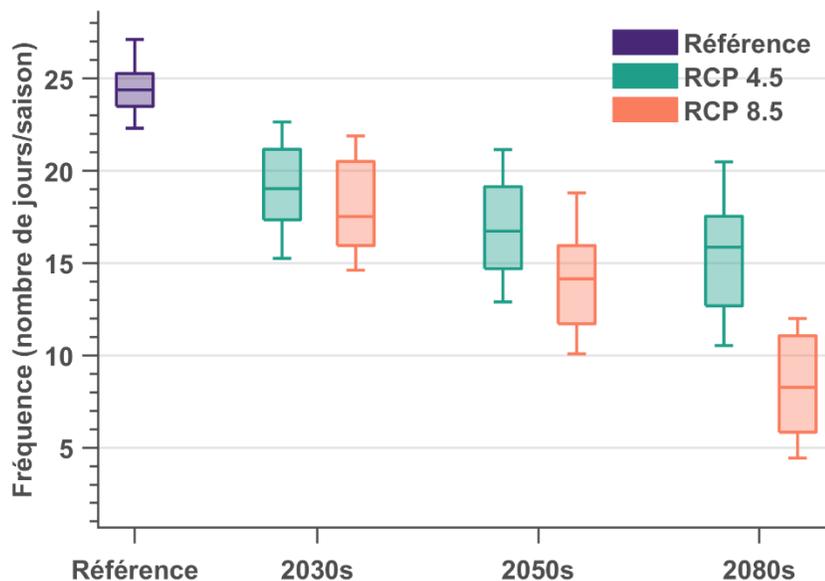


Figure 2.16: Cycles saisonniers de gel et de dégel — automne

2.4 Projections des précipitations

Les tendances des précipitations dans la RCN changent. On prévoit une augmentation des précipitations totales (qui comprennent les pluies et les chutes de neige) pour l'hiver et les saisons intermédiaires, sans changement important pour l'été. De plus, des précipitations plus intenses sont prévues. Les précipitations peuvent être plus difficiles à modéliser que la température, en raison de la nature localisée des processus en cause (les orages, par exemple). C'est pourquoi l'ensemble des MCG statistiquement mis à l'échelle locale présentée ici présente une gamme plus large de taux possibles de changement; malgré la large dispersion des valeurs, les modèles s'entendent sur la direction du changement pour la plupart des indices de précipitations.

Les projections de précipitations présentées dans cette section sont obtenues comme la moyenne de toutes les cellules de grille de 10 km x 10 km situés dans la zone du projet. Les cartes sont également présentées à la section 2.7 et à l'ANNEXE F — *Graphiques sur les indices climatiques*, bien qu'aucune variation spatiale significative n'ait été observée pour les indices de précipitations. Dans ce projet, la variation est considérée comme importante lorsque la variation spatiale de la médiane dans la zone du projet est plus grande que l'écart entre les modèles.

Les projections pour la neige (sections 2.4.4 à 2.4.6) sont dérivées de l'ensemble des MRC plutôt que des MCG statistiquement mis à l'échelle locale et sont représentées par des lignes individuelles (plutôt que le 90e et le 10e centiles) et des graphiques en nuage de points (plutôt que des diagrammes avec des boîtes). Ces projections sont plus incertaines parce que l'ensemble est plus petit. En outre, les projections représentent la neige qui tomberait sur l'ensemble de la zone du projet (plutôt qu'une zone de 10 km x 10 km comme pour les précipitations). Cela signifie que les valeurs représentent la moyenne spatiale sur la région. Ceci entraîne également un processus de lissage des variations spatiales potentielles des valeurs, en particulier les extrêmes. La diminution des chutes de neige, de la durée de la saison d'enneigement et de la neige extrême projetée par les modèles est conforme à la compréhension scientifique selon laquelle plus les températures augmentent, plus de neige devrait tomber sous forme de pluie. Toutefois, bien que les tendances indiquent des baisses globales, il y a une grande variabilité d'une année à l'autre, et des saisons avec une couverture de neige longue ou épaisse ou des événements avec des chutes de neige abondantes pourraient encore se produire au XXIe siècle.

2.4.1 Augmentation des précipitations totales (sauf en été)

Les précipitations totales sont la somme de tous les types de précipitations et comprennent la pluie et la neige. Les précipitations annuelles totales ont des répercussions sur un certain nombre de secteurs, comme l'approvisionnement en eau, la gestion forestière et la qualité de l'eau des rivières et des lacs. Les **précipitations annuelles totales** montrent comment les régimes de précipitations devraient changer, sans faire de distinction entre les saisons, les niveaux d'intensité ou les types d'événements (p. ex., orage par rapport à un événement de plusieurs jours). On s'attend à ce que les précipitations annuelles totales dans la RCN passent

d'environ 921 mm/an pour la période de référence à environ 949-968 mm dans les années 2030, 979-993 mm dans les années 2050 et 983-1028 mm dans les années 2080.

Les valeurs indiquées ici sont les conditions moyennes sur une période de 30 ans. Cependant, la variabilité d'une année à l'autre est élevée, ce qui signifie qu'il pourrait y avoir beaucoup plus de précipitations qui tombent certaines années, mais pas d'autres. La variabilité d'une année à l'autre est visible (en partie) à partir des hauts et des bas des lignes épaisses dans la série chronologique ci-dessous (bien que cette ligne représente la moyenne de nombreux modèles et soit une version lissée de la variabilité réelle). La plage des valeurs entre les 10e et 90e centiles de l'ensemble de modèles (pour chaque année) est ombrée.

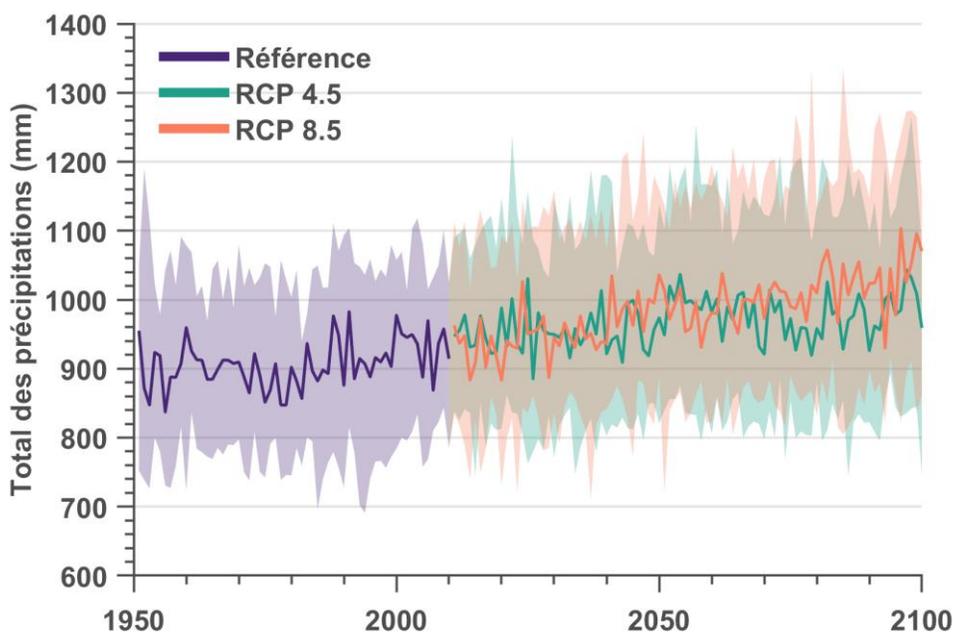


Figure 2.17: Précipitations annuelles totales

Lorsque les projections des précipitations totales sont examinées sur une base mensuelle, il est évident que l'augmentation des précipitations devrait être concentrée pendant l'hiver et les saisons intermédiaires, sans augmentation (et dans certains cas, une légère diminution) prévue pour juin et septembre. Bien que pendant la période de référence, les mois de juin à septembre ont reçu la plus grande part des précipitations annuelles totales, les projections suggèrent que d'ici les années 2080, ces mois pourraient être parmi ceux où la part des précipitations annuelles totales est la plus faible. Il est à noter que la figure 2.18 montre seulement la médiane de l'ensemble des MCG statistiquement mis à l'échelle locale et ne donne donc pas de mesure de l'incertitude (voir l'ANNEXE D – *Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes* pour les 10e et 90e centiles de l'ensemble de modèles).

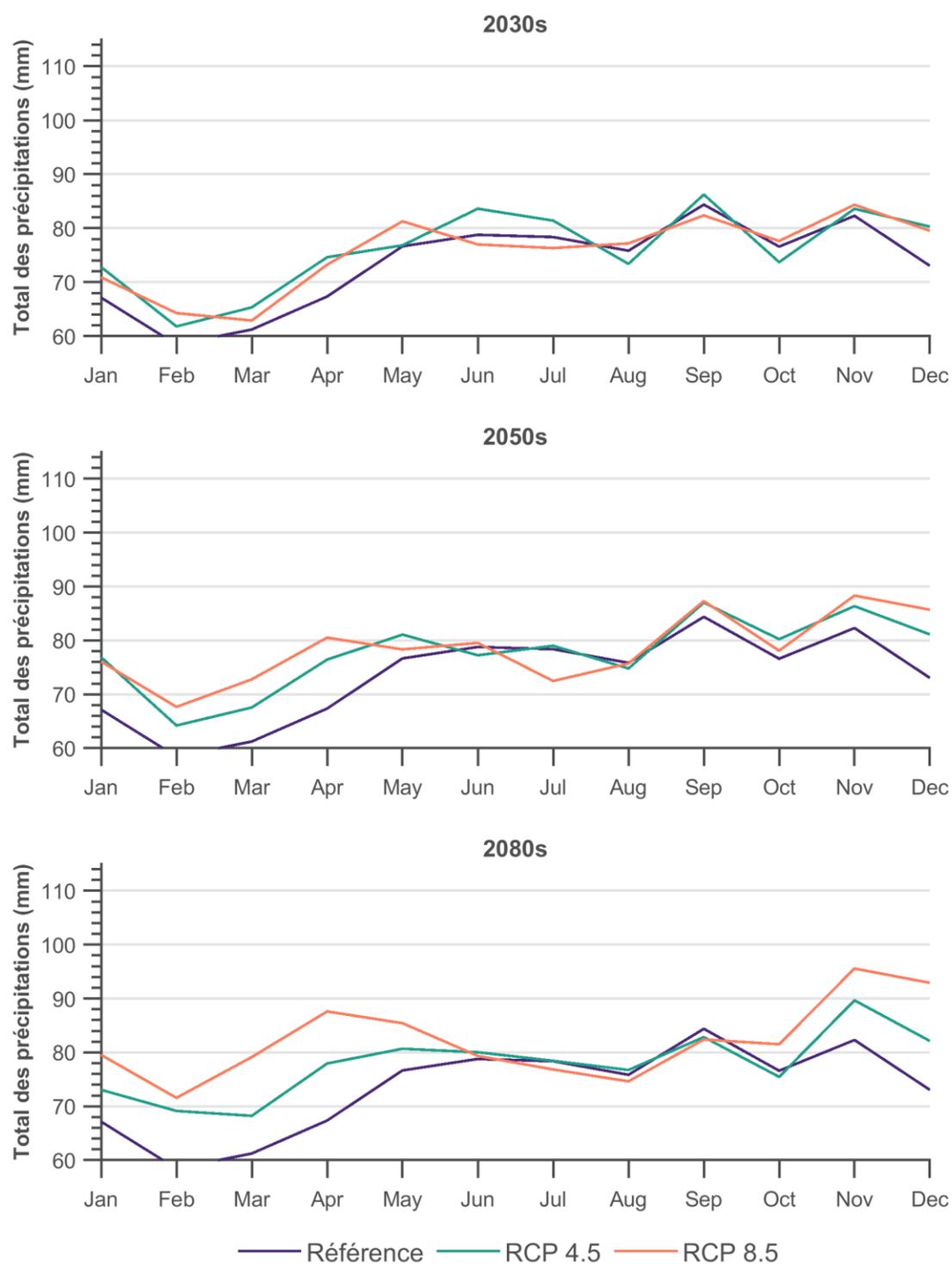


Figure 2.18: Précipitations mensuelles totales (seule la médiane est indiquée)

2.4.2 Aucune modification de la fréquence des jours de pluie

La **fréquence des jours de pluie** est un indice qui représente le nombre de jours où les précipitations se produisent. Il est défini comme le nombre de jours où les précipitations sont supérieures à 1 mm et a des répercussions sur l'altération des routes et des bâtiments, les loisirs, le tourisme et l'agriculture. La fréquence des jours de pluie dans la RCN ne devrait pas changer (voir l'ANNEXE F2 - *Graphiques des indices climatiques*).

Étant donné qu'il y a plus de précipitations au total, mais qu'il n'y a pas d'augmentation du nombre de jours avec des précipitations, il s'ensuit que la quantité de précipitations les jours avec des précipitations doit augmenter. C'est effectivement ce que l'on trouve dans les projections (voir la section suivante).

La **longueur maximale des périodes sèches** est une mesure du nombre de jours consécutifs où les précipitations quotidiennes sont < 1 mm. Ce nombre n'indique pas de sécheresses extrêmes puisqu'il est calculé en moyenne sur la période de 30 ans. Il s'agit d'un indice important parce qu'il représente des périodes où les précipitations n'approvisionnent pas les lacs, les arbres, les cultures et les forêts. La **longueur maximale des périodes pluvieuses** est définie comme le nombre de jours consécutifs où les précipitations quotidiennes sont supérieures à 1 mm. Ni la longueur maximale des périodes sèches ni la longueur maximale des périodes pluvieuses ne devraient changer (voir l'ANNEXE F2 - *Graphiques sur les indices climatiques*). Toutefois, il est à noter que les projections montrent une grande fourchette entre les 10^e et 90^e centiles de l'ensemble du modèle (il s'agit d'une mesure de l'incertitude de ces projections), ainsi que pour la variabilité d'une année à l'autre. Il est possible que la variabilité interannuelle demeure élevée, ce qui fait que certaines années sont plus sèches que d'autres.

2.4.3 Précipitations plus intenses

L'augmentation de l'intensité des précipitations (la quantité de précipitations qui tombent pendant un événement de pluie donné) a des répercussions sur un certain nombre de secteurs, par exemple, l'infrastructure (conception des écoulements d'eaux pluviales) et le transport. Les indices ci-dessous examinent les précipitations en termes de fréquence et d'intensité. Les projections sont présentées ici d'abord annuellement, puis ventilées par mois. Il est à noter que ces projections sont la moyenne de toutes les cellules de grille de 10 km x 10 km dans la zone d'étude; cela signifie que toute précipitation survenant à des échelles spatiales plus petites que la cellule de grille est lissée.

Le **nombre de jours avec des précipitations de plus de 20 mm** (indice qui mesure la fréquence des précipitations intenses), qui est d'environ 6 jours pour la période de référence, devrait atteindre 7-7 jours dans les années 2030, 8-8 jours dans les années 2050 et 8-9 jours dans les années 2080.

Ces résultats sont présentés dans les graphiques ci-dessous. Pour créer ces graphiques, les moyennes sur les tranches de temps de 30 ans sont d'abord calculés pour chaque modèle. La moyenne de ces valeurs est ensuite indiquée par la ligne foncée au centre de la boîte, ce qui représente la projection du milieu de la plage pour les conditions moyennes sur 30 ans. La boîte

à moustaches (les lignes qui s'étendent à partir de la boîte) montre la variabilité entre les modèles et peut être interprétée comme l'incertitude dans les projections; plus la moustache est longue, plus l'incertitude est grande (voir l'ANNEXE F – *Graphiques sur les indices climatiques*).

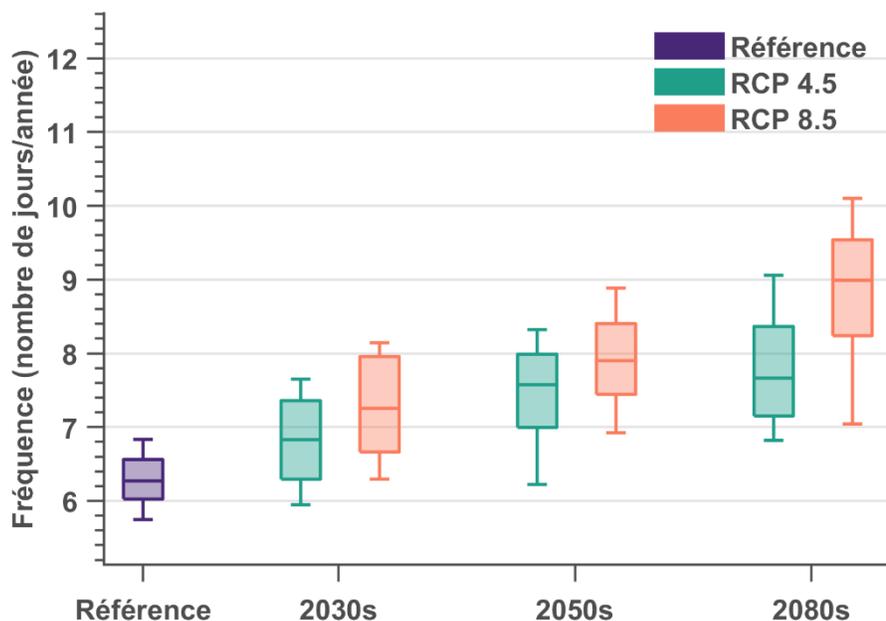


Figure 2.19: Nombre de jours de précipitations de plus de 20 mm

De plus, on s'attend à ce que les **précipitations maximales annuelles sur une journée** (jour le plus humide de l'année) passent d'environ 37 mm dans la période de référence à 39-39 mm dans les années 2030, 41-42 mm dans les années 2050 et 41-44 mm dans les années 2080. Cela représente une augmentation de 11 à 19 % d'ici les années 2080, comparativement à l'augmentation de 7-12 % prévue pour les précipitations annuelles totales. En d'autres termes, les projections suggèrent que l'intensité des précipitations sur une journée augmentera plus rapidement que les précipitations totales.

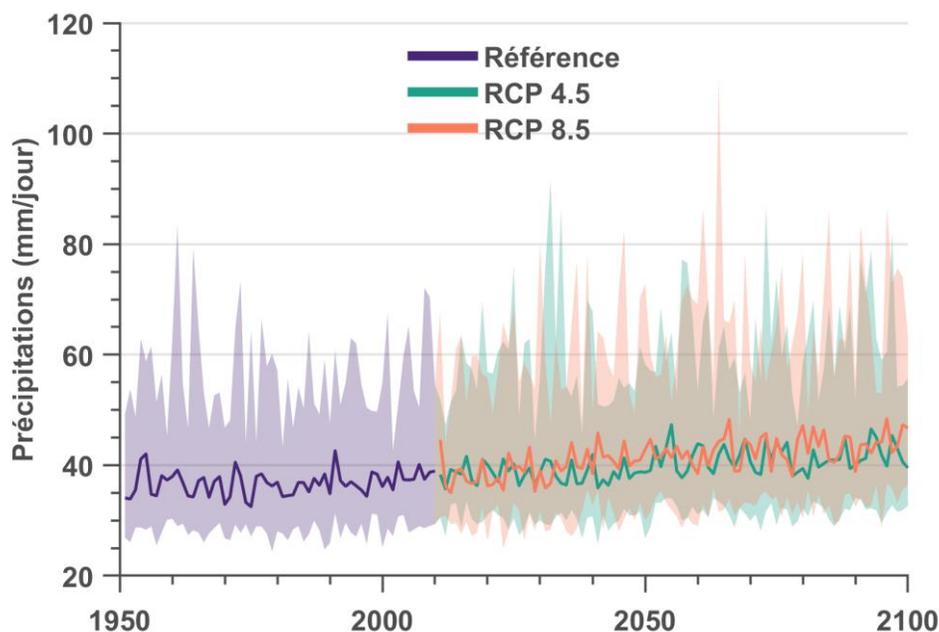


Figure 2.20: Précipitations annuelles maximales sur une journée

Lorsque ces projections sont ventilées par mois, il devient évident que l'augmentation de l'intensité des précipitations sera concentrée pendant l'hiver et les saisons intermédiaires (c.-à-d. d'octobre à mai).

Le **nombre de jours avec des précipitations supérieures à 10 mm** et les **précipitations quotidiennes maximales** sont indiqués sur les graphiques mensuels ci-dessous. Il est à noter que ces chiffres ne montrent que la médiane de l'ensemble des MCG statistiquement mis à l'échelle locale et ne donnent donc pas de mesure de l'incertitude (voir l'ANNEXE D – *Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes* pour les 10e et 90e centiles de l'ensemble de modèles). Notez que les maximums mensuels (Figure 2.22) sont inférieurs aux maximums annuels (Figure 2.20) parce que le maximum annuel est calculé à partir des valeurs qui se produisent dans n'importe quel mois.

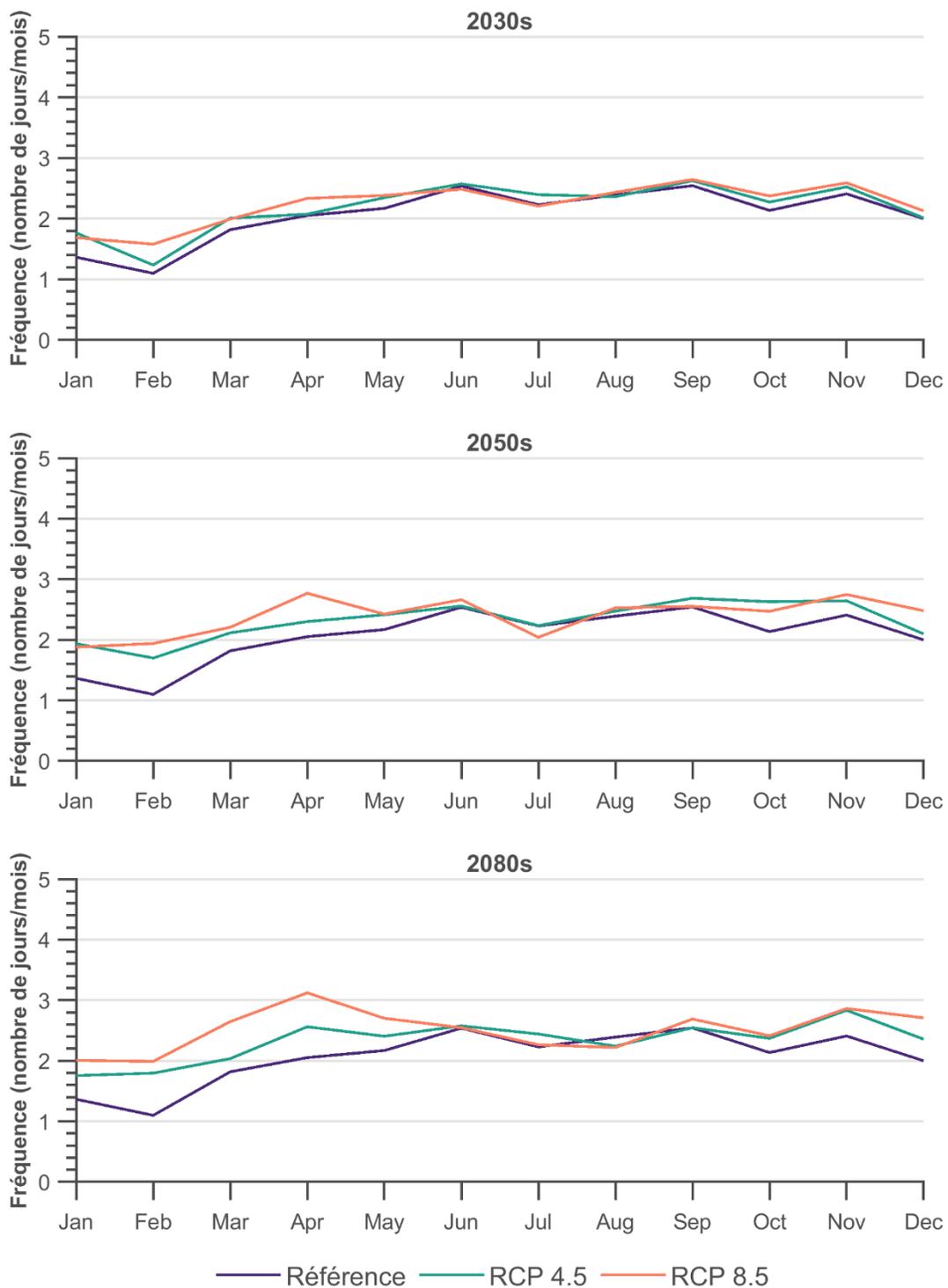


Figure 2.21: Nombre mensuel de jours de précipitations de plus de 10 mm (seule la médiane est indiquée)

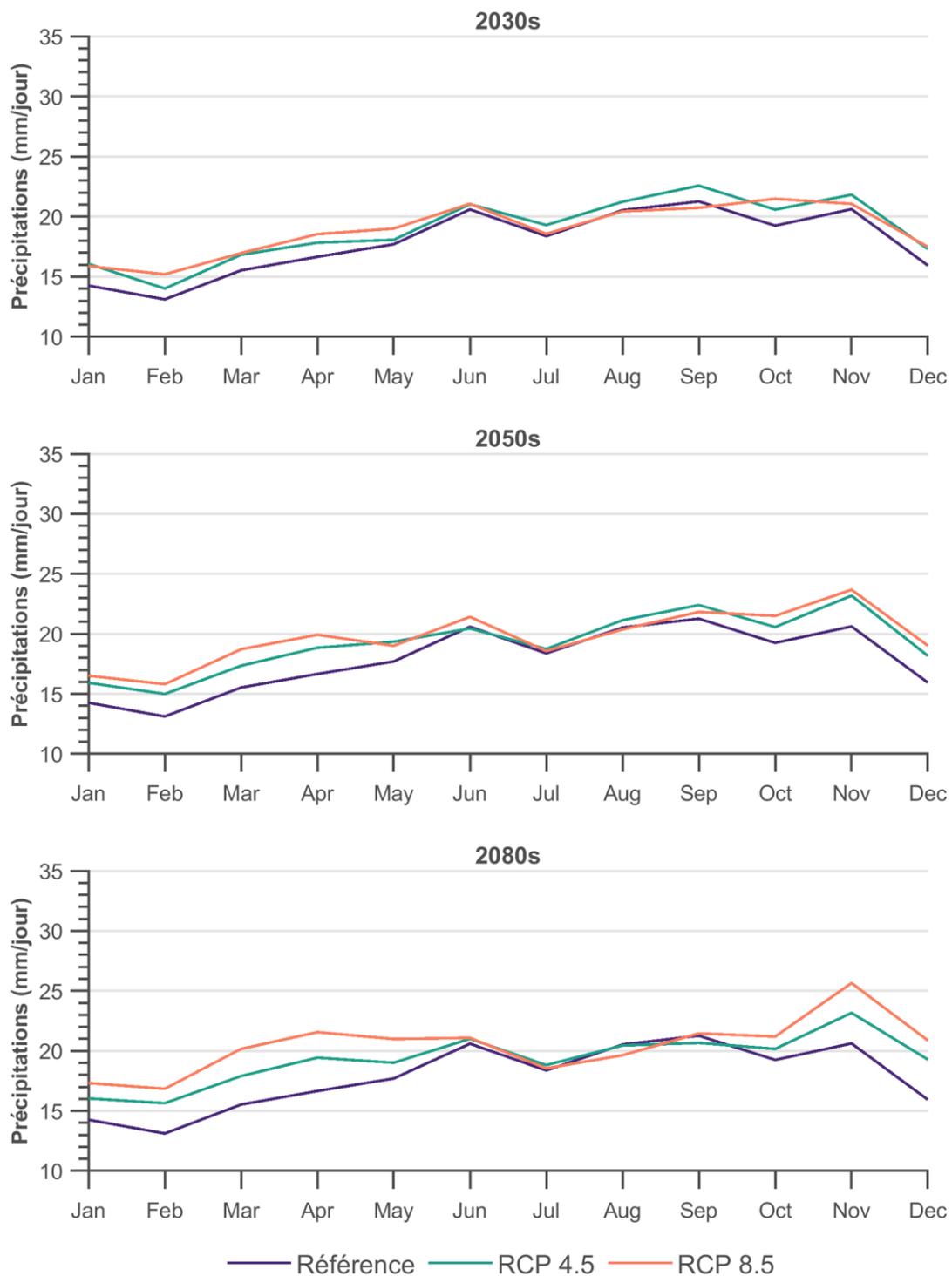


Figure 2.22: Précipitations mensuelles maximales sur une journée (seule la médiane est affichée)

Précipitations extrêmes

Dans le présent rapport, les précipitations extrêmes sont définies comme ayant une période de récurrence de plus d'un an. Les périodes de récurrence (p. ex., 1 sur 50 ans) sont utilisées pour décrire la probabilité d'occurrence de précipitations extrêmes. Par exemple, un événement de précipitation à récurrence de 50 ans a 2 % de chance de se produire chaque année ($1/50 = 0,02$). Un événement à récurrence de 2 ans a 50 % de chances de se produire chaque année. Cette probabilité est la même pour une année donnée (même si un événement extrême s'est produit récemment). Différentes périodes de récurrence de précipitations extrêmes sont couramment utilisées dans le secteur des ressources en eau, par exemple pour la conception des égouts pluviaux.

Les précipitations extrêmes sont particulièrement difficiles à prévoir. Une partie du défi lié à la projection des précipitations extrêmes tient au fait que d'importants processus de précipitation se produisent à de petites échelles, qui sont difficiles à représenter dans les modèles. Par exemple, les courants de convection ascendants ne peuvent mesurer que quelques centaines de mètres à quelques kilomètres (Westra *et coll.* 2014). De plus, même certains des processus de précipitation à plus grande échelle posent des défis. Par exemple, les modèles ont de la difficulté à déterminer l'emplacement des courants-jets qui sont également importants pour les précipitations extrêmes (Trenberth *et coll.* 2003, O'Gorman *et coll.* 2015).

Par conséquent, une analyse supplémentaire a été menée pour examiner les forces et les limites des méthodes utilisées et pour les comparer à d'autres études disponibles dans la littérature. Les résultats sont résumés ci-dessous, et les détails sont fournis à l'ANNEXE D — *Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes*.

Constatations générales

- Malgré la grande variabilité naturelle et les défis associés à la projection des précipitations extrêmes, de multiples méthodes montrent une augmentation de l'intensité des précipitations pour toutes les durées (précipitations horaires, quotidiennes et sur plusieurs jours).
- Aucune approche n'est plus fiable ou défendable que les autres dans toutes les situations. Différentes écoles de pensée préconisent différentes méthodes, mais toutes les méthodes ont leurs défauts. Le niveau élevé d'incertitude ne peut être évité, quelle que soit la méthode choisie.
- Les projections quotidiennes du PCIC/CCSC et les projections horaires des MRC du Cordex sous-estiment la valeur de l'intensité-durée-fréquence (IDF) d'ECCC pour la période historique.

Tableau 2.1: Projections pour les précipitations extrêmes fondées sur de multiples méthodes (2070-2100). La valeur fournie est la médiane, les 10e et 90e centiles étant fournis entre parenthèses. Notez que la valeur de référence d'ECCC est de 116,5 mm.

	Événement quotidien à récurrence de 100 ans (mm)		Événement horaire à récurrence de 50 ans (mm)		Principales limites
	RCP 4,5.	RCP 8,5.	RCP 4,5.	RCP 8,5.	
MCG	110 (86-160)	118 (85-185)	S. O.		Connu pour être sous-estimé
MRC	S. O.		38 (36-50)	43 (38-60)	Connu pour être sous-estimé
IDF-CC	165 (131-188)	183 (137-213)	55 (45-62)	60 (60-71)	Problème pour les données horaires
Clausius	139 (134-158)	163 (151-185)	58 (55-65)	68 (63-77)	Problème pour les données horaires
Autre	La plupart suggèrent une augmentation		La plupart suggèrent une augmentation		Voir l'annexe D

Utilisation des projections

- Prise en **compte des projections avec des approches multiples** — Bien que d'autres indices puissent être modélisés au moyen d'un ensemble de modèles (p. ex., un ensemble de MCG ou de MCR), pour les précipitations extrêmes, il est recommandé de tenir compte des projections obtenues avec plusieurs approches, dans le contexte des forces et des limites de chacune (voir les approches à l'ANNEXE D – Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes).
- **Les projections ne peuvent pas être ignorées** – Un message clair de la littérature scientifique est que le niveau élevé d'incertitude ne signifie pas que l'information doit être ignorée (Switzman *et coll.* 2017, Coulibaly *et coll.* 2016, Charron 2016, CSA 2019). En raison des défis en cause, une estimation robuste des extrêmes rares doit faire la meilleure utilisation possible de l'information disponible (Li *et coll.* 2018, Maraun et Widmann 2018).
- **L'importance des évaluations des risques et des vulnérabilités** – Les projections de précipitations extrêmes fournies ne peuvent pas être utilisées directement pour la conception d'infrastructures ou un projet d'adaptation au climat sans analyse plus poussée. Une évaluation de la vulnérabilité, des répercussions ou des risques est nécessaire pour déterminer les valeurs à utiliser à partir de la gamme de projections fournies (voir le chapitre 3).

2.4.4 Diminution des chutes de neige annuelles

Le total des chutes de neige annuelles est une mesure de la quantité cumulative de neige qui tombe pendant une année centrée sur l'hiver (c.-à-d. mesurée d'août à juillet plutôt que par année civile). Les changements dans les chutes de neige ont des répercussions sur un large éventail de secteurs, y compris les loisirs d'hiver, les ressources en eau et les opérations de déneigement. Les **chutes de neige annuelles totales** (Figure 2.23) montrent comment les régimes des chutes de neige devraient changer, sans faire de distinction entre les mois. Une diminution des chutes de neige annuelles totales est prévue dans la RCN, passant d'environ 223 cm pour la période de référence à 193-201 cm dans les années 2030, 184-179 cm dans les

années 2050 et 154-124 cm dans les années 2080. Cela représente une diminution de 31-44 % d'ici les années 2080.

Dans le présent rapport, les valeurs déclarées (p. ex., 5-8 °C) ne sont pas des fourchettes; elles représentent les valeurs moyennes pour les scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5). Lorsqu'une diminution est prévue, par exemple pour la quantité de neige, la deuxième valeur sera inférieure à la première valeur.

À noter que ces valeurs ne représentent pas les chutes de neige annuelles totales les plus élevées ou les plus faibles possible, mais plutôt les conditions d'une « année moyenne » (puisqu'elles sont des moyennes sur la période de 30 ans). Une grande variabilité interannuelle signifie que certaines années peuvent avoir plus de neige que d'autres; des valeurs semblables à la base de référence sont encore possibles au-delà du milieu du siècle. La variabilité d'une année à l'autre est visible à partir des hauts et des bas des lignes de la série chronologique ci-dessous.

Bien que les graphiques de la série chronologique des températures et des précipitations aient montré la plage entre le 10e et le 90e centile des modèles (pour chaque année) comme couleurs ombrées, le tracé ci-dessous montre chaque projection de modèle comme une ligne distincte. C'est parce qu'il y a moins de projections disponibles de modèles pour la neige, donc pour des raisons statistiques, il n'est pas recommandé de calculer des centiles. Voir l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*.

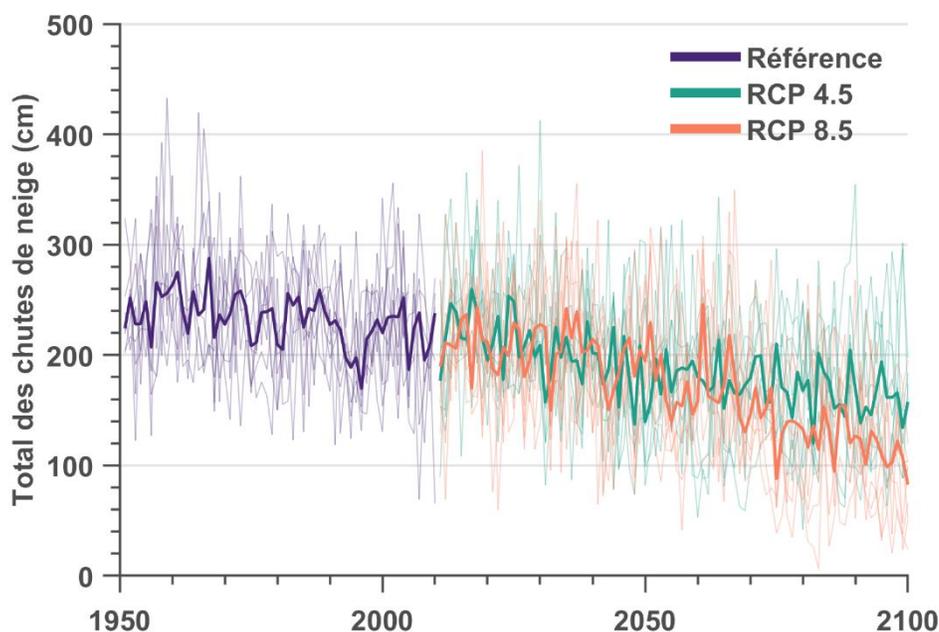


Figure 2.23: Chutes de neige annuelles totales

Comme le montre le graphique des **chutes de neige mensuelles totales** (figure 2.24), on prévoit que les chutes de neige diminueront tous les mois, les plus fortes baisses absolues devant se produire au cours des mois où il y a actuellement le plus de neige (décembre, janvier,

février et mars). Il est à noter que la fonte totale de neige est prévue pour avril d'ici les années 2080 dans le scénario d'émissions élevées (RCP 8.5), bien que cela ne représente pas une diminution importante de la neige totale parce qu'il n'y avait pas beaucoup de neige en avril pour la période de référence au départ. Il est à noter que cette figure ne montre que la médiane de l'ensemble des MCG statistiquement mis à l'échelle locale sur 30 ans et ne donne donc pas de mesure de l'incertitude (voir l'ANNEXE F – *Graphiques des indices climatiques pour les 10e et 90e centiles de l'ensemble de modèles*).

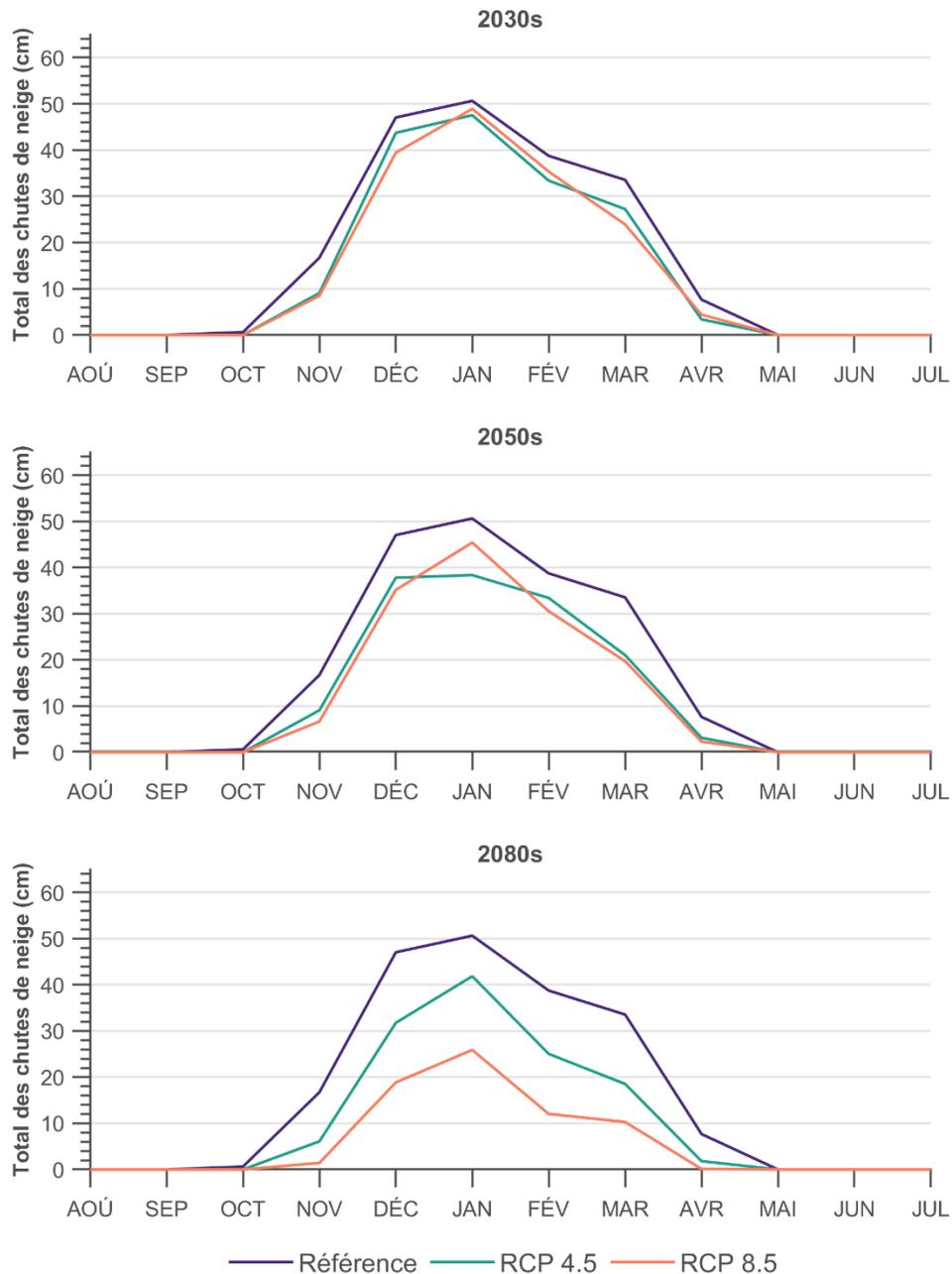


Figure 2.24: Total des chutes de neige par mois (présentation de la médiane seulement)

2.4.5 Une saison d'enneigement plus courte

Il y a différentes façons de mesurer la durée de la saison d'enneigement. Elle pourrait être mesurée en fonction du premier et du dernier jour de chute de neige, ou en fonction du nombre de jours (pas nécessairement consécutifs) de chute de neige, ou qui ont une couche de neige au sol. Chacun de ces indices, qui sont présentés ci-dessous, a des répercussions différentes pour différents secteurs. Par exemple, le nombre de jours entre les premiers et les derniers jours de chute de neige peut être important pour la planification des opérations de déneigement, alors que le nombre de jours de couverture de neige peut être plus pertinent pour la planification des loisirs d'hiver. L'incertitude de ces projections est visible en fonction de la plage de projections entre les modèles individuels, ainsi qu'en fonction de la variabilité d'une année à l'autre.

On prévoit que le moment de la saison d'enneigement changera. Le **moment de la première chute de neige** (défini comme la première date de l'automne où il y a une chute de neige de plus de 1 cm) devrait se produire environ 1-1 semaine plus tard dans les années 2030, 2-2 semaines plus tard dans les années 2050 et 2-3 semaines plus tard dans les années 2080 par rapport à la période de référence.

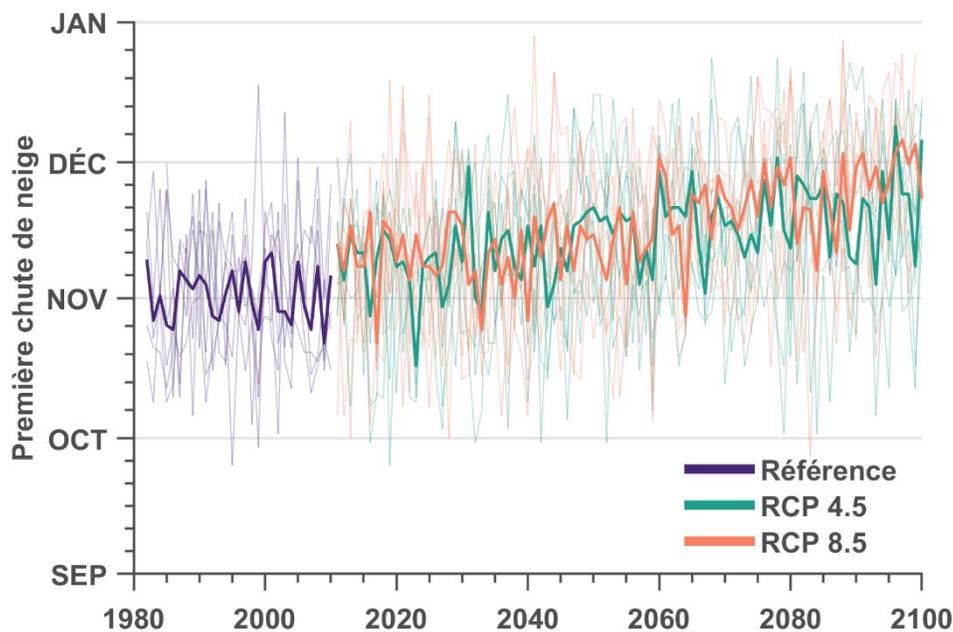


Figure 2.25: Moment de la première chute de neige

On prévoit que la **dernière chute de neige** (définie comme la dernière date au printemps où il y a une chute de neige supérieure ou égale à 1 cm) aura lieu environ 0-1 semaine plus tôt dans les années 2030, 0-2 semaines plus tôt dans les années 2050 et 1-3 semaines plus tôt dans les années 2080. Par conséquent, la durée de la première à la dernière journée de chute de neige devrait diminuer (voir l'ANNEXE F2 - *Graphiques sur les indices climatiques*).

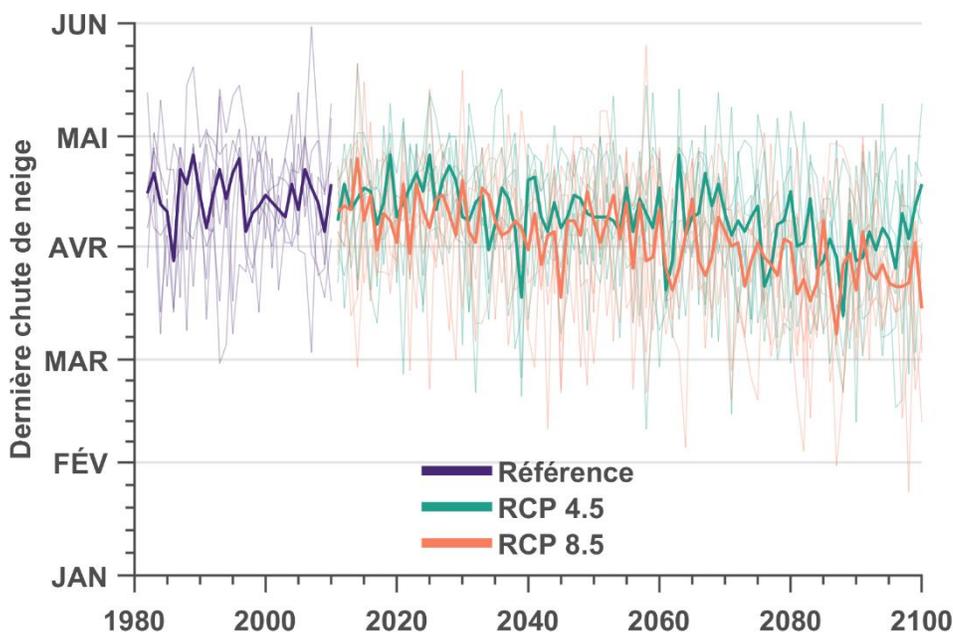


Figure 2.26: Moment de la dernière chute de neige

Le **nombre de jours de chute de neige** (c'est-à-dire le nombre de jours où il y a une chute de neige ≥ 1 cm) devrait diminuer, passant d'environ 41 jours pour la période de référence à environ 37-37 jours dans les années 2030, à 33-32 jours dans les années 2050 et à 31-22 jours dans les années 2080. Il est à noter que ces valeurs sont des médianes de 30 ans et sont donc des projections pour une « année moyenne ».

Les changements dans les chutes de neige se traduiront également par des changements dans le manteau neigeux. Le **nombre de jours avec couverture de neige** devrait diminuer, passant d'environ 115 jours pour la période scénario de référence à environ 95-94 jours dans les années 2030, à 90-72 jours dans les années 2050 et à 78-43 jours dans les années 2080 (Figure 2.28).

Pour créer les graphiques dans la Figure 2.27 et la Figure 2.28, les moyennes sur les tranches de 30 ans sont d'abord calculés pour chaque modèle. La moyenne de ces valeurs est ensuite présentée par les cercles foncés, ce qui représente la projection du milieu de la fourchette pour les conditions moyennes sur 30 ans. Les cercles vides représentent des projections à partir de modèles individuels, et l'écart entre la distribution de l'ensemble des cercles vides peut être interprété comme l'incertitude dans les projections. Ce graphique est différent des diagrammes à boîtes à moustaches utilisés pour illustrer les précipitations et la température parce qu'il y a moins de projections modélisées disponibles pour la neige; par conséquent, pour des raisons statistiques, il n'est pas recommandé de calculer les centiles indiqués dans les diagrammes à surfaces précédents. Voir l'ANNEXE B — *Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques*.

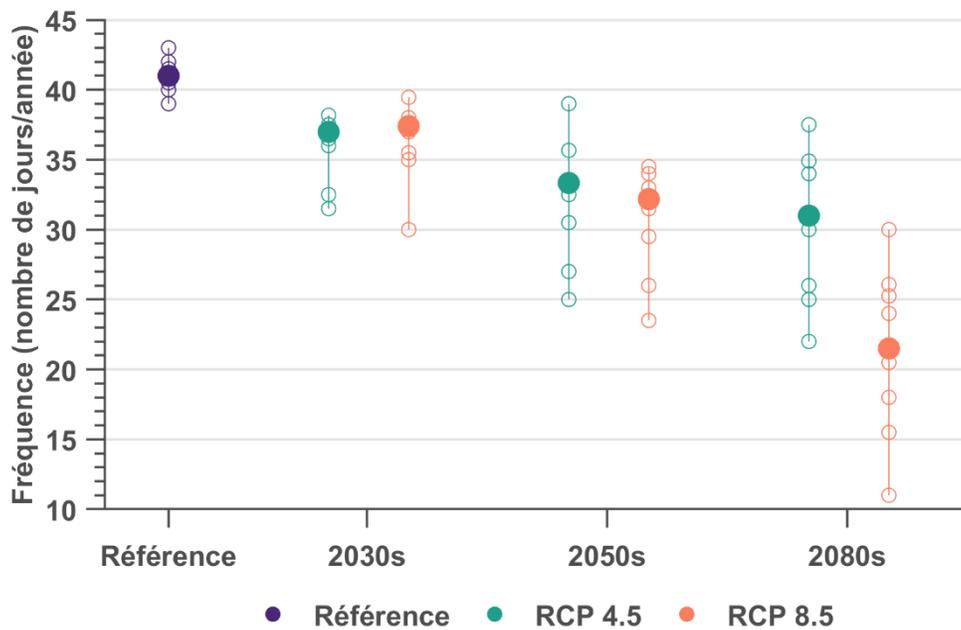


Figure 2.27: Nombre de jours avec chute de neige

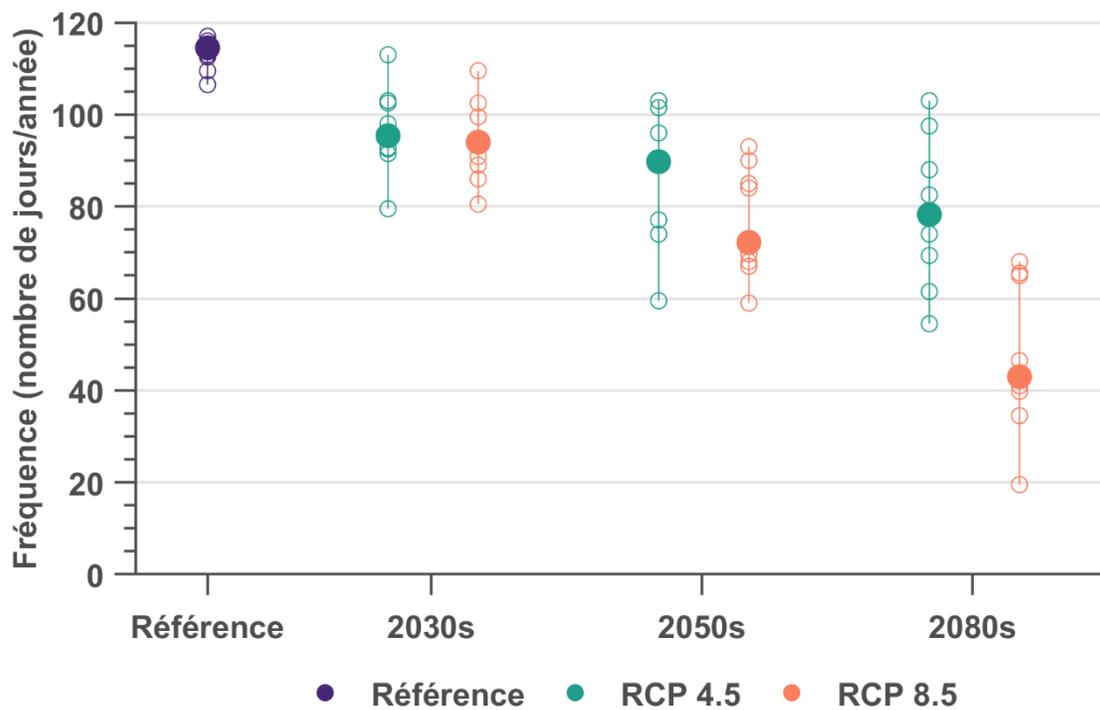


Figure 2.28: Nombre de jours avec couverture de neige

2.4.6 Variabilité élevée dans la neige extrême

La moyenne d'ensemble des MRC prévoit une diminution de l'épaisseur maximale de neige et des résultats mitigés pour les chutes de neige maximales sur une journée. Il y a une grande variabilité entre les modèles, et certains MRC prévoient une augmentation des extrêmes de neige. Pour cette raison et en raison de la variabilité d'une année à l'autre, il est toujours possible que des chutes de neige extrêmes ou une épaisseur de neige extrême se produisent maintenant et à l'avenir. Les extrêmes de neige sont importants en raison des répercussions sur un certain nombre de secteurs (p. ex., déneigement, gestion des urgences, inondations, ressources en eau). Consultez la section 2.8.2 sur la neige extrême et les blizzards pour obtenir des renseignements supplémentaires à partir de la documentation.

Les projections moyennes suggèrent que les **chutes de neige maximales annuelles sur une journée** (moyenne dans toute la zone d'étude) passeront d'environ 20 cm pour la période de référence à 21-20 cm dans les années 2030, 22-20 cm dans les années 2050 et 20-16 cm dans les années 2080. Il y a une diminution d'ici les années 2080 pour le scénario à émissions élevées (RCP 8.5), mais pas pour le scénario à émissions modérées (RCP 4.5). Certains modèles projettent des valeurs semblables ou supérieures à la médiane de la période de référence dans toutes les tranches de temps futures. De plus, les résultats présentés représentent les chutes de neige maximales pour une « année moyenne » (puisqu'elles sont calculées à partir de tranches de 30 ans).

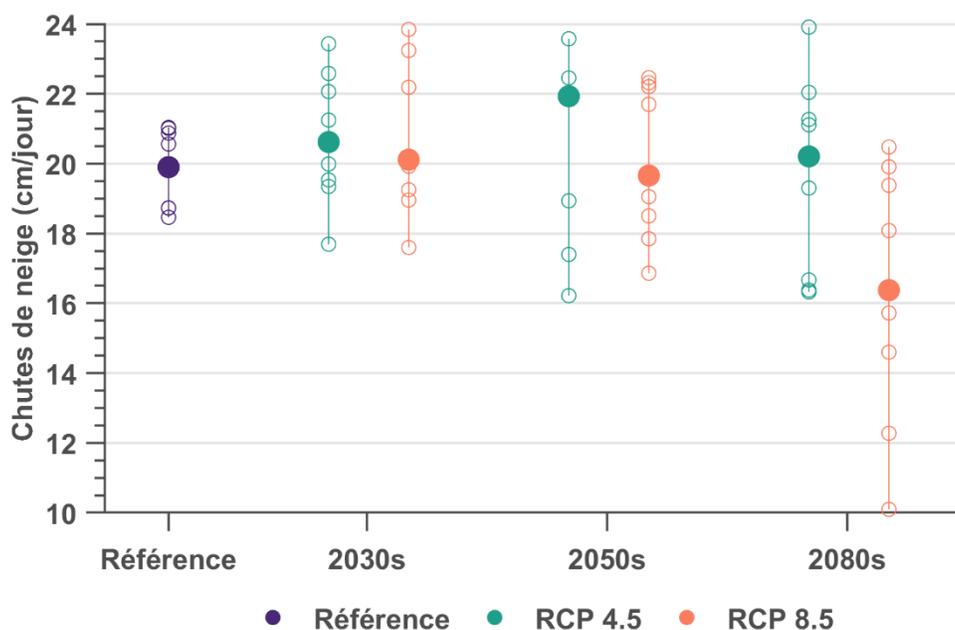


Figure 2.29: Chute de neige maximale annuelle sur une journée

L'épaisseur maximale annuelle de la neige (au sol, moyenne sur toute la zone d'étude) devrait diminuer, passant d'environ 59 cm pour la période scénario de référence à 48-50 cm dans les années 2030, 45-40 cm dans les années 2050 et 42-29 cm dans les années 2080. Il est à noter que certains modèles projettent des valeurs semblables ou supérieures à la médiane de la période de référence dans les années 2030 et 2050 (Figure 2.30). De plus, les résultats présentés représentent l'épaisseur maximale de neige pour une « année moyenne » (puisqu'ils sont calculés à partir de tranches de 30 ans).

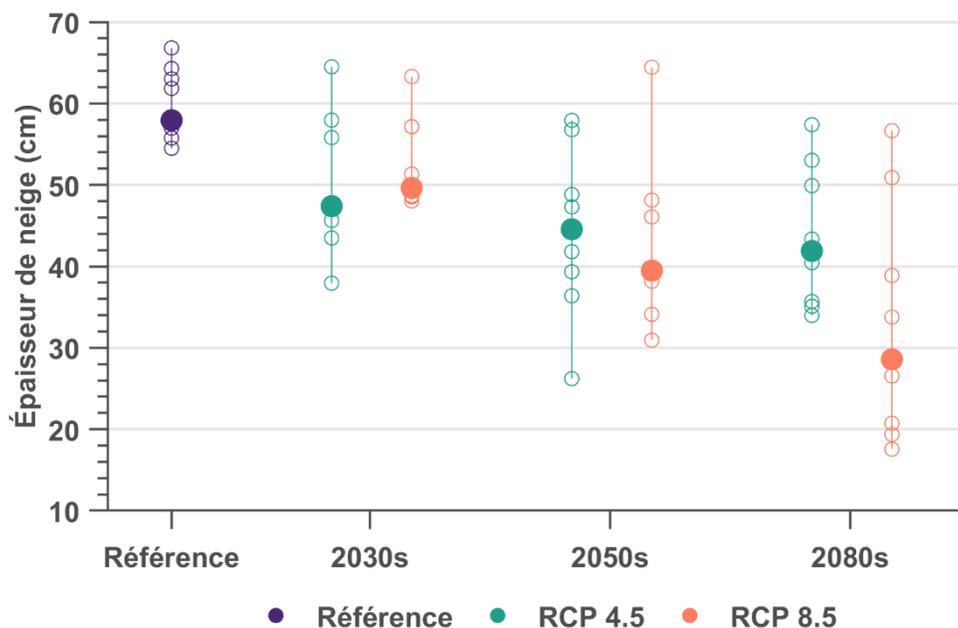


Figure 2.30: Épaisseur maximale annuelle de neige

Les variations du manteau neigeux projeté ont été utilisées comme approximations pour la « fonte » (les jours où l'épaisseur de la neige diminuait d'un jour à l'autre). Plusieurs indices fondés sur cette approximation pour la « fonte » sont disponibles dans l'ANNEXE F — *Graphiques des indices climatiques*.

2.5 Projections pour le vent

La vitesse et la direction du vent ont des répercussions sur un certain nombre de secteurs, y compris les bâtiments et d'autres infrastructures, la gestion des urgences, la qualité de l'air, le transport des ravageurs aéroportés, les dommages aux arbres, etc. Le vent contribue au refroidissement éolien lorsqu'il est combiné à des températures froides extrêmes.

Il est à noter que les modèles climatiques actuels ont des limites en ce qui concerne la représentation adéquate des processus éoliens. Le GIEC (2013) affirme que les vents sont modélisés avec « faible confiance ». Cela s'explique en partie par le fait que les processus qui ont une incidence sur les vents sont complexes et que différents processus ont des effets différents. Les changements devraient être non linéaires. Les principaux processus à l'origine des

changements potentiels des vents comprennent a) un changement possible de l'emplacement des trajectoires des tempêtes régionales (p. ex., déplacement vers le nord des cyclones extratropicaux), b) le déplacement possible des latitudes moyennes ouest, et c) l'augmentation potentielle de la convection localisée causée par le réchauffement de la surface du sol (GIEC, 2013).

Les graphiques pour le vent montrent beaucoup plus de variabilité interannuelle que les graphiques pour les paramètres précédents. Cela s'explique par le fait que les résultats proviennent en moyenne de deux modèles seulement, ce qui réduit la confiance dans les résultats. Il est également noté que les projections représentent les valeurs moyennes de la zone d'étude. Cela signifie que les valeurs sont plus représentatives de l'ensemble de la région, mais que les variations spatiales potentielles des valeurs sont lissées. L'état des connaissances sur les vents extrêmes est traité séparément à la section 2.8.3 sur les vents extrêmes et les rafales.

2.5.1 Aucune tendance décelable des moyennes

Les projections pour la vitesse mensuelle moyenne des vents montrent que la distribution annuelle de la vitesse moyenne des vents à l'avenir varie peu ou pas du tout (ANNEXE F – *Graphiques des indices climatiques*). Les projections ne suggèrent aucun changement de la vitesse moyenne du vent par rapport à la valeur de la période de référence (la **vitesse moyenne du vent en décembre** est donnée à titre d'exemple).

Comme pour les graphiques pour la neige, les graphiques pour le vent utilisent des modèles individuels plutôt qu'une représentation des 10e et 90e centiles des modèles avec une région ombrée. C'est parce qu'il n'y a que deux modèles disponibles pour la vitesse du vent.

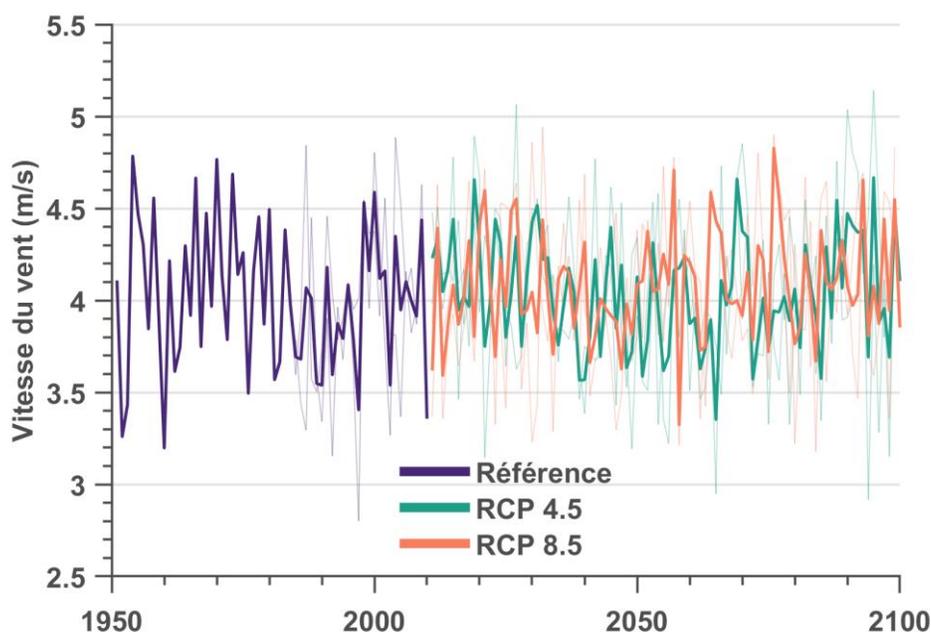


Figure 2.31: Vitesse moyenne mensuelle du vent — Décembre

2.5.2 Réduction du refroidissement éolien

Les projections de changements éoliens combinés à d'autres paramètres ont également été étudiées. Le refroidissement éolien est calculé en combinant la vitesse du vent avec les températures extrêmes (voir l'ANNEXE C – *Méthodologie* pour plus de détails). Par exemple, le **nombre de jours de refroidissement éolien entre -35 et -25** devrait diminuer, passant d'environ 17 jours pour la période de référence à 11-8 jours dans les années 2030, 6-5 jours dans les années 2050 et 5-1 jours dans les années 2080 (Figure 2.32). Ces valeurs représentent une « année moyenne » parce qu'elles sont calculées à partir de la moyenne des tranches de 30 ans (ainsi que de la moyenne pour la zone d'étude). Cette baisse draconienne des projections est causée par l'évolution rapide prévue des froids extrêmes.

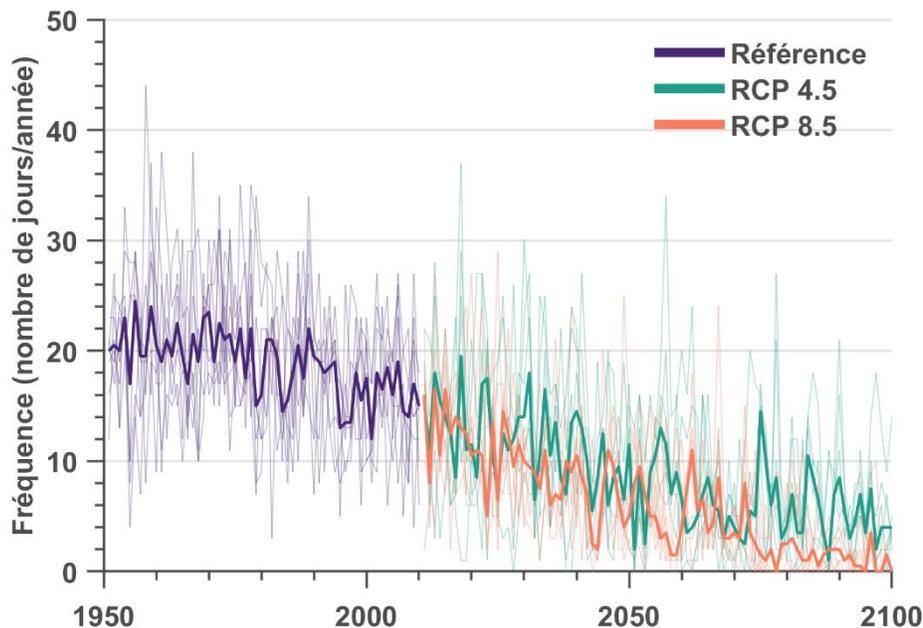


Figure 2.32: Nombre de jours où le refroidissement éolien se situe entre -25 °C et -35 °C

2.6 Projections d'humidité

L'humidité est la présence de vapeur d'eau dans l'atmosphère, et elle dépend à la fois de la température et des précipitations, ainsi que d'autres facteurs qui influent sur l'évapotranspiration (p. ex., vent, végétation, etc.). Il s'agit d'un paramètre important, car l'humidité élevée nuit à l'efficacité de l'échange de chaleur en réduisant le taux d'évaporation de l'humidité des surfaces de la peau. Par conséquent, les projections d'humidité ont des répercussions sur l'écologie de la faune ainsi que sur les secteurs de la santé publique et de la gestion des urgences.

Cette étude utilise la moyenne de l'humidité pour la zone d'étude. Cela signifie que les valeurs sont plus représentatives de l'ensemble de la région, mais aussi que toute variation spatiale des valeurs a été lissée (les extrêmes locaux pourraient être plus élevés que ce qui est montré ici). Comme pour le vent et la neige, il y a moins de modèles disponibles pour les projections d'humidité que pour les projections de précipitations et de température. Bien que l'humidité (du

point de vue de la santé publique) soit étroitement liée à la température par l'humidex, les résultats ont été délibérément présentés séparément en raison des différentes sources de données et du degré élevé d'incertitude des projections d'humidité.

2.6.1 Aucune tendance décelable des moyennes

Aucune tendance n'a été observée pour ce qui est de l'humidité moyenne mensuelle dans la RCN. L'humidité moyenne mensuelle est la moyenne, pour chaque jour du mois, de l'« humidité relative approximative au moment de la température maximale » (détails présentés à l'ANNEXE C – *Méthodologie*). Le graphique de l'**humidité moyenne mensuelle en septembre** est présenté à titre d'exemple).

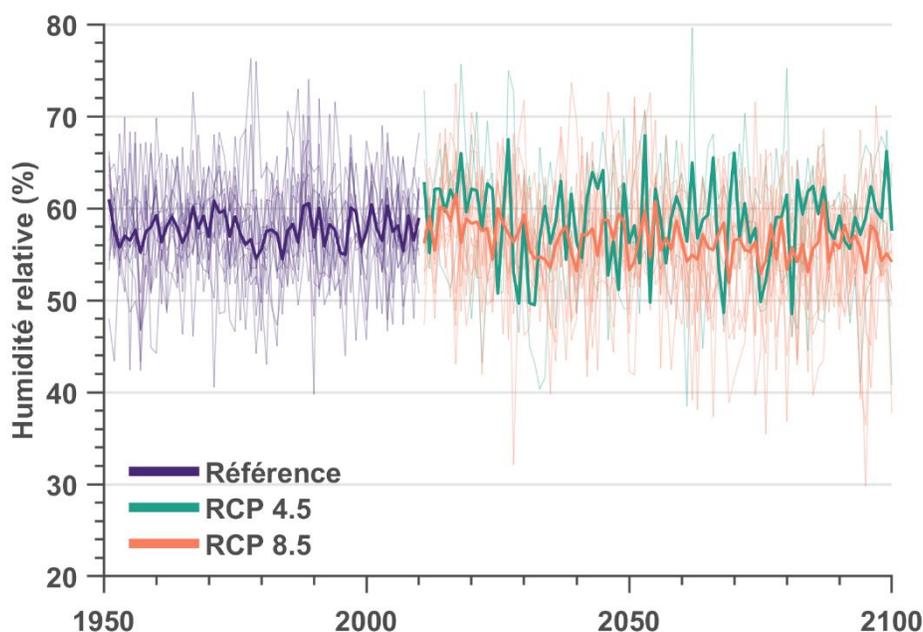


Figure 2.33: Humidité relative moyenne mensuelle au moment de la température quotidienne maximale – Septembre

2.6.2 Augmentation de l'indice humidex

L'humidité élevée peut exacerber les effets des températures élevées et a donc des répercussions sur les secteurs de la santé publique et de la gestion des urgences. L'**humidex** est un calcul d'indice basé à la fois sur la température et l'humidité (voir les détails à l'ANNEXE C – *Méthodologie*). Une augmentation de la température ou de l'humidité entraîne une augmentation de l'humidex.

Les projections moyennes sur la RCN montrent que le **nombre de cas comportant deux jours d'humidex à plus de 40 °C** devrait passer d'environ un jour pour la période de référence à environ 4-4 jours dans les années 2030, 5-6 jours dans les années 2050 et 6-9 jours dans les années 2080 (Figure 2.34). Il s'agit d'une augmentation de 5-8 jours en un siècle.

Ces valeurs représentent une « année moyenne » parce qu’elles sont calculées à partir de la moyenne des tranches de 30 ans (ainsi que de la moyenne pour la zone d’étude). Les projections moyennes sur 30 ans pour chaque modèle sont présentées sous forme de cercles vides. Les cercles foncés sont les projections du milieu de la fourchette. Il est à noter que les valeurs réelles projetées sont faibles, ce qui rend les projections plus incertaines (illustrées en partie par la grande plage entre les résultats du modèle).

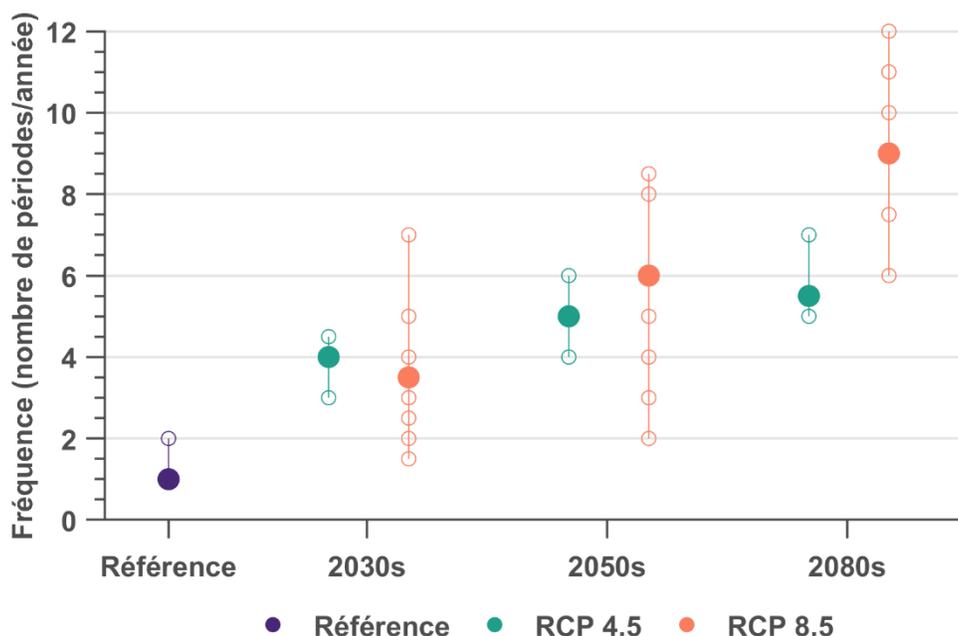


Figure 2.34: Nombre de jours où l’humidex dépasse 40 °C pendant 2 jours

2.7 Variation spatiale dans la zone du projet

Les projections climatiques présentées dans les sections précédentes montrent la moyenne spatiale des indices climatiques sur la RCN. Bien que la RCN soit relativement homogène (c.-à-d. qu’il n’y ait pas de montagnes ni de côtes), il y a un potentiel que la topographie et la variabilité de l’utilisation des terres (p. ex., collines de Gatineau, effet d’îlot thermique urbain, rivière des Outaouais) causent des gradients spatiaux dans les projections de l’indice climatique. Les variations spatiales dans les projections pourraient être un facteur important à prendre en considération pour l’évaluation des risques et de la vulnérabilité.

L’un des aspects uniques de cette étude est que les indices de température et de précipitations ont été calculés sur une grille de 10 km x 10 km sur l’ensemble de la zone du projet, permettant d’étudier la variation spatiale potentielle des projections de l’indice climatique.

Lorsqu’on évalue si une configuration spatiale est significative, il est important de tenir compte de l’écart entre les modèles (comme mesure de l’incertitude), qui augmente avec l’horizon de projection. Par conséquent, les deux types de variation à considérer sont les suivants :

1. **Variation spatiale** (p. ex., pour la médiane de l'ensemble des modèles, on calcule la différence entre la cellule de la grille ayant la valeur la plus élevée et la cellule de la grille ayant la valeur la plus basse).
2. **Variation des modèles** (p. ex., pour une cellule de grille, on calcule la différence entre le modèle ayant la valeur la plus élevée et le modèle ayant la valeur la plus faible).

Dans ce projet, si l'écart entre les modèles était beaucoup plus grand que la variation spatiale dans la zone du projet, alors la variation spatiale n'était pas considérée comme importante (c.-à-d. qu'aucun test statistique officiel n'a été effectué).

Deux types de variation spatiale ont été étudiés :

- Variation spatiale du climat (section 2.7.1) — Étude pour une tranche de temps unique.
- Variation spatiale des changements prévus (section 2.7.2) — Étude de la différence entre deux tranches de temps.

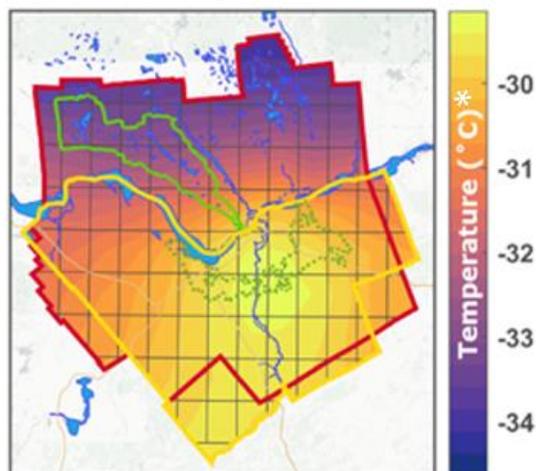
Les principales constatations sont les suivantes :

- Bien que la zone d'étude soit relativement petite (< 100 km entre deux cellules de grille), plusieurs indices fondés sur la température et les précipitations montrent une variation spatiale dans une tranche de temps. Le climat est généralement plus froid et plus humide au nord (section 2.7.1).
- Des changements devraient se produire à des taux semblables dans toute la zone d'étude pour la plupart des indices. Une exception est présentée à la section 2.7.2.

2.7.1 Variation spatiale des indices climatiques pour la période de référence

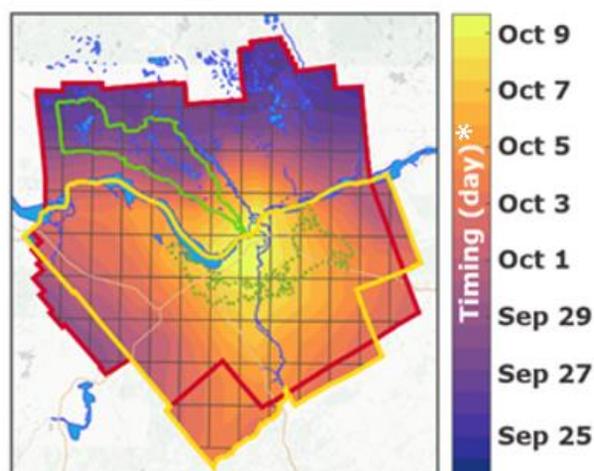
Certains indices basés sur la température montrent un gradient nord-sud ou une configuration concentrique près du centre de la zone d'étude. Cela peut être attribuable à la topographie régionale, à la circulation de l'air ou à l'utilisation des terres (p. ex., un effet d'îlot thermique urbain). Par exemple, les cartes des **températures les plus froides de l'année** et du **moment du premier gel automnal** sont présentées ci-dessous. Ces cartes illustrent la médiane de l'ensemble de modèles pour chaque cellule de grille, pour la base de référence. Les cellules de grille indiquées sur la carte sont de 10 km x 10 km.

Température la plus froide de l'année



*Température

Premier gel d'automne



*Moment de l'année (jour)

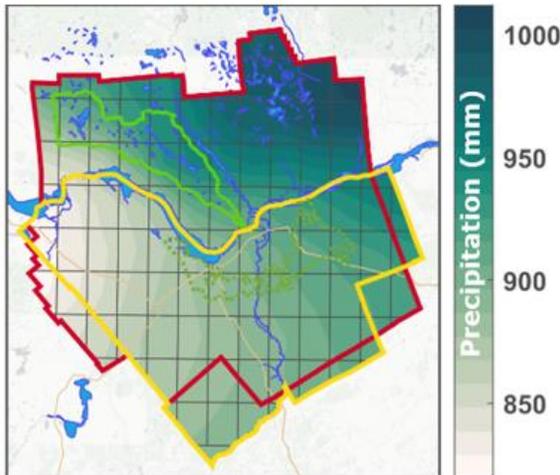
Figure 2.35: Exemples de cartes des indices de température (données pour la période de référence de 1981 à 2010).

À gauche : exemple de gradient nord-sud; à droite : exemple de gradient concentrique.

Plusieurs des indices fondés sur les précipitations montrent également des variations spatiales dans la zone d'étude, généralement avec des valeurs de précipitations plus élevées dans le nord ou le nord-est (Figure 2.36). Les indices qui montrent la variation spatiale comprennent les précipitations totales annuelles (et certaines mensuelles), les indices extrêmes annuels (et certains mensuels), certains indices de seuil et les périodes sèches et humides. Les cartes des **précipitations annuelles totales** et des **précipitations annuelles maximales sur une journée** sont présentées sous forme d'exemples ci-dessous et l'ensemble complet des graphiques se trouve à l'ANNEXE F — *Graphiques des indices climatiques*.

Il est difficile d'interpréter la cause d'un gradient uniforme dans toute la zone d'étude, qui pourrait être attribuable aux influences climatiques régionales et à des influences plus locales captées par la correction du biais, y compris la topographie, les plans d'eau et l'utilisation des terres. Par ailleurs, les gradients pourraient être attribuables à des « artefacts » du modèle (anomalies ou erreurs découlant de la modélisation ou du traitement des données). Voir l'ANNEXE D — *Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes* pour obtenir de plus amples renseignements sur les artefacts du modèle.

Précipitations annuelles totales



Précipitations annuelles maximales sur un jour

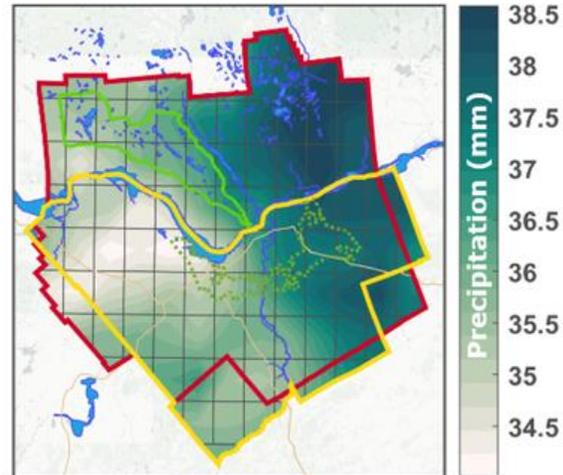


Figure 2.36: Exemples de cartes des indices de précipitations (données de référence de 1981 à 2010).

Exemple d'un gradient nord-est/sud-est

2.7.2 Variation spatiale des indices climatiques projetés

On ne prévoit pas que les changements futurs pour la plupart des indices varient de façon significative dans l'ensemble de la zone d'étude. En d'autres termes, les changements devraient se produire à des taux semblables dans toute la zone d'étude, et les valeurs de la moyenne sur le domaine sont représentatives pour l'ensemble de la région.

En pratique, cela signifie que l'écart entre les modèles est plus grand que n'importe quel gradient spatial (ou que les gradients spatiaux sont incohérents et peut-être attribuables aux artefacts du modèle).

Une exception, le **nombre de nuits tropicales**, montre une variation spatiale des projections qui est supérieure à la variation du modèle. Les cartes des « différences » montrent la différence entre la médiane de l'ensemble à chaque cellule de la grille. Ces cartes montrent que :

- Le sud-est de la RCN devrait connaître une augmentation plus importante du nombre de nuits tropicales (minimum la nuit > 20 °C), comparativement à la partie nord de la RCN (Figure 2.37).
- Autrement dit, la différence dans le nombre de jours entre l'horizon de projection et la période de référence est plus grande dans le sud-est.
- Il convient également de noter que le gradient spatial est constant selon les différentes périodes dans des scénarios à émissions modérées (RCP 4.5). Toutefois, selon le scénario à émissions élevées (RCP 8.5), il y a un gradient spatial plus important au départ (période de référence jusqu'aux années 2030), suivi d'un gradient spatial moins élevé (années 2050, puis années 2080).

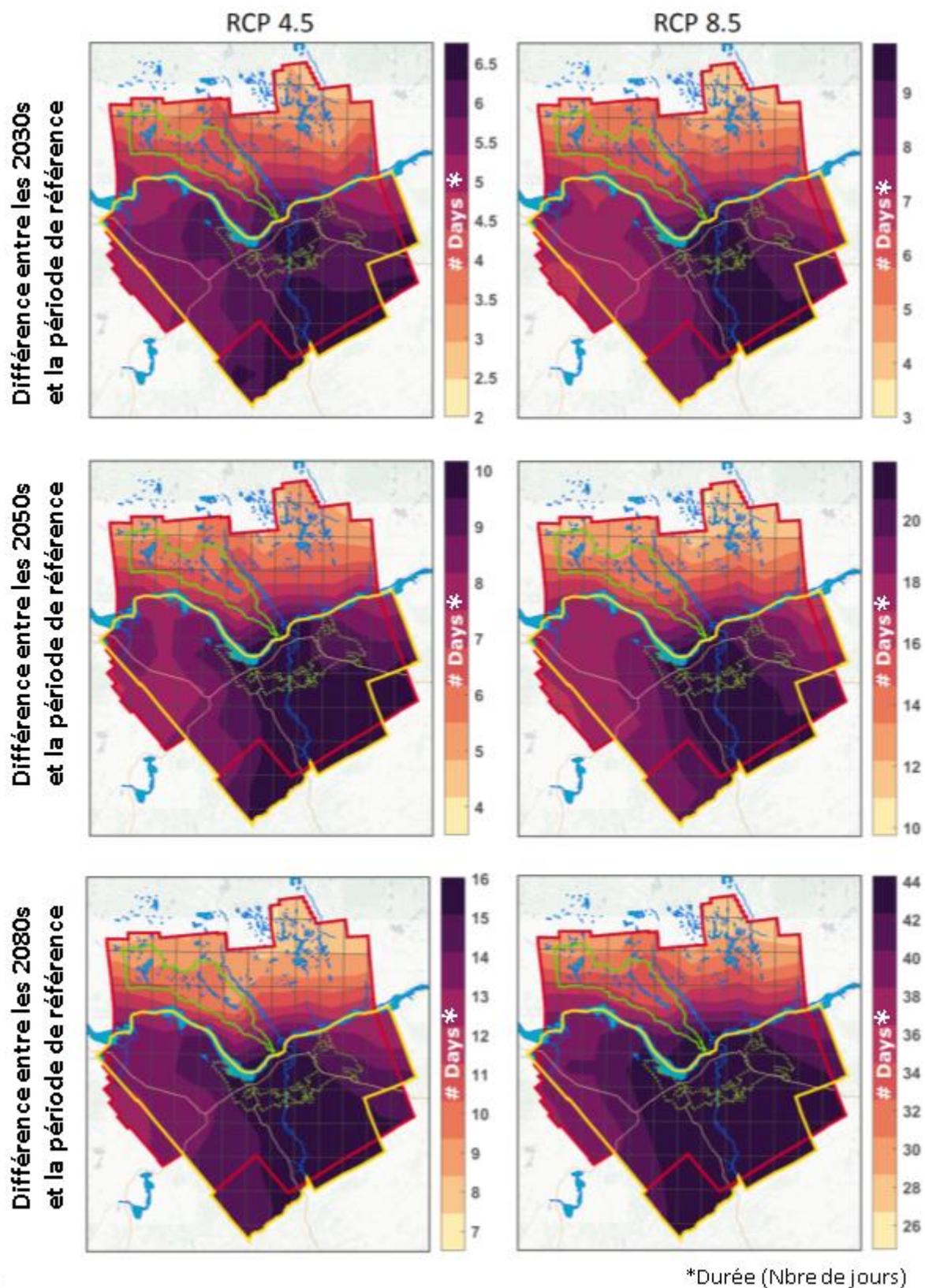


Figure 2.37: Cartes des différences pour le nombre de nuits tropicales

2.8 Événements extrêmes et autres phénomènes climatiques

Certains événements extrêmes (comme les tornades, les tempêtes de verglas et les feux de forêt) ne sont pas représentés dans les modèles climatiques ou ne le sont pas bien (par exemple en raison des limites de la compréhension actuelle des processus scientifiques, de la variabilité naturelle ou des capacités de calcul). Beaucoup se produisent à des échelles spatiales ou temporelles inférieures à la résolution des modèles climatiques. Néanmoins, ces événements/phénomènes ont des répercussions sur un certain nombre de secteurs, et il est donc important d'examiner s'il y a une indication qu'ils changeront à l'avenir en utilisant des méthodes qualitatives.

Les projections qualitatives ont été recueillies à partir d'examens ciblés de la littérature évaluée par les pairs (articles scientifiques) et de la littérature grise (p. ex., rapports gouvernementaux), en mettant l'accent sur les études englobant la région de la RCN. Dans cette section, les principaux résultats sont résumés, en mettant l'accent sur ce qui est projeté au sujet des tendances futures (le cas échéant) ainsi que sur la caractérisation de l'incertitude.

2.8.1 Pluie verglaçante et tempêtes de verglas

La pluie verglaçante et les tempêtes de verglas peuvent avoir des répercussions majeures sur la société en causant des pannes de courant et des perturbations dans les réseaux de transport. Même à faible intensité, ces événements peuvent causer des dommages aux arbres, aux logements, aux lignes de communication et à d'autres infrastructures. La pluie verglaçante se forme si des gouttes d'eau de pluie liquides tombent d'une couche chaude à travers une couche d'air froid (dont la température est inférieure au point de congélation) qui est trop mince pour que les gouttes aient le temps de geler. L'eau gèle ensuite au contact de la surface.

La vallée du fleuve Saint-Laurent est sujette aux précipitations verglaçantes en raison des effets de canalisation du vent (Carrera *et coll.* 2009). La RCN, située dans ce corridor, a été frappée par plusieurs grandes tempêtes de verglas. En décembre 1942, lors de la tempête de verglas de l'Est de l'Ontario, il y avait de la glace « épaisse comme le poing d'une personne » recouvrant des fils de téléphone, des arbres et des rails (ECCC 2017, « Les événements météorologiques les plus marquants du 20e siècle »). La tempête de verglas de 1998 (Figure 2.38) était une combinaison de cinq petites tempêtes de verglas successives et a causé des dommages massifs aux arbres et à l'infrastructure électrique, ce qui a entraîné l'arrêt des activités dans la RCN pendant des semaines (Rice, 2015).

La projection de pluie verglaçante peut être abordée d'un point de vue théorique ou par des études de modélisation.

D'un point de vue théorique, l'augmentation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère (voir section sur la neige extrême) devrait entraîner une augmentation des précipitations intenses, y compris la pluie verglaçante si les bonnes conditions sont réunies. De plus, une augmentation de la pluie

verglaçante pourrait se produire à la suite d'une augmentation des températures près du point de congélation en raison du déplacement au nord de la limite de température de 0 °C (Lambert et Hansen 2011, Matte *et coll.* 2019), ou l'emplacement du courant-jet (Francis et Vavrus, 2012).

Une étude de modélisation réalisée par Cheng (2011) a utilisé une technique appelée « typage météorologique » pour les prévisions de pluie verglaçante à échelle descendante propre à la région au moyen de huit MCG. Klima et Morgan (2015) ont réalisé une expérience idéalisée en utilisant des profils

de température historiques verticaux sur lesquels ils ont appliqué plusieurs scénarios de réchauffement. Les deux études ont révélé une augmentation prévue de la pluie verglaçante dans la RCN au cours des mois les plus froids, ainsi qu'une diminution ou une absence de changement pendant les saisons intermédiaires.

En résumé, l'augmentation prévue des températures près du point de congélation dans la RCN indiquerait une augmentation de la pluie verglaçante. Les études de modélisation suggèrent que cela se produira probablement pendant l'hiver, sans changement ni diminution pendant les saisons intermédiaires. Il serait prudent de continuer à se préparer aux pluies verglaçantes à l'avenir.

2.8.2 Neige extrême et blizzards

L'accumulation extrême de neige a des répercussions sur l'environnement et les inondations, et peut présenter des risques pour la vie humaine et les biens en causant des pannes de courant, en perturbant les transports et en entravant les services d'urgence. Selon CBC, le 16 février 2018, un peu plus de 50 centimètres de neige sont tombés sur Ottawa le 16 février 2018, établissant ainsi un nouveau record pour la plus grande chute de neige en une seule journée.

La projection de neige extrême peut être envisagée d'un point de vue théorique ou par des études de modélisation. D'un point de vue théorique :

- Une atmosphère plus chaude peut contenir plus d'humidité, ce qui entraîne des précipitations plus importantes, y compris des chutes de neige plus importantes si les conditions sont favorables. Par conséquent, les changements climatiques pourraient théoriquement entraîner des chutes de neige extrêmes plus importantes.

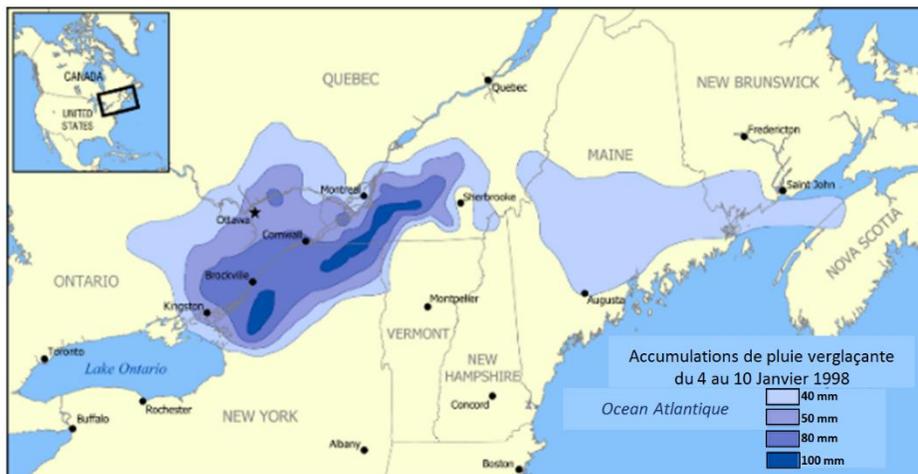


Figure 2.38: Portée de la tempête de verglas de 1998 (Rice, 2015)

- Toutefois, l'augmentation théorique des chutes de neige découlant de l'augmentation de l'humidité atmosphérique sera probablement modérée par la hausse des températures de surface, ce qui fait tomber davantage de neige sous forme de pluie.

Les études de modélisation prévoient que les chutes de neige moyennes diminueront partout en Amérique du Nord. Cependant, les chutes de neige extrêmes montrent une tendance plus irrégulière, certaines régions (comme l'Arctique) connaissant une augmentation de la fréquence des chutes de neige extrêmes, mais pas d'autres régions (Janoski *et coll.* 2018). Une étude de 2018 conclut que les modèles ne s'entendent pas sur la question de savoir si la neige devrait augmenter ou diminuer (Jeong et Shushama, 2018).

Une partie du défi réside dans le fait que la neige connaît une grande variabilité d'une année à l'autre. La variabilité interannuelle est en partie causée par des phénomènes atmosphériques appelés « téléconnexions » (p. ex., le cycle El Niño-Oscillation australe; NOAA, 2010).

En résumé, même si une atmosphère plus chaude peut contenir plus d'humidité, on s'attend à ce qu'il y ait plus de neige sous forme de pluie, alors on ne sait pas quelle sera l'incidence sur les extrêmes de neige. Les modèles prévoient généralement une diminution des chutes de neige moyennes, mais la variabilité élevée d'une année à l'autre fait en sorte qu'il est difficile de prévoir les changements dans les extrêmes. Il serait prudent de continuer à se préparer aux chutes de neige extrêmes à l'avenir.

2.8.3 Vents et rafales extrêmes

Les vents extrêmes peuvent entraîner des coûts économiques et sociaux considérables, notamment des dommages aux propriétés, à l'infrastructure, à l'agriculture, aux lignes électriques et aux arbres. Les vents sont également liés à de nombreux autres processus comme l'évaporation, la sécheresse, la visibilité, les aérosols (pollution atmosphérique) et la qualité de l'air.

D'un point de vue théorique, les processus qui influent les vents sont complexes, et différents processus ont des effets différents. En Ontario, les vents extrêmes résultent à la fois de tempêtes synoptiques intenses, d'activités convectives ou de combinaisons des deux (Cheng *et coll.* 2011). De plus, les changements des forces motrices, comme les gradients de température, sont accompagnés de changements des forces de traînée, comme l'utilisation des terres (Wu *et coll.* 2018).

Les études qui ont tenté de quantifier les répercussions des changements climatiques sur les rafales de vent ont soit cherché les tendances dans la période historique ou ont utilisé la mise à l'échelle des projections des MCG ou des MRC. Quelques études prévoient une augmentation des vents extrêmes dans l'est de l'Amérique du Nord (Klink, 2015) et dans le sud du Canada, y compris dans la RCN (Cheng *et coll.* 2011). D'autres études n'ont révélé aucun changement dans les rafales de vent ni même une diminution des vents moyens et extrêmes sur les terres à l'échelle mondiale (Huryn, 2016; Wu *et coll.* 2018).

L'absence d'une tendance claire entre ces études peut être attribuable à des observations insuffisantes ou déficientes au Canada (Jeong et Sushama, 2018). C'est également un défi pour certains autres paramètres climatiques, mais dans le cas des vents, la méthode d'évaluation influe non seulement sur l'ampleur des changements prévus, mais aussi sur la direction du changement (augmentation ou diminution).

En conclusion, nous ne pouvons pas exclure la possibilité que la RCN reçoive plus de rafales de vent à la fin du siècle que par le passé, mais il n'y a pas suffisamment d'information pour le confirmer.

2.8.4 Tornades

Une tornade est une étroite colonne d'air en rotation violente qui s'étend de la base d'un orage jusqu'au sol. Les tornades peuvent être extrêmement dommageables et entraîner des pertes de vie. Les souvenirs liés aux tornades sont frais dans la mémoire collective de la RCN, qui a connu plusieurs tornades en 2018 et 2019 (Ottawa Citizen 2019).

Comme les tornades sont un phénomène localisé de courte durée, il est difficile de les détecter et de les prévoir. Par conséquent, pour comprendre si les changements climatiques ont une incidence sur les tornades, il est nécessaire (1) d'étudier le dossier d'observation, (2) de comprendre les facteurs nécessaires à la formation des tornades et la façon dont ils devraient changer.

Le Canada a subi d'importantes pertes causées par les tornades, mais dans une moindre mesure que les États-Unis. Au cours des trois dernières décennies, l'Ontario a enregistré en moyenne plus de 12 tornades chaque année, la plupart de celles-ci se produisant dans un corridor de tornade, un nom informel pour un corridor de terre dans le sud de l'Ontario (Sills *et coll.* 2012). Les dossiers d'observation comportent un certain nombre d'incertitudes, comme une surreprésentation des événements dans les régions peuplées et un changement dans la façon dont les événements sont évalués au fil du temps. Néanmoins, certaines études montrent des tendances à la hausse en Ontario (p. ex., Cao et Cai 2008). Il est toutefois à noter qu'il ne faut pas extrapoler directement les tendances historiques à des périodes futures.



Figure 2.39: Vue de la tornade depuis la route 17 près du quartier est-Ottawa de Cumberland le 2 juin 2019 (CBC News)

Deux facteurs importants pour la formation d'une tornade sont l'énergie potentielle de convection disponible (EPCD), qui fournit l'énergie hydrostatique nécessaire pour développer des courants ascendants, le cisaillement vertical du vent (changements de la vitesse du vent avec l'altitude). Les simulations climatiques futures montrent une augmentation du nombre de jours

avec une EPCD élevée (en raison d'une augmentation de l'humidité et de la température à basse altitude; Brooks, 2013). Toutefois, on prévoit que le cisaillement vertical du vent diminuera à mesure que le gradient de température de l'équateur au pôle diminuera avec les changements climatiques (Brooks, 2013).

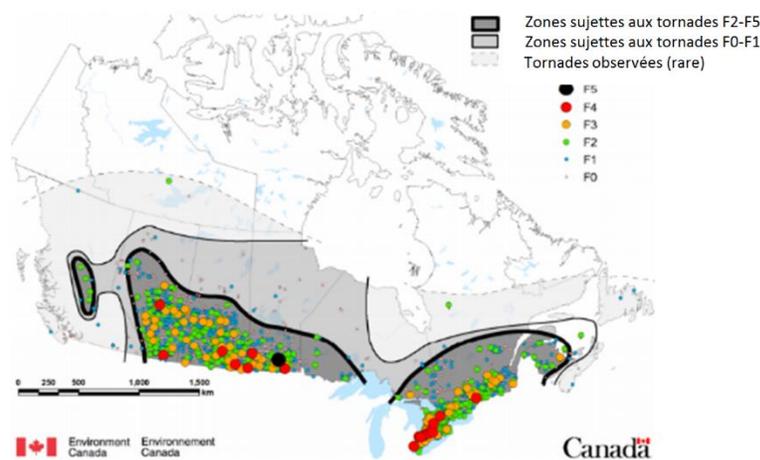


Figure 2.40: Carte des tornades de 1972 à 2009 et des zones sujettes à la formation de tornades (Sills et coll. 2012)

En résumé, l'interprétation de la façon dont les tornades changeront peut être remise en question; Brooks (2013) laisse entendre qu'il est possible que la fréquence des tornades augmente à l'avenir, en fonction de la probabilité accrue de conditions atmosphériques favorables à la formation de tornades. Les collectivités devraient envisager de se préparer à la possibilité d'une augmentation du nombre des tornades.

2.8.5 Ouragans

Les ouragans et les tempêtes tropicales sont constitués de masses d'air tropical chaud et humide avec des vents violents et des pluies torrentielles. Selon le National Hurricane Center (2017), 163 ouragans ont traversé le Canada entre 1900 et 2014 (Figure 2.41). Bien que bon nombre de ces tempêtes perdent de leur force lorsqu'elles se déplacent sur les terres, des régions du centre du Canada, comme l'Ontario et le Québec, peuvent être touchées par des rafales de vent et des pluies torrentielles qui causent des dommages.

Par exemple, en 1954, l'ouragan Hazel, la tempête d'origine tropicale la plus meurtrière de l'histoire du Canada, a balayé le sud de l'Ontario (ECCC, 2013). Plus de 200 millimètres de pluie sont tombés en 24 heures à Toronto, causant des inondations sans précédent. Plus récemment, en 2011, la tempête post-tropicale Irene a eu un impact important sur le Québec. Les vents d'Irene ont atteint 113 km/h à l'est de Québec et les précipitations ont atteint 170 millimètres en quelques heures seulement.

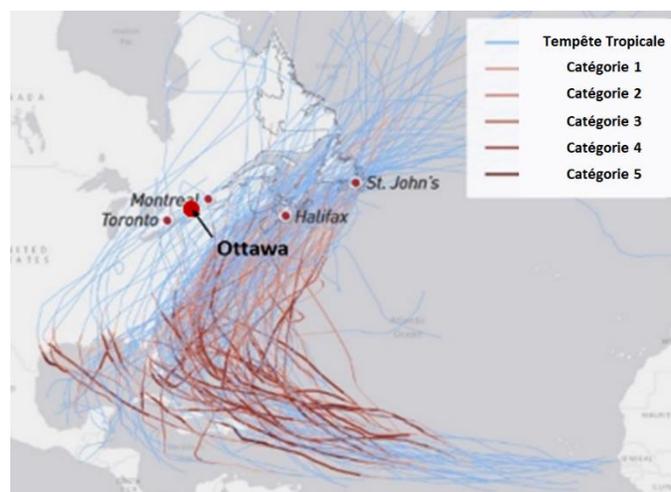


Figure 2.41: Historique des trajectoires des ouragans (National Hurricane Center 2017)

Du point de vue des processus, le réchauffement des océans signifie que les ouragans auront plus d'énergie. Selon de nouveaux résumés de l'état des connaissances par la NOAA (Knutson *et coll.* 2019), les précipitations et l'intensité des cyclones tropicaux augmenteront probablement en moyenne. De plus, la latitude d'intensité maximale dans l'Atlantique Nord semble se déplacer vers le nord.

En résumé, bien que les ouragans ne constituent pas la menace la plus immédiate pour la RCN, leurs répercussions futures sur la région pourraient augmenter.

2.8.6 Foudre

La foudre est le produit de charges positives et négatives dans les nuages qui entrent en contact avec les charges positives au sol. La foudre peut être mortelle et destructrice sur de courtes périodes et a des effets climatiques importants sur des périodes plus longues (par la production d'oxydes d'azote et l'allumage des feux de forêt; Huryn *et coll.* 2016). La foudre est affectée par l'utilisation des terres et les changements de la couverture terrestre, qui à leur tour affectent la température et la convection par l'effet d'« îlot de chaleur urbain »; par conséquent, la RCN est vulnérable en tant que région urbanisée.

Un certain nombre de processus peuvent avoir une incidence sur la foudre:

- La foudre se produit dans des environnements convectifs qui sont également sujets à de fortes précipitations, à la grêle, à la foudre, à des tornades, à des courants descendants violents (Huryn *et coll.* 2016). Par conséquent, l'augmentation projetée de l'énergie convective potentielle disponible (CAPE, dont il est question dans la section sur les tornades) pourrait se traduire par des conditions favorables à la foudre (Brooks, 2013).
- En outre, on prévoit que les changements climatiques permettront aux nuages d'avoir une plus grande dimension verticale, une propriété connue comme étant fortement corrélée à un taux d'éclair plus élevé (Agard et Emanuel 2017).
- Parmi les autres changements qui peuvent avoir une incidence sur les processus de foudre, mentionnons les changements dans la circulation mondiale qui peuvent modifier l'emplacement et la fréquence des tempêtes à grande échelle (Sillmann *et coll.* 2017), les changements d'humidité (Sillmann *et coll.* 2017), la fréquence et l'intensité des tempêtes tropicales (en particulier sur les océans plus chauds) et le cycle El Niño-Oscillation australe (Yair 2018).



Figure 2.42: La foudre pendant la tempête du 21 juillet 2010. Photo prise du 200, rue Rideau (Ottawa Citizen)

En résumé, la fréquence de la foudre pourrait augmenter sous l'effet des changements climatiques en raison d'une augmentation des conditions favorables à la foudre, et les préparatifs devraient être faits en conséquence. Il est à noter qu'il n'y a pas encore de consensus scientifique quant à savoir si ces processus se traduiront vraiment par un changement de la fréquence et de l'intensité de la foudre.

2.8.7 Évapotranspiration, sécheresse et feux de forêt

Évapotranspiration – L'évapotranspiration est un paramètre important pour les applications agricoles et écologiques. L'*évapotranspiration potentielle* est une mesure de la capacité de l'atmosphère à retirer l'eau de la surface par les processus d'évaporation et de transpiration, en ne prenant aucun contrôle sur l'approvisionnement en eau. L'*évapotranspiration réelle* est la quantité d'eau qui est effectivement retirée d'une surface en raison des processus d'évaporation et de transpiration; elle dépend non seulement de la température, mais aussi de la disponibilité de l'eau, du vent, de la couverture nuageuse et d'autres facteurs (Girardin *et coll.* 2004).

L'évapotranspiration est étroitement liée à la sécheresse parce qu'elle est une composante de l'équilibre hydrique (et qu'elle affecte donc la sécheresse), et parce que, à son tour, les périodes de sécheresse entraînent une plus grande évapotranspiration potentielle (l'atmosphère peut s'évaporer) et une plus faible évapotranspiration réelle (moins d'évaporation réelle).

Sécheresse – Une sécheresse est définie comme une période prolongée de temps anormalement sec qui épuise les ressources en eau pour répondre aux besoins humains et environnementaux (MSC Drought Study Group, 1986). Les sécheresses diffèrent des autres catastrophes (p. ex., les inondations) parce qu'elles durent plus longtemps et qu'elles n'ont pas de début et de fin faciles à identifier. Étant donné que les activités humaines et la santé de des écosystèmes dépendent d'un approvisionnement en eau adéquat et fiable, les sécheresses constituent une grave menace pour la société et l'environnement (Bonsal *et coll.* 2011). Les sécheresses prolongées dans les grandes régions comptent parmi les catastrophes naturelles les plus coûteuses au Canada et ont des répercussions importantes sur un large éventail de secteurs, y compris l'agriculture, la foresterie, l'industrie, les municipalités, les loisirs, la santé publique et les écosystèmes aquatiques (Bonsal *et coll.* 2011).

Les analyses des tendances indiquent que la gravité historique de la sécheresse a peu changé dans l'est et le centre du Canada (Girardin *et coll.* 2004). Toutefois, à l'avenir, on prévoit généralement que les hausses de température et l'évapotranspiration potentielle ne seront pas contrebalancées par les changements prévus des précipitations (Cook *et coll.* 2014). Par conséquent, on prévoit que les changements climatiques entraîneront des conditions plus sèches dans la majeure partie du Canada (RNCAN, 2019).

Feux de forêt – Les sécheresses à court et à long terme influent sur plusieurs aspects des régimes des feux, comme l'intensité, la gravité, l'étendue et la fréquence des incendies. Les feux de forêt se produisent dans les espaces verts de la RCN et peuvent toucher les collectivités avoisinantes (p. ex., Ottawa Citizen 2016). Les facteurs de changement climatique qui influent sur les incendies comprennent les changements de température, les précipitations (y compris la

sécheresse), la fonte des neiges, le vent et les régimes d'écoulement des eaux souterraines (Littell *et coll.* 2016). Ces facteurs climatiques peuvent modifier les assemblages de végétation (ce qui a une incidence sur la quantité de combustible disponible à brûler), l'inflammabilité (état d'humidité du sol et de la végétation) et les perturbations (éclosions d'insectes et arbres déracinés ou brisés par le vent). Le bilan hydrique de la forêt est complexe (p. ex., la canopée peut intercepter plus ou moins de précipitations; Littell *et coll.* 2016). Le calendrier saisonnier et l'hétérogénéité géographique des changements sont également importants en ce qui concerne les conséquences des incendies (Stocks *et coll.* 2013).

On prévoit que la saison des feux s'allongera et que le nombre et l'étendue des feux de forêt augmenteront, surtout dans les types de forêts boréales (RNCAN 2019). Flannigan *et coll.* (2013) ont examiné l'influence potentielle des changements climatiques mondiaux sur la gravité et la durée de la saison des incendies à l'aide de trois MCG. Leurs résultats suggèrent que les saisons des feux seront trois fois plus intenses et que la durée de la saison des feux augmentera de 20 jours dans l'hémisphère Nord (en particulier aux latitudes élevées) d'ici la fin du siècle. Wotton *et coll.* (2010) ont prévu des changements relatifs à la fréquence des incendies en fonction de la relation avec les variables de l'humidité et ont révélé une augmentation dans la majeure partie du Canada, y compris dans la RCN (Figure 2.43).

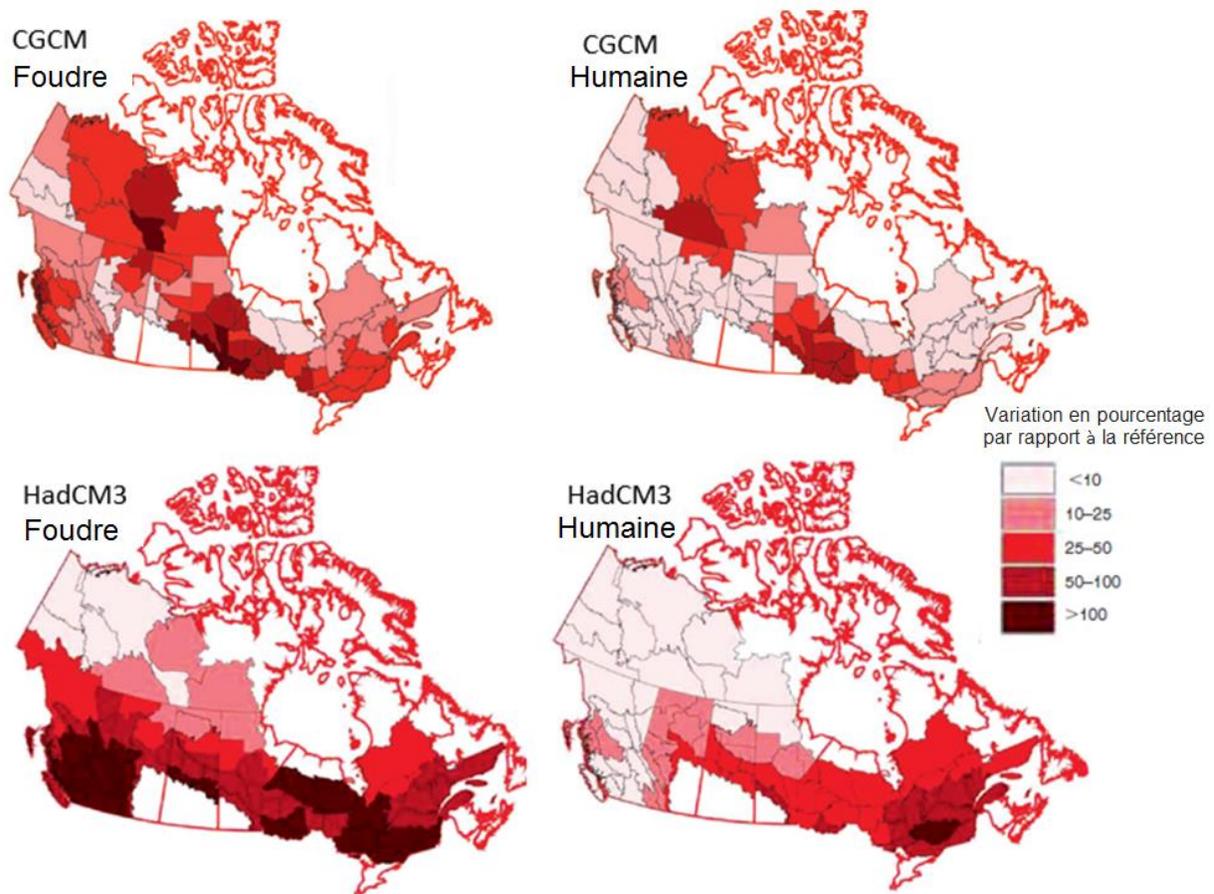


Figure 2.43: Changements projetés dans l'occurrence d'incendies causés par la foudre et l'allumage par l'humain, selon deux MCGM (Wotton *et coll.* 2010).

Modélisation fondée sur la relation connue avec les variables de l'humidité.
Changement relatif montré entre les scénarios climatiques actuels et futurs (3 x CO₂).

Enfin, il est à noter que les facteurs climatiques interagissent avec plusieurs autres contrôles pour influencer les incendies (utilisation des terres, activités de gestion et facteurs d'initiation du comportement humain). Par exemple, l'augmentation du nombre de propriétés en milieu forestier ou à proximité et l'extinction des feux de forêt contribuent également aux changements du risque d'incendie (Bracmort, 2013).

2.8.8 Qualité de l'air

Les problèmes de qualité de l'air, comme le smog, résultent en grande partie du rejet de polluants dans l'atmosphère. Comme les polluants atmosphériques ont des répercussions sur la santé publique et l'environnement, des efforts considérables ont été déployés pour améliorer la qualité de l'air au Canada au cours des dernières décennies, et les concentrations de nombreux polluants atmosphériques ont diminué (Environnement et Changement climatique Canada 2018). Cependant, il y a encore des problèmes; par exemple, le pourcentage estimé de décès attribuables à l'exposition à l'ozone troposphérique a augmenté de 1984 à 2012.

Il est possible que le réchauffement climatique aggrave certains aspects de la qualité de l'air, même en l'absence de changements dans les activités humaines (Fu et Tian 2019), par exemple avec des changements concernant :

- La durée des saisons polliniques et la production de pollen (Poole *et coll.* 2019).
- La croissance microbienne et la formation de moisissure après inondation (Poole *et coll.* 2019).
- Les types de conditions météorologiques qui se rapportent à différentes concentrations de pollution atmosphérique. Par exemple, Cheng et coll. (2007) ont constaté que le nombre de jours où les niveaux d'ozone troposphérique sont élevés (ce qui dépend de processus météorologiques, chimiques et biologiques complexes et de rétroactions) pourrait augmenter de 50 % et de 100 % d'ici les années 2050 et les années 2080, respectivement).

Des études récentes prévoient généralement une augmentation de la pollution par l'ozone troposphérique. Toutefois, l'ozone troposphérique est régi par des processus météorologiques, chimiques et biologiques complexes et des systèmes de rétroaction qui ne sont pas bien compris (Fu et Tian, 2019).

En résumé, il est possible que le réchauffement climatique aggrave certains aspects de la qualité de l'air, mais l'incertitude demeure élevée.

2.8.9 Pluies acides

Le dépôt de pluies acides accélère la corrosion de matériaux comme les roches, le mortier et les métaux, et peut endommager les systèmes naturels comme les lacs, les rivières, les forêts, le sol, les poissons et la faune.

Les émissions de sulfate et de nitrate ont augmenté depuis la révolution industrielle, qui est un problème lorsque la quantité d'acidité dépasse la capacité tampon naturelle des écosystèmes. Dans les années 1970, la législation sur les émissions acides a entraîné une réduction de 40 % de ces émissions de 1970 à 2000 au Canada (Driscoll *et coll.* 2001).

Les émissions problématiques qui causent les pluies acides (sulfate et nitrate) ne sont pas les mêmes gaz qui causent le plus de réchauffement planétaire (dioxyde de carbone et méthane), de sorte qu'il ne s'agit pas strictement d'un processus de changement climatique. Cela dit, le dioxyde de carbone peut encore causer des pluies acides (un acide plus faible) et l'augmentation des concentrations pourrait accroître l'acidité des pluies à l'avenir. En outre, les changements climatiques ont une incidence sur les caractéristiques des précipitations, ce qui aura des répercussions sur les pluies acides (p. ex., des changements au moment où elles surviennent et plus de chutes de neige acide sous forme de pluies acides).

Dans l'ensemble, en raison de la combinaison de nombreux processus changeants, l'évaluation des répercussions des changements climatiques sur les pluies acides n'est pas concluante.

2.8.10 Rayonnement solaire de courtes longueurs d'ondes

L'exposition au rayonnement solaire de courtes longueurs d'ondes est importante pour un certain nombre de raisons, notamment (1) les répercussions sur la durabilité des matériaux de construction communs, (2) les répercussions sur la production d'énergie solaire et (3) les répercussions sur les êtres vivants, y compris la santé humaine (rayonnement UV).

Les changements futurs ne sont pas clairs parce que le rayonnement de courtes longueurs d'ondes dépend de la couverture nuageuse, des aérosols (pollution atmosphérique) et de l'ozone, qui sont assurément les processus les plus difficiles à représenter avec précision dans les MCG (Lucas *et coll.* 2019). En ce qui concerne les conditions hors couverture nuageuse, les modèles climatiques sont en grande partie cohérents en ce qui concerne la projection d'une augmentation du rayonnement solaire au-dessus de l'Ontario en raison d'une diminution de certains types d'aérosols, ainsi que d'un rétablissement du niveau d'ozone depuis le Protocole de Montréal de 1987 (Wild *et coll.* 2015).

Toutefois, en ce qui concerne les tendances de la couverture nuageuse, elles sont très incertaines, différentes pour différents types de nuages, varient d'une région à l'autre et il a été démontré que la variabilité multidécennale coïncide avec la variabilité naturelle du climat (Sillmann *et coll.* 2017). La répartition de la variabilité multidécennale a également été détectée à partir de réseaux d'observation mondiaux à long terme de rayonnement de courtes longueurs d'ondes. Il y a des périodes et des régions cohérentes avec des déclin dominants (connus sous le nom d'assombrissement global) et des augmentations (connus sous le nom « d'éclaircissement »; Wild *et coll.* 2015).

En résumé, il existe différentes tendances en matière de rayonnement de courtes longueurs d'ondes, mais il est difficile de relier les changements au changement climatique à ce jour, en raison des complications causées par des facteurs tels que les nuages.

2.9 Comparaison avec d'autres études

Les données climatiques sont de plus en plus disponibles grâce à des portails de données et des études variés. Le grand nombre de méthodologies utilisées pour la modélisation climatique peut produire des résultats différents et il peut être difficile pour les utilisateurs et les décideurs politiques de décider quels résultats utiliser. La présente section du rapport compare les méthodologies utilisées et les résultats obtenus dans cette étude avec d'autres études et d'autres ensembles de données et offre des explications pour toute différence importante.

D'autres études sur les projections climatiques dans la RCN ont été préparées pour Services publics et Approvisionnement Canada (SPAC), la Ville de Gatineau et Hydro Ottawa afin d'appuyer leurs évaluations respectives de la vulnérabilité et des risques. SPAC a cerné les dangers liés au climat pour les biens immobiliers, principalement les immeubles, les centrales de chauffage et de refroidissement, les ponts et l'infrastructure routière. La Ville de Gatineau a réalisé des projections climatiques pour une série d'indicateurs sur son territoire afin d'appuyer les évaluations de la vulnérabilité et les plans d'adaptation. Hydro Ottawa a effectué une évaluation de la vulnérabilité et des risques de son infrastructure clé dans la RCN.

En plus de ces études régionales ciblées, les projections climatiques pour la RCN sont disponibles dans l'Atlas climatique du Canada (atlasclimatique.ca) et le portail national de données climatiques (donneesclimatiques.ca), deux outils en ligne, entre autres, appuyés par le Centre canadien des services climatiques. Les deux portails fournissent des projections pour les indices fondés sur la température et les précipitations en fonction d'un ensemble de MCG statistiquement mis à l'échelle locale.

Les méthodologies utilisées dans les études régionales et nationales s'harmonisent à bien des égards avec la méthodologie utilisée dans ce projet. Cependant, il y a plusieurs différences clés:

- **Cette étude a calculé une longue liste d'indices (178), y compris des « indices combinés »** qui sont fondés sur plus d'un paramètre. Par exemple, plus d'indices sectoriels sont disponibles dans cette étude que ceux actuellement accessibles sur donneesclimatiques.ca.
- **Cette étude a utilisé un ensemble de modèles de MCG (24 modèles) avec une méthode de réduction d'échelle fondée sur la distribution (plutôt que sur la moyenne).** Les autres études diffèrent légèrement quant aux sources des projections du modèle utilisées et à la façon dont le traitement a été effectué. Par exemple, l'étude d'Hydro Ottawa a utilisé les MCG du CMIP5, mais a appliqué une correction du biais fondée sur la moyenne plus fondamentale appelée « méthode delta ». L'étude de la Ville de Gatineau a utilisé un sous-ensemble des MCG du CMIP5 et en a réduit l'échelle au moyen d'une méthode de distribution différente (cartographie quantile 1D par Gennaretti *et coll.* 2015 avec quelques modifications), bien que le même ensemble de données d'observation ait été utilisé pour réduire l'échelle que celui dans cette étude (10 km; McKenney *et coll.* 2011).
- **Cette étude présente la médiane ainsi que les 10e/90e centiles pour chaque indice afin de caractériser l'incertitude.** Les autres études font état d'incertitudes (plage de projections) à des degrés différents, certaines se concentrant uniquement sur la médiane.
- **Cette étude a calculé les indices séparément pour chaque cellule de la grille dans la RCN afin d'étudier la variation spatiale potentielle des projections.** Cela signifie que les

résultats peuvent être présentés sous forme de carte (aussi possible avec donneesclimatiques.ca), ce qui n'est pas le cas pour les études qui ont utilisé des projections qui sont réduites à une mesure ponctuelle ou établies en moyenne sur la région. Par conséquent, la portée géographique de l'étude est plus vaste.

- **Cette étude a utilisé un ensemble de MRC pour obtenir des projections de neige, d'humidité et de vent (en plus de la température et des précipitations).** Les autres études qui traitent de ces paramètres ont utilisé l'extrapolation de mesures ou d'analyses historiques tirées de la littérature.

Les résultats de cette étude et ceux mentionnés ci-dessus (SPAC, Hydro Ottawa, Atlas climatique, etc.) ne peuvent être comparés que pour les indices qui se chevauchent. Les résultats sont généralement similaires, et des différences sont attendues en raison des différences de méthodologies mentionnées ci-dessus.

En ce qui concerne les **résultats sur la température**:

- Il y a de légères différences (jusqu'à 1,2 °C) dans les températures annuelles moyennes de référence déclarées dans chaque étude. Cela peut être en partie attribuable aux différences dans l'étendue des zones d'étude et des stations météorologiques utilisées pour les données de référence (par exemple, selon les normes climatiques d'ECCE, l'aéroport MacDonal-Cartier d'Ottawa a une température moyenne annuelle de 1,4 °C supérieure à celle de Masson-Angers, au Québec).
- On s'entend généralement sur les indices fondés sur la température, comme le nombre de jours chauds (> 30 °C), avec une différence de moins de 5 % entre les projections médianes des études.

En ce qui concerne les **résultats sur les précipitations**:

- On s'entend généralement sur les précipitations annuelles totales, avec une différence de moins de 5 % entre les projections médianes des études.
- On s'entend aussi généralement sur l'intensité des précipitations, les précipitations maximales annuelles sur 5 jours ayant une différence de moins de 5 % entre les projections médianes; les précipitations maximales annuelles sur une journée sont légèrement plus faibles dans cette étude, avec encore moins de 10 % de différence. Il est à noter que cette différence est probablement attribuable aux différentes échelles spatiales utilisées pour les projections entre les différentes études (p. ex., les valeurs présentées ici sont des moyennes pour l'ensemble des régions de la RCN, tandis que les valeurs présentées dans l'Atlas climatique ne sont qu'une seule valeur de cellule de grille, 10 x 10 km).

En ce qui concerne les événements extrêmes (tornades, éclairs, etc.), les résultats sont généralement cohérents. Les inondations riveraines n'ont pas été évaluées dans cette étude parce qu'elles dépendent de la gestion de l'eau, des structures hydrauliques et d'autres facteurs qui ne sont pas pris en compte par les mesures du niveau de l'eau.

En résumé, cette étude confirme et élargit les études antérieures, en fournissant un plus grand nombre et une plus grande variété d'indices, caractérisant l'incertitude avec des intervalles de confiance et couvrant une zone géographique plus large.

Chapitre 3 Répercussions sur la région de la capitale nationale

Les changements climatiques posent des risques à tous les secteurs de l'économie et à la qualité de vie des gens. Des mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques sont nécessaires pour limiter les répercussions sur les personnes et les écosystèmes.

Le présent chapitre résume quelques-unes des principales répercussions régionales des changements climatiques, y compris celles qui ont fait l'objet de discussions au cours de l'atelier des intervenants de juillet 2019, avec une brève discussion sur les processus qui entraînent les inondations riveraines. Les exemples présentés dans ce chapitre sont loin d'être exhaustifs et seront examinés plus en détail dans les évaluations subséquentes des risques et de la vulnérabilité. Le chapitre comprend une discussion sur l'utilisation des données de projection et sur la façon d'atténuer l'incertitude dans les évaluations d'impact et la planification de l'adaptation.

3.1 Répercussions climatiques régionales sur les secteurs clés

Cette section présente les discussions préliminaires sur les répercussions sur les secteurs clés suivants :

- **La santé et la sécurité**, y compris l'augmentation du stress sur les services d'urgence et les systèmes de santé publique, ainsi que les répercussions sur la santé humaine.
- Les **services d'eau**, y compris la collecte et la gestion des eaux usées et des eaux pluviales, la distribution de l'eau, la gestion des déchets solides, les inondations riveraines et l'érosion, ainsi que la qualité de l'eau.
- **Bâtiments, biens immobiliers et planification**, y compris les bâtiments historiques et nouveaux, les monuments et l'aménagement du territoire.
- Le **transport**, y compris la planification, l'exploitation et l'entretien des routes, du transport en commun et des réseaux de transport actif.
- **Ressources naturelles, tourisme et loisirs**, y compris le parc de la Gatineau, la Ceinture de verdure, la patinoire du canal Rideau, le Festival des tulipes, l'agriculture, les arbres et les forêts, la biodiversité et les espèces envahissantes, ainsi que les loisirs d'été et d'hiver.

3.1.1 Santé et sécurité

La température la plus chaude de l'année devrait augmenter pour tous les horizons temporels dans la RCN. Non seulement on prévoit que les températures extrêmes deviendront plus chaudes, mais on prévoit aussi qu'elles deviendront plus fréquentes. Le nombre de « jours chauds » devrait augmenter, passant de la fréquence moyenne actuelle de 11 jours par année à

deux fois plus dans les années 2030 et 3-4 fois plus dans les années 2050. Les avertissements de chaleur se produiront probablement beaucoup plus souvent qu'auparavant. Le stress thermique est une préoccupation de santé publique pour tout le monde, et particulièrement pour les populations vulnérables comme les enfants, les personnes âgées, les gens qui travaillent à l'extérieur et ceux qui ont des problèmes de santé.

Les incidents de maladies à transmission vectorielle devraient augmenter avec les températures plus élevées et les saisons changeantes. Ngonghala *et coll.* (2019) ont déterminé que la transmission du virus Zika se produit entre une plage de température optimale qui peut devenir plus courante à mesure que la température annuelle moyenne dans la RCN devrait augmenter. On trouve des tiques à n'importe quel moment de l'année où les températures sont au-dessus du point de congélation, mais elles sont plus actives en Ontario pendant les mois de printemps et d'été (gouvernement de l'Ontario, 2019). Le dernier jour de gel printanier devrait passer du début mai/mi-mai à la fin avril. Les conditions sans gel devraient être la nouvelle normale pour septembre et mai. Compte tenu des saisons changeantes, y compris le début précoce du printemps et le début tardif de l'automne, un contact prolongé avec les tiques est possible.

Les phénomènes météorologiques extrêmes, comme les tornades, les tempêtes de verglas et les feux de forêt, pourraient augmenter à l'avenir. L'incertitude demeure élevée pour ces événements, de sorte que la planification des changements nécessitera un examen attentif des risques. Les changements climatiques et les phénomènes météorologiques extrêmes comme les inondations, les vagues de chaleur, les incendies et les tempêtes ont une grande incidence sur la santé mentale, physique et financière des personnes directement touchées et exercent une pression supplémentaire sur les services d'urgence. On sait que les feux de forêt augmentent la concentration de particules en suspension dans l'air qui, lorsqu'elles sont inhalées, peuvent causer des risques pour la santé.

3.1.2 Services d'eau

Les répercussions des changements climatiques sur le secteur des services d'eau de la RCN sont en grande partie attribuables aux changements du volume et de l'intensité des précipitations et des événements de fonte des neiges. Les précipitations intenses devraient augmenter. Sur le plan saisonnier, le changement le plus radical devrait se produire en hiver, où les précipitations devraient augmenter. Les répercussions de l'évolution des précipitations peuvent comprendre les inondations des cours d'eau et des égouts, les pluies érosives, l'augmentation du nombre et du volume des débordements des égouts unitaires et la production accrue de lixiviat dans les installations de gestion des déchets solides.

Des températures estivales plus chaudes jumelées à des périodes de faible pluviosité peuvent causer de faibles débits dans le système de collecte des eaux usées, ce qui peut entraîner des odeurs. Un impact universel sur tous les systèmes mécaniques est l'impact des vents forts et de la pluie verglaçante sur les pannes d'électricité. Les installations de traitement de l'eau et des eaux usées et les réseaux de collecte et de distribution dépendent tous de l'énergie pour fonctionner. Les perturbations peuvent entraîner une réduction de la pression dans le réseau de distribution d'eau ou des débordements d'égouts unitaires non traités. Heureusement, la Ville

d'Ottawa entretient un certain nombre de systèmes d'alimentation de secours, y compris des génératrices permanentes et portatives, qui peuvent réduire la gravité des pannes d'électricité.

3.1.3 Bâtiments, immobilier et planification

Les changements climatiques auront diverses répercussions sur les secteurs de la construction, de l'immobilier et de la planification. Plus particulièrement, on s'attend à ce que la demande d'énergie change selon les saisons, les besoins en chauffage diminuant en hiver et la demande de climatisation augmentant pendant les mois d'été.

Les systèmes de drainage des toits et des fondations des bâtiments peuvent être touchés par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes. Pour les nouvelles constructions, les changements climatiques auront une incidence sur les éditions futures du Code national du bâtiment du Canada (CNBC). L'adaptation peut consister à élever des terrains de construction et à choisir des matériaux de construction conçus pour résister à une exposition accrue aux conditions météorologiques extrêmes. Les changements climatiques peuvent également avoir une incidence sur la planification et les politiques, en particulier les plans d'aménagement municipaux, les stratégies de croissance urbaine, les critères de drainage des eaux pluviales, l'aménagement du territoire, ainsi que les plans directeurs et stratégiques.

3.1.4 Transports

Le secteur des transports (transport aérien, routier et ferroviaire, réseau public et de transport actif) est vulnérable aux dommages et aux perturbations causés par les changements climatiques et les conditions météorologiques extrêmes. Cela pose des risques pour tous les secteurs de l'économie et la qualité de vie de l'utilisateur (Palko et Lemmen, 2017). Les changements climatiques auront des répercussions à la fois sur:

- **Infrastructure de transport** — Les répercussions sur l'infrastructure routière comprennent les inondations et les effets de lavage, la réduction de la traction des véhicules, la détérioration de l'asphalte, la fermeture de routes et la réduction de la visibilité. Bon nombre de ces répercussions s'appliqueraient également aux réseaux de transport en commun en milieu urbain, avec les répercussions supplémentaires des pannes d'électricité.
- **Opérations de transport** - Les retards et les perturbations liés au climat et aux conditions météorologiques pourraient devenir plus fréquents à l'avenir, particulièrement avec l'augmentation prévue des épisodes de pluie verglaçante en hiver. Les redondances dans les systèmes de transport (qui permettent de se déplacer de plusieurs façons) sont une façon de réduire ces répercussions.

Un climat changeant pourrait offrir des possibilités à ce secteur, comme des saisons de construction et une saison estivale de transport actif plus longues.

3.1.5 Ressources naturelles, tourisme et loisirs

Les changements de température et de précipitations auront de vastes répercussions sur les arbres, les forêts, les terres humides et d'autres zones naturelles, ainsi que sur l'agriculture, le tourisme et les loisirs.

Pendant les mois chauds d'été avec de faibles précipitations, la végétation peut suspendre la croissance jusqu'à ce que les conditions favorables soient rétablies. Ce processus a des répercussions sur les arbres, l'aménagement paysager et les espèces envahissantes. Elle affecte également l'agriculture, en raison d'une combinaison d'une saison de croissance potentiellement plus longue et des facteurs de stress supplémentaires des saisons changeantes. Il faudra peut-être étudier de nouvelles espèces végétales qui sont plus tolérantes à la chaleur et qui peuvent résister à de lourdes charges de glace ou à de fortes rafales de vent.

Les conditions peuvent être plus favorables pour les espèces envahissantes et les espèces peuvent être en péril en raison de la perte d'habitat. L'augmentation du nombre d'espèces envahissantes et de ravageurs, comme les tiques, peut décourager les randonneurs et les utilisateurs récréatifs des espaces verts. Comme il y a de nombreux avantages pour la santé à être actif et à profiter du plein air, la sensibilisation à des mesures simples de protection et de prévention sera nécessaire.

Les loisirs d'hiver sont touchés par les changements dans la génération et l'accumulation de neige, la formation de glace et la température. Le ski de fond et la raquette dans le parc de la Gatineau, la Ceinture de verdure et d'autres zones de ski (comme la baie Mooneys et le sentier de ski SJAM), ainsi que le patinage sur les patinoires communautaires dans les parcs ou sur le canal Rideau, génèrent une immense valeur pour les gens du coin, les touristes et l'économie. La fonte des neiges et la pluie sur la neige influenceront sur les niveaux de crue printanière ainsi que sur l'épaisseur de la glace de la patinoire du canal Rideau.

3.2 Inondations riveraines

Les inondations riveraines peuvent se produire sur n'importe quel cours d'eau de la RCN, et plus particulièrement le long de la rivière Gatineau, le canal Rideau et la rivière des Outaouais. La RCN a connu d'importantes inondations le long de ces rivières, plus récemment au printemps 2017 et au printemps 2019. De graves inondations le long de la rivière des Outaouais sont également survenues dans les années 1920, 1950 et 1970 (Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais - Bulletin de Foire aux questions sur la crue printanière de 2019, 24 octobre 2019).

De nombreux facteurs contribuent aux risques d'inondation, dont la plupart ne sont pas visés par la présente étude. Les crues printanières sont principalement causées par les pluies et la fonte des neiges. Ceux-ci dépendent à leur tour de la quantité et de la durée des précipitations, de la masse de la couverture de neige et des fluctuations de température. L'utilisation et la couverture terrestre sont également des facteurs, comme la quantité de zones perméables dans le bassin versant ou la présence de structures de régulation de l'eau comme des barrages ou des réservoirs. Les niveaux des rivières sont également influencés par le moment de la crue printanière, car plus d'eau s'écoule dans les cours d'eau lorsque le sol est gelé ou déjà saturé. Les embâcles sont une autre considération, particulièrement sur la rivière Rideau, où des programmes saisonniers de déglacage sont mis en œuvre à titre préventif.

Les résultats des projections climatiques présentés au chapitre 2 fournissent de l'information sur la façon dont certains facteurs environnementaux des inondations (c.-à-d. la neige, la pluie, la température) devraient changer à l'avenir. Toutefois, les inondations fluviales sont touchées par des changements dans l'ensemble du bassin hydrographique. La Figure 3.1 représente l'étendue du bassin versant de la rivière des Outaouais, qui comprend les bassins versants de la rivière Gatineau et de la rivière Rideau. Le bassin versant de la rivière des Outaouais est 23 fois plus grand que la limite de la zone d'étude, ce qui modifie la superficie couverte par les projections présentées dans le présent rapport. Afin de bien évaluer l'incidence des changements de température, de précipitations et de manteau neigeux sur les inondations, des projections à l'échelle du bassin hydrographique seraient nécessaires.

Il existe plusieurs outils de gestion des risques d'inondation pour protéger les personnes et les biens contre les inondations. La cartographie des zones inondables est utilisée pour cartographier les zones le long d'une rivière qui risquent d'être inondées à divers niveaux. Dans la RCN, le développement est limité dans les zones sujettes aux inondations lors d'une crue à récurrence de 100 ans, ce qui signifie un niveau d'inondation qui a une probabilité de 1 % de se produire chaque année (selon les débits historiques). Des cartes supplémentaires des risques d'inondation peuvent évaluer les répercussions possibles d'un événement moins fréquent et à débit plus élevé, comme une crue à récurrence de 350 ans, afin d'orienter la planification et l'intervention en cas d'urgence. De nombreuses autorités participent à la prévision, à la surveillance et à l'avertissement des risques d'inondation dans la RCN, y compris les offices de protection de la Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais (voir www.rivieredesoutaouais.ca pour de plus amples renseignements).

Pour prévoir les répercussions des changements climatiques sur les inondations riveraines à venir, il faudrait une modélisation riveraine complexe qui intègre des facteurs comme l'utilisation des terres, le type de sol, la topographie, la bathymétrie des rivières (profil des terres sous la surface de l'eau) et les structures hydrauliques (comme les ponts, les ponceaux et les barrages). La situation est d'autant plus compliquée par la taille du bassin versant de la rivière des Outaouais et la diversité des autorités locales, provinciales et fédérales impliquées. En l'absence d'une modélisation exhaustive des cours d'eau, d'autres outils de gestion des risques d'inondation devraient être envisagés.

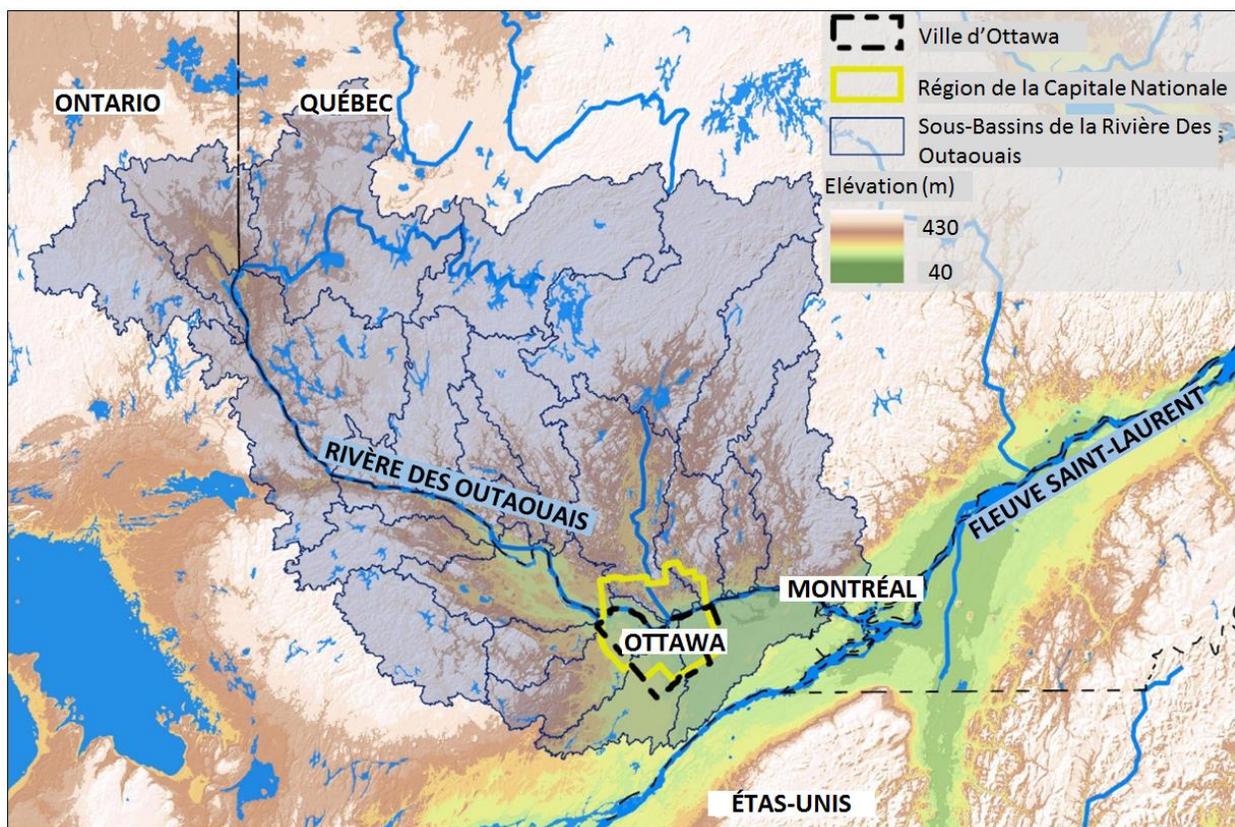


Figure 3.1: Bassin versant de la rivière des Outaouais

3.3 Gestion de l'incertitude dans les évaluations d'impact et l'adaptation

Les incertitudes associées aux projections climatiques devraient être prises en compte dans l'utilisation des données climatiques futures, et non pas contre celles-ci. Il n'y a pas d'avenir certain pour un paramètre climatique donné, et par conséquent, la gestion de l'incertitude par l'application des données sur toute la gamme (de la valeur la plus faible à la valeur future la plus élevée) des projections est recommandée.

Les données climatiques, y compris les données présentées dans le présent rapport, devraient être appliquées aux évaluations des risques et des vulnérabilités à l'appui de la planification de l'adaptation, des évaluations d'impact et d'autres. Une évaluation des risques fournit un contexte sur toute la gamme des projections climatiques en tenant compte de la probabilité d'occurrence et de la gravité de l'événement climatique. Ce processus aide à déterminer quel scénario futur est approprié pour une demande ultérieure, par exemple :

- Planification de l'adaptation
- Évaluation de la résilience
- Évaluation des incidences sur la santé
- Normes de conception
- Évaluations environnementales
- Gestion des biens
- Aménagement du territoire
- Lignes directrices et pratiques exemplaires

Le scénario futur le plus approprié pour un paramètre climatique particulier peut différer pour chaque application des données. Cela est attribuable au fait que chaque projet, bien, programme ou secteur de service a une tolérance relative au risque unique et une durée de vie prévue. Par exemple, il serait trop conservateur d'utiliser des projections de température à l'an 2100 pour évaluer la capacité d'un système de refroidissement qui devrait être mis hors service dans les années 2030. Il se peut toutefois qu'il soit approprié d'utiliser des projections à court terme pour évaluer la capacité d'un projet ayant un horizon de planification à long terme, car le projet subira toujours des changements à court terme. Ceci est particulièrement vrai pour les projections qui suggèrent une augmentation à court terme, puis une diminution à long terme, comme pour la neige.

3.3.1 Sources d'incertitude

Il y a plusieurs sources d'incertitude dans les projections, soit la variabilité naturelle, l'incertitude du scénario (c.-à-d. les scénarios d'émissions mondiales qui pourraient se produire) et l'incertitude scientifique (y compris l'incertitude des modèles eux-mêmes et le post-traitement des produits du modèle). L'importance relative de ces sources d'incertitude change en fonction de la durée de vie utile restante prévue de la politique, du programme ou du bien. L'incertitude liée à la variabilité naturelle est importante à court terme, alors que les prévisions associées à chaque scénario d'émissions divergent à long terme, ce qui réduit l'importance de l'incertitude associée à la variabilité naturelle. Par conséquent, la pertinence de chaque source d'incertitude dépend de l'horizon temporel d'intérêt. De plus, la confiance dans les projections de température est généralement plus grande que pour d'autres paramètres comme les précipitations ou les vents. Les discussions sur les sources d'incertitude sont présentées à l'ANNEXE A — *Contexte de la modélisation climatique* (Section A3).

L'utilisation d'un ensemble de modèles climatiques, comme l'a fait cette étude, caractérise l'incertitude des projections climatiques. Cette incertitude est ensuite encadrée dans la présentation des graphiques de données, pour que les décideurs en tiennent compte lorsqu'ils utilisent les projections climatiques. L'incertitude des projections climatiques ne peut être évitée. Les « meilleurs renseignements disponibles » ne sont donc pas fondés sur les projections d'un modèle en particulier, mais plutôt sur une comparaison de la gamme complète des projections.

3.3.2 Atténuation de l'incertitude grâce à l'évaluation des risques

Les décideurs sont déjà équipés pour faire face à l'incertitude. La variabilité des conditions météorologiques et l'imprévisibilité des conditions météorologiques extrêmes sont un fait que les ingénieurs, les planificateurs, les fournisseurs de services de santé et d'urgence et les décideurs ont appris à accepter et à réagir de façon appropriée.

Une évaluation des risques climatiques est une méthode permettant de déterminer les vulnérabilités en fonction de la gravité (ou des conséquences) et de la probabilité. Elle tient compte de l'exposition, des personnes et des éléments les plus vulnérables. La notation de ces fonctions sur une échelle numérique permet une comparaison quantitative de divers impacts

climatiques afin de prioriser les mesures d'adaptation. Il existe diverses méthodologies établies pour les évaluations des risques climatiques, notamment :

- Protocole du **Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques** (CVIIP) d'Ingénieurs Canada.
- **Des outils de planification pour les Premières nations : Manuel 3** (Centre autochtone de ressources environnementales [CIER], 2006).
- **Integrating Climate Change into Invasive Species Risk Assessment/ Risk Management** — Rapport d'atelier (Gouvernement du Canada, 2008).
- **Envision** (Institute for Sustainable Infrastructure).
- **Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds** (CCMA, 2013).
- **Building Adaptive and Resilient Communities (BARC) Program** (ICLEI Canada, 2017).
- **A Practitioner's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems V1** (Province de l'Ontario et Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation, 2011).
- **Adaptation aux changements climatiques : Guide axé sur les risques à l'intention des gouvernements locaux** (Summit Enterprises International [S.E.I.] Inc, 2010).
- **Changements climatiques et aménagement forestier durable au Canada : guide d'évaluation de la vulnérabilité et d'intégration des mesures d'adaptation dans le processus décisionnel** (Conseil canadien des ministres des forêts, 2015)
- *Ontario Vulnerability and Adaptation Assessment Guideline* en vertu du **Climate Change and Health Toolkit** (ministère de la Santé et des Soins de longue durée, 2016).

Le Climate Risk Institute (<https://climateriskinstitute.ca/>) est une excellente ressource pour les outils d'évaluation des impacts climatiques. Ces cadres d'évaluation bénéficient d'une participation multidisciplinaire et multisectorielle.

Une équipe possédant une expertise en projection climatique peut filtrer le volume parfois accablant d'information climatique disponible pour obtenir une courte liste de renseignements qui doivent être pris en compte dans le processus décisionnel. Les climatologues travaillant avec des évaluateurs d'impact peuvent également fournir des conseils sur l'interprétation des données et des graphiques de projection du climat afin de s'assurer que les forces et les limites des données climatiques sont correctement prises en compte. En fin de compte, la tolérance du propriétaire au risque jouera un rôle central dans la façon dont l'incertitude est traitée, ainsi que d'autres considérations non climatiques comme les influences économiques, politiques et sociales. En général, les décisions ne sont pas prises uniquement en fonction des prévisions climatiques. Les outils servant à quantifier les coûts-avantages, comme les calculs du rendement sur le capital investi (RCI) ou de l'analyse de l'estimation des pertes (AEP), peuvent aider à fournir un contexte pour la faisabilité globale du projet. Une fois que les projections sur les changements climatiques deviennent un élément d'un cadre décisionnel plus vaste qui met l'accent sur des applications pratiques, l'incertitude globale devient moins décourageante.

Bien que cela soit généralement plus facile à comprendre, il n'est pas souhaitable de déterminer une valeur (généralement la valeur moyenne ou médiane) pour les conditions futures qui sont sélectionnées à partir d'une gamme d'avenirs possibles. En effet, le choix d'un chiffre peut entraîner un niveau de confiance et de certitude qui n'existe tout simplement

pas dans la modélisation des projections. Au lieu de cela, une meilleure façon de représenter les conditions futures pourrait consister à fournir une gamme de valeurs qui caractérisent les changements potentiels sur une période donnée. À titre d'exemple, mentionnons le remplacement des titres comme « La température augmentera de 5 °C d'ici la fin du siècle » par « Les températures annuelles moyennes devraient augmenter de 3 °C à 7 °C d'ici la fin du siècle ». La fourchette pourrait représenter les estimations faibles à élevées calculées à partir des projections de scénarios à émissions modérées et élevées pour cette période et constitue donc une représentation quantitative de l'incertitude. Cette fourchette de valeurs fournit aux décideurs un scénario de la meilleure et de la pire éventualité dont il peut être nécessaire de tenir compte pour déterminer la voie à suivre privilégiée.

3.3.3 Pratiques exemplaires pour les nouvelles infrastructures

Pour les nouvelles infrastructures, dans les cas où il est pratique de le faire, l'utilisation d'une conception à faibles regrets qui tient compte de toute la gamme des projections climatiques peut rendre un projet plus résilient aux futurs phénomènes climatiques extrêmes. Les mesures à faibles regrets sont des options de conception relativement peu coûteuses pour accroître la résilience climatique. Cela comprend :

- Fonder les plans/conceptions sur les **conditions climatiques les plus probables**.
- **Inclure de la souplesse** ou des facteurs de sécurité supplémentaires pour d'autres plans d'action si les conditions climatiques s'écartent du dimensionnement.
- **Surveiller les conditions climatiques** et le rendement du projet au fil du temps.
- Choisir des adaptations qui procurent un **avantage financier ou social clair**, peu importe la façon dont les changements climatiques se produiront à l'avenir.
- Mettre en œuvre des **modifications** à la conception et à la construction en réponse aux changements observés.

Par exemple, la Ville d'Ottawa applique actuellement un test de résistance de 20 % à l'intensité des pluies maximales appliquées à la conception de nouvelles infrastructures d'égout. Le test de résistance de 20 % peut tenir compte d'une série de facteurs inconnus comme le changement climatique, le développement futur ou des sources inconnues d'entrée et d'infiltration. À l'avenir, le test de résistance de 20% peut être combiné avec les projections climatiques fournies dans ce rapport. Une attention particulière doit être accordée aux situations à forte incertitude (par exemple, les extrêmes de précipitations). Il est important que les tests de sensibilité et l'analyse des risques exploitent les informations disponibles le mieux possible.

La conception des infrastructures et la gestion des biens seront davantage guidées par les codes et les normes qui sont actuellement mis à jour pour tenir compte des changements climatiques. Par exemple, des modifications au Code national du bâtiment du Canada devraient être apportées en 2025 pour tenir compte des changements climatiques. Les méthodes présentées dans les codes, les normes et les pratiques exemplaires donneront un bon aperçu de la gestion de l'incertitude dans l'application des projections climatiques pour la conception des infrastructures ainsi que des programmes et des politiques.

3.3.4 Répercussions sur l'adaptation

Une stratégie d'adaptation qui tient compte de toute la gamme des résultats possibles est idéale; toutefois, elle n'est pas toujours possible ou faisable. L'analyse de sensibilité, un type d'analyse hypothétique, appliquée aux mesures d'adaptation sur toute la gamme des résultats possibles, est une façon de mesurer la résilience aux impacts climatiques. Une analyse de sensibilité évalue la réponse d'une étude à des échelles variables du climat futur, comme la surveillance de la réponse de la production végétale à une gamme de projections de température future. Cela se fait généralement à l'aide de modèles qui définissent la relation entre le paramètre climatique et le sujet d'essai.

Agir selon le meilleur scénario à court terme et laisser de la place à la souplesse dans l'adaptation ou la politique, pour qu'elle soit élargie ou bâtie plus tard, est une autre approche pour gérer l'incertitude. À mesure que de nouveaux renseignements deviennent disponibles et que les modèles de projection s'améliorent, la stratégie peut être ajustée. Par exemple, une approche axée sur l'utilisation des terres pour l'adaptation aux changements climatiques pourrait consister à réserver un pourcentage d'espace vert à des fins communautaires. Selon l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'implantation stratégique d'arbres dans les villes peut aider les communautés urbaines à s'adapter aux effets du changement climatique en agissant comme brise-vent et en fournissant un refroidissement. La plantation d'arbres en milieu urbain peut aussi réduire le ruissellement maximal des eaux pluviales sur les propriétés non aménagées. À l'avenir, si l'espace vert n'est pas nécessaire pour l'adaptation aux changements climatiques, il pourrait être développé à ce moment-là pour répondre à un autre besoin.

L'évolution de l'incertitude dans les projections climatiques devrait être utilisée pour équilibrer les coûts et les conséquences possibles d'une défaillance. Notamment, dans le cas des infrastructures essentielles, une évaluation technique-économique des coûts et des avantages des mesures d'adaptation devrait être effectuée, en mettant l'accent sur les risques les plus élevés pour faciliter la planification des efforts.

Dans le cas des projections où une tendance de confiance ne peut pas encore être reconnue, ou lorsque les études montrent des résultats contradictoires (comme pour le vent), il est recommandé de suivre de plus près les progrès scientifiques. Selon les renseignements actuellement disponibles, il faudrait envisager une planification proactive en cas de rafales de vent potentiellement plus fortes.

3.4 Réagir aux changements scientifiques

Des améliorations dans la compréhension des processus climatiques par la communauté scientifique, le développement de modèles et une augmentation de la puissance computationnelle sont en cours. L'ANNEXE A – *Contexte de la modélisation climatique* (section A4) décrit certains des changements prévus au cours des prochaines années, y compris une nouvelle génération de modèles (CMIP6) qui devrait être disponible en 2021. La capacité des modèles à représenter de multiples processus climatiques et océaniques s'est

considérablement améliorée depuis les années 2000. À mesure que les modèles continuent de résoudre un plus grand nombre de processus avec plus d'exactitude, de nouveaux ensembles de données, un meilleur post-traitement des projections climatiques (p. ex., réduction de l'échelle) et de nouveaux portails de données deviendront disponibles.

Lorsque de nouveaux modèles sont publiés, les projections contenues dans ce rapport ne doivent pas être présumées désuètes sans comparaison et examen. La science du climat évolue rapidement et les incertitudes relatives aux données climatiques, comme les tendances des émissions de GES, évoluent. Pour cette raison, il vaut la peine de surveiller les nouvelles projections et de les comparer aux résultats présentés dans le rapport au cas par cas. Si les nouvelles projections diffèrent considérablement de celles présentées dans le présent rapport, il peut être justifié de revoir l'évaluation des risques ou la capacité d'adaptation de l'infrastructure, des politiques ou des programmes. Pour la plupart des paramètres, on ne prévoit pas que les nouveaux modèles changeront radicalement les tendances présentées dans le présent rapport.

Certaines sources d'incertitude sont « irréductibles » (p. ex., l'incertitude causée par la variabilité naturelle du climat) et ne seront pas éliminées par les nouveaux modèles climatiques. De nombreuses évaluations des répercussions et des risques n'appliquent pas directement des renseignements climatiques précis, mais interprètent plutôt des tendances qui sont moins susceptibles de changer radicalement et agissent en conséquence. Pour cette raison, il ne faut pas présumer automatiquement que les évaluations des risques et des répercussions sont désuètes lorsque des données deviennent disponibles, car de nouvelles données pourraient ne pas changer le résultat de l'évaluation.

L'examen régulier des projections est une bonne pratique, ce qui peut être fait, par exemple lorsque le nouveau cadre du projet d'intercomparaison du modèle climatique (CMIP) est mis à jour, que de nouveaux scénarios RCP sont définis, ou lorsque d'autres avancées importantes dans la science du climat sont réalisées. Le portail de données (donneesclimatiques.ca) facilite l'accès à l'information climatique provenant de diverses sources pour un éventail de publics, du grand public, des médias, des analystes des politiques et des décideurs, ainsi que des chercheurs et des scientifiques. Il devrait être mis à jour à mesure que de nouveaux renseignements deviennent disponibles. Les mises à jour futures comprendraient, par exemple (mais sans s'y limiter), la sixième phase du projet d'intercomparaison du modèle climatique (CMIP6) ainsi que le 6e rapport d'évaluation du GIEC (Les bases scientifiques physiques), qui devrait être publié en avril 2021. Pour plus de détails sur ces mises à jour, veuillez consulter l'annexe A4 — Contexte de la modélisation climatique.

Chapitre 4 Conclusion

Cette étude présente les changements climatiques prévus dans la région de la capitale nationale (RCN). Elle fournit les données nécessaires pour évaluer les répercussions des changements climatiques sur de multiples secteurs et guide la planification de l'adaptation aux changements climatiques et de la résilience.

On prévoit que la RCN se réchauffera en toutes saisons et qu'elle sera plus humide à l'automne, à l'hiver et au printemps. On s'attend à ce que le moment des saisons change, avec un automne plus tardif et un printemps plus hâtif. Les périodes de chaleur extrême deviendront plus courantes. On s'attend à ce que les hivers soient plus courts et à ce qu'il y ait moins de neige. Les précipitations devraient augmenter, tant en volume qu'en intensité. Bien que l'incertitude demeure élevée, la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes comme les tornades, la foudre, les vents extrêmes, les ouragans et les feux de forêt peut augmenter.

Les projections climatiques localisées fournies dans le présent rapport peuvent appuyer la planification et l'action proactives dans la RCN. Les collectivités et les groupes d'intervenants de la RCN sont encouragés à utiliser les résultats pour comprendre les conditions climatiques futures et s'y préparer.

À l'avenir, à mesure que la science du climat évoluera et que de nouvelles données ou de nouveaux modèles deviendront disponibles, les projections contenues dans ce rapport devraient être examinées afin de déterminer si des mises à jour sont nécessaires. Bien que pour la plupart des paramètres, on ne s'attend pas à ce que les nouveaux modèles modifient radicalement les tendances présentées dans le présent rapport, les nouvelles projections devraient être surveillées afin d'en évaluer les répercussions sur les risques.

ANNEXE A – Contexte de la modélisation climatique

L'objectif de cette annexe est de fournir des renseignements généraux sur plusieurs des concepts de la science du climat mentionnés dans le rapport principal. Des détails supplémentaires se trouvent dans les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (p. ex., GIEC 2013).

A.1 Modèles climatiques

Les **modèles climatiques globaux (MCG)** représentent la planète en divisant la terre en cellules d'environ 100 à 300 km de large. Des projections régionales (ou locales) sont parfois nécessaires pour effectuer une évaluation des impacts climatiques. Étant donné que les projections du MCG sont grossières (grande taille de la grille), elles nécessitent une mise à l'échelle dynamique ou statistique pour obtenir des projections régionales.

La **réduction d'échelle statistique** utilise les relations statistiques entre les variables climatiques locales et les prédicteurs à grande échelle, qui sont ensuite appliqués aux produits du MCG pour estimer les projections climatiques locales. La réduction de l'échelle statistique est généralement moins longue, mais plus simpliste que la réduction dynamique.

La **réduction dynamique** utilise les **modèles régionaux du climat (MRC)**, qui sont alimentés par les extraits des MCG. Les MRC sont de plus grande résolution (plus petite taille de la grille) et comprennent des renseignements plus détaillés sur les conditions régionales (p. ex., montagnes ou plans d'eau) conformément aux lois physiques et aux équations mathématiques, ce qui accroît l'exactitude.

La **résolution spatiale** est importante pour que certains processus soient correctement modélisés. Les précipitations, par exemple, sont mieux résolues par des modèles à plus haute résolution. La résolution des MCG est trop grossière pour résoudre correctement certains processus, et c'est pourquoi il faut réduire l'échelle (réduction de l'échelle statistique ou réduction de l'échelle dynamique avec les MRC). Les MRC ont généralement une résolution de 10 à 50 km, comme le montre la figure A1.

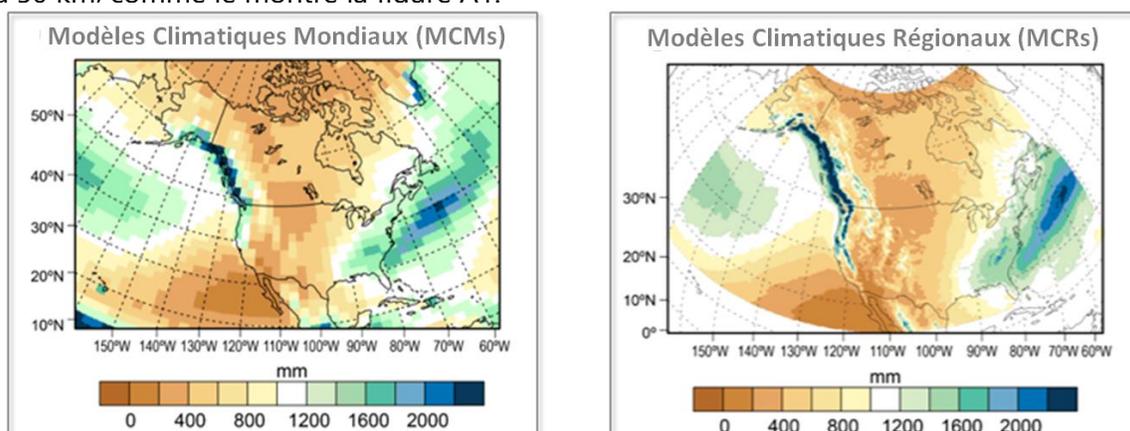


Figure A1 : Comparaison de précipitations produites par un MCG (gauche) et un MRC (droite) sur une région semblable de l'Amérique du Nord — Notez la différence dans la résolution spatiale, c.-à-d. la granularité (figure de <https://science2017.globalchange.gov/chapter/4/>)

Les résultats des MCG comprennent des **paramètres** comme la température, les précipitations, l'humidité, la neige et le vent. Les **indices** sont ensuite calculés à partir de ces paramètres afin que des projections puissent être appliquées pour déterminer la probabilité globale d'occurrence. Le processus d'application de l'optique du risque, par l'attribution de la probabilité, est un processus pour gérer l'incertitude inhérente aux prévisions du modèle (voir la section A3 sur les sources d'incertitude ci-dessous). Certains modèles favorisent certains processus par rapport à d'autres et, par conséquent, les modèles eux-mêmes sont une source d'incertitude. La capacité des modèles à représenter de multiples processus climatiques et océaniques s'est considérablement améliorée depuis les années 2000, comme le montre la figure A2. À mesure que les modèles continueront de résoudre un plus grand nombre de processus avec plus d'exactitude, la qualité des extrants du modèle s'améliorera également.

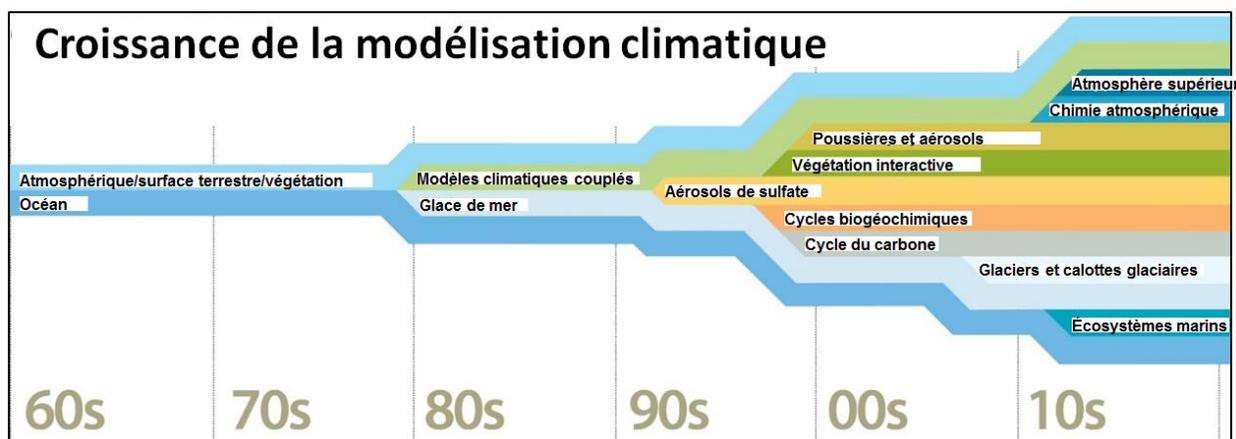


Figure A2 : Croissance des processus inclus dans les modèles climatiques (figure tirée de <https://news.ucar.edu/sites/default/files/news/2011/predictFlow2.jpg>)

A.2 Horizons de projection

La période de référence de l'étude porte sur la période 1981-2010. Les trois horizons de projection, ou tranches de temps, qui ont été choisis pour cette étude sont les suivants :

- Années 2030 (2021–2050)
- Années 2050 (2041–2070)
- Années 2080 (2017-2100)

Les projections de changements climatiques sont habituellement établies en moyenne sur 20 ou 30 ans afin d'atténuer les variations climatiques à court terme causés par la variabilité naturelle. Les moyennes sur 30 ans utilisées dans cette étude sont conformes à celles utilisées par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), mais non avec le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) 2013 (où des moyennes sur 20 ans ont été utilisées). Pour utiliser les moyennes sur 30 ans, la période de référence devait inclure la période de cinq ans de 2006 à 2010 qui fait techniquement partie des « projections », c'est-à-dire sous l'influence d'un scénario d'émissions. Toutefois, les scénarios d'émissions sont considérés comme ayant une influence minimale sur les produits du modèle pendant une si courte période et il a été jugé acceptable d'utiliser 1981-2010 comme point de référence.

Les années 2030 (2021-2050) ont été sélectionnées au lieu des années 2020 (2011-2040) parce que la « projection » des années 2020 porte à confusion les lecteurs parce qu'elle chevauche le présent. On considérerait qu'il était plus simple de maintenir tous les horizons de projection dans l'avenir.

Les délais pour ces horizons de projections (dans 10, 30 et 60 ans) ont été choisis pour refléter les horizons de planification des études d'impact et des évaluations des risques dans divers secteurs (politiques, élaboration de programmes, remise en état et conception d'infrastructures, etc.). Par exemple, un délai de 30 ans est souvent utilisé dans la planification des politiques. Les projections n'ont pu être prolongées au-delà de 2100 parce que la plupart des modèles actuellement disponibles comportent des simulations qui se terminent en 2100.

En résumé, **les horizons de projection ont été sélectionnés pour une comparabilité maximale avec d'autres travaux**, y compris l'utilisation de périodes de temps normalisées dans la mesure du possible (p. ex., la période de référence de 1981 à 2010 correspond aux normales climatiques d'ECCC), la cohérence avec les autres ressources disponibles à l'échelle nationale (p. ex., Atlas climatique du Canada, donneesclimatiques.ca) et les projets antérieurs et en cours dans la région (Services publics et Approvisionnement Canada, Ville de Gatineau et Hydro Ottawa).

A.3 Sources d'incertitude

Les projections climatiques produites dans le cadre de ce projet ont plusieurs sources d'incertitude :

1. **Variabilité interne** – Il y a des fluctuations naturelles imprévisibles dans le système climatique qui surviennent même sans changement des concentrations de gaz à effet de serre. Une partie de cette incertitude est considérée comme « irréductible » (c.-à-d. chaotique) et ne peut être retirée des projections climatiques (même avec les générations futures de modèles).
2. **Incertitude du scénario** – L'évolution des émissions de gaz à effet de serre est très incertaine. Il n'est pas jugé possible de déterminer la probabilité des différents scénarios d'émissions. L'utilisation de plus d'un scénario d'émissions atténue cette incertitude en présentant un éventail de possibilités.
3. **Incertitude scientifique** — Bien que les modèles climatiques soient les meilleurs outils disponibles pour étudier les projections, les modèles prédictifs comportent une incertitude inhérente. Les processus de correction du biais et de réduction de mise à l'échelle statistique sont affectés par les incertitudes dans les ensembles de données d'observation utilisés et les incertitudes dans les transformations statistiques. Ils s'appuient sur des hypothèses selon lesquelles les corrections apportées se maintiendront à l'avenir (c'est ce qu'on appelle l'« hypothèse de stationnarité »). Enfin, certains paramètres climatiques sont prédits avec plus de confiance que d'autres. Par exemple, les prévisions de la vitesse des vents sont très incertaines à l'heure actuelle.

L'importance relative de chaque source d'incertitude dépend du calendrier envisagé. La figure A3 (adaptée de Hawkins et Sutton, 2009) montre comment les différentes sources d'incertitude changent au fil du temps. Notez que l'incertitude totale augmente avec le temps, mais cette figure montre l'importance relative des différentes incertitudes. Sur une période de quelques décennies, la variabilité naturelle domine et peut même cacher le signal du changement climatique à court terme. Toutefois, à plus long terme, le choix du scénario d'émission devient très important. L'incertitude du modèle demeure assez grande, peu importe l'échéancier sur lequel les décisions sont prises (Charon, 2016). Les sources d'incertitude dépendent de la géographie, du climat et des variables projetées.

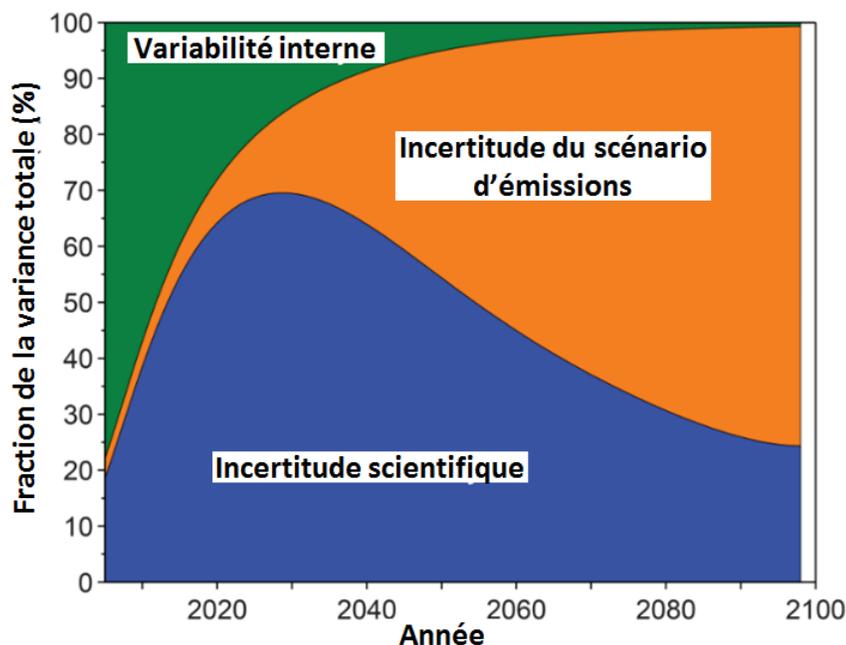


Figure A3: Contribution relative attendue des sources d'incertitude dans la modélisation climatique au fil du temps (Adapté de Hawkins et Sutton, 2009)

A.4 Améliorations futures des modèles et méthodes

La sixième phase du projet d'intercomparaison de modèles climatiques (CMIP) est déjà en cours (période de simulation 2017-2020; Eyring *et coll.* 2016), et le 6e rapport d'évaluation du GIEC (Fondements des sciences physiques) est attendu en avril 2021. Les trajectoires d'émission pour les projections climatiques futures du CMIP6 mettront à jour les quatre scénarios RCP du CMIP5 afin de combler les lacunes qui n'ont pas été étudiées précédemment par les RCP. Il y aura également une nouvelle version du CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) et un nouveau projet de comparaison entre modèles haute résolution (HighResMIP).

Les principales améliorations qui découleront des générations futures de modèles sont l'augmentation de la résolution spatiale (rendue possible grâce à une augmentation de la puissance informatique). Les modèles climatiques intègrent également de plus en plus de

processus et réduisent les biais systématiques, et il y aura plus de modèles disponibles, formant un ensemble plus vaste (11 nouveaux groupes de modélisation dans CMIP6). Les améliorations apportées au CMIP6 comprennent une meilleure représentation des aérosols, des processus des nuages et des rétroactions de la calotte glaciaire.

Toutefois, certains processus demeureront très difficiles à représenter dans les modèles, et certains seront encore plus petits que la résolution de grille (p. ex., la microphysique des nuages). Enfin, l'incertitude persistera en raison de la variabilité naturelle (« incertitude irréductible »).

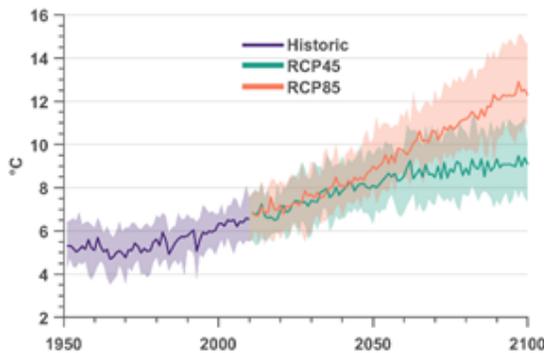
ANNEXE B – Lignes directrices pour la lecture et l'interprétation des graphiques

La présente annexe vise à fournir des lignes directrices sur la lecture et l'interprétation des divers types de graphiques utilisés dans le présent rapport.

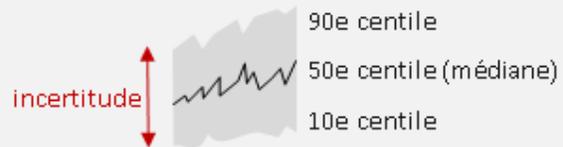
Les Graphiques de Série Chronologique sont principalement utilisés pour montrer le changement d'une variable continue dans le temps (mais peuvent également montrer des variables discrètes, par exemple, # jours dans le temps).

(1) Graphiques de Série Chronologique avec les 10e, 50e (médiane) et 90e centiles

Température moyenne annuelle



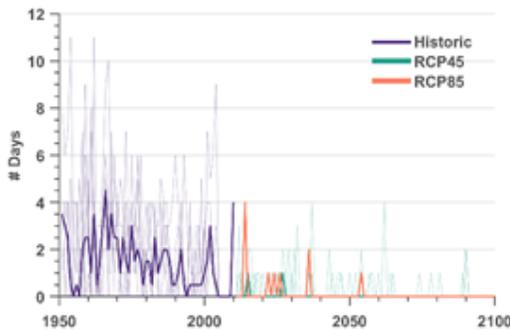
Ces graphiques sont utilisés lorsqu'il existe un grand nombre de modèles disponibles pour un indice donné.



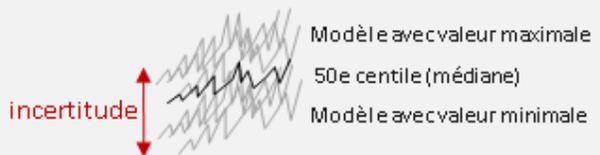
Les couleurs représentent divers scénarios climatiques.

(2) Graphiques de Série Chronologique avec des lignes individuelles

Nombre de jours où le refroidissement éolien < -35



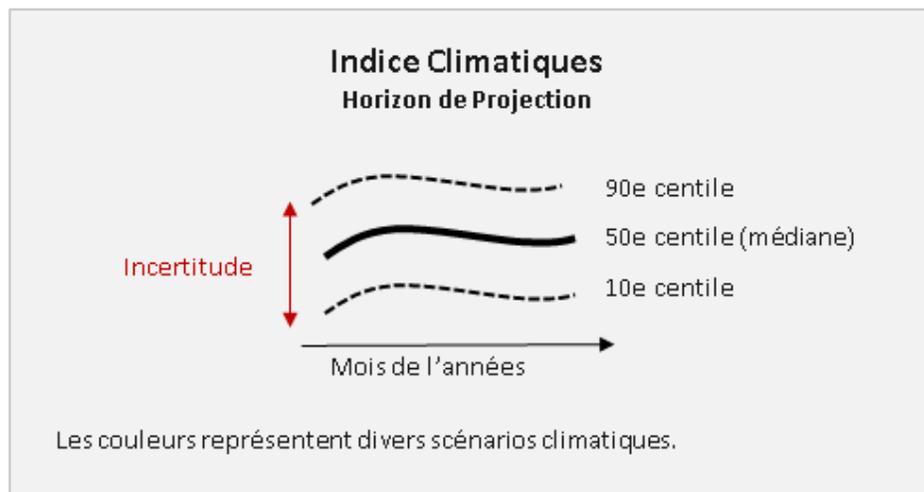
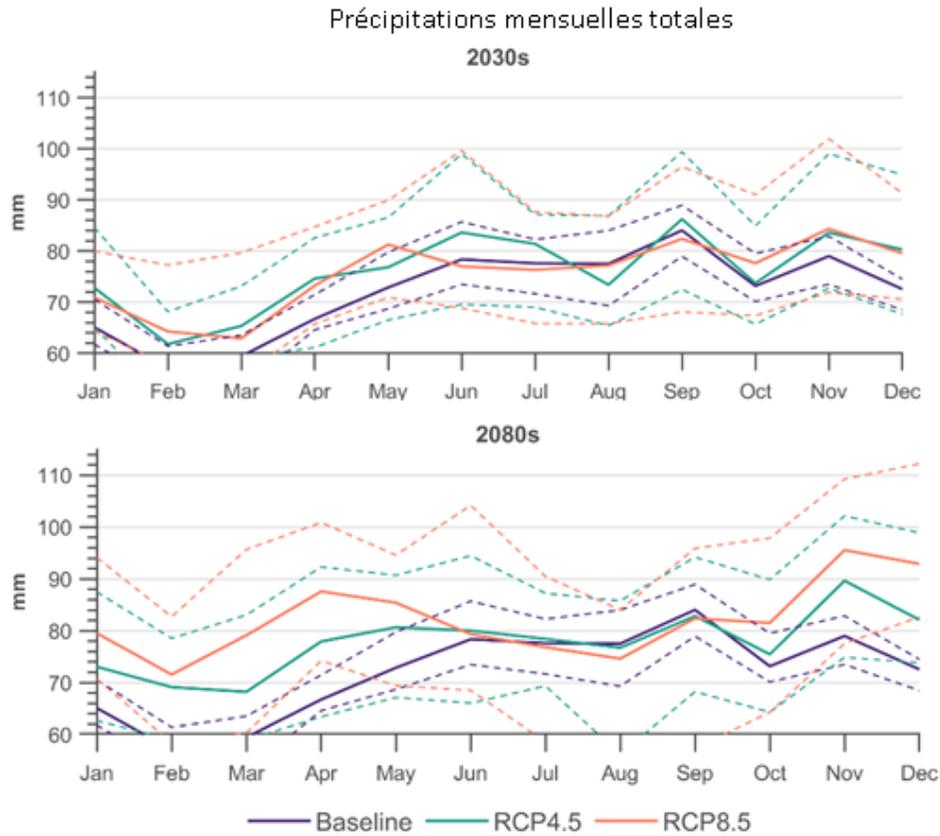
S'il y a moins de modèles disponibles pour un indice donné, les 10e et 90e centiles ne peuvent pas être calculés.



Les couleurs représentent divers scénarios climatiques.

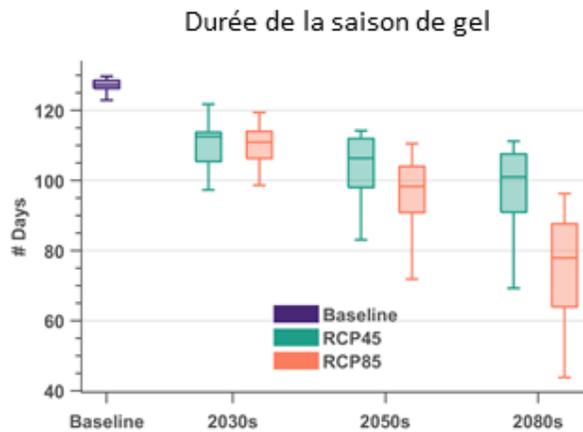
Les Graphiques de Variation Mensuelle sont utilisés pour déterminer si les projections climatiques sont différentes pour les différents mois de l'année.

(3) Graphiques de Variation Mensuelle



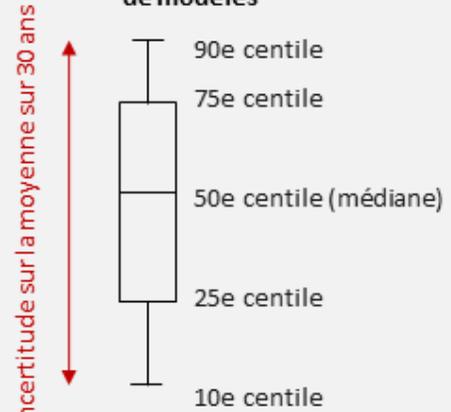
Les Graphiques Boîtes à Moustaches sont utilisés pour montrer les médianes de 30 ans et la gamme des résultats de l'ensemble de modélisation.

(4) Graphique boîtes à moustache avec 10e, 50e (médiane) et 90e centiles

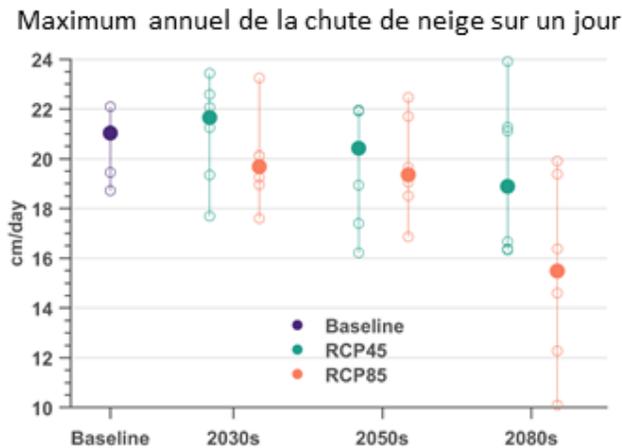


Ces graphiques sont utilisés lorsqu'il existe un grand nombre de modèles disponibles pour un indice donné.

Ensemble de projections de modèles

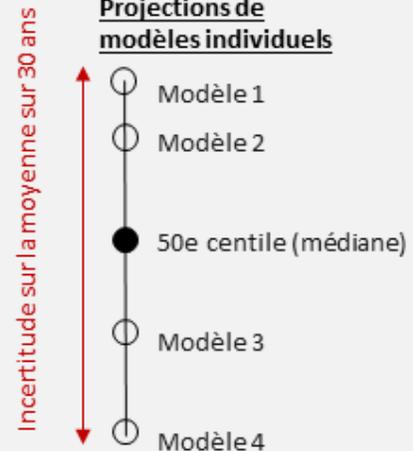


(5) Graphique boîtes (points) à moustache avec 50e (médiane) et modèles individuels



S'il y a moins de modèles disponibles pour un indice donné, les 10e et 90e centiles ne peuvent pas être calculés. Au lieu de cela, les projections sont représentées par un cercle pour chaque modèle individuel.

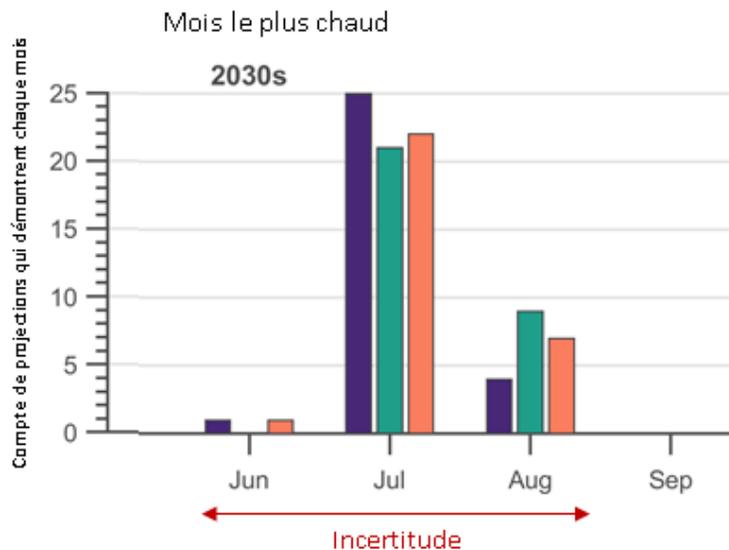
Projections de modèles individuels



Les 10e, 50e, and 90e centiles des graphiques boîtes (points) et des graphiques chronologiques ne sont pas équivalents. Pour les graphiques en boîtes (points), les moyennes sur 30 ans sont calculées en premier. Par conséquent, les graphiques en boîtes (points) représentent une plage de valeurs pour les moyennes sur 30 ans, tandis que les séries chronologiques représentent une plage de valeurs pour une année de modélisation.

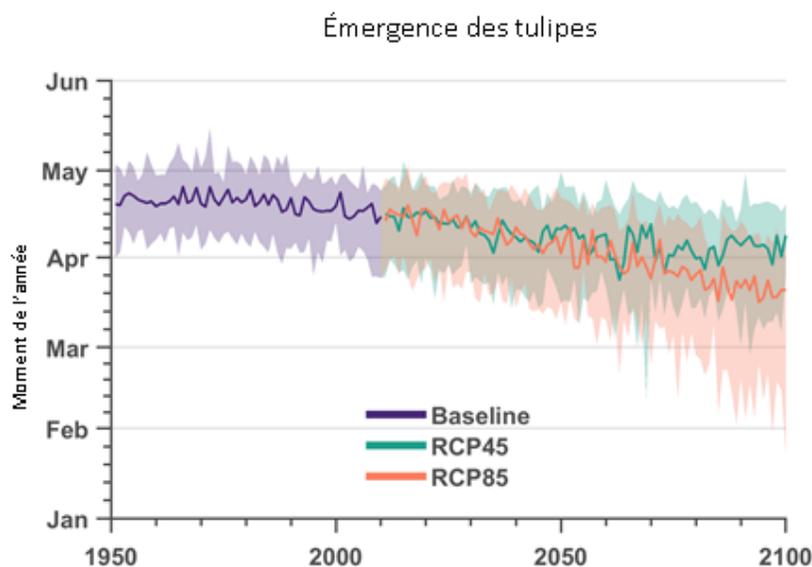
Un **Chronogramme** sont utilisé pour montrer le mois ou le jour auquel un indice donné se produit.

(6) Chronogramme (Mensuel)



Un chronogramme (mensuel) montre le nombre de modèles qui ont sélectionné un mois pour un indice donné. Le mois le plus probable est celui avec la barre la plus grande (plus grand nombre de modèles).

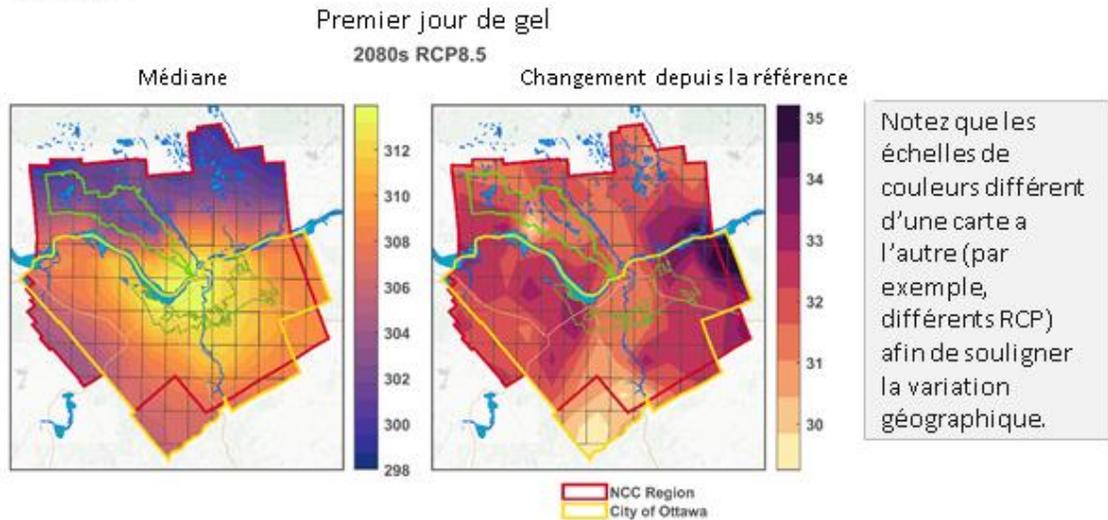
(7) Chronogramme (Quotidien)



Un chronogramme (quotidien) est similaire à un graphique de série chronologique, sauf que l'axe vertical montre un moment de l'année au lieu d'une quantité.

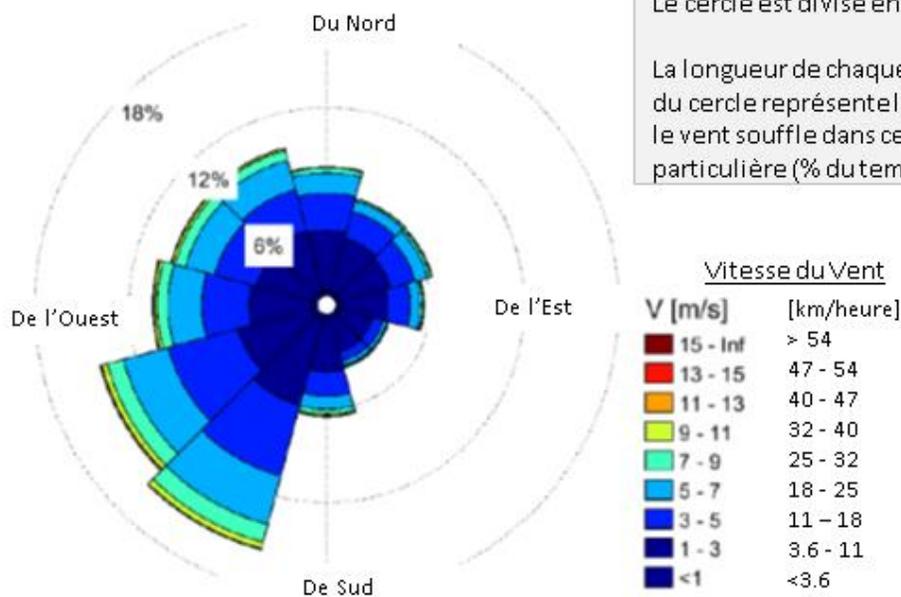
Les Cartes sont utilisés pour montrer la variation spatiale des projections.

(8) Cartes



Les Roses de vent sont utilisées pour montrer une distribution des vitesses et des directions du vent.

(9) Roses de Vent



Le cercle est divisé en 12 directions cardinales.

La longueur de chaque rayon depuis le centre du cercle représente la fréquence sur laquelle le vent souffle dans cette direction particulière (% du temps).

ANNEXE C – Méthodologie

La présente annexe vise à fournir des renseignements généraux supplémentaires sur certains sujets de la méthodologie présentée au chapitre 1 du rapport.

C.1 — Sélection des indices climatiques

C.1.1 — Considérations relatives aux sciences du climat

L'un des objectifs de la sélection des indices était d'obtenir une caractérisation complète du futur système climatique. Cela exige non seulement une mesure des tendances moyennes, mais aussi un éventail de différents types d'indices afin de représenter :

- les minimums et maximums;
- les valeurs extrêmes (p. ex., intensité de précipitations sur 24 h pour un événement à récurrence de 100 ans);
- le nombre de fois où la température est inférieure ou supérieure à un seuil (p. ex., le nombre de jours où la température quotidienne maximale est inférieure à 0 °C);
- les indices temporels (p. ex., le début de la saison des tulipes);
- les indices de durée (p. ex., la longueur maximale des périodes d'humidité);
- les indices comportant de multiples exigences sur un seul paramètre (p. ex., cycles de gel et de dégel, avec exigences sur la température quotidienne minimale et maximale);
- Indices combinés avec des exigences sur deux paramètres climatiques (p. ex., précipitations hivernales et vents forts).

Les indices climatiques normalisés tirés de la documentation ont été pris en compte, en particulier les 27 indices « Climdex » de l'Équipe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique. Ces indices ont été conçus pour permettre des comparaisons entre différentes régions. Certains de ces indices sont des seuils relatifs (p. ex., le pourcentage de températures quotidiennes au-dessus du 95e centile de référence, calculé sur une fenêtre mobile). Ces seuils relatifs facilitent les caractérisations statistiques appropriées qui permettent des comparaisons croisées des changements climatiques dans diverses régions, mais ne sont généralement pas utilisés dans les études d'impact, où les seuils absolus sont considérés comme plus intuitifs (p. ex., le pourcentage de jours où la température est supérieure à 30 °C est utilisé à la place). Ainsi, les indices de l'Équipe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique n'ont été utilisés que lorsqu'il était logique de le faire dans le cadre des objectifs généraux de cette étude. Dans plusieurs cas, les indices propres à la région et à l'impact ont été privilégiés.

C.1.2 — Considérations axées sur les répercussions

Les considérations propres aux répercussions ont été déterminées en fonction de la recherche de haut niveau dans un large éventail de secteurs, ainsi que par la mobilisation du personnel de la CCN et de la Ville d'Ottawa.

Des recherches de haut niveau ont été menées à l'aide des sources d'information suivantes :

- Recherche sur les études d'impact dans des domaines pertinents (p. ex., maladies à transmission vectorielle, agriculture, systèmes mécaniques, incendies, mécanismes régionaux)

d'inondation), y compris les pratiques exemplaires dans les évaluations pertinentes de la vulnérabilité au climat et la planification de la résilience.

- Avertissements météorologiques d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) (précipitations extrêmes, chutes de neige, froid, chaleur).
- Code national du bâtiment du Canada (2015).
- Gestion des situations d'urgence Ontario 2019 Hazard Identification Report and Methodology Guidelines.
- Convention des maires pour le climat et l'énergie.

Une liste de travail des paramètres et des indices qui pourraient être utilisés par les intervenants pour les évaluations futures des risques et de la vulnérabilité a été élaborée en fonction des commentaires et des discussions avec le personnel de la CCN, de la Ville d'Ottawa et de la Ville de Gatineau.

Après l'élaboration de la liste préliminaire des paramètres et des indices, un atelier d'une demi-journée a eu lieu le 9 juillet 2019 afin de recueillir les commentaires d'un groupe plus vaste d'intervenants et de peaufiner la liste des indices proposés. Plus de 60 personnes ont participé à l'atelier, principalement du personnel de la CCN et de la Ville d'Ottawa, ainsi que des représentants de la Ville de Gatineau, des offices de protection de la nature régionaux et du Centre canadien des services climatiques (CCSC). L'atelier comprenait une série de présentations pour fournir de la documentation de base sur les projections et les indices des changements climatiques. Ensuite, les participants ont été divisés en cinq groupes en fonction des secteurs afin de déterminer les processus climatiques et les répercussions pertinentes pour leur secteur et de déterminer les indices qui leur seraient utiles dans les évaluations futures des risques et de la vulnérabilité.

C.1.3 — Autres considérations

Les éléments suivants ont également été pris en compte :

- Dans la mesure du possible, les indices ont été choisis pour permettre la cohérence et la comparaison avec les projets antérieurs et en cours dans la région (p. ex., projets de Services publics et Approvisionnement Canada, Ville de Gatineau et Hydro Ottawa).
- Les indices tirés de projets menés dans d'autres villes ont été examinés (p. ex., Durham, Waterloo et Metro Vancouver).

C.2 — Calcul des projections climatiques

C.2.1 — Sources des données

Après avoir établi la liste des indices climatiques et des horizons de projection, la prochaine étape a consisté à déterminer les sources appropriées d'information sur le climat. Il existe de nombreuses sources de données et de projections climatiques, y compris des modèles climatiques mondiaux et régionaux, ainsi que des produits bruts et corrigés des biais, qui présentent chacun des avantages et des inconvénients.

Les sections qui suivent décrivent les critères utilisés pour sélectionner les sources d'information climatique et la liste des sources utilisées. Certains ont été téléchargés à partir de portails Web, d'autres ont été fournis par le CCSC (p. ex., modèles de l'Université du Québec à Montréal, de l'INRS), d'autres ont été obtenus d'ECCE (p. ex., précipitations horaires historiques) et d'autres ont été fournis par le Climate Lab de l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard. (PRECIS).

Certaines des projections ont été obtenues et analysées sous forme de grilles (les MCG, qui ont été réduits à 10 km) et d'autres (les MRC, avec des résolutions spatiales de 25 à 50 km) ont été calculées en fonction de la superficie, car il n'y avait que quelques cellules de grille qui couvraient la zone du projet.

Données historiques

L'information sur le climat historique dans la RCN a été obtenue des stations climatiques d'ECCE et d'un rapport de la Ville d'Ottawa de 2011 (« Caractérisation des bassins hydrographiques d'Ottawa »). Voir le chapitre 2 pour de plus amples renseignements.

Scénarios d'émissions pour les projections du modèle

Les modèles climatiques sont guidés par différents scénarios d'émissions, ou « profils représentatifs d'évolution de concentration » (ou RCP, de l'anglais « Representative Concentration Pathways »). Voir le chapitre 1 pour de plus amples renseignements.

Modèles climatiques globaux mis à échelle de façon statistique (MCG)

La principale source de projections climatiques utilisée était les données du MCG à échelle statistiquement réduite avec une résolution spatiale de 10 km. Les MCG sont constitués de 24 modèles du CMIP5 qui ont été réduits à l'aide de l'algorithme de la méthode des analogues avec correction de biais et cartographie des quantiles, version 2 (BCCAQv2) (Werner et Cannon, 2016). Les modèles ont été corrigés à l'aide d'ensembles de données sur grille quotidiennes sur la température minimale, la température maximale et les précipitations (McKenney *et coll.* 2011) sur une période de référence historique de 1951 à 2010.

Les avantages de cette source de données sont la résolution de 10 km et les 24 modèles de l'ensemble. Ceci est important pour les raisons suivantes :

- Certains paramètres climatiques ne peuvent être prédits qu'à une résolution plus élevée (par exemple, les tempêtes convectives qui causent des précipitations intenses). Les MCG dont les biais ne sont pas corrigés ont des cellules de grille qui ont habituellement des centaines de kilomètres de largeur, ce qui est trop grossier pour résoudre certains phénomènes importants. Même les cellules de grille de 50 km de la plupart des MRC demeurent grossières par rapport aux processus à plus petite échelle comme les tempêtes convectives.
- Un ensemble de modèles (dans ce cas, 24) est une méthode de caractérisation de l'incertitude. Il existe plusieurs grandes sources d'incertitude dans la modélisation climatique, y compris la variabilité naturelle, les scénarios d'émissions et la variabilité inter-modèle. C'est pourquoi le GIEC recommande, dans son cinquième rapport d'évaluation (AR5), qu'un ensemble ou une gamme de modèles soient pris en considération, car les modèles individuels peuvent être moins précis en soi.

Un ensemble de données à échelle statistiquement réduite est limité aux variables pour lesquelles il existe de bons enregistrements d'observation (température et précipitations). Par conséquent, seuls les indices fondés sur des variables quotidiennes ou mensuelles pour la température et les précipitations ont été calculés à partir de cette source de données; les indices exigeant des résolutions horaires ou d'autres paramètres climatiques (humidité, neige, vent) étaient fondés sur les MRC (voir ci-dessous).

Modèles régionaux du climat sur grille (MRC)

Les MRC étaient utilisés pour la projections des données à un pas de temps sous-journalier (p. ex., horaire, 12 heures) ainsi que des paramètres autres que la température et les précipitations comme l'humidité, la neige et le vent. Différentes sources de MRC ont été utilisées pour comparer le plus de modèles possible dans le petit ensemble, notamment :

- **CORDEX/UQAM.** Les MCR ont été utilisées dans le cadre du Programme Cordex nord-américain. Plusieurs simulations avec des résolutions de 25 à 50 km sont accessibles au public sur la passerelle de données climatiques du National Center for Atmospheric Research (NCAR). De plus, ECCC a obtenu l'autorisation de l'UQAM d'utiliser les résultats infra-quotidiennes sur le vent et les précipitations du modèle régional canadien du climat de cinquième génération (CRCM5; Hernández-Díaz *et coll.* 2019, Šeparović *et coll.* 2013).
- **ECCC.** Le modèle régional CanRCM4 est un membre du CORDEX, mais en outre, le site Web d'ECCC rend disponibles des paramètres supplémentaires qui ne sont pas disponibles sur le portail Web du NCAR. Par exemple, on a obtenu des précipitations solides quotidiennes et une épaisseur de neige quotidienne pour le CanRCM4 à partir du portail Web d'ECCC.
- **INRS/Ouranos.** Des autorisations ont été obtenues pour ce projet afin d'utiliser des indices de précipitations solides et d'épaisseur de neige développés pour le projet ArcticNet par ETE-INRS en collaboration avec le consortium Ouranos sur les changements climatiques (Diaconescu *et coll.*). 2017, Mailhot *et coll.* 2017, Chaumont *et coll.* 2017).
- **Université de l'Î.-P.-É.** Les projections du modèle climatique régional intitulé « Providing Regional Climates for Impact Studies » (PRECIS) dans des scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) ont été obtenues du Dr Wang du laboratoire climatique de l'UPEI. Elles ont été comparées aux autres MCR.

Littérature

Pour les paramètres restants qui ne sont pas facilement accessibles dans les résultats de MCG ou de MRC (voir la section intitulée « Autres événements et indices extrêmes » dans la liste des indices), l'information a été obtenue au moyen d'examen limités de la documentation évaluée par les pairs (articles scientifiques) et la littérature grise (p. ex., rapports gouvernementaux). Les variables comme l'occurrence de la foudre ou de la pluie verglaçante ne peuvent pas être modélisées avec précision en raison des limites de la compréhension actuelle du processus, de la variabilité naturelle ou des capacités de calcul.

Résumé

En résumé, les sources de données suivantes ont été utilisées :

	MCG (CMIP5, BCCAQv2)	MRC (NACORDEX, PRECIS)	Littérature
Température et précipitations quotidiennes	x		
Neige et humidité quotidiennes		x	
Vents quotidiens et infra-quotidiens Précipitations infra-quotidiennes		x	
Paramètres combinés	x (combinaisons de température et de précipitations seulement)	x	
« Autres paramètres »			x

C.2.2 — Correction des biais

Bien que les modèles climatiques soient les meilleurs outils actuellement disponibles pour étudier les changements futurs dans les paramètres climatiques, ils ont quand même des biais importants. Les biais varient selon le modèle, l'emplacement et le temps, tandis que d'autres sont systématiques selon les modèles (p. ex., causés par l'incapacité de représenter les processus de convection lorsque la résolution spatiale est grossière). La correction des biais consiste à corriger les résultats bruts du modèle climatique en utilisant les différences entre le modèle et les observations sur une période de référence (habituellement la base de référence).

L'ensemble de données du MCG utilisé pour ce projet a déjà été réduit ou corrigé au moyen de la méthode des analogues avec correction de biais et cartographie des quantiles, version 2 (BCCAQv2). Toutefois, les projections du MRC obtenues pour ce projet n'ont pas fait l'objet d'une correction de biais. Il a été démontré que la correction des biais peut mener à la production d'artefacts (anomalies ou erreurs découlant de la modélisation ou du traitement des données; mars 2016). De plus, la correction des biais dans les données quotidiennes ne garantit pas nécessairement que les indices calculés à partir de ces données sont correctement corrigés. Néanmoins, il a généralement été démontré que les projections du modèle sont améliorées avec la plupart des formes de correction des biais, y compris les approches moyennes et les approches fondées sur la distribution qui donnent de meilleurs résultats (p. ex., Maraun 2016). La correction des biais fondés sur la distribution (cartographie quantile-quantile) a donc été effectuée pour les MRC. Il est à noter que la correction du biais multivarié aurait été idéale, mais qu'elle dépassait la portée du projet en raison du niveau d'effort requis.

Les sections suivantes présentent un résumé technique de la méthode de correction des biais utilisée.

Moyenne de la superficie

Les projections des MRC ont des cellules de grille de 25 km ou 50 km de résolution spatiale, ce qui signifie qu'il n'y avait que quelques cellules de grille dans la zone d'étude d'environ 80 km sur 80 km. Par conséquent, une moyenne régionale pondérée a été appliquée aux cellules de la grille qui chevauchaient la zone d'étude. La correction des biais a ensuite été appliquée à cette moyenne régionale. L'exception concerne les précipitations horaires extrêmes, où la correction des biais a été appliquée à une seule cellule de la grille, à l'emplacement de l'aéroport d'Ottawa. Il s'agissait de minimiser le lissage à des précipitations extrêmes pour ces indices. Ces distinctions sont importantes pour l'interprétation des résultats, car les projections de neige, d'humidité et de vent représentent les moyennes de la zone d'étude qui ont été réduites à un point précis (p. ex., aéroport d'Ottawa).

Cartographie des quantiles

Les observations de l'aéroport MacDonald-Cartier d'Ottawa ont servi à effectuer une cartographie empirique non paramétrique des quantiles pour corriger toutes les projections du MRC, à l'exception de l'ensemble de données de l'INRS (voir ci-dessous). Les fonctions de transfert ont été calculées séparément pour chaque modèle, chaque paramètre et chaque mois. La validation de la méthode a été effectuée au moyen d'une validation croisée de l'échantillon fractionné utilisant le plus grand nombre d'années possible de la tranche de temps de référence (1981-2010), avec erreur quadratique moyenne (EQM) et biais pour évaluer la qualité de l'ajustement. Pour les indices fondés sur les précipitations (y compris les précipitations solides), la validation de la correction des biais a été effectuée en deux étapes, en corrigeant d'abord la fréquence des jours de pluie (> 1 mm).

Voici un exemple de tracé de validation de la correction des biais pour l'humidité relative quotidienne, l'ensemble de données de formation étant illustré dans le cadre de gauche et la validation dans le cadre de droite.

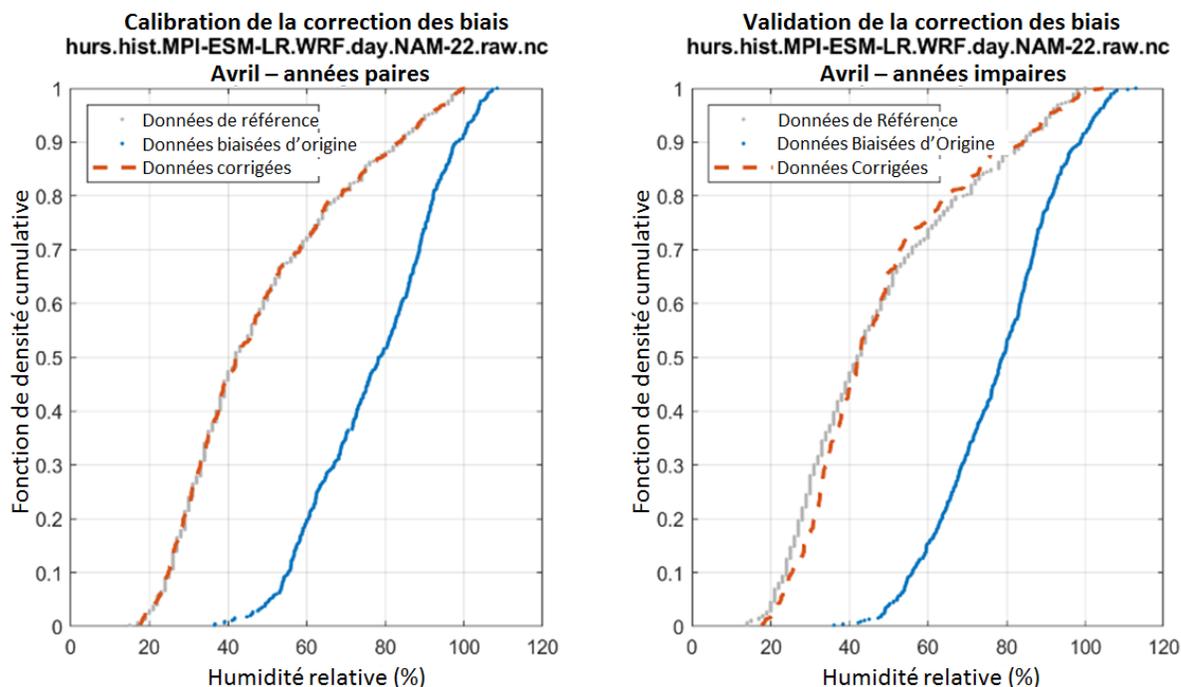


Figure C1 : Exemple de correction de biais (ensemble de données de formation – gauche) et de validation (ensemble de données de validation – droite) pour l’humidité relative

Méthode delta

Alors que la plupart des données du MRC étaient disponibles sous forme de séries chronologiques de projections quotidiennes ou infra-quotidiennes, l’ensemble de données de l’INRS était déjà calculé en indices annuels et mensuels, et les données brutes n’étaient pas disponibles. Par conséquent, pour cet ensemble de données seulement, la correction de biais a été appliquée après le calcul des indices, sur les moyennes sur 30 ans, à l’aide de la méthode delta. La méthode delta consiste à ajouter la différence moyenne (delta) entre les observations historiques et les résultats d’un modèle au cours de la même période aux projections futures du modèle. La validation de la méthode a également été effectuée au moyen d’une validation croisée de l’échantillon fractionné, à l’aide de l’EQM et du biais pour évaluer les résultats de la correction.

Incertitudes et hypothèses de correction des biais

La correction du biais repose sur une hypothèse importante selon laquelle les corrections appliquées à la période historique s’appliqueront toujours à l’avenir. Toutefois, il est possible que les distributions statistiques des paramètres climatiques changent à mesure que les processus climatiques changent.

De plus, la correction du biais appliquée n’est qu’une méthode statistique, et elle ne corrige pas la physique sous-jacente des modèles.

Cela dit, bien qu'elle ne soit pas parfaite, la correction des biais améliore les modèles. Nous avons constaté que les distributions étaient particulièrement problématiques pour la neige, par exemple, mais dans l'ensemble, la correction du biais a contribué à une sous-estimation générale de la neige dans les modèles, ce qui aurait été irréaliste si elle avait été montrée sans qu'il y ait de post-traitement.

Néanmoins, les projections climatiques doivent être interprétées dans le contexte de l'incertitude et des hypothèses sous-jacentes.

Considérations relatives à des paramètres particuliers

Les projections de **neige** ont été obtenues à partir de multiples sources, soit des précipitations solides, des précipitations équivalentes en eau de la neige ou de la couverture de neige. Les conversions suivantes, de la neige à l'eau, ont été utilisées :

- Densité des chutes de neige de 100 kg/m³.
- Densité de la neige au sol de 250 kg/m³.

Ces conversions étaient fondées sur Shook et Grey (1994; valeurs du sud de la Saskatchewan), Adams (1976; Centre-Est de l'Ontario), et des communications personnelles avec Emilia Diaconescu et Ross Brown (ECCC, 2019).

Les corrections de biais pour le **vent** ont été appliquées à chaque direction séparément. Les projections éoliennes sont difficiles à corriger, et aucune approche pour corriger les directions tirées de la documentation n'a donné de résultats parfaits.

La correction du biais de l'**humidité** quotidienne a été effectuée à l'aide d'une série chronologique d'humidité horaire au moment de la température maximale horaire. Par conséquent, la correction du biais a également servi de fonction de transfert entre l'humidité quotidienne moyenne et l'humidité quotidienne au moment de la température maximale. L'objectif était d'améliorer le calcul des projections d'humidex.

C.2.3 — Calcul des indices

Des **analyses de la valeur extrême** ont été effectuées sur chaque cellule de la grille séparément en utilisant la valeur extrême généralisée (VEG) pour les précipitations (correspondant à la probabilité maximale) et la distribution de Pareto généralisée (DPG) pour le vent.

L'**humidex** a été calculé à l'aide de projections approximatives de l'humidité au moment de la température maximale horaire (voir la méthode de correction du biais ci-dessus).

Le **refroidissement éolien** a été calculé en utilisant les vitesses moyennes quotidiennes du vent.

La **fonte des neiges** a été estimée en fonction de l'accumulation de neige projetée (les jours où l'épaisseur de la neige a diminué d'une journée à l'autre).

C.3 — Communication des constatations

Une fois que tous les indices requis ont été déterminés et que les projections climatiques ont été obtenues, l'étape suivante consistait à calculer les indices en fonction de multiples modèles et sources et à les représenter ensemble sur les mêmes graphiques. L'objectif est d'utiliser une gamme de projections de l'indice (y compris les 10e et 90e centiles) pour caractériser l'incertitude. Une boîte à outils de traitement a été mise au point pour cette étude afin de dériver avec précision les indices et de créer divers types de graphiques (séries chronologiques, diagrammes à surfaces, roses de vent, cartes de répartition spatiale, etc.).

ANNEXE D – Examen technique des méthodes de projection des précipitations extrêmes

Contexte

Dans le présent rapport, les précipitations extrêmes sont définies comme ayant une période de récurrence de plus d'un an. Ces extrêmes sont particulièrement difficiles à prévoir. Par conséquent, bien que d'autres indices soient abordés par un seul ensemble, pour les précipitations extrêmes, il est préférable de comparer des ensembles de plusieurs approches. Il n'existe pas de méthode et d'approche universellement acceptées pour la projection de futures précipitations extrêmes, et au Canada seulement, on a utilisé de 5 à 10 méthodologies différentes (Coulibali *et coll.* Switzman *et coll.* 2017, CSA 2019).

Par conséquent, l'objet de la présente annexe est de fournir :

- (1) Un contexte technique sur les **forces et les limites des approches existantes** pour l'estimation des futures précipitations extrêmes. Les principales méthodes (y compris celles utilisées dans le cadre de ce projet) sont abordées dans les sections qui suivent, et les approches supplémentaires sont résumées dans le tableau D1.
- (2) Un **résumé des conclusions tirées de multiples méthodes** est présenté. Les constatations fondées sur les méthodes primaires sont comparées à la figure D1 et à la figure D2, et d'autres constatations sont résumées au tableau D2.

Le but de cette annexe n'est pas de fournir des valeurs qui peuvent être utilisées directement dans des projets de conception ou d'adaptation. Une évaluation de la vulnérabilité/des répercussions ou des risques (phase 2) est nécessaire pour déterminer les valeurs à utiliser à partir de la gamme de projections fournies (voir le chapitre 3).

Pourquoi les précipitations extrêmes sont-elles difficiles à prévoir?

Les précipitations extrêmes (en particulier les précipitations infraquotidiennes) peuvent résulter de processus à de très petites échelles. Les courants de convection ascendants ne peuvent mesurer que quelques centaines de mètres à quelques kilomètres (Westra *et coll.* 2014). Étant donné que les MCG ont des cellules de grille de 100 à 300 km, ils doivent utiliser des paramètres pour calculer la convection moyenne sur les carrés de grille du modèle. Par conséquent, ces paramètres ne sont pas conçus pour des précipitations réalistes (Westra *et coll.* 2014).

Les processus à plus grande échelle (p. ex., courant-jet, téléconnexions et gradients de température) sont également importants pour les précipitations extrêmes (Trenberth *et coll.* 2003, O'Gorman *et coll.* 2015), en particulier l'hiver et les périodes supérieures à 12 heures (Westra *et coll.* 2014), mais aussi pour les extrêmes horaires (Barbero *et coll.* 2018). Toutefois, les MCG ont encore de la difficulté à résoudre certaines de ces caractéristiques (Trenberth *et coll.* 2003). Voir Cheng *et coll.* (2011) et Paixao *et coll.* (2015) pour les processus de précipitation dans la RCN.

Points forts et limites des méthodes

Approche mixte avec CORDEX¹

Pour la présente étude de la RCN, les projections horaires du MRC ont été corrigées à l'aide d'une cartographie empirique non paramétrique des quantiles (la fréquence des jours de pluie ayant été corrigée séparément) à l'aide des données de l'aéroport d'Ottawa (Maraun *et coll.* 2010). Une distribution de la valeur extrême généralisée (VEG) a été appliquée aux valeurs horaires des précipitations en utilisant la probabilité maximale. Cette méthode combine la correction dynamique (MRC) et la réduction statistique de l'échelle/correction de biais (cartographie des quantiles). Les résultats sont présentés à l'ANNEXE F — *Graphiques sur les indices climatiques*.

Les résultats de la méthode du MRC sont-ils fiables? Les MRC ont généralement une meilleure représentation de la dynamique à méso-échelle que les MCG (Westra *et coll.* 2014), et les cyclones et les fronts sont raisonnablement bien simulés (O'Gorman *et coll.* 2015). Des études ont révélé que les caractéristiques des précipitations extrêmes (y compris les extrêmes infraquotidiens) s'améliorent avec une résolution accrue (Westra *et coll.* 2014). Pourtant, des paramètres sont toujours nécessaires si les cellules de grille dépassent 10 km (Westra *et coll.* 2014). Par conséquent, il y a encore des problèmes de reproduction des cycles diurnes (Trenberth *et coll.* 2003) et les caractéristiques spatiales des extrêmes (Westra *et coll.* 2014), ce qui entraîne une sous-estimation des précipitations extrêmes (Goree Bi *et coll.* 2017). De plus, les MRC dépendent toujours des MCG pour les processus à l'extérieur de leur domaine (Wilby *et coll.* 2014). En conclusion, les **extrêmes de courte durée (p. ex., horaire) obtenus à partir des projections de MRC doivent être interprétés avec prudence**.

Les résultats de la méthode de cartographie des quantiles sont-ils fiables? Malgré certaines limites (Ehret *et coll.* 2012; mars 2013), la correction des biais est généralement considérée comme une amélioration des résultats du modèle (Cannon *et coll.* 2015, Chen *et coll.* 2013, Maraun et Widmann 2018). En outre, on a constaté que la cartographie des quantiles surpasse systématiquement les méthodes simplifiées pour les précipitations (Teutschbein et Seibert, 2012; Gudmundsson *et coll.* 2012, Teng *et coll.* 2015). Cependant, la cartographie des quantiles a de la difficulté à représenter les extrêmes et a d'autres problèmes comme le maintien des tendances (Cannon *et coll.* 2015). Les corrections des biais qui fonctionnent sur des cellules de grille individuelles à haute résolution séparément et indépendamment sont sujettes à de fausses observations (Maraun 2013, Gutmann *et coll.* 2014). **Par conséquent, les périodes de récurrence plus élevées (p. ex., un événement à récurrence de 100 ans) et les tendances spatiales devraient être interprétées avec prudence**. L'utilisation des MRC est largement répandue à l'échelle nationale et internationale (p. ex., Ganguli et Coulibaly 2019, Switzmann *et coll.* 2017). Toutefois, il faut le faire avec prudence, surtout pour les projections horaires, comme en témoigne la grande variabilité des résultats (Switzmann *et coll.* 2017).

¹ Expérience de réduction de l'échelle du climat régional coordonné

Mise à l'échelle statistique avec l'ensemble de données PCIC/CCSC

La présente étude de la RCN a utilisé un ensemble de données de 24 MCG à l'échelle réduite en utilisant la méthode BCCAQv2, une méthode hybride qui combine les résultats avec correction des biais, la méthode analogue (Maraun *et coll.* 2010) et la cartographie des quantiles (Gudmundsson *et coll.* 2012). L'ensemble de données d'observation interpolées qui a été utilisé pour la correction des biais est ANUSPLIN², produit par Ressources naturelles Canada, avec des cellules de grilles de 10 km x 10 km. Dans le cadre de ce projet, la VEG a été appliquée aux valeurs quotidiennes de précipitations (en utilisant la probabilité maximale). Les résultats sont présentés à l'ANNEXE F — *Graphiques sur les indices climatiques*.

La méthode BCCAQv2 combine les avantages et les leçons tirées de multiples méthodes différentes. Par exemple, elle utilise des renseignements provenant de champs à plus grande échelle et ne déforme pas les tendances de résolution grossière (Werner et Cannon, 2016; Cannon *et coll.* 2015). Elle fonctionne bien en ce qui concerne le séquençage quotidien des précipitations, les caractéristiques de distribution et la corrélation spatiale (donneesclimatiques.ca, ECCC). Néanmoins, il s'agit toujours d'une méthode de correction des biais et, comme il a été mentionné précédemment, les **extrêmes et les configurations spatiales devraient être interprétés avec prudence**. Comme d'autres méthodes de réduction d'échelle, elle fait des hypothèses de stationnarité. Contrairement aux MCG, la méthode BCCAQv2 se fie uniquement aux MCG pour les processus, ce qui est problématique si les MCG ne représentent pas un aspect important de la diffusion à grande échelle.

Cet ensemble de données a été choisi par ECCC pour sa nouvelle plateforme nationale et a été fourni par ECCC pour les indices de précipitations pour ce projet. Il est à noter que cet ensemble de données n'a pas encore été largement testé pour les précipitations extrêmes. Par exemple, Desai (2017) a constaté que les données du PCIC présentent un écart-type beaucoup plus faible que celui des données historiques. Néanmoins, l'ensemble de données a été mis à l'essai avec des indices annuels « fréquents » de Climdex (Werner et Cannon, 2016; Li *et coll.* 2018).

L'utilisation de méthodes de correction des biais sur les données observées est à la fois une force et une limite de cette méthode. Par exemple, l'analyse peut être éclairée par des caractéristiques réalistes des données observées, mais il s'agit d'une contrainte si les données sont faibles ou manquantes (Gooré Bi *et coll.* 2017, Maraun et Widmann 2018). L'ensemble de données d'ECCC utilise ANUSPLIN pour les données d'observation sur grille. Une étude a révélé qu'ANUSPLIN sous-estime les précipitations extrêmes parce qu'elles sont générées à partir de stations de mesure des précipitations non ajustées (Wong *et coll.* 2017), alors qu'une autre étude a révélé qu'ANUSPLIN avait plus de succès qu'un autre ensemble de données (Werner et Cannon, 2016).

² Australian National University Spline

Mise à l'échelle statistique avec IDF-CC

Pour calculer les extrêmes quotidiens, l'outil IDF-CC³ de l'Université Western interpole l'ensemble de données BCCAQv2 (ci-dessus) à un point (méthode de pondération de la distance carrée inverse) et les valeurs extrêmes sont estimées à l'aide de la VEG et de la méthode des moments (Srivastav *et coll.* 2014). Pour les durées infra-quotidiennes, une méthode d'échelle quantile est utilisée pour établir une relation entre les précipitations quotidiennes maximales annuelles de la période de référence et celles de la période future.

Cette méthode est de plus en plus utilisée en raison de sa simplicité. Elle a été cartographiée partout au Canada (Simonovic *et coll.* 2017) et a été comparée à d'autres approches (Schardong *et coll.* 2018) et mise à l'essai avec les MCG et les MRC comme intrants (Schardong et Simonovic 2019). Le principal inconvénient de la méthode est qu'elle suppose que la relation existante entre les précipitations quotidiennes et infra-quotidiennes demeurera inchangée à l'avenir, et il y a des preuves que cela est inexact (Trenberth *et coll.* 2003, O'Gorman *et coll.* 2015, Westra *et coll.* 2014, Cannon et Innocenti 2019). L'outil utilise également une seule valeur par année, ce qui a été suggéré comme étant plus efficace que la correction de la distribution des pluies totales (Li *et coll.* 2017). Étant donné que cette hypothèse est une source importante d'incertitude, **l'outil devrait être utilisé avec prudence pour les futures estimations infra-quotidiennes des précipitations** (Coulibaly *et coll.* 2016), car elles sont susceptibles d'être sous-estimées. En revanche, l'ensemble de données du PCIC et du CCSC, qui est également à échelle statistiquement réduite par rapport aux MCG, ne s'aventure pas à fournir des extrêmes infra-quotidiens.

Mise à l'échelle avec la formule de Clausius-Clapeyron

À mesure que l'air se réchauffe, sa capacité de retenir l'eau augmente, ce qui devrait intensifier les précipitations extrêmes (Trenberth *et coll.* 2003). Par conséquent, des études ont établi des corrélations entre l'intensité des précipitations et la température. Le taux de Clausius-Clapeyron (CC) d'environ 7 % d'augmentation de la teneur en eau par °C de réchauffement ou le double de ce taux pour les températures entre 12 °C et 22 °C est appliqué aux températures quotidiennes moyennes (Westra *et coll.* 2014).

Un certain nombre d'études ont montré une mise à l'échelle basée sur l'équation Clausius-Clapeyron et basés sur des observations et des modèles de convection (Westra *et coll.* 2014). La mise à l'échelle est soutenue par une solide compréhension thermodynamique, et il a récemment été adopté en 2019 par l'Association canadienne de normalisation (CSA PLUS 4013:19) et le Australian Rainfall & Runoff Guide a été présenté comme la seule approche défendable fondée sur des études de Zhang *et coll.* (2017) et Zwiers (2017).

Toutefois, il y a des facteurs importants comme les sources d'humidité, la dynamique à grande échelle et les gradients de température (Westra *et coll.* 2014), et les changements dans l'efficacité des précipitations (O'Gorman *et coll.* 2015), qui ont également une incidence sur les précipitations extrêmes, mais qui ne sont pas pris en compte par la mise à l'échelle (Blenkinsop *et coll.* 2018, CSA 2019, Pfahl *et coll.* 2017). De plus, nous ne comprenons pas entièrement la

³ Intensité, durée et fréquence des changements climatiques

mise à l'échelle en ce sens qu'il y a d'autres hypothèses pour la cause de l'augmentation de l'échelle à des durées infraquotidiennes. (p. ex., la dynamique des nuages en raison de la libération de chaleur latente ou des changements dans les mécanismes générateurs de pluie; Westra *et coll.* 2014). Ces raisons peuvent expliquer pourquoi des variations des mises à l'échelle ont été observées au Canada et ailleurs (Li *et coll.* 2019, Gaur *et coll.* 2018, Panthou *et coll.* 2014).

Par conséquent, les opinions divergent quant à savoir si cette mise à l'échelle devrait être utilisée (Prein *et coll.* 2017, Schardong *et coll.* 2018). L'un des défis, c'est qu'il n'y a pas suffisamment de recherches pour savoir exactement comment l'appliquer. Par exemple, la norme CSA (2019) n'est pas prescriptive quant à la température à utiliser (p. ex., moyenne annuelle, saisonnière, température pendant les pluies abondantes, point de rosée). Néanmoins, les résultats fondés sur la mise à l'échelle ont été comparables à ceux de l'outil d'IDF-CC, bien qu'ils soient plus élevés pour les Prairies (ce qui peut être limité par l'humidité; Schardong *et coll.* 2018).

Autres approches

Les forces et les limites des autres approches sont résumées dans le tableau D1.

Tableau D1 — Points forts et limites des autres études.

Méthodes	Projections pour la RCN	Forces, limites et commentaires
Réduction de l'échelle dynamique		
Modèle de permis de convection (12 km) p. ex., Wang et Kotamarthi (2015)	Projections: RCP 4.5, 8.5; 1995–2004, 2045–2054, 2085–2094; disponibles sous forme de diagrammes à surfaces présentant des variabilités interannuelles et un diagramme à barres. Détails de la méthode : Menée par le CCSM4 avec et sans correction de biais. * voir aussi Kendon <i>et coll.</i> 2017, Prein <i>et coll.</i> 2017, Cannon et Innocenti 2019.	Forces : Permet la convection en raison de la haute résolution. Limites : Essais et modèles limités. Commentaires : Certains ont fait valoir que les modèles qui permettent la convection sont la meilleure chance que nous ayons d'effectuer des précipitations extrêmes sous-horaires (Westra <i>et coll.</i> 2014, O'Gorman 2015). Toutefois, il y a des limites de la longueur de la simulation, du domaine et du nombre d'études (Westra <i>et coll.</i> 2014).
OCCDP (25 km) Wang <i>et coll.</i> 2015.	Projections : RCP 4.5, 8.5; 1986–2005, 2020–2039, 2040–2069, 2070–2099; disponibles sur le portail en ligne. Détails de la méthode : PRECIS et RegCM dictés par les conditions limites de 5 HadCM3; Gumbel.	Forces : Projections d'une résolution supérieure à celle du MCG Limites : Biais non corrigés; deux modèles régionaux et un modèle directeur; 25 km ne suffisent pas pour les précipitations horaires. Comparaisons : On a découvert une surestimation des quantiles historiques (Desai 2017). *voir aussi Wang <i>et coll.</i> 2014, et Wang et Huang 2014.
Mise à l'échelle statistique		
Topographie de l'Interpolator de Waterloo, Température, Période Desai (2017)	Projections : RCP 2.6, 4.5, 8.5; 1960–2010, 2010–2099; disponible en tant que carte des points pour l'Ontario. Détails de la méthode : Combine la thermodynamique atmosphérique, les tendances temporelles et les paramètres physiologiques interpolés; les apports temp. de l'OCCDP et du PCIC.	Forces : Combinaison d'échelle, de tendances et de paramètres physiographiques. Limites : Seulement deux MCG (CanESM 4.2 et MPIESM); pas largement utilisé; il faut communiquer avec les auteurs pour obtenir des résultats de la RCN à l'extérieur de la carte. Comparaisons : Meilleur appariement de la répartition empirique par rapport à OCCDP (Desai 2017).
Générateur de temps stochastique (0,125°) Deng <i>et coll.</i> 2018.	Projections : RCP 6.0; 1980–2010, 2041–2070, 2071–2100; disponible en tant que carte de l'Ontario (Fig. 6) Détails de la méthode : BCCA; les jours dont les précipitations ≥ 10 mm sont désagrégés dans le temps; VEG avec Gumbel.	Forces : Ensemble de 12 membres Limites : Seulement RCP 6.0; pour une période de récurrence minimale de 15 calculée avec la méthode indirecte utilisant la courbe IDF; analyses seulement de mai à novembre; peu utilisées. * voir aussi Hayhoe (2000)
Typage météorologique Cheng <i>et coll.</i> 2011.	Projections : A2, B2; 1958–2002, 2001–50, 2026–75; disponible sous forme de tableau. Détails de la méthode : Comparaison des types de conditions météorologiques; modèles de simulation des chutes de pluie; quatre MCG à échelle réduite; station météorologique d'Ottawa.	Forces : Utilise des régimes météorologiques synoptiques plutôt que des points de réduction d'échelle isolés. Limites : L'hypothèse de stationnarité et les MCG ne peuvent pas reproduire tous les régimes météorologiques. * voir aussi Gaitan <i>et coll.</i> 2014.

Méthodes	Projections pour la RCN	Forces, limites et commentaires
SPAC (2019)	<p>Projections : RCP 4.5 (annexe), RCP 8.5; 2021-2050, 2041-2070, 2071-2100; disponible sous forme de tableau.</p> <p>Détails de la méthode : Utilisation de la formule Clausius-Clapeyron.</p>	<p>Forces : Fondé sur une compréhension théorique.</p> <p>Limites : Choix d'une mise à l'échelle réduite pour les durées quotidiennes. Il n'est pas clair dans la documentation quelles projections de température devraient être utilisées pour appliquer l'échelle.</p>

Autres considérations tirées de la documentation

Il est important de considérer cette discussion dans le contexte d'**autres incertitudes liées à l'IDF** :

- incertitude statistique (intervalles de confiance pour l'ajustement de la valeur extrême; CSA 2019);
- Utilisation de différentes fonctions de distribution (Paixao *et coll.* 2011, Switzman *et coll.* 2017);
- Pratiques d'enregistrement d'instruments et de données (Shephard *et coll.* 2014);
- Longueur des enregistrements comparée aux périodes de récurrence (Shephard *et coll.* 2014);
- Changements dans les procédures de contrôle de la qualité des précipitations (Coulibaly *et coll.* 2016);
- Variabilité géographique (Switzman *et coll.* 2017);
- Incertitude liée aux antécédents et aux événements combinés, p. ex., pluie sur la neige (Westra *et coll.* 2014);
- Influence des modes de variabilité à basse fréquence sur le climat canadien (Vincent *et coll.* 2015).

Certains de ces facteurs peuvent entraîner des tendances à la baisse lors de la mise à jour des IDF historiques (Coulibaly *et coll.* 2016). Pour réduire l'incertitude, les approches suivantes devraient être envisagées :

- Utilisation de sources d'information multiples (Paixao *et coll.* 2011, 2015; Burn 2014);
- Analyses de fréquence régionales (Cannon, 2015; CSA, 2019);
- Réduction de l'échelle statistique à plusieurs variables (Cannon *et coll.* 2018);
- Méthodes statistiques non stationnaires (Shephard 2014, Cheng et Aghakouchak 2014, Gore Bi 2017, Miranda *et coll.* 2018).

Résumé des conclusions

Malgré la grande variabilité naturelle et les défis associés à la projection des précipitations extrêmes, différentes méthodes montrent une augmentation des précipitations extrêmes prévue pour toutes les durées (précipitations infra-quotidiennes, quotidiennes et sur plusieurs jours).

Les projections du PCIC et du CCSC sous-estiment la valeur de l'intensité-durée-fréquence (IDF) d'ECCC dans la période historique pour les événements quotidiens (à noter que la sous-estimation est moindre pour les événements de plusieurs jours). C'est probablement parce que les projections représentent des précipitations moyennes sur 10 km. C'est important pour interpréter les résultats; par exemple, si la variation en pourcentage des MCG est appliquée à la

valeur de l'IDF d'ECCC, ceci suppose que la variation des précipitations sur une zone de 10 km est applicable à une courbe d'IDF dérivée d'un point.

Le MRC Cordex sous-estime la valeur de l'IDF d'ECCC dans la période historique pour les projections horaires et surestime la valeur de l'IDF d'ECCC pour des durées infra-quotidiennes plus longues (p. ex., de 6 à 12 heures). Les extrêmes pour les durées infraquotidiennes plus longues montrent également des tendances à la hausse plus importantes que les extrêmes horaires. Cela peut être dû au défi de représenter de petits événements de convection (Westra *et coll.* 2014) et pourrait être amplifié par la correction du biais de cartographie des quantiles (Maraun, 2010). La compréhension physique (p. ex., O'Gorman *et coll.* 2015) appuie une augmentation plus élevée des extrêmes infra-quotidiens (comparativement aux extrêmes quotidiens).

Emplacement des projections des précipitations extrêmes:

- Figure D1 — Projections des **précipitations sur 24 heures pour un événement à récurrence de 100 ans**, fondées sur trois méthodes (PCIC/CCSC, IDF-CC et Clausius-Clapeyron)
- Figure D2 — Projections des **précipitations horaires pour un événement à récurrence de 50 ans**, selon trois méthodes (MRC Cordex, IDF-CC et Clausius-Clapeyron)
- Tableau D2 — Projections d'**études supplémentaires** non incluses dans les figures D1/D2 (précipitations infraquotidiennes, quotidiennes et sur plusieurs jours).
- Annexes F et G — **Durées supplémentaires et périodes de récurrence** pour deux méthodes (PCIC/CCSC et MRC Cordex).

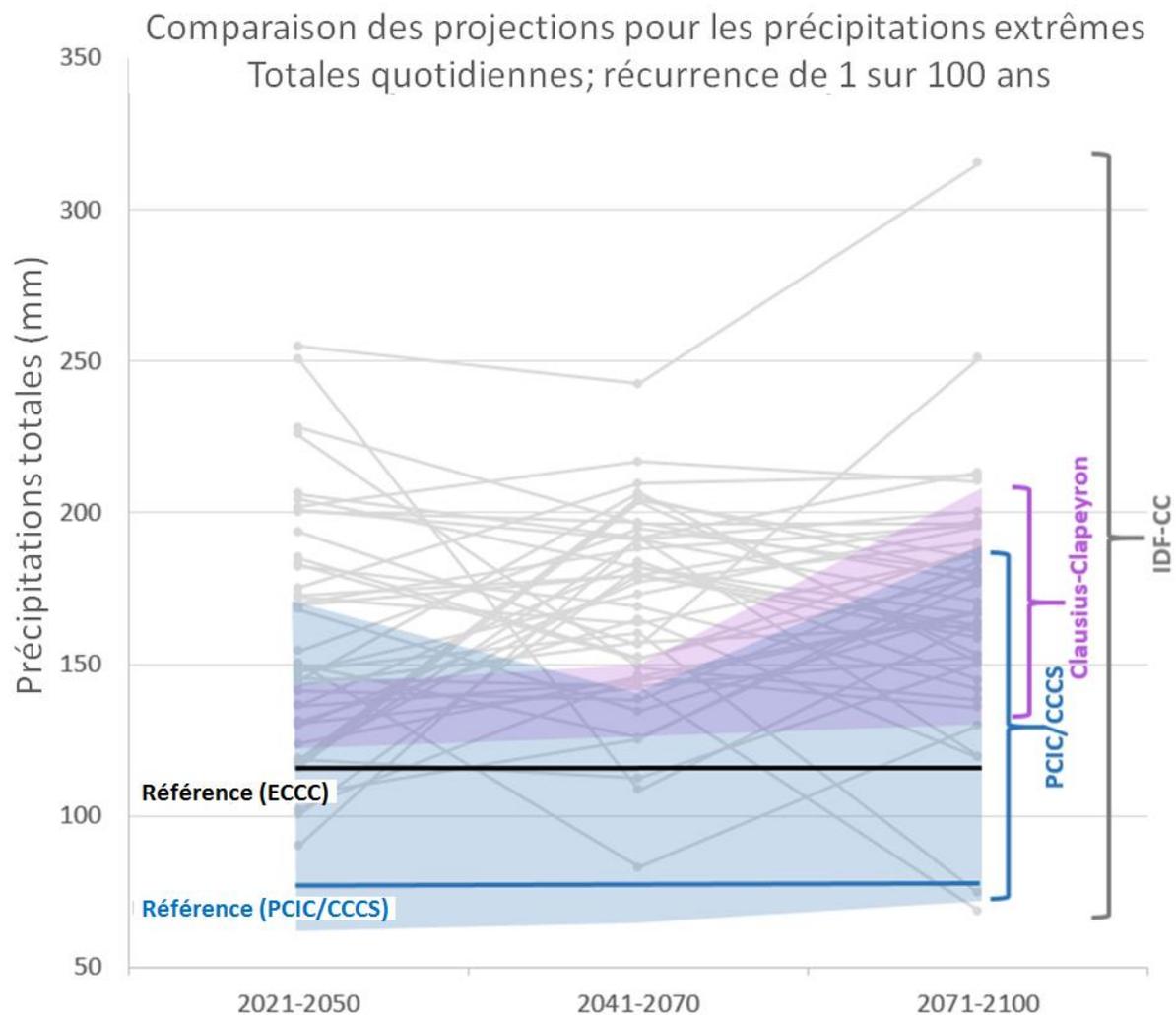


Figure D1 : Comparaison des projections pour les précipitations extrêmes à l'aéroport d'Ottawa (Total sur une journée, événement à récurrence de 100 ans)

Interprétation de la figure D1 :

- Les projections pour l'événement quotidien à récurrence de 100 ans sont fournies en fonction de différentes méthodes et modèles. Toutes les projections sont **établies sur une moyenne de 30 ans**.
- Les projections du PCIC/CCSC sont fournies en bleu. Les projections à l'aide de l'échelle Clausius-Clapeyron sont fournies en violet. Pour ces deux **modèles**, la zone remplie représente les 10e -90e centiles de l'ensemble de modèles. Les projections de l'outil IDF-CC sont fournies en gris. Les lignes illustrent les résultats de **chaque modèle**.
- L'estimation du PCIC/CCSC pour la base de référence est illustrée par la ligne bleue horizontale. Cette valeur devrait être semblable à la valeur de référence d'ECCC (ligne noire horizontale), mais elle sous-estime plutôt la référence d'ECCC. Cela donne à penser que les **projections du PCIC/CCCS pourraient être une sous-estimation** des projections « réelles » (voir l'analyse dans le texte principal).

- La gamme de résultats obtenus à partir de différents modèles et de différentes méthodes caractérise l'incertitude des projections climatiques. Les valeurs fournies dans cette parcelle **ne peuvent pas être utilisées directement dans les projets de conception ou d'adaptation**. Une évaluation de la vulnérabilité/des répercussions ou des risques (phase 2) est nécessaire pour déterminer les valeurs à utiliser à partir de la gamme de projections fournies dans cette figure.
- Il est à noter que les projections des **scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) sont regroupées** dans ce graphique aux fins de lisibilité, mais il est préférable de tenir compte séparément de la gamme de projections des deux scénarios.

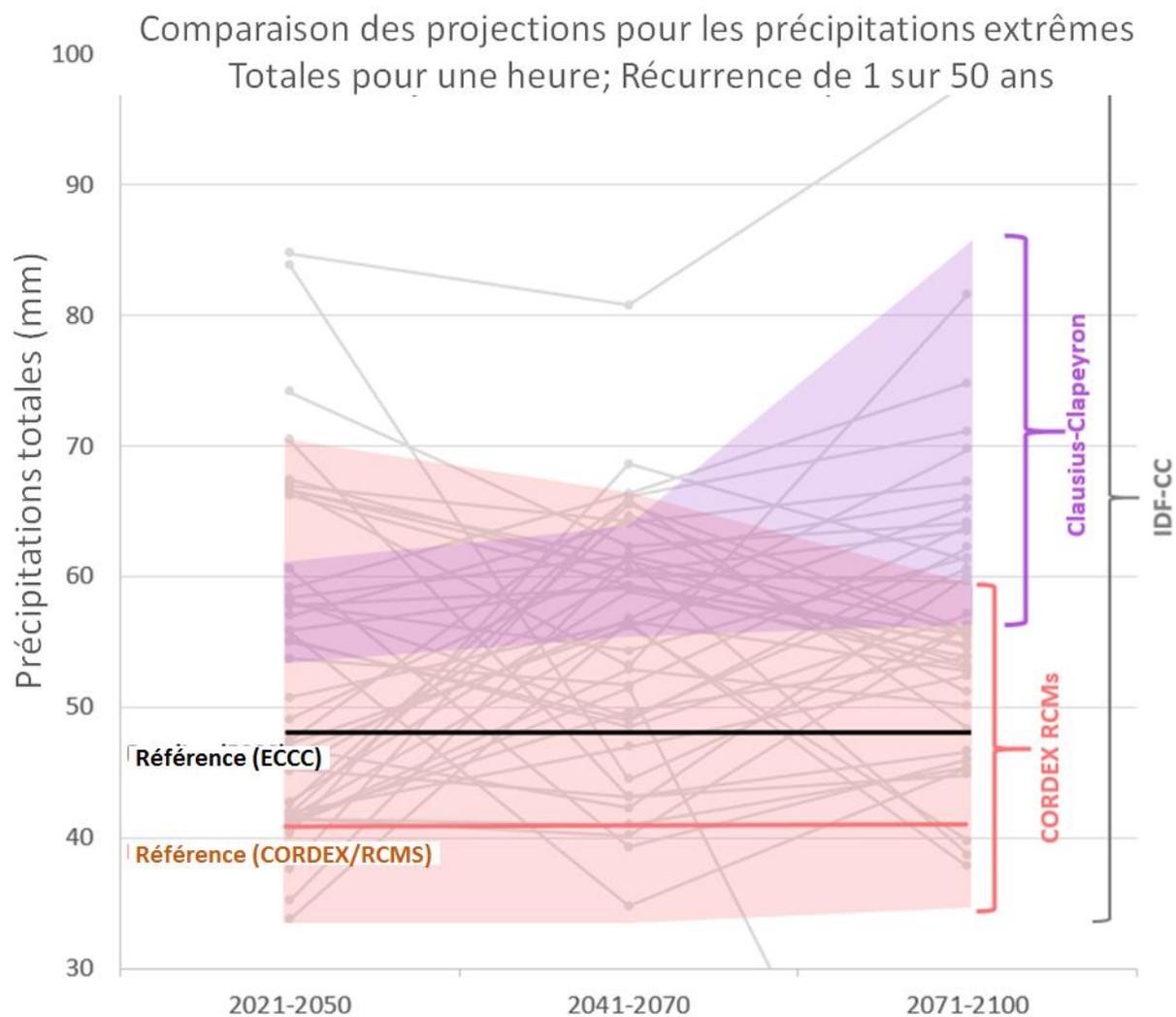


Figure D2 : Comparaison des projections pour les précipitations extrêmes à l'aéroport d'Ottawa (total horaire, récurrence de 50 ans).

Interprétation de la figure D2 :

- Les projections pour les précipitations horaires à récurrence de 50 ans sont fournies en fonction de différentes méthodes et modèles. Toutes les projections sont **établies sur une moyenne de 30 ans**.

- Les projections des MRC Cordex sont fournies en orange. Les projections à l'aide de l'échelle Clausius-Clapeyron sont fournies en violet. Pour ces deux **modèles**, la zone remplie représente les 10e -90e centiles de l'ensemble de modèles. Les projections de l'outil IDF-CC sont fournies en gris. Les lignes illustrent les résultats de **chaque modèle**.
- L'estimation des MRC Cordex pour la ligne de référence est illustrée par la ligne horizontale orange. Cette valeur devrait être semblable à la valeur de référence d'ECCC (ligne noire horizontale), mais elle sous-estime plutôt la référence d'ECCC. Cela donne à penser que les **projections du MRC Cordex pourraient être une sous-estimation** des projections « réelles » (voir l'analyse dans le texte principal).
- La gamme de résultats obtenus à partir de différents modèles et de différentes méthodes caractérise l'incertitude des projections climatiques. Les valeurs fournies dans ce tracé **ne devraient pas être utilisées directement dans les projets de conception ou d'adaptation sans analyse supplémentaire**. Une évaluation de la vulnérabilité, des répercussions ou des risques est nécessaire pour déterminer les valeurs à utiliser à partir de la gamme de projections fournies dans cette figure.
- Il est à noter que les projections des **scénarios à émissions modérées (RCP 4.5) et élevées (RCP 8.5) sont regroupées** dans ce graphique aux fins de lisibilité, mais il est préférable de tenir compte séparément de la gamme de projections des deux scénarios.

Tableau D2 — Résultats d'études supplémentaires non incluses dans les figures D1/D2.

Remarque : Ces méthodes ne sont pas directement comparables en raison de différents points de référence, scénarios, etc., voir le tableau D1.

Méthodes	Plusieurs jours	Quotidien	Infraquotidien
Réduction de l'échelle dynamique			
WRF Wang et Kotamarthi (2015)	<p>Événement sur 2 jours à récurrence de 5 ans : augmentation du nombre d'événements/année de 3,5 (2045-2054) et 6,5 (2085-2094)</p> <p>Événement sur 5 jours à récurrence de 10 ans : augmentation du nombre d'événements/année de 3 (2045-2054) et 5,5 (2085-2094)</p>	Le 55e à 99e centiles quotidien devrait augmenter (sauf à l'automne), la plus forte augmentation étant enregistrée du 55e au 75e. On constate une plus grande augmentation avec un modèle à plus haute résolution.	
OCCDP Wang et coll. 2015.		Événement quotidien à récurrence de 100 ans : - 15-85 % (2020-2039), 15-65 % (2040-2069), 3-55 % (2070-2099)	Événement horaire à récurrence de 50 ans : 15-93 % (2020-2039), 50-65 % (2040-2069), 40-80 % (2070-2099)

Méthodes	Plusieurs jours	Quotidien	Infraquotidien
Mise à l'échelle statistique			
Desai (2017)		La fréquence doublera presque pour toutes les périodes de récurrence et augmentera davantage pour les tempêtes à récurrence de 50 ans.	La fréquence doublera presque pour toutes les périodes de récurrence et augmentera davantage pour les tempêtes à récurrence de 50 ans.
Deng et coll. 2018.		Événement quotidien à récurrence de 50 ans : augmente d'environ 10 mm entre les années 2050 et les années 2080	15 augmentation minimum de 2-4 mm d'ici 2080.
Cheng et coll. 2011.	Augmentation des événements à récurrence de 3 jours de 30 % à 55 % (2001-50), de 25 % à 60 % (2026-75)		
SPAC (2019)		Probabilité future d'événement quotidien à récurrence de 50 ans : 4 % (années 2030), 5 % (années 2050), 9 % (années 2080)	Probabilité future d'événement horaire à récurrence de 50 ans : 5 % (années 2030), 8 % (années 2050), 15 % (années 2080)

Artefacts sur la correction des biais et la variation spatiale

Il est à noter que lorsque la correction du biais est appliquée à des cases de grille individuelles séparément, cela peut créer des configurations spatiales qui ne sont pas réelles (Maraun, 2013). Cela signifie que les cartes de l'ANNEXE F – *Graphiques des indices climatiques* doivent être interprétées avec prudence. **Les notes qui concordent avec la compréhension des processus (p. ex., du sud au nord, ou entre le noyau urbain et les zones environnantes) sont plus fiables, alors que les résultats prévus peuvent être des artefacts de l'analyse des données.**

La figure ci-dessous donne un exemple de précipitations sur une journée à récurrence de 100 ans (sans le lissage de la couleur pour mettre l'accent); il n'est pas réaliste que les extrêmes de précipitations puissent varier de façon draconienne et sans schéma clair (le problème demeure lorsque des modèles individuels sont tracés; cela a été mis à l'essai, mais les résultats ne sont pas présentés dans ce projet). Ce phénomène est particulièrement difficile avec les périodes de récurrence des extrêmes parce qu'ils sont sensibles à un petit nombre de points de données. Pour cette raison, seuls les graphiques de précipitations d'une journée à récurrence de 100 ans ont été fournis à l'ANNEXE F – Graphiques sur les indices climatiques à titre de référence, et les cartes des autres périodes de récurrence et durées des tempêtes ne sont pas présentées.

2080s RCP8.5

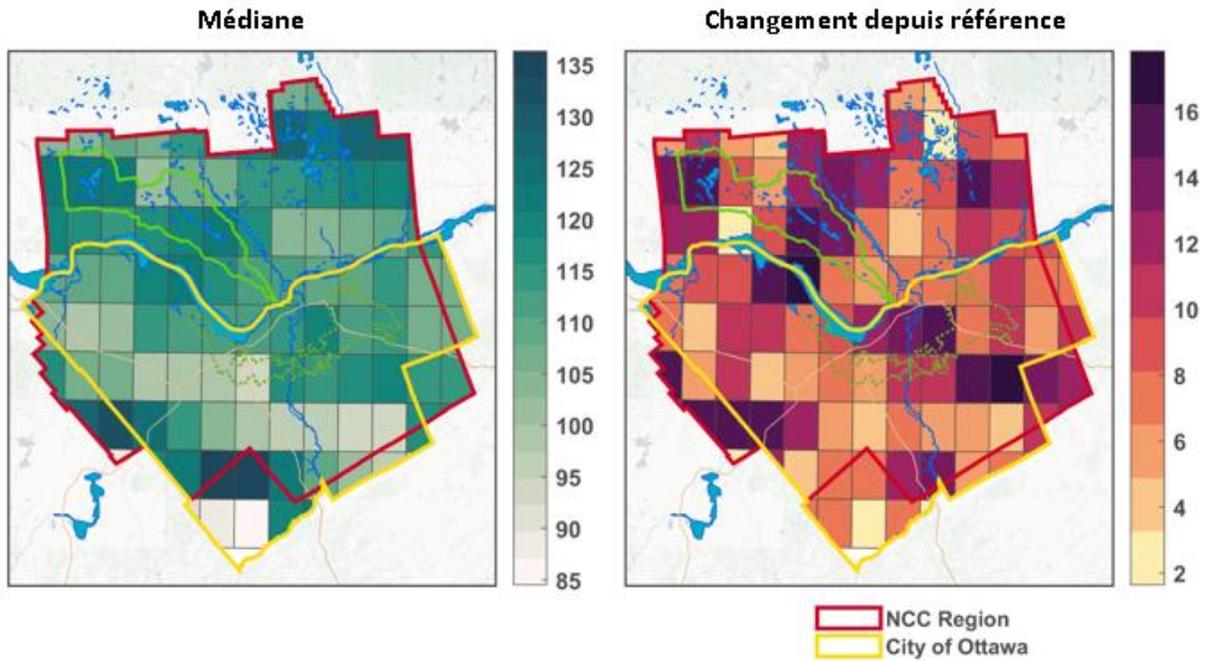


Figure D3 : Exemples de cartes de précipitations extrêmes (événement à récurrence de 100 ans, 24 heures)

ANNEXE E – Références

- Al, Griffith E. T. (2016) « Journal of Geophysical Research : Atmospheres. » *Journal of Geophysical Research : Atmospheres*, pp. 4211–32, doi:10.1002/2015JD024358.Received.
- Allard, Denis et Marc Bourotte. *Disaggregating Daily Precipitations into Hourly Values with a Transformed Censored Latent Gaussian Process*. https://informatique-mia.inra.fr/sites/informatique-mia.inra.fr/biosp-d7/files/oldfiles/Allard_Bourotte_SERRA_Revision.pdf. Consulté le 25 avril 2019.
- Gorée Bi, E., Gachon, P., Vrac, M. et Monette, F. (2017). Which downscaled rainfall data for climate change impact studies in urban areas? Review of current approaches and trends. (en anglais seulement) *Theoretical and Applied Climatology*, 685-699. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1656-y>
- Blenkinsop, S., Fowler, H. J., Barbero, R., Chan, S. C., Guerreiro, S. B., Kendon, E., ... Tye, M. R. (2018). The INTENSE project: using observations and models to understand the past, present and future of sub-daily rainfall extremes. (en anglais seulement) *Advances in Science and Research*, 15, 117–126. <https://doi.org/10.5194/asr-15-117-2018>
- Bonsal, Barrie R. *et coll.* 2011. « Drought Research in Canada: A Review. » (en anglais seulement) *Atmosphere - Ocean*, vol. 49, no 4, p. 303–19, doi:10.1080/07055900.2011.555103.
- Booth, James F. *et coll.* (2015) « The Paths of Extratropical Cyclones Associated with Wintertime High-Wind Events in the Northeastern United States ». *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 54, no 9, pp. 1871–85, doi:10.1175/JAMC-D-14-0320.1.
- Bornman, Janet F. *et coll.* (2019) « Linkages between Stratospheric Ozone, UV Radiation and Climate Change and Their Implications for Terrestrial Ecosystems ». *Photochemical and Photobiological Sciences*, vol. 18, no 3, Royal Society of Chemistry, pp. 681-716, doi:10.1039/c8pp90061b.
- Brooks, H. E. (2013) « Severe Thunderstorms and Climate Change ». *Atmospheric Research*, vol. 123, Elsevier B.V., pp. 129–38, doi:10.1016/j.atmosres.2012.04.002.
- Brown, Ross D. *et coll.* (2019) « Update of Canadian Historical Snow Survey Data and Analysis of Snow Water Equivalent Trends, 1967–2016. » *Atmosphere - Ocean*, vol. 57, no. 2, Taylor & Francis, pp. 149–56, doi:10.1080/07055900.2019.1598843.
- Conseil canadien des ministres des forêts. 2015. *Changements climatiques et aménagement forestier durable au Canada : Guide d'évaluation de la vulnérabilité et d'intégration des mesures d'adaptation dans le processus décisionnel*.
- Cannon, A. J. et Innocenti, S. (2019). Projected intensification of sub-daily and daily rainfall extremes in convection-permitting climate model simulations over North America: implications for future intensity–duration–frequency curves. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(2), 421-440. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-421-2019>
- Cannon, A. J., Sobie, S. R. et Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938-6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- Cannon, Alex J. (2018) « Multivariate Quantile Mapping Bias Correction : An N-Dimensional Probability Density Function Transform for Climate Model Simulations of Multiple Variables. » *Climate Dynamics*, vol. 50, no. 1-2, Springer Berlin Heidelberg, pp. 31-49, doi :10.1007/s00382-017-3580-6.
- Cao, Zuohao et Huaqing Cai. (2008) « Tornado Frequency and Its Large-Scale Environments Over Ontario, Canada ». *The Open Atmospheric Science Journal*, vol. 2, no 1, p. 256–60, doi:10.2174/1874282300802010256.

- Cao, Zuohao *et coll.* (2011) *Detection of Tornado Frequency Trend Over Ontario, Canada*. no. 1, pp. 27–31.
- CBC. 2019. Blasts from the past: Canada's worst snowstorms | CBC News. [en ligne] Disponible à l'adresse : <https://www.cbc.ca/news/canada/blasts-from-the-past-canada-s-worst-snowstorms-1.1370387> [consulté le 20 septembre 2019].
- CCMA. 2013. *Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds*.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2019). Programme sur le climat et la santé. <https://www.cdc.gov/climateandhealth/default.htm>
- Centre for Indigenous Environmental Resources. 2006. Des outils de planification pour les Premières nations : Manuel 3
- Cesana, Gregory et Trude Storelmo. 2017. « Improving Climate Projections by Understanding How Cloud Phase Affects Radiation ». *Journal of Geophysical Research*, vol. 122, no 8, 2017, p. 4594–99, doi:10.1002/2017JD026927.
- Changnon, Stanley A. « Urban Modification of Freezing-Rain Events ». 2003. *Journal of Applied Meteorology*, vol. 42, no 6, p. 863–70, doi:10.1175/1520-0450(2003)042<0863:umofe>2.0.co;2.
- Charron, I. (2016). Guide sur les scénarios climatiques : Utilisation de l'information climatique pour guider la recherche et la prise de décision en matière d'adaptation, édition 2016. Ouranos, 94p.
- Chaumont D., Mailhot A., Diaconescu E.P., Fournier É., Logan T. (2017). Élaboration du portrait bioclimatique futur du Nunavik — Tome II. [Rapport présenté au Ministère de la forêt, de la faune et des parcs] Lieu d'édition : Ouranos. 215 pages (<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportNunavik2018-Tome2-Fr.pdf>)
- Chen, J., Brissette, F. P., Chaumont, D. et Braun, M. (2013). Performance and uncertainty evaluation of empirical downscaling methods in quantifying the climate change impacts on hydrology over two North American river basins. *Journal of Hydrology*, 479, 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.062>
- Chen, Yong-Jhih *et coll.* (2019). « Distinct Patterns of Cloud Changes Associated with Decadal Variability and Their Contribution to Observed Cloud Cover Trends ». *Journal of Climate*, pp. 1–62, doi:10.1175/jcli-d-18-0443.1.
- Cheng, C. S., *et coll.* (2007). « Possible Impacts of Climate Change on Freezing Rain in South-Central Canada Using Downscale Future Climate Scenarios ». *Natural Hazards and Earth System Science*, vol. 7, no 1, p. 71–87, doi:10.5194/nhess-7-71-2007.
- Cheng, C. S., Li, G., Li, Q. et Auld, H. (2011). A synoptic weather-typing approach to project future daily rainfall and extremes at local scale in Ontario, Canada. *Journal of Climate*, 24(14), 3667–3685. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3764.1>
- Cheng, Chad Shouquan *et coll.* (2007). « A Synoptic Climatological Approach to Assess Climatic Impact on Air Quality in South-Central Canada ». Part I : Historical Analysis ». *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 182, no 1–4, 2007, pp. 131–48, doi:10.1007/s11270-006-9327-3.
- Cheng, Chad Shouquan *et coll.* (2012) « Climate Change and Heavy Rainy-Related Water Damage Insurance Claims and Losses in Ontario, Canada ». *Journal of Water Resource and Protection*, vol. 04, no. 02, p. 49–62, doi:10.4236/jwarp.2012.42007.
- Cheng, Chad Shouquan *et coll.* (2012) « Possible Impacts of Climate Change on Extreme Weather Events at Local Scale in South-Central Canada. » *Climatic Change*, vol. 112, no 3–4, p. 963–79, doi:10.1007/s10584-011-0252-0.

- Cheng, Chad Shouquan *et coll.* (2014). « Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscale Future Climate Conditions : Updated for Canada." *Journal of Climate*, vol. 27, no 3, p. 1255–70, doi:10.1175/JCLI-D-13-00020.1.
- Cheng, Chad Shouquan *et coll.* (2011). « Possible Impacts of Climate Change on Wind Gusts under Downscaled Future Climate Conditions over Ontario, Canada. » *Journal of Climate*, vol. 25, no 9, p. 3390-408, doi:10.1175/JCLI-D-11-00198.1.
- Cheng, Vincent Y. S., *et coll.* (2016). « Predicting the Climatology of Tornado Occurrences in North America with a Bayesian Hierarchical Modeling Framework ». *Journal of Climate*, vol. 29, no 5, p. 1899-917, doi:10.1175/JCLI-D-15-0404.1.
- Ville d'Ottawa. (2011) « Characterization of Ottawa's Watersheds: An Environmental Foundation Document with Supporting Information Base ».
- Coleman, Jill S. M. et Robert M. Schwartz. (2017) « An Updated Blizzard Climatology of the Contiguous United States (1959-2014) : An Examination of Spatiotemporal Trends ». *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 56, no 1, pp. 173-87, doi:10.1175/JAMC-D-15-0350.1.
- Cortinas, John. (2000) « A Climatology of Freezing Rain in the Great Lakes Region of North America ». *Monthly Weather Review*, vol. 128, no 10, p. 3574–88, doi:10.1175/1520-0493(2001)129<3574:ACOFRI>2.0.CO;2.
- Coulibaly, P., Burn, D. H., Switzman, H., Henderson, J. et Fausto, E. (2016). *A Comparison of Future IDF Curves for Southern Ontario Addendum- IDF Statistics, Curves and Equations Currently a consulting hydrologist in Calgary, AB The authors are grateful to Ryan Ness and Fabio Tonto (TRCA) for their contribution in sites selection.* (février). Extrait de <https://climateconnections.ca/app/uploads/2014/01/IDF-Comparison-Report-and-Addendum.pdf>
- Croce, Pietro *et coll.* (2018) « The Snow Load in Europe and the Climate Change ». *Climate Risk Management*, vol. 20, no. March, Elsevier, pp. 138–54, doi:10.1016/j.crm.2018.03.001.
- CSA. (2019). *Technical Guide Development, interpretation, and use of intensity-duration-frequency (IDF) information: Guideline for Canadian water resource practitioners.*
- Deng, Z., Liu, J., Qiu, X., Zhou, X., Babazadeh, H. et Zhu, H. (2018). Projection of Temperature and Precipitation Related Climatic Design Data Using CMIP5 Multi-Model Ensemble : A case study for Ontario, Canada under RCP 6.0. Dans *Journal of Buildings and Sustainability* (Vol. 39). Extrait de www.insightcore.com
- Desai, H. (2017). *Relating Extreme Temperature and Precipitation to Improve IDF Curve Estimates for Ontario in Response to Climate Change.* Waterloo.
- « Detecting the Impact of Temperature on Transmission of Zika, Dengue, and Chikungunya Using Mechanistic Models ». PubMed Central (PMC), 1er avril 2017, www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5423694.
- Diaconescu E., Mailhot A., Chaumont D., Brown R. (2017) Développement de scénarios climatiques pour le Canada basés sur les simulations régionales CORDEX, 7e symposium Ouranos, Montréal, Qc., Canada, 15 - 17 novembre 2017. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/Diaconescu_3A.pdf
- ECCC. (2019). À propos des données Consulté le 13 juin 2020 sur <https://donneesclimatiques.ca/portail>

- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K. et Liebert, J. (2012). HESS Opinions « should we apply bias correction to global and regional climate model data? » *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3391-3404. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012>
- Ingénieurs Canada. (n.d.). *Protocole du Comité sur la vulnérabilité de l'ingénierie des infrastructures publiques (CVIIP)*.
- Environnement et Changement climatique Canada « Tendances air-santé ». Canada.ca, Gouvernement du Canada, 28 septembre 2018, <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/tendances-air-sante.html>
- Environnement et Changement climatique Canada ARCHIVÉE — Environnement et Changement climatique Canada — Conditions atmosphériques et météorologie — Archives — Articles — L'ouragan Hazel — La tempête. ARCHIVÉE — Environnement et Changement climatique Canada — Conditions atmosphériques et météorologie — Archives — Articles — L'ouragan Hazel — La tempête, 23 juillet 2013, <https://www.ec.gc.ca/ouragans-hurricanes/default.asp?lang=Fr&n=5C4829A9-1>
- Environnement et Changement climatique Canada « Les événements météorologiques les plus marquants du 20e siècle ». Environnement et Changement climatique Canada — Climat et conditions météorologiques — Les événements météorologiques les plus marquants du 20e siècle, 8 août 2017, <https://ec.gc.ca/meteo-weather/default.asp?lang=Fr&n=6A4A3AC5-1>.
- Fajber, Robert *et coll.* (2014) « At Time of Day Do Daily Extreme Near-Surface Wind Speeds Occur? » *Journal of Climate*, vol. 27, no 11, p. 4226-44, doi:10.1175/JCLI-D-13-00286.1.
- Fowler, R. B. S. W. G. L. H. J. (2018). *Temperature-extreme precipitation scaling: a two-way causality?*
- Fu, Tzung May et Heng Tian. (2019) « Climate Change Penalty to Ozone Air Quality : Review of Current Understandings and Knowledge Gaps ». *Current Pollution Reports*, Current Pollution Reports, p. 159–71, doi:10.1007/s40726-019-00115-6.
- Gaitan, C. F., Hsieh, W. W. et Cannon, A. J. (2014). Comparison of statistically downscaled precipitation in terms of future climate indices and daily variability for southern Ontario and Quebec, Canada. *Climate Dynamics*, 43(12), 3201-3217. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2098-4>
- Ganguli, P. et Coulibaly, P. (2019). Assessment of future changes in intensity-duration-frequency curves for Southern Ontario using North American (NA)-CORDEX models with nonstationary methods. *Journal of Hydrology : Regional Studies*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.12.007>
- Gaur, A., A. Schardong et S. P. Simonovic. (2018). « Effects of global warming on precipitation extremes : Dependence on storm characteristics ». *Water Resour. Manage.* 32 (8) : 2639-2648. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1949-x>.
- Girardin, Martin Philippe *et coll.* (2004) « Trends and Periodicities in the Canadian Drought Code and Their Relationships with Atmospheric Circulation for the Southern Canadian Boreal Forest. » *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 34, no 1, p. 103–19, doi:10.1139/x03-195.
- Gouvernement du Canada (2008). *Integrating Climate Change into Invasive Species Risk Assessment/ Risk Management*.

- Groisman, Pavel Ya *et coll.* (2016) « Recent Changes in the Frequency of Freezing Precipitation in North America and Northern Eurasia ». *Environmental Research Letters*, vol. 11, no 4, IOP Publishing, 2016, doi:10.1088/1748-9326/11/4/045007.
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E. et Engen-Skaugen, T. (2012). Note technique : Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – A comparison of methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(9), 3383-3390. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3383-2012>
- Gutmann, E., T. Pruitt, M. P. Clark, L. Brekke, J. R. Arnold, D. A. Raff et R. M. Rasmussen (2014) : An intercomparison of statistical downscaling methods used for water resource assessments in the United States. *Water Resour. Res.*, 50, 7167-7186, doi :10.1002/2014WR015559.
- Gutmann, Ethan D., *et coll.* (2018) « Changes in Hurricanes from a 13-Yr Convection-Permitting Pseudo- Global Warming Simulation ». *Journal of Climate*, vol. 31, no 9, 2018, pp. 3643–57, doi:10.1175/JCLI-D-17-0391.1.
- Hanson, Helena. « 3 Ottawa Homes Were Struck by Lightning On Thursday Night And The Pictures Are Terrifying ». Narcity, Narcity, <https://www.narcity.com/news/ca/on/ottawa/ottawa-lightning-struck-3-different-homes-causing-fires-and-the-pictures-are-shocking>.
- Hawkins, E. et R. Sutton (2009). The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90, 1095–1107, doi:10.1175/2009BAMS2607.1.
- Hayhoe, H. N. (2000). Improvements of stochastic weather data generators for diverse climates. *Climate Research*, 14(2), 75–87. <https://doi.org/10.3354/cr014075>
- Hernández-Díaz, L., O. Nikiéma, R. Laprise, K. Winger et S. Dandoy (2019) Effect of empirical correction of sea-surface temperatures on the CRCM5-simulated climate and projected climate change over North America. *Clim. Dyn.* 24 pp <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00382-018-4596-2.pdf>
- Holland, Greg et Cindy L. Bruyère. (2014) « Recent Intense Hurricane Response to Global Climate Change ». *Climate Dynamics*, vol. 42, no 3–4, p. 617–27, doi:10.1007/s00382-013-1713-0.
- Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H. et Willems, P. (2017). Uncertainty assessment for climate change impact on intense precipitation: how many model runs do we need? *International Journal of Climatology*, 37(avril), 1105-1117. <https://doi.org/10.1002/joc.5069>
- Hurn, Steven M., *et coll.* (2016) « A Review of Thustormorm Trends across Southern Ontario, Canada ». *Atmosphere - Ocean*, vol. 54, no. 5, Taylor & Francis, pp. 519-28, doi:10.1080/07055900.2016.1211085.
- ICLEI Canada (2017). *Building Adaptive and Resilient Communities Program*.
- Institute for Sustainable Infrastructure. (n. d.). *Envision*.
- GIEC (2013). Résumé à l'intention des décideurs. Dans : Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley (éd.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, États-Unis. https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php

- GIEC (2018). Résumé à l'intention des décideurs. Dans : Réchauffement planétaire de 1,5 °C. Rapport spécial du GIEC sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels et les trajectoires associées d'émissions mondiales de gaz à effet de serre, dans le contexte du renforcement de la parade mondiale au changement climatique, du développement durable et de la lutte contre la pauvreté [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor et T. Waterfield (éd.)]. Organisation météorologique mondiale, Genève, Suisse, 32 p.
- Janoski, Tyler P. *et coll.* (2018). « Effects of Climate Change on Wind-Driven Heavy-Snowfall Events over Eastern North America ». *Journal of Climate*, vol. 31, no 22, p. 9037-54, doi:10.1175/JCLI-D-17-0756.1.
- Jeong, Dae Il et Laxmi Sushama. (2018). « Projected Changes to Extreme Wind and Snow Environmental Loads for Buildings and Infrastructure across Canada ». *Sustainable Cities and Society*, vol. 36, no décembre 2016, Elsevier, pp. 225–36, doi:10.1016/j.scs.2017.10.004.
- Jeong, Dae Il, *et coll.* (2018) « Projected Changes to Extreme Ice Loads for Overhead Transmission Lines across Canada ». *Sustainable Cities and Society*, vol. 39, no juillet 2017, pp. 639–49, doi:10.1016/j.scs.2018.03.017.
- Kar, Sanjib Kumar et Yuei An Liou. (2019) « Influence of Land Use and Land Cover Change on the Formation of Local Lightning ». *Remote Sensing*, vol. 11, no 4, doi:10.3390/rs11040407.
- Kendon, E. J., Ban, N., Roberts, N. M., Fowler, H. J., Roberts, M. J., Chan, S. C., ... Wilkinson, J. M. (2017). Do convection-permitting regional climate models improve projections of future precipitation change? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 79–93. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-0004.1>
- Klima, Kelly et M. Granger Morgan. (2015) « Ice Storm Frequencies in a Warmer Climate ». *Climatic Change*, vol. 133, no 2, p. 209–22, doi:10.1007/s10584-015-1460-9.
- Knutson, Thomas R. *et coll.* (1998) « Simulated Increase of Hurricane Intensities in a CO₂-Warmed Climate ». *Science*, vol. 279, no 5353, pp. 1018–20, doi :10.1126/science.279.5353.1018.
- Knutson, Thomas *et coll.* (2019) « Tropical Cyclones and Climate Change Assessment: Part II. Projected Response to Anthropogenic Warming ». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2019, p. BAMS-D-18-0194.1, doi:10.1175/BAMS-D-18-0194.1.
- Kunkel, Kenneth E. *et coll.* (2016). « Trends and Extremes in Northern Hemisphere Snow Characteristics ». *Current Climate Change Reports*, vol. 2, no. 2, Current Climate Change Reports, p. 65–73, doi:10.1007/s40641-016-0036-8.
- Lee, Cameron C. (2012) « Utilizing Synoptic Climatological Methods to Assess the Impacts of Climate Change on Future Tornado-Favorable Environments ». *Natural Hazards*, vol. 62, no 2, p. 325–43, doi:10.1007/s11069-011-9998-y.
- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X. et Li, G. (2019). How Much Information Is Required to Well Constrain Local Estimates of Future Precipitation Extremes? *Earth's Future*, 7(1), 11–24. <https://doi.org/10.1029/2018EF001001>
- Li, G., Zhang, X., Cannon, A. J., Murdock, T., Sobie, S., Zwiers, F., ... Qian, B. (2018). Indices of Canada's future climate for general and agricultural adaptation applications. *Climatic Change*, 148(1–2), 249–263. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2199-x>

- Linning, Shannon J. (2015) « Crime Seasonality and the Micro-Spatial Patterns of Property Crime in Vancouver, BC and Ottawa, ON ». *Journal of Criminal Justice*, vol. 43, no. 6, Elsevier Ltd, pp. 544–55, doi :10.1016/j.jcrimjus.2015.05.007.
- Lisa V. Alexander Xuebin Zhang, Hayley J. Fowler, Claudia Tebaldi, Amanda Lynch, Nigel Tapper *et coll.* (2009) « Climate Extremes : Progress and Future Directions. » *International Journal of Climatology*, vol. 29, no 3, p. 317–19, doi:10.1002/joc.
- Littell, Jeremy S. *et coll.* (2016) « A Review of the Relationships between Drought and Forest Fire in the United States ». *Global Change Biology*, vol. 22, no 7, pp. 2353–69, doi :10.1111/gcb.13275.
- Lucas, R. M. *et coll.* (2019) « Human Health in Relation to Exposure to Solar Ultraviolet Radiation under Changing Stratospheric Ozone and Climate ». *Photochemical and Photobiological Sciences*, vol. 18, no 3, Royal Society of Chemistry, pp. 641-80, doi:10.1039/C8PP90060D.
- Lucio-Eceiza, Etor E., *et coll.* (2018) « Quality Control of Surface Wind Observations in Northeastern North America ». Part I : Data Management Issues. » *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 35, no 1, p. 163–82, doi:10.1175/JTECH-D-16-0204.1.
- Mailhot A., Chaumont D., Berteaux D., Brodeur V., Casajus N., Barette C., Brown R., Côté S., Diaconescu E.P., Fournier É., Guay C., Logan T., Ropars P., Tremblay B. (2017) : Élaboration du portrait bioclimatique futur du Nunavik — Tome I. [Rapport présenté au ministère de la forêt, de la faune et des parcs] Lieu d'édition : Ouranos. 214 pages
(<https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/RapportNunavik2018-Tome1-Fr.pdf>)
- Maraun, D. (2013). Bias correction, quantile mapping, and downscaling: Re- visiting the inflation issue. *J. Climate*, 26, 2137-2143, doi:10.1175/JCLI-D-12-00821.1.
- Maraun, D. *et coll.* (2010 : Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Rev. Geophys.*, 48, RG3003, doi:10.1029/2009RG000314.
- Maraun, D. et Widmann, M. (2018). *Statistical Downscaling and Bias Correction for Climate Research* (édition 2018). Cambridge : Cambridge University Press.
- Maraun, D., Shepherd, T. G., Widmann, M., Zappa, G., Walton, D., Gutiérrez, J. M., ... Mearns, L. O. (2017). Towards process-informed bias correction of climate change simulations. *Nature Climate Change*, 7 (11), 764-773. <https://doi.org/10.1038/nclimate3418>
- Matte, Dominic *et coll.* (2019) « Mixed Precipitation Occurrences over Southern Québec, Canada, under Warmer Climate Conditions Using a Regional Climate Model. » *Climate Dynamics*, vol. 53, no. 1-2, Springer Berlin Heidelberg, 2019, pp. 1-17, doi :10.1007/s00382-018-4231-2.
- McGrath, Pat et Jean Levac. « Third Ottawa Tornado inside Year a 'Statistical Anomaly: » Environnement Canada. » Ottawa Citizen, 3 juin 2019, <https://ottawacitizen.com/news/local-news/third-ottawa-tornado-insideyear-a-statistical-anomaly-environment-canada>.
- McGrath, Pat et Jean Levac. « Third Ottawa Tornado inside Year a 'Statistical Anomaly: » Environnement Canada. » Ottawa Citizen, 3 juin 2019, <https://ottawacitizen.com/news/local-news/third-ottawa-tornado-insideyear-a-statistical-anomaly-environment-canada>.
- Megan Gillis. (12 mai 2016). Brush, forest fire doused in Gatineau. *Ottawa Citizen*.

- Meyer, Judith *et coll.* (2019). « Effects of Univariate and Multivariate Bias Correction on Hydrological Impact Projections in Alpine Catchments ». *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 23, no 3, p. 1339-1354, doi:10.5194/hess-23-1339-2019.
- Ministère de la Santé et des Soins de longue durée. (2016). Ontario Vulnerability and Adaptation Assessment Guideline. *Climate Change and Health Toolkit*.
- Ministère des Richesses naturelles et des Forêts. « Least Bittern: Ontario Recovery Strategy Series. » 2016. PDF.
- Mortsch, Linda *et coll.* (2015) « Climate and Water Availability Indicators in Canada: Challenges and a Way Forward. Part II – Historic Trends. » *Canadian Water Resources Journal*, vol. 40, no 2, Taylor & Francis, p. 146–59, doi:10.1080/07011784.2015.1006024.
- Murphy, Colleen *et coll.* (2018). *Climate Change and Its Impacts : Risks and Inequalities*.
- Ngonghala, Calistus & Ryan, Sadie & Tesla, Blanka & Demokovsky, Leah & Brindley, Melinda & Mordecai, Erin & Murdock, Courtney & Bonds, Matthew. (2019). Effects of temperature on Zika dynamics and control. 10.1101/855072.
- Bureau du commissaire des incendies et de la gestion des situations d'urgence. (2019). Hazard Identification Report 2019. Gestion des situations d'urgence Ontario.
- O'Gorman, P. A. (2015). Precipitation Extremes Under Climate Change. *Current Climate Change Reports*, 1(2), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3>
- Pacific Climate Impacts Consortium (PCIC) (2017) *PCIC SCIENCE BRIEF : EVOLUTION OF SNOWMELT AND DROUGHT*. Vol. i, no octobre.
- Pagowski, Mariusz *et coll.* (2004) « Analysis and Modeling of an Extremely Dense Fog Event in Southern Ontario ». *Journal of Applied Meteorology*, vol. 43, no 1, p. 3–16, doi:10.1175/1520-0450(2004)043<0003:AAMOE>2.0.CO;2.
- Paixao, E., Monirul Qader Mirza, M., Shephard, M. W., Auld, H., Klaassen, J. et Smith, G. (2015). An integrated approach for identifying homogeneous regions of extreme rainfall events and estimating IDF curves in Southern Ontario, Canada: Incorporating radar observations. *Journal of Hydrology*, 528, 734–750. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.015>
- Paixao, Edson *et coll.* (2015) « An Integrated Approach for Identifying Homogeneous Regions of Extreme Rainfall Events and Estimating IDF Curves in Southern Ontario, Canada : Incorporating Radar Observations ». *Journal of Hydrology*, vol. 528, Elsevier B.V., p. 734–50, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.06.015.
- Palko, K. et D.S. Lemmen (éd.)(2016). Risques climatiques et pratiques en matière d'adaptation pour le secteur canadien des transports 2016 (pp. 139-179). Ottawa (Ontario) : Gouvernement du Canada
- Panthou, G., A. Mailhot, E. Laurence et G. Talbot (2014). Relationship between surface temperature and extreme rainfalls: A multi-timescale and event-based analysis, J. Hydrometeorol., doi:10.1175/JHM-D-14-0020.1. Teng *et coll.*, 2015 dans Velasquez 2019
- Pelmorex Weather Networks Inc. « UPDATE : Officials Increase Friday's Tornado Count to SIX. » The Weather Network, <https://www.theweathernetwork.com/news/articles/gatineau-ottawa-dunrobin-tornado-storm/112859>.
- Pfahl, S., O'Gorman, P. A. et Fischer, E. M. (2017). Understanding the regional pattern of projected future changes in extreme precipitation. *Nature Climate Change*, 7 (6), 423-427. <https://doi.org/10.1038/nclimate3287>
- Pielkejr, B. Y. R. A., *et coll.* (2005). *Hurricanes and Global Warming*, n° NOVEMBRE, pp. 1571-1576, doi:10.1175/BAMS-86-II-1571.

- Poole, Jill A. *et coll.* (2019). « Impact of Weather and Climate Change with Indoor and Outdoor Air Quality in Asthma : A Work Group Report of the AAAAI Environmental Exposure and Respiratory Health Committee ». *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 143, no. 5, Elsevier Inc., pp. 1702–10, doi:10.1016/j.jaci.2019.02.018.
- Prein, A. F., Rasmussen, R. M., Ikeda, K., Liu, C., Clark, M. P. et Holland, G. J. (2017). The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change*, 7 (1), 48–52. <https://doi.org/10.1038/nclimate3168>
- La province de l'Ontario et le Centre ontarien de ressources sur les impacts climatiques et l'adaptation (2011). *A Practitioner's Guide to Climate Change Adaptation in Ontario's Ecosystems V1*.
- Pryor, S. C. et R. J. Barthelmie. « Hybrid Downscaling of Wind Climates over the Eastern USA ». *Environmental Research Letters*, vol. 9, no 2, (2014), doi:10.1088/1748-9326/9/2/024013.
- Pryor, S. C. *et coll.* (2012) « Influence of Spatial Resolution on Regional Climate Model Derived Wind Climates ». *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 117, no 3, p. 1–11, doi:10.1029/2011JD016822.
- Services publics et Approvisionnement Canada (2019). Identification of Climate-Related Hazards for Real Property Assets in the National Capital Area.
- Agence de la santé publique du Canada. Gouvernement du Canada Changement climatique et maladies infectieuses 2019 - Canada.ca, Gouvernement du Canada, 25 octobre 2019, <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/rapports-publications/releve-maladies-transmissibles-canada-rmtc/numero-mensuel/2019-45/numero-4-4-avril-2019/article-1-changement-climatique-maladies-infectieuses.html>
- Rasmussen, D. J. *et coll.* (2011). « Opportunities and Challenges in Assessing Climate Change Impacts on Wind Energy - A Critical Comparison of Wind Speed Projections in California ». *Environmental Research Letters*, vol. 6, no 2, doi:10.1088/1748-9326/6/2/024008.
- Rauber, *et coll.* « Ice Storms •Caused by an Accumulation of Freezing Rain - Ppt Video Online Download. » SlidePlayer, <https://slideplayer.com/slide/5977830/>.
- Sax, Christoph et Peter Steiner. *Temporal Disaggregation of Time Series*. <https://journal.r-project.org/archive/2013-2/sax-steiner.pdf>. Consulté le 25 avril 2019.
- Schardong, A. et P. Simonovic, S. (2019). Application of Regional Climate Models for Updating Intensity-duration-frequency Curves under Climate Change. *International Journal of Environment and Climate Change*, 9(5), 311-330. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2019/v9i530117>
- Schardong, A., Gaur, A. et Simonovic, S. P. (2018). Comparison of the theoretical Clausius-Capeyron Scaling and IDF_CC tool for updating intensity-duration-frequency curves under changing climatic conditions in Canada. *Journal of Hydrologic Engineering*, 23(9), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001686](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001686)
- Šeparović L, Alexandru A, Laprise R, Martynov A, Sushama L, Winger K, Tete K, Valin M (2013) Present climate and climate change over North America as simulated by the fifth-generation Canadian Regional Climate Model (CRCM5). *Clim Dyn* 41 (11-12):3167-3201. doi:10.1007/s00382-013-1737-5
- Shaw, T. A. *et coll.* (2016). « Storm Track Processes and the Opposing Influences of Climate Change ». *Nature Geoscience*, vol. 9, no 9, pp. 656–64, doi:10.1038/ngeo2783.

- Sillmann, Jana *et coll.* (2017). « Understanding, Modeling and Predicting Weather and Climate Extremes : Challenges and Opportunities ». *Weather and Climate Extremes*, vol. 18, no août, Elsevier Ltd, p. 65–74, doi:10.1016/j.wace.2017.10.003.
- Simonovic, S. P., Schardong, A. et Sandink, D. (2017). Mapping Extreme Rainfall Statistics for Canada under Climate Change Using Updated Intensity-Duration-Frequency Curves. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(3), 04016078. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000725](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000725)
- Srivastav, R. K., Schardong, A. et Simonovic, S. P. (2014). Equidistance Quantile Matching Method for Updating IDF Curves under Climate Change. *Water Resources Management*, 28(9), 2539–2562. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0626-y>
- Stocks, Brian J. (2013). « Evaluating Past, Current and Future Forest Fire Load Trends in Canada ». *B.J. Stocks Wildfire Investigations Ltd., Sault Ste. Marie, ON. 50 P.*, [http://www.ccfm.org/pdf/2 Fire Load Trends.pdf](http://www.ccfm.org/pdf/2%20Fire%20Load%20Trends.pdf).
- Summit Entreprises International Inc. (2010). *Adapting to Climate Change: A Risk-based Guide for Local Governments V1 and V2*.
- Switzman, H., Razavi, T., Traore, S., Coulibaly, P., Burn, D. H., Henderson, J., ... Ness, R. (2017). Variability of future extreme rainfall statistics: Comparison of multiple IDF projections. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(10), 1–20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001561](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001561)
- Tam, Benita Y., *et coll.* (2019) « CMIP5 Drought Projections in Canada Based on the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index ». *Canadian Water Resources Journal*, vol. 44, no 1, Taylor & Francis, p. 90–107, doi:10.1080/07011784.2018.1537812.
- Teutschbein, C. et Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- Thober, Stephan. *Evaluation and Disaggregation of Climate Model Outputs for European Drought Prediction*. 1984, www.reklim.de.
- Tippett, Michael K. *et coll.* (2015). « Climate and Hazardous Convective Weather ». *Current Climate Change Reports*, vol. 1, no 2, p. 60–73, doi:10.1007/s40641-015-0006-6.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M. et Parsons, D. B. (2003). The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 84, pp. 1205–1217+1161. <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205>
- Trenberth, Kevin E. *et coll.* (2018). « Hurricane Harvey Links to Ocean Heat Content and Climate Change Adaptation ». *Earth Man's Future*, vol. 6, no 5, pp. 730–44, doi:10.1029/2018EF000825.
- Trenberth, Kevin E. *et coll.* (2007) « Water and Energy Budgets of Hurricanes : Case Studies of Ivan and Katrina ». *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 112, no 23, p. 1–11, doi:10.1029/2006JD008303.
- Van Uytven, E. et Willems, P. (2018). Greenhouse gas scenario sensitivity and uncertainties in precipitation projections for central Belgium. *Journal of Hydrology*, 558, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.018>
- Wang, J. et Kotamarthi, V. R. (2015). High-resolution dynamically downscaled projections of precipitation in the mid and late 21st century over North America. *Earth Man's Future*, 3(7), 268–288. <https://doi.org/10.1002/2015EF000304>

- Wang, X. et Huang, G. (2014). Technical Report: Developing Future Projected IDF Curves and a Public Climate Change Data Portal for the Province of Ontario. *Ieesc*, 81. Extrait de http://www.ontarioccdp.ca/final_tech_report.pdf
- Wang, X., Huang, G. et Liu, J. (2014). Projected increases in intensity and frequency of rainfall extremes through a regional climate modeling approach. *AGU Publications*, 175(4449), 238. <https://doi.org/10.1038/175238c0>
- Wang, X., Huang, G., Liu, J., Li, Z. et Zhao, S. (2015). Ensemble projections of regional climatic changes over Ontario, Canada. *Journal of Climate*, 28(18), 7327-7346. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0185.1>
- Webster, P. J. *et coll.* (2005) « Atmospheric Science: Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment ». *Science*, vol. 309, no 5742, pp. 1844-46, doi :10.1126/science.1116448.
- Wells, G. (1996). « Hazard Identification and Risk Assessment. » *Hazard Identification and Risk Assessment*.
- Werner, A. T. et Cannon, A. J. (2016). Hydrologic extremes - An intercomparison of multiple gridded statistical downscaling methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(4), 1483-1508. <https://doi.org/10.5194/hess-20-1483-2016>
- Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., ... Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52(3), 522-555. <https://doi.org/10.1002/2014RG000464>
- Wey, Karen M. (2006). *Temporal Disaggregation of Daily Precipitation Data in a Changing Climate*. Waterloo, <https://uwspace.uwaterloo.ca/bitstream/handle/10012/2859/kmwey2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Wilby, R. L. (2010). Evaluating climate model outputs for hydrological applications. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (7), 1090-1093. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.513212>
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., Murphy, C., O'Connor, P. et Hawkins, E. (2014). The Statistical DownScaling Model -Decision Centric (SDSM-DC): Conceptual basis and applications. *Climate Research*, 61(3), 251-268. <https://doi.org/10.3354/cr01254>
- Wild, Martin *et coll.* (2015) « Projections of Long-Term Changes in Solar Radiation Based on CMIP5 Climate Models and Their Influence on Energy Yields of Photovoltaic Systems ». *Solar Energy*, vol. 116, 2015, pp. 12-24, doi:10.1016/j.solener.2015.03.039.
- Wong, J. S., Razavi, S., Bonsal, B. R., Wheeler, H. S. et Asong, Z. E. (2017). Inter-comparison of daily precipitation products for large-scale hydro-climatic applications over Canada. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(4), 2163-2185. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2163-2017>
- Wotton, B. M. *et coll.* (2010) « Forest Fire Occurrence and Climate Change in Canada ». *International Journal of Wildland Fire*, vol. 19, no 3, p. 253-71, doi:10.1071/WF09002.
- Wu, Jian *et coll.* (2018) « Changes in Terrestrial Near-Surface Wind Speed and Their Possible Causes : An Overview. » *Climate Dynamics*, vol. 51, no. 5-6, Springer Berlin Heidelberg, doi:10.1007/s00382-017-3997-y.
- Yair, Yoav. (2018) « Lightning Hazards to Human Societies in a Changing Climate ». *Environmental Research Letters*, vol. 13, no 12, IOP Publishing, doi:10.1088/1748-9326/aaea86.

- Yang, W. *et coll.* (2015) « Forest Fire Risk Assessment in Sweden Using Climate Model Data : Bias Correction and Future Changes ». *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, vol. 3, no 1, p. 837–90, doi:10.5194/nhessd-3-837-2015.
- Yao, Yao *et coll.* (2012) « Climate Change Impacts on Ontario Wind Power Resource ». *Environmental Systems Research*, vol. 1, no 1, p. 2, doi:10.1186/2193-2697-1-2.
- Zhang, X., *et coll.* (2019) « Les changements de température et de précipitations au Canada »; chapitre 4 dans Bush, E. et Lemmen, D.S. (dir.) *Rapport sur le climat changeant du Canada*. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), pp. 112-193.
- Zhang, X., Zwiers, F. W., Li, G., Wan, H. et Cannon, A. J. (2017). Complexity in estimating past and future extreme short-duration rainfall. *Nature Geoscience*, 10(4), 255-259.
<https://doi.org/10.1038/ngeo2911>
- Zhang, Xuebin *et coll.* (2011) « Indices for Monitoring Changes in Extremes Based on Daily Temperature and Precipitation Data ». *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, vol. 2, no 6, pp. 851–70, doi:10.1002/wcc.147.
- Zwiers, F.W. (2017). « Challenges in understanding and projecting precipitation extremes, 121-134, climate change & codes implementation ». In *Proc., Int. Workshop*, 121–134. Ottawa : Conseil national de recherches Canada.
- « Climate Change and Extreme Snow in the U.S. », National Climatic Data Center, <https://www.ncdc.noaa.gov/news/climate-change-and-extreme-snow-us>.
- « More Evacuation Alerts as Wildfires Tear through Ontario, B.C. » APTN News, 24 juillet 2018, <https://aptnnews.ca/2018/07/24/more-evacuation-alerts-as-wildfires-tear-through-ontario-b-c/>.
- « Ottawa's Record Snow Day: Three Ways of Picturing White Tuesday's Aftermath. » *The Globe and Mail*, 12 novembre 2017, <https://www.theglobeandmail.com/news/national/ottawas-record-snow-day-three-ways-of-picturing-white-tuesdaytermath/article28779734/>.
- « Ottawa's Wild Weather 'the Tip of the Iceberg,' Some Experts Say | CBC News. » CBC News, CBC/Radio-Canada, 4 juin 2019, <https://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/tornado-climatologist-june-3-1.5159862>.
- « Preparing for the next Tornado. » *Ottawa Business Journal*, <https://obj.ca/article/uottawa-engineering-preparing-next-tornado>.
- « These Are All the Hurricanes That Hit Canada since 1900 | CBC News. » CBCnews, CBC/Radio-Canada, 22 septembre 2017, <https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/hurricane-history-canada-1.4284076>.
- « These Are All the Hurricanes That Hit Canada since 1900 | CBC News. » CBCnews, CBC/Radio-Canada, 22 septembre 2017, <https://www.cbc.ca/news/canada/montreal/hurricane-history-canada-1.4284076>.
- « Tornado Basics. » National Severe Storms Laboratory de la NOAA, <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/tornadoes/>.