

2026

Synthèse des connaissances



Évolution des  
températures de  
l'air au Québec

  
**Ouranos**

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciements .....	3
Résumé exécutif .....	4
<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Le climat jusqu'à ce jour .....</b>	<b>11</b>
2.1. Les données .....	12
2.2. Les normales observées de Tmoy, Tmin et Tmax .....	13
2.3. La variabilité des températures aux diverses échelle temporelles .....	15
2.3.1. La variabilité à l'échelle quotidienne .....	16
2.3.2. La variabilité intrasaisonnière .....	17
2.3.3. La variabilité interannuelle .....	19
2.4. Les extrêmes .....	22
2.5. Les tendances observées .....	23
2.5.1. Dans les moyennes saisonnières .....	25
2.5.2. Dans la variabilité aux diverses échelles temporelles .....	27
2.5.2.1. Tendances de l'AQT .....	27
2.5.2.2. Tendances des écarts-types intrasaisonniers .....	28
2.5.3. Dans les extrêmes .....	28
<b>3. Les changements anticipés .....</b>	<b>30</b>
3.1. Dans les normales .....	31
3.2. Dans la variabilité aux diverses échelles temporelles .....	36
3.2.1. La variabilité à l'échelle quotidienne .....	36
3.2.2. La variabilité intrasaisonnière .....	37
3.2.3. La variabilité interannuelle .....	37
3.3. Changements dans les extrêmes .....	39
3.3.1. La température du jour le plus chaud (TXx) .....	39
3.3.2. Le pourcentage de jours très chauds (TX90p) .....	41
3.3.3. La température du jour le plus froid (TXn) .....	41
3.3.4. La température de la nuit la plus chaude (TNx) .....	42
3.3.5. La température de la nuit la plus froide (TNn) .....	43
3.3.6. Les périodes de retour des températures extrêmes .....	45
<b>4. Conclusions et perspectives .....</b>	<b>49</b>
5. Références .....	54
Annexe A. Figures supplémentaires pour le climat observé .....	62
Annexe B. Figures et tableaux supplémentaires sur les changements anticipés .....	67
Annexe C. Fiches descriptives des données climatiques et des méthodologies utilisées pour la production des figures .....	74

# Remerciements

Nous remercions Portraits climatiques, la plateforme d'Ouranos, pour les informations climatiques utilisées dans ce document.

Nous remercions Environnement et Changement climatique Canada pour les données DCCAHA 3<sup>e</sup> génération.

Nous remercions les Archives canadiennes de prévisions de surface (CaSPAR) d'Environnement et Changement climatique Canada pour les données des réanalyses RCaS v3.1 et RCaS v2.1.

Nous remercions le Programme mondial de recherche sur le climat qui, par l'intermédiaire de son groupe de travail sur la modélisation couplée, a coordonné et promu CMIP6. Nous remercions les groupes de modélisation climatique pour avoir produit et mis à disposition leurs sorties de modèle, l'Earth System Grid Federation (ESGF) d'avoir archivé les données et fourni l'accès, et les multiples agences de financement qui soutiennent CMIP6 et ESGF.

Les données ESPO-G6-R2 sont produites à partir des données RCaS v2.1 (anciennement RDRS v2.1) et CMIP6 par le Consortium Ouranos sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques et publiées sur son portail Portraits climatiques.

Les données ERA5-Land (Muñoz Sabater, J., 2019) ont été téléchargées auprès du Copernicus Climate Change Service (2024). Cette synthèse présente des informations provenant des données modifiées du Copernicus Climate Change Service. Ni la Commission européenne ni l'ECMWF ne sont responsables de toute utilisation pouvant être faite des informations ou données de Copernicus qu'elle contient.

---

---

## Crédits:

**Auteurs:** Hélène Côté, Angelica Alberti-Dufort

**Réviser.e.s:** Myriam Beauchamp, Sonia Hachem, Martin Leduc, Pierre Pellerin, Asli Beşe, Diane Chaumont

**Traitement de données:** Marco Braun, Travis Logan, Hélène Côté

**Figures:** Hélène Côté

**Édition et graphisme:** Juliette Penez

# Résumé exécutif

Cette synthèse propose un portrait exhaustif de l'évolution récente et future des températures au Québec.

En effet, grâce à la fiabilité accrue des données observées et des données de réanalyses, les caractéristiques climatiques historiques des températures sont désormais cartographiées sur l'ensemble du territoire québécois. L'actualisation des normales et des extrêmes sur la période 1991-2020 est également incluse dans ce portrait, tout comme les informations sur la variabilité des températures aux échelles quotidienne, intrasaisonnière et interannuelle.

Les projections de températures issues de la plateforme [Portraits climatiques](#) ont permis de cartographier le réchauffement appréhendé des températures saisonnières et annuelles par rapport aux conditions actuelles. Les hausses significatives et robustes des températures, découlant de l'analyse rigoureuse des projections issues des plus récents modèles climatiques, confirment les conclusions des synthèses précédentes ainsi que celles publiées dans les rapports du GIEC.

## Climat historique et actuel

Les données climatologiques montrent que le Québec s'est nettement réchauffé depuis 1961, en particulier en hiver et dans le nord de la province. En effet, l'amplitude du réchauffement des différentes régions du Québec suit un gradient climatique nord-sud, particulièrement prononcé en hiver, auquel s'ajoutent des influences associées aux masses d'air, au relief, à la végétation et aux effets côtiers.

### À propos de la tendance dans les moyennes saisonnières observées

Voir section 2.5.1



**Hiver**  
0,2 à 0,9  
(°C/décennie)



**Printemps**  
0 à 0,4  
(°C/décennie)



**Été**  
0,2 à 0,6  
(°C/décennie)



**Automne**  
0,1 à 0,5  
(°C/décennie)

Hausse significative des moyennes saisonnières presque partout au Québec, en hiver, en été et en automne sur la période 1961-2020. Au printemps, cette tendance n'est pas significative.

L'hiver est la saison dont les hausses observées de températures sont les plus marquées.

Les températures minimales augmentent un peu plus vite que les températures maximales dans plusieurs régions du Québec.

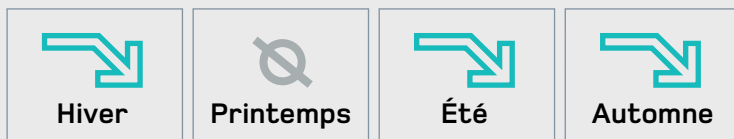
**Note :** pour l'ensemble de la synthèse, les flèches pleines représentent des changements significatifs tandis que les flèches vides des changements non significatifs.

Les températures minimales ont augmenté un peu plus rapidement que les températures maximales. Par conséquent, la réduction de l'amplitude quotidienne des températures et de la sévérité des extrêmes froids est déjà amorcée et se poursuivra d'ici la fin du siècle. La variabilité des températures est importante au Québec. Son évolution est d'ailleurs déjà amorcée pour certaines échelles temporelles. Par exemple, l'amplitude quotidienne des températures affiche une baisse non significative en hiver, en été et en automne, alors que la variabilité intrasaisonnière diminue dans le nord en hiver, au printemps et en automne. Ce changement robuste de la variabilité intrasaisonnière dans le nord est attribué à l'influence humaine – qui ne se limite pas aux seules émissions de GES (p. ex. la pollution de l'air, le changement d'occupation des terres). En revanche, les données disponibles ne permettent pas encore de déterminer une tendance claire pour la variabilité intraestivale ni pour l'évolution de la variabilité interannuelle des quatre saisons au cours de la période 1961-2020.

## À propos de la tendance dans les composantes de la variabilité observée

Voir section 2.5.2

### À l'échelle quotidienne

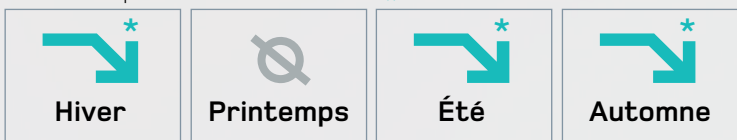


Une baisse non significative de l'amplitude quotidienne de la température en hiver, en été et en automne est observée dans la plupart des régions (section 2.5.2.1).

### À l'échelle intrasaisonnière

Nord du 50<sup>e</sup> parallèle :

\* = attribuable à l'influence humaine



Ailleurs :



La variabilité intrasaisonnière en hiver, au printemps et en automne baisse dans le nord du Québec. Elle est significative et attribuable à l'influence humaine (2.5.2.2).

La variabilité intrahivernale diminue dans le sud du Québec (2.5.2.2)

Il n'est pas encore possible de se prononcer sur la tendance de la variabilité intraestivale observée des températures au Québec (section 2.5.2.2).

### À l'échelle interannuelle

Les données disponibles et les connaissances actuelles ne permettent pas encore de se prononcer sur l'évolution de la variabilité interannuelle au Québec sur la période 1961-2020.

Les températures extrêmes ont évolué de façon cohérente avec les tendances des moyennes des températures minimales et maximales. Le jour le plus chaud de l'année (TXx) a augmenté significativement dans plusieurs secteurs nordiques et une hausse est visible ailleurs dans la province. La température de la nuit la plus froide (TNn) s'est réchauffée partout au Québec, avec une signification statistique dans plusieurs régions.

## À propos de la tendance dans les extrêmes observés

Voir section 2.5.3



La hausse de la température du jour le plus chaud de l'année (TXx) est statistiquement significative dans plusieurs secteurs du nord du Québec. L'augmentation est visible dans le reste de la province à l'exception de quelques régions dans le sud.



La température de la nuit la plus froide (TNn) augmente partout au Québec entre 1961 et 2020. Cette tendance est significative dans quelques régions.

## Climat futur

Les projections climatiques montrent que ces tendances se poursuivront pour le milieu et la fin du siècle. Un réchauffement généralisé, mais amplifié en hiver et au printemps pour les régions nordiques, est envisagé selon les scénarios d'émissions modérées et élevées.

## À propos des changements attendus dans les températures normales

Voir section 3.1

\* = attribuable aux GES

Hiver	Printemps	Été	Automne
2041-2070 / SSP2-4.5: 2 à 6°C	1 à 3°C	1 à 3°C	1 à 3°C
2071-2100 / SSP3-7.0: 5 à 11°C	3 à 6°C	3 à 5°C	3 à 5°C

Des hausses projetées dans les normales saisonnières et annuelles des températures partout au Québec pour le milieu et la fin du siècle selon les scénarios d'émissions de GES modérées et élevées (signal de changement robuste) par rapport à la période 1990-2020.

Les hausses des températures normales sont plus marquées en hiver et au printemps dans le nord du Québec.

Au nord du 50° parallèle:  
2071-2100 vs 1991-2020

Hiver	Printemps
SSP2-4.5: 3 à 8°C	2 à 4°C
SSP3-7.0: 5 à 11°C	3 à 6°C

Au sud du 50° parallèle:  
2071-2100 vs 1991-2020

Hiver	Printemps
SSP2-4.5: 3 à 5°C	2 à 3°C
SSP3-7.0: 5 à 7°C	3 à 5°C

Les hausses des températures minimales quotidiennes sont plus marquées que les hausses des températures maximales quotidiennes.

Hiver Tmin	Hiver Tmax
2041-2070 vs 1991-2020 / SSP2-4.5: 2 à 7°C	1 à 5°C
2071-2100 vs 1991-2020 / SSP3-7.0: 6 à 13°C	3 à 10°C

La variabilité intrahivernale et interannuelle hivernale diminuera davantage, notamment dans le nord, alors que les projections pour l'été demeurent plus incertaines. La moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température pourrait également diminuer à long terme, bien que cette tendance soit associée à une incertitude élevée.

Toutefois, il est possible de conclure avec confiance que dans l'ensemble du Québec, les hivers québécois deviendront de plus en plus chauds avec des fluctuations dans une plage de températures de plus en plus restreinte.

## À propos des changements attendus dans les composantes de la variabilité

Voir section 3.2

### À l'échelle quotidienne



La moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température pourrait diminuer d'ici la fin du siècle. Cependant, l'incertitude sur cette diminution est élevée (section 3.2.1).

### À l'échelle intrasaisonnaire



**Hiver**

0,6 à 1°C



**Été**

La variabilité intrahivernale des températures quotidiennes moyennes devrait diminuer d'ici la fin du siècle. Cette baisse pourrait être sous-estimée (section 3.2.2).

### À l'échelle interannuelle



**Hiver**

10 à 47%



**Été**

La diminution projetée de la variabilité interannuelle des températures moyennes quotidiennes hivernales sera plus marquée dans le nord du Québec que dans le sud (section 3.2.3).

En été, un niveau d'incertitude élevé entoure les modestes augmentations projetées de la variabilité interannuelle de la température moyenne quotidienne (section 3.2.3).

Les températures hivernales seront plus chaudes et varieront à l'intérieur d'une plage de valeurs plus restreinte.

### Hiver



**Tendance  
1961-2020**  
0,2 à 0,9  
(°C/décennie)



**Moyennes hivernales**  
2041-2070 / SSP2-4.5:  
2 à 6°C  
2071-2100 / SSP3-7.0:  
5 à 11°C



**Écart-type  
intra-hivernal**  
0,6 à 1°C



**Écart-type  
interannuel**  
10 à 47%

Les changements attendus dans les extrêmes suivront la même trajectoire. Les températures annuelles extrêmes augmenteront sur l'ensemble du territoire, avec un réchauffement particulièrement marqué au Nunavik et dans les régions côtières. D'ailleurs, les températures extrêmes froides qui correspondaient jusqu'à tout récemment (1984-2014) à une période de retour de 50 ans ne seraient plus atteintes dans le futur. Il sera donc de plus en plus difficile de battre des records de froid. À l'opposé, des températures chaudes considérées comme extrêmes deviendront courantes. Des records de températures élevées seront ainsi battus avec une facilité accrue.

Cette synthèse réaffirme donc l'urgence et la nécessité de poursuivre les efforts d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

## À propos des changements attendus dans les extrêmes

Voir section 3.3



**TXx**

2041-2070 vs 1991-2020 / SSP2-4.5:

1 à 3°C

2071-2100 vs 1991-2020 / SSP3-7.0:

3 à 5°C

La **température du jour le plus chaud de l'année (TXx)** augmentera d'ici le milieu et la fin du siècle pour les scénarios d'émissions de GES modérées et élevées (signal de changement robuste) (section 3.3.1).

La **température du jour le plus froid de l'année (TXn)** augmentera fortement sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste) (section 3.3.3). Cette hausse est plus élevée au Nunavik qu'ailleurs au Québec.

La **température de la nuit la plus chaude de l'année (TNx)** augmentera sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste) (section 3.3.4).



**TNn**

2041-2070 vs 1991-2020 / SSP2-4.5:

3 à 7°C

2071-2100 vs 1991-2020 / SSP3-7.0:

8 à 14°C

La **température de la nuit la plus froide de l'année (TNn)** augmentera vers le milieu et la fin du siècle selon les scénarios d'émissions de GES modérées et élevées (signal de changement robuste) (section 3.3.5).

Ce réchauffement de TNn sera plus marqué dans le nord du Québec et dans la plupart des zones côtières (section 3.3.5).



**TXx**

Si le NPR = 1,5°C:

1,5 à 3,5°C

Si le NPR = 4°C:

4 à 7,5°C



**TXn**

3,5 à 7,5°C

9,5°C et +



**TNx**

1,5 à 3,5°C

3,5 à 5,5°C



**TNn**

3,5 à 7,5°C

8 à 12°C

Une hausse de la température correspondant à chacun des extrêmes annuels de période de retour 20 ans (probabilité annuelle de 5%) est projetée sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste) (section 3.3.6).

(\*) NPR: Niveau de réchauffement planétaire

Une température de jour considérée comme un extrême chaud (TXx), qui se produisait une fois aux 20 ans (période de retour 20 ans) entre 1984 et 2014 deviendrait une valeur normale de Tmax entre 2071 et 2100 (section 3.3.6).

Une température de nuit considérée comme un extrême froid (TNn), qui se produisait une fois aux 50 ans entre 1984 et 2014, ne serait plus atteinte (probabilité de 1 fois sur 2500 ans) entre 2071 et 2100 (section 3.3.6).

# 1

# Introduction

La température de l'air est la variable la plus souvent utilisée dans le cadre des études sur les changements climatiques en raison de ses liens directs avec l'effet de serre et de la relative facilité pour la mesurer sur de longues périodes. C'est pourquoi la fiabilité de ses analyses d'évolution est plus élevée que pour d'autres variables.

La présence de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère terrestre permet de maintenir une température moyenne globale de l'air se situant autour de 15 °C, plutôt que -18°C, ce qui favorise le développement et le maintien de la vie sur Terre. Cependant, le phénomène de l'effet de serre est amplifié par l'excès de GES émis dans l'atmosphère par les activités humaines. Cela se traduit par une tendance au réchauffement planétaire.

Grâce à une accumulation de preuves de plus en plus nombreuses et crédibles, le plus récent rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) démontre que le réchauffement du climat et son origine anthropique sont sans équivoques. Les effets des changements climatiques sont plus intenses et rapides que prévu et des actions immédiates sont nécessaires pour limiter et surtout éviter les dommages irréversibles.

L'année 2024 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée, avec un réchauffement planétaire de  $1,45 \pm 0,12^\circ\text{C}$  au-dessus de la moyenne préindustrielle. Le seuil critique d'une augmentation de  $1,5^\circ\text{C}$  planétaire à ne pas dépasser à la fin du 21<sup>e</sup> siècle par rapport à la période de référence préindustrielle 1850-1900 (Masson-Delmotte, V. et al., 2018), établi par l'Accord de Paris en 2015, a été dépassé pour la première fois en 2024 (Copernicus, 2025). D'ailleurs, pour un changement de  $1,5^\circ\text{C}$  dans la moyenne mondiale, la température se réchaufferait d'un peu plus de  $2^\circ\text{C}$  dans le sud du Québec jusqu'à près de  $4^\circ\text{C}$  au nord du Nunavik (Lee et al., 2021). Comme toutes les régions du monde, le Québec subit et redoute les conséquences liées à la transformation du système climatique.



Le réchauffement planétaire de  $1,5^\circ\text{C}$  établi par l'Accord de Paris correspond à une hausse de  $1,5^\circ\text{C}$  de la moyenne sur 30 ans de la température moyenne à la surface du globe exprimée par rapport à la période de référence préindustrielle 1850-1900 (Masson-Delmotte, V. et al., 2018).

Ouranos ayant réalisé sa dernière synthèse des connaissances en 2015 (Ouranos, 2015), une mise à jour des informations disponibles et de l'état de la situation est requise. Depuis cette date, le GIEC a publié leur 6<sup>e</sup> rapport d'évaluation global en 2021 et plusieurs rapports spéciaux tel que celui sur le réchauffement planétaire à  $1,5^\circ\text{C}$  en 2018 (IPCC, 2021c; Masson-Delmotte, V. et al., 2018). En parallèle, le gouvernement du Canada publiait une

synthèse nationale (Bush et al., 2022; Bush et Lemmen, 2019). La présente synthèse se concentre sur la température de l'air près de la surface. Les informations qui y seront présentées reposent sur l'actualisation des analyses effectuées sur les données récentes utilisées et produites par Ouranos, ainsi que sur le recensement des connaissances pertinentes pour le Québec provenant de publications scientifiques révisées par les pairs.

## Température de l'air près de la surface :

La température de l'air est mesurée sous abris ventilés, à environ 2 mètres au-dessus du sol.

(Source : World Meteorological Organization, 1992)

Pour simplifier le texte, le terme *température* sera utilisé au long de cette synthèse.

# 1 Introduction

Les projections de températures pour le Québec sont robustes depuis longtemps et les principaux constats n'ont pas changé. Le Québec vit un réchauffement sur l'ensemble de son territoire et la tendance se poursuit. Les séries de données permettant de caractériser le climat observé sont maintenant plus longues et plus fiables. Depuis 2015, la nouvelle génération d'ensemble de données CMIP6, destinée au GIEC, est disponible. Ces données ont été produites par les modèles climatiques les plus récents et ont permis de bonifier la caractérisation des climats historiques et futurs.

En savoir plus sur  
le [programme CMIP](#)



En savoir plus sur les différents types  
d'ensembles de projections climatiques  
et leur usage sur

[ouranos.ca](http://ouranos.ca)



Parallèlement aux progrès en modélisation du climat, les développements scientifiques des dernières années ont non seulement permis d'améliorer la qualité des données observées, mais aussi d'aller un peu plus loin dans leur analyse. C'est pourquoi, depuis la dernière synthèse d'Ouranos, la caractérisation du climat observé sur l'ensemble du territoire québécois s'est enrichie, notamment pour les normales, les tendances et certaines composantes de la variabilité. De plus, l'amélioration de la qualité des données observées, tout comme le perfectionnement des méthodes de correction de biais et d'ajustement d'échelle ont été bénéfiques à la production d'ensembles de scénarios climatiques à partir des simulations des modèles de climat.

Cette nouvelle synthèse s'attarde aux normales, à la variabilité, aux tendances et aux extrêmes de température. La section 2 et l'annexe A se concentrent sur ce que les données observées révèlent du climat québécois des dernières décennies. La section 3 et l'annexe B, basées sur les plus récentes projections climatiques, décrivent les changements anticipés pour divers horizons d'ici 2100. Malgré le foisonnement d'informations sur les changements des températures, la section 4 offre un survol des lacunes qui subsistent dans les connaissances et comment les recherches scientifiques en cours cherchent à les combler. Finalement, par souci de transparence, l'annexe C rassemble des informations plus techniques sur les données et les méthodologies employées pour générer chaque figure de cette synthèse.



## 2 Le climat jusqu'à ce jour

Le Québec s'étend sur environ 2000 km du sud au nord entre le 45° et le 62° parallèles et sur environ 1500 km d'ouest en est. Cela se traduit par une succession de plusieurs zones climatiques associées à de grands écosystèmes qui se déploient sur cette immense superficie de 1 667 441 km<sup>2</sup>.

La partie nordique présente une végétation de toundra ainsi qu'un sol constitué d'un pergélisol plus ou moins continu, typique des climats polaires et subpolaires rigoureux. En poursuivant vers le sud, la forêt boréale dense domine, couvrant près de la moitié du territoire québécois et abritant une faune importante, dont une grande variété d'oiseaux. La forêt mixte couvre les basses terres du Saint-Laurent et compte une diversité encore plus grande d'espèces végétales et animales. Des climats plus tempérés correspondent à ces grands écosystèmes forestiers.

### Les saisons en sciences du climat :

Dans les travaux du GIEC ainsi que dans de la grande majorité des publications scientifiques sur le climat et les changements climatiques, les saisons de l'hémisphère Nord sont définies par les blocs de 3 mois suivants :

- Hiver : décembre, janvier, février (DJF)
- Printemps : mars, avril, mai (MAM)
- Été : juin, juillet, août (JJA)
- Automne : septembre, octobre, novembre (SON)

À noter que les changements de saisons se font le 1<sup>er</sup> jour du premier mois de chaque saison au lieu du 21<sup>e</sup> jour comme dans les définitions usuelles basées sur les solstices et les équinoxes.

Si l'influence continentale, responsable des forts contrastes entre les longs hivers rigoureux et les étés courts et chauds, domine le climat de la plupart des régions du Québec, l'influence des grandes étendues d'eau n'est pas à négliger. Le Québec possède une très grande façade maritime sur le golfe du Saint-Laurent à l'est, sur le détroit d'Hudson et la baie d'Ungava au nord ainsi que sur la baie d'Hudson et la baie James au nord-ouest, qui affecte régionalement et localement les conditions de température et d'humidité. C'est le cas des Grands Lacs et, dans une bien moindre mesure, des milliers de lacs et de rivières recensés au Québec.

Les montagnes ajoutent aussi à la diversité du climat de certaines régions. Bien que le relief soit peu accentué et ne dépasse guère 900m d'altitude au Québec, les régions situées dans le voisinage des Laurentides, des Appalaches, des monts Otish et des Torngats connaissent des écarts de températures.

En gardant en tête les principales caractéristiques du territoire québécois décrites précédemment, cette section analyse le climat observé des températures quotidiennes minimales (Tmin), moyennes (Tmoy) et maximales (Tmax). Sauf en de rares exceptions, les températures minimales quotidiennes surviennent vers la fin de la nuit, c'est-à-dire près du lever du soleil, alors que les températures maximales quotidiennes se produisent de jour, vers le milieu de l'après-midi. L'échelle saisonnière est privilégiée pour parler des normales, des composantes journalières, intrasaisonnières et interannuelles de la variabilité, ainsi que des extrêmes. La plupart de ces statistiques de Tmin, Tmoy et Tmax sont calculées sur la période climatique 1991-2020 définie par l'OMM qui était en vigueur au moment de la rédaction. Les tendances observées à plus long terme des moyennes saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax couvriront la période 1961-2020.

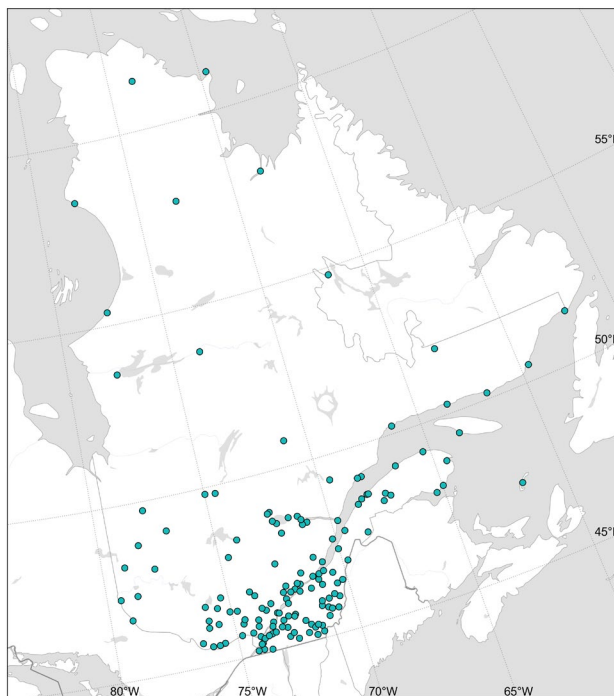
### 2.1. Les données

Au moment de la rédaction du présent document, les données de températures observées les plus à jour sont celles de la 3<sup>e</sup> génération des Données Climatiques Canadiennes Ajustées et Homogénéisées (DCCA-H 3<sup>e</sup> génération) (Vincent et al., 2020) aux stations d'Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC). La plupart de ces stations se trouvent dans les secteurs du sud de la province où la population est concentrée (figure 1). Ce faisant, de larges pans du territoire québécois sont dépourvus de données homogénéisées. Les données aux stations peuvent aussi être discontinues dans le temps pour différentes raisons comme des intempéries ou d'autres causes ayant entravé le fonctionnement des instruments de mesure, ou simplement dues à la fermeture d'une station.

Pour pallier cette situation et obtenir des données continues dans l'espace et dans le temps, on utilise une réanalyse. Cette façon de faire est de plus en plus utilisée dans la littérature scientifique ainsi que dans des rapports de synthèses à travers le monde. Une réanalyse est un hybride entre une simulation et une donnée observée, car elle est une sortie de modèle qui a assimilé les observations. Elle permet d'avoir une continuité spatiale et temporelle, ce qui élimine les tracas relatifs aux données manquantes lors des analyses. Parmi les plus récentes, la réanalyse RCaS v3.1 produite par ECCC (Gasset et al., 2021; Gasset, N. et al., 2025; Khedhaouiria, D. et al., s. d.) ainsi que la réanalyse ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2021) seront utilisées dans le présent document.

Le choix de recourir aux réanalyses en complément des données observées aux stations repose sur des comparaisons entre ces jeux de données effectuées à toutes les stations du Québec. Bien qu'il puisse y avoir des différences entre la valeur fournie par l'une ou l'autre des réanalyses et celle de la station, les statistiques climatiques 1991-2020 calculées avec les données RCaS v3.1, ainsi que les tendances 1961-2020 calculées avec ERA5-Land, se sont avérées raisonnablement fiables pour la grande majorité des stations pourtant situées dans des conditions climatiques très variées. Cela est visible sur les différentes figures de la section 2 et de l'annexe A sur lesquelles on constate une très bonne adéquation entre les valeurs aux stations et celles des réanalyses.

De plus, dans d'autres régions dotées de réseaux de stations plus denses, la corrélation spatiale est élevée entre les patrons des cartes produites à l'aide des réanalyses et celles produites à partir des observations aux stations. Par conséquent, il est possible, avec prudence, de recourir à ces deux réanalyses pour tenter de mieux cerner le climat aux endroits du Québec moins bien pourvus en stations d'observation.



**Figure 1.** Carte des stations d'ECCC incluses dans les Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées (DCCA-H 3<sup>e</sup> génération) durant la période 1991-2020. Le nombre de stations présentes sur les diverses cartes peut varier en fonction du respect des critères de données valides. Détails à la fiche C1 de l'annexe C.

En savoir plus sur  
les réanalyses sur  
[ouranos.ca](https://ouranos.ca)

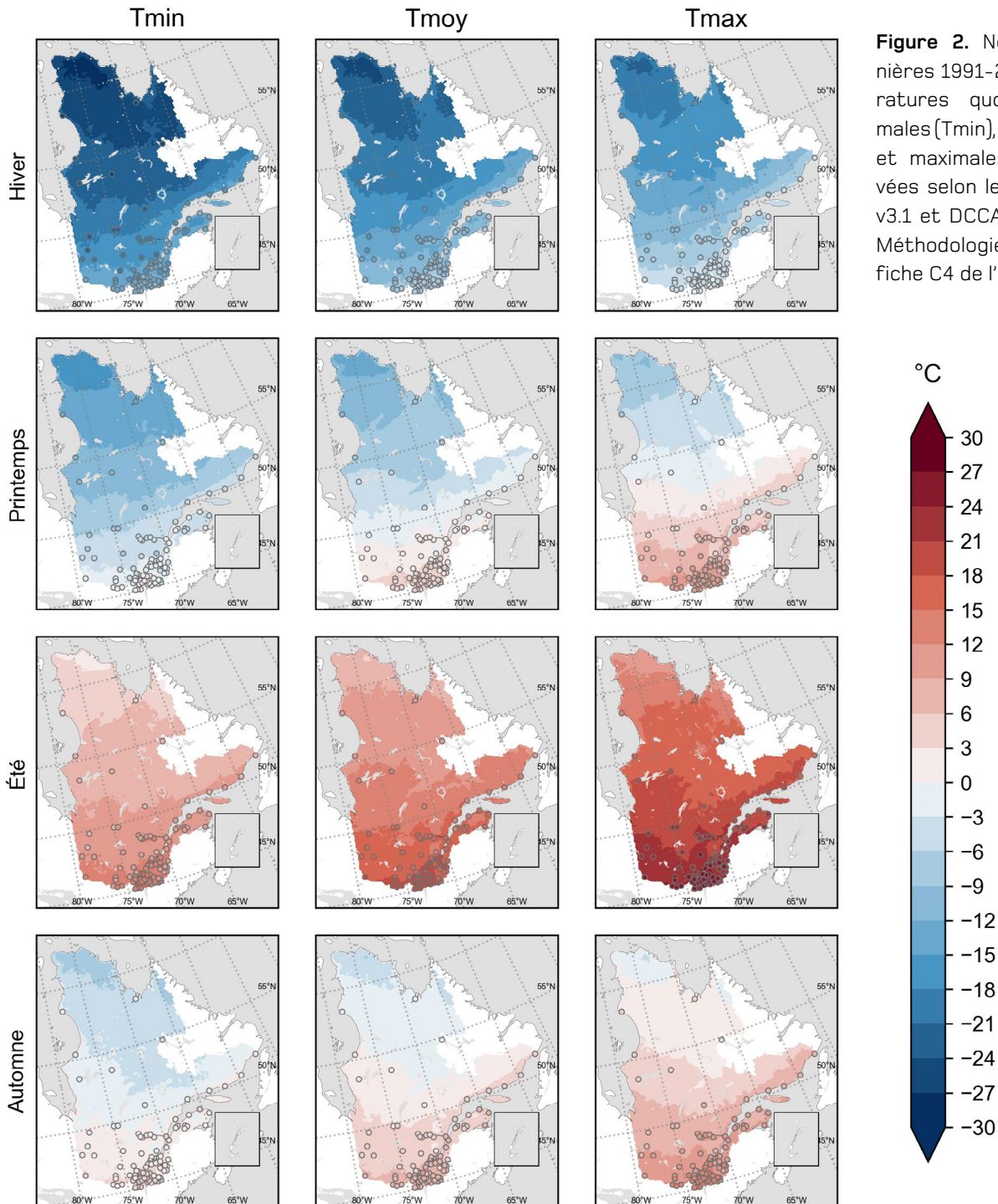


## 2.2. Les normales observées de Tmoy, Tmin et Tmax



Les normales des températures minimales quotidiennes (Tmin) sont plus chaudes sur les littoraux qu'à l'intérieur des terres. Cet effet est visible sur l'année et sur chaque saison et est plus marqué en hiver et en automne.

Cette section s'attarde aux normales saisonnières des températures quotidiennes moyennes (Tmoy), minimales (Tmin) et maximales (Tmax) sur la période 1991-2020. Les cartes des normales annuelles peuvent être consultées à l'annexe A (figure A1). À titre informatif, l'expression "moyennes climatiques" est un synonyme de normales.



**Figure 2.** Normales saisonnières 1991-2020 des températures quotidiennes minimales (Tmin), moyennes (Tmoy) et maximales (Tmax) observées selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C4 de l'annexe C.

## 2 Le climat jusqu'à ce jour

Les normales saisonnières couvrent une impressionnante plage de valeurs de température au fil des saisons à travers le Québec (figure 2). Dans la plupart des régions, on compte typiquement de 25 à 35 °C d'écart entre les normales hivernales et les normales estivales de  $T_{min}$ ,  $T_{moy}$  ou de  $T_{max}$ .

Il y a aussi un fort contraste lié à la latitude entre les températures plus froides du nord du Québec et celles plus chaudes des régions situées au sud. Ce gradient nord-sud est bien visible dans les normales saisonnières de toutes les saisons, aussi bien pour les moyennes, les minimums et les maximums quotidiens. Ce contraste dans les températures est d'environ 21 °C en hiver et au printemps et autour de 15 °C en été et en automne. Le gradient nord-sud estival est d'environ 18 °C pour  $T_{max}$  (figure 2).

À une échelle régionale, on constate que dans les régions côtières, les  $T_{min}$  sont plus chaudes qu'à l'intérieur des terres. Cela s'explique par les échanges de chaleur et d'humidité entre la mer et la terre qui font en sorte que les températures de l'air au-dessus de la terre sont modulées par la température de la mer. L'arrivée d'un couvert de glace vient limiter fortement ces échanges. Cet effet côtier est visible le long du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent, le long de la baie d'Hudson et parfois dans la baie d'Ungava. Il est plus évident en automne et en hiver et dans une moindre mesure au printemps. L'influence côtière peut aussi contribuer à rafraîchir les  $T_{max}$  du littoral comparativement à celles de l'intérieur des terres. C'est le cas en été sur les côtes de la baie et du détroit d'Hudson.

La topographie est un autre élément de la géographie locale qui fait varier la température. En effet, la température de l'air décroît au fur et à mesure que l'altitude augmente. Or, les cartes des normales de  $T_{max}$  et dans une moindre mesure, celles de  $T_{moy}$  portent la signature de la topographie. Les altitudes les plus basses de la vallée du Saint-Laurent et de la plaine du Lac-Saint-Jean sont visibles, là où les températures sont plus chaudes que leurs environs, surtout au printemps et en été. À l'inverse, les points culminants que sont les Appalaches, plusieurs massifs des Laurentides (Monts Groulx, Monts-Valin, Massif du lac Jacques-Cartier), les monts Otish et les Torn-gats se distinguent des secteurs avoisinants par leurs températures un peu plus froides.



### 2.3. La variabilité des températures aux diverses échelles temporelles

La variabilité des températures peut être séparée en composantes associées à diverses échelles temporelles : quotidienne, intrasaisonnière (intrasaisonnière, intramensuelle), interannuelle, décennale, voire beaucoup plus longue, telles que les échelles plurimillénaires. Ces composantes découlent de divers facteurs naturels externes et internes au système climatique qui ont des échelles temporelles différentes. En plus des causes naturelles, la variabilité peut être affectée par des causes anthropiques telles que l'ajout de GES et d'aérosols dans l'atmosphère ou des changements d'occupation des sols.

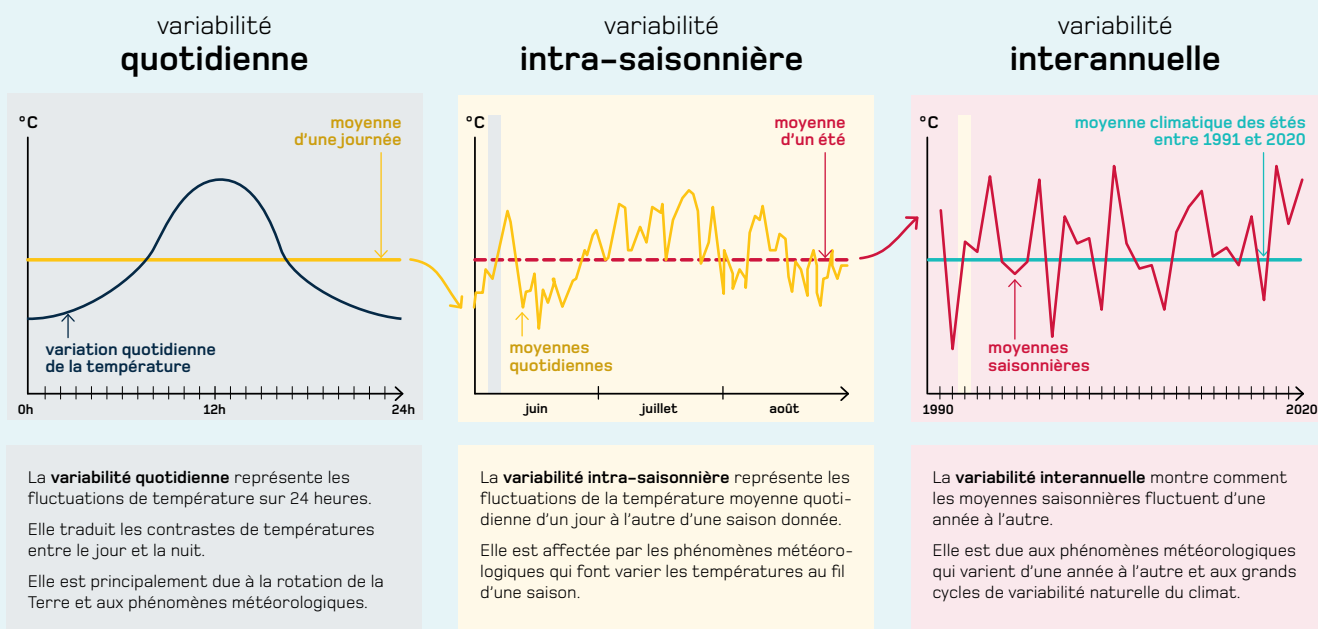
Les facteurs externes au système climatique comprennent les différents cycles de variation dans l'insolation reçue à la surface terrestre, soit aux échelles quotidiennes (jour-nuit), annuelles (saisons), mais aussi à des échelles plus longues comme les cycles solaires (11 ans), la précession des équinoxes (26 000 ans) ou les cycles de Milankovitch (400 000 ans). Une autre source naturelle externe au système climatique et qui

engendre de la variabilité est les éruptions volcaniques qui se produisent à des moments irréguliers.

Les facteurs internes relèvent plutôt du comportement chaotique du système climatique. Ils engendrent de la variabilité à toutes les échelles temporelles, notamment à l'échelle intrasaisonnière par le passage des systèmes météorologiques, mais aussi aux échelles interannuelles (El Niño, NAO) et même multidécennales.

Cette section présente le comportement de la variabilité quotidienne, intrasaisonnière et interannuelle des températures pour l'hiver, le printemps, l'été et l'automne (voir l'encadré «Trois échelles temporelles de la variabilité de la température»). Ainsi, la composante quotidienne est quantifiée à l'aide de l'amplitude quotidienne de la température, alors que les composantes intrasaisonnières et interannuelles sont présentées sous forme d'écart-type qui fournit la plage typique de valeurs autour d'une moyenne (détails à l'annexe C).

#### Trois échelles temporelles de la variabilité de la température



### 2.3.1. La variabilité à l'échelle quotidienne

L'amplitude quotidienne de la température (AQT) permet d'évaluer l'amplitude typique des fluctuations de température entre Tmax et Tmin sur 24 heures (voir l'encadré « Trois échelles temporelles de la variabilité de la température » p. 15). L'AQT constitue donc une bonne mesure du contraste des températures entre le jour et la nuit. C'est la façon la plus simple d'évaluer la variabilité à l'échelle quotidienne.

#### Amplitude quotidienne de la température

L'amplitude quotidienne de la température (AQT) est la différence entre la température maximale et la température minimale sur 24h. Elle est exprimée en degrés Celsius.

Source : (World Meteorological Organization, 1992).

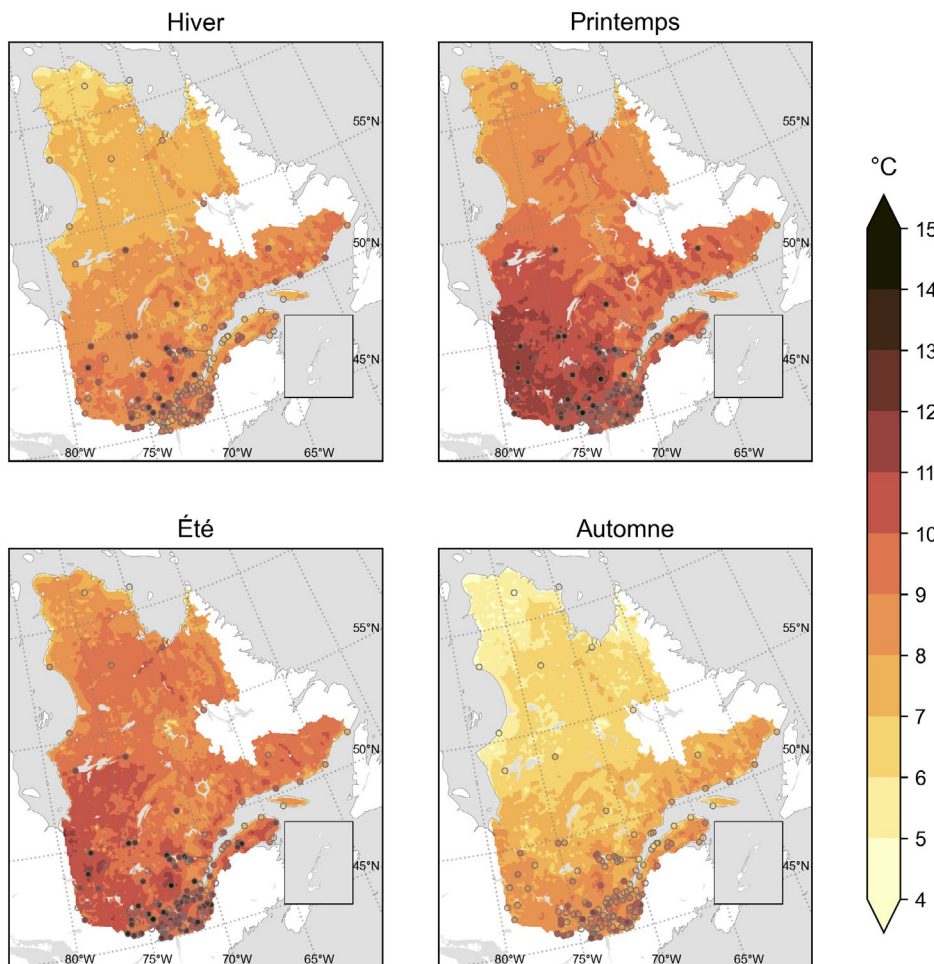
L'AQT est connue sous l'acronyme anglais DTR pour diurnal temperature range.

Lorsqu'on s'intéresse au comportement saisonnier de la variabilité quotidienne, on calcule l'AQT pour chaque jour pour en faire la moyenne sur tous les jours de la saison, et finalement calculer la moyenne climatique sur les 30 saisons de la période d'intérêt (détails à fiche C6 de l'Annexe C). La procédure serait la même pour connaître le comportement annuel ou mensuel de l'AQT.

Incontournable dans divers domaines, l'AQT l'est notamment pour tout ce qui touche au vivant. Diverses études recensées par (Huang et al., 2023; Liu et al., 2022; Wang et al., 2023) mentionnent le lien étroit entre l'AQT et la

propagation de certaines maladies respiratoires et cardiovasculaires comme l'influenza, la malaria, ainsi que la dengue. Elle est aussi importante pour la croissance des végétaux et le rendement des récoltes. Son influence s'étend aussi sur les échanges de carbone entre le sol et l'atmosphère dans les écosystèmes.

Amplitude quotidienne de la température 1991-2020



Au Québec, l'amplitude quotidienne de la température varie entre 4 et 12 °C selon l'endroit et la saison (figure 3). Il ne s'agit pas d'une amplitude extrême. À titre comparatif, l'AQT des calottes glaciaires de l'Arctique et de l'Antarctique est en deçà de 3°C alors qu'elle excède facilement 20°C dans les régions désertiques du Sahara, du Moyen-Orient et d'Australie (Wang et al., 2023).

**Figure 3.** Moyennes saisonnières 1991-2020 de l'amplitude quotidienne de la température (AQT) observées selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C6 de l'annexe C.

En **hiver**, l'AQT est limitée en raison de l'effet réfléchissant du couvert de neige bien installé sur l'ensemble du territoire, combiné aux heures d'ensoleillement considérablement réduites (particulièrement autour du solstice et dans les régions plus au nord). L'AQT est plus grande au sud et plus petite au nord du Québec. En effet, on remarque que les régions de la moitié sud du Québec, recevant plus de rayonnement solaire qu'au nord, ont une valeur d'AQT plus élevée, particulièrement dans les secteurs dotés d'un couvert forestier suffisamment dense pour masquer la neige au sol. Les conifères, surtout lorsque leurs branches sont exemptes de neige, sont efficaces pour absorber le rayonnement solaire (Betts et Ball, 1997; Isabelle et al., 2018).

Au **printemps**, l'AQT augmente en raison de différents facteurs. La disparition de la neige s'amorce en mars dans le sud du Québec et progresse vers le nord au fil de la saison. La disparition de la neige et l'augmentation de l'ensoleillement favorisent l'augmentation des températures diurnes (Tmax). Les températures nocturnes (Tmin) demeurent fraîches en raison du sol encore très humide ou gelé par endroits. Ainsi, dans la moitié sud du Québec, l'AQT culmine autour de 9 à 12°C. L'AQT est plus élevée au printemps dans le sud du Québec que pour les autres saisons. Dans la partie nord du Québec, elle s'étend de 6 à 10°C.

En **été**, les valeurs de l'AQT varient de 7 à 11°C au Québec. L'ensoleillement estival est élevé, alors que l'absorption du rayonnement solaire durant le jour culmine grâce aux plans d'eau et aux sols couverts d'une végétation pleinement développée. C'est pourquoi les AQT sont plus élevées en été que durant les autres saisons dans le nord de la province. On note que l'AQT estivale de plusieurs régions du sud du Québec est un peu plus faible qu'au printemps. En effet, l'évapotranspiration des feuillus, plus intense que celle des conifères, est maximale à ce temps de l'année et a un petit effet rafraîchissant sur les Tmax de ces régions. Finalement, les pertes de chaleur vers l'espace sont favorisées par le fait que la couverture nuageuse est moindre qu'à d'autres saisons (Mahmood et al., 2024). C'est ce qui permet aux Tmin de se distancier des Tmax.

En **automne**, les valeurs de l'amplitude quotidienne de la température sont les plus basses (entre 4 et 10°C du nord au sud) partout au Québec. Les valeurs de Tmax sont à peine plus élevées que celles de Tmin. En effet, si les journées ensoleillées sont encore nombreuses en septembre, les conditions nuageuses (Mahmood et al., 2024) et pluvieuses prennent de l'importance, réduisant ainsi Tmax tout en maintenant Tmin, ce qui limite grandement l'AQT. L'absence de neige dans le sud du Québec favorise l'absorption de l'énergie solaire, mais elle est toutefois limitée par la réduction de la durée de l'ensoleillement. De plus, plusieurs secteurs à proximité des plans d'eau sont exposés à des conditions brumeuses qui contribuent aussi à restreindre cette amplitude thermique.



Dans la plupart des régions du Québec, l'amplitude quotidienne de la température (AQT) est maximale au printemps et minimale en automne.

### 2.3.2. La variabilité intrasaisonnière

La variabilité intrasaisonnière permet de quantifier comment la température moyenne quotidienne fluctue d'un jour à l'autre à l'intérieur d'une saison donnée (voir l'encadré « Trois échelles temporelles de la variabilité de la température » p. 15). Il existe plusieurs approches pour y arriver. Dans le cas présent, la façon la plus simple de calculer l'écart-type intrasaisonnier sur la période 1991-2020 a été retenue pour la figure 4 (détails à la fiche C7 de l'annexe C). Cette section se concentre sur les écarts-types intrasaisonniers des Tmoy alors que ceux des Tmin et des Tmax sont présentés en annexe (figure A2). Au Québec, cette composante de la variabilité dépend entre autres de l'alternance entre les dépressions et les anticyclones qui traversent le territoire.



En anglais, la variabilité intrasaisonnière ou intramensuelle est souvent appelée « day-to-day variability » ou encore « daily variability ».

Le Québec, le reste du Canada, le Groenland et une grande partie de la Russie sont les régions du monde où les valeurs de la variabilité intrasaisonnière sont les plus élevées, et ce, pour toutes les saisons (Kotz et al., 2021; Wan et al., 2021).

## 2 Le climat jusqu'à ce jour

### Hiver

Les valeurs hivernales entre 7,5 et 10°C de l'écart-type intrasaisonnier sont un peu plus élevées dans le nord du Québec comparativement à celles entre 5 et 7,5°C que l'on retrouve dans les régions plus au sud.

### Printemps

Pour plusieurs régions du Québec, c'est au printemps que la variabilité intrasaisonniers est la plus élevée. Sur presque tout le territoire, les valeurs de l'écart-type intraprintanier se situent entre 7,5 et 10°C. Quelques secteurs de la Jamésie se démarquent avec des écarts-types entre 10 et 12,5°C tandis que l'on remarque des valeurs d'écart-type inférieures, entre 5 et 7,5°C, autour du golfe Saint-Laurent.

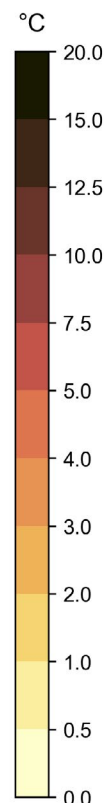
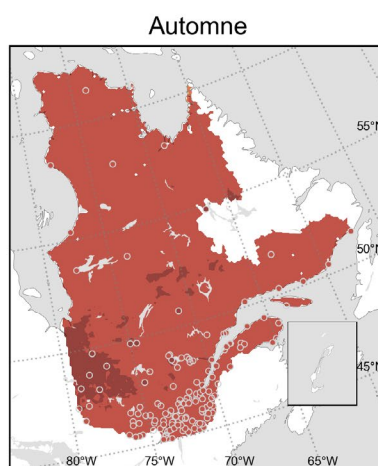
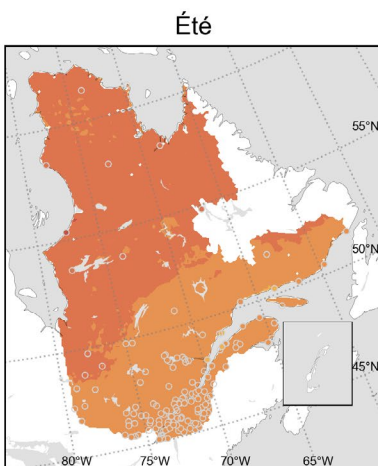
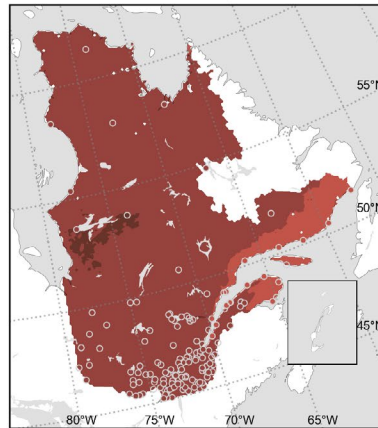
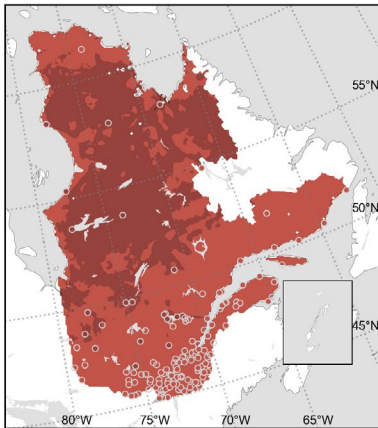
### Été

La variabilité intrasaisonniers de T<sub>moy</sub> est la plus basse en été partout au Québec. Les valeurs d'écart-type sont entre 4 et 5°C sur la moitié nord de la province et entre 3 et 4°C sur la moitié sud.

### Automne

Les valeurs de l'écart-type intra-automnal se situent entre 5 et 7,5°C dans la plupart des régions du Québec. Toutefois, les écarts-types s'élèvent entre 7,5 et 10°C dans le sud-ouest de la Jamésie ainsi que dans quelques secteurs localisés près du 52<sup>e</sup> parallèle.

Écarts-types intrasaisonniers T<sub>moy</sub> 1991-2020  
Hiver Printemps



**Figure 4.** Écarts-types intrasaisonniers 1991-2020 de la température moyenne quotidienne (T<sub>moy</sub>) observée selon les données RCaS v3.1 et DCCAH 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C7 de l'annexe C.

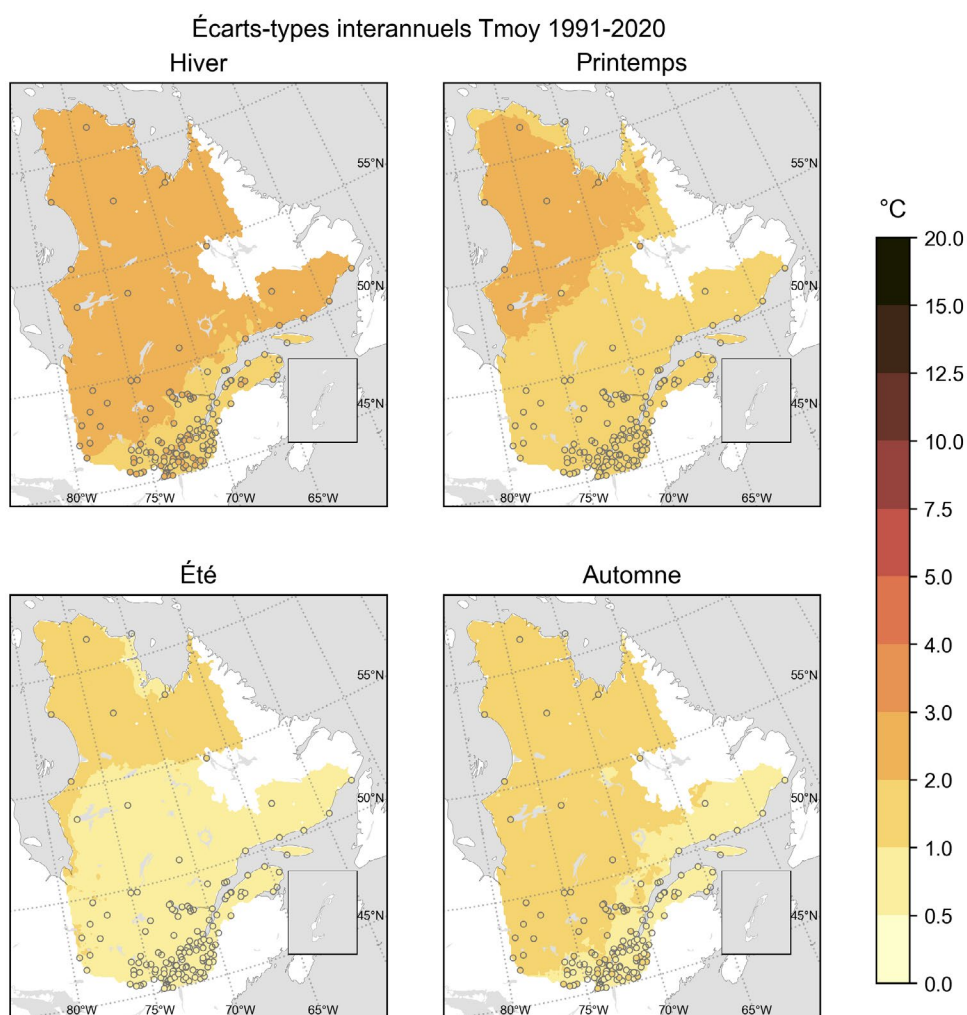


Le printemps est la saison dont la variabilité intrasaisonniers est la plus élevée dans la plupart des régions.

### 2.3.3. La variabilité interannuelle

La variabilité interannuelle permet de quantifier comment les moyennes saisonnières fluctuent d'une année à l'autre par rapport à leur normale (voir l'encadré « Trois échelles temporelles de la variabilité de la température » p.15). Ainsi, pour une saison donnée, la plupart des valeurs des moyennes pour chacune des 30 années de la période se trouvent majoritairement à l'intérieur d'une plage de valeurs définie par la normale  $\pm$  l'écart-type interannuel. Un faible écart-type indique donc que la moyenne saisonnière varie très peu d'une année à l'autre. Si, par exemple, la normale est de 10°C et l'écart-type de 2°C, cela signifie que la valeur d'une moyenne saisonnière pour une année donnée se situe le plus souvent entre 8 et 12°C.

Cette section se concentre sur l'écart-type des moyennes saisonnières de  $T_{moy}$  présentées à la figure 5. Les cartes pour  $T_{min}$  et  $T_{max}$  (figure A3) ainsi que les écarts-types interannuels des moyennes annuelles (figure A4) peuvent être consultés en annexe A.



**Figure 5.** Écarts-types interannuels 1991-2020 de chaque moyenne saisonnière de la température moyenne quotidienne observée ( $T_{moy}$ ) selon les données RCaS v3.1 et DCCAH 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C8 de l'annexe C.

→ La variabilité interannuelle est plus élevée dans le nord du Québec que dans le sud.

### Hiver

Les Tmoy hivernales sont celles qui fluctuent le plus sur le territoire du Québec pour la période considérée. Ainsi l'écart-type interannuel se situe entre 2 et 3°C sur la plus grande surface de la province, partant de l'extrême nord jusqu'au Témiscamingue au sud-ouest et incluant la Basse-Côte-Nord à l'est. Enfin, une zone dans laquelle les valeurs d'écart-type se situent entre 1 et 2°C s'étend du sud-ouest du Québec jusqu'aux environs de Sept-Îles par le nord du Saint-Laurent et jusqu'en Gaspésie par le sud. Ces valeurs ressemblent beaucoup à celles obtenues par (Shi et al., 2024).

La figure A3 montre que les valeurs d'écart-type interannuel qui sont supérieures à 2°C couvrent une plus grande superficie du territoire pour les Tmin suivis par les Tmoy et finalement pour les Tmax. Par conséquent, pour plusieurs régions du Québec, on constate que les fluctuations interannuelles sont moindres pour Tmax en hiver.

### Été

Dans une grande partie du Québec, la variabilité interannuelle est à son plus bas en été comparativement aux autres saisons. Au Nunavik et le long de la baie d'Hudson, les fluctuations de la moyenne estivale de Tmoy se situent entre 1 et 2°C, à l'exception de la côte ouest de la baie d'Ungava, où elles sont plus faibles, soit entre 0,5 et 1°C. Dans la partie sud de la province, les valeurs des écarts-types se situent également entre 0,5 et 1°C. Ces valeurs concordent avec celles de (Shi et al., 2024).

Plusieurs régions connaissent une variabilité interannuelle estivale plus élevée pour les Tmax par rapport aux Tmoy et aux Tmin. C'est le cas notamment dans le sud-ouest du Québec et autour de la baie d'Ungava (figure A3).

### Printemps

La variabilité interannuelle du printemps se situe entre 2 et 3°C dans la plupart des régions du Nunavik. Au sud du Nunavik, sur le reste du territoire du centre au sud de la province, la variabilité interannuelle du printemps est plus faible, fluctuant entre 1 et 2°C. Les moyennes printanières y sont donc très similaires d'une année à l'autre.

On constate que plusieurs secteurs principalement situés au Nunavik présentent une variabilité interannuelle réduite pour les Tmax printaniers comparative-ment aux Tmoy et aux Tmin (figure A3).

### Automne

Sur la majeure partie du territoire, la variabilité interannuelle se situe entre 1 et 2°C. À partir du sud-ouest de la province, les secteurs qui longent le nord du Saint-Laurent jusqu'à la Basse-Côte-Nord et ceux situés sur la rive sud jusqu'en Gaspésie ont des écarts-types interannuels compris entre 0,5 et 1°C.

À l'exception de quelques secteurs de la Basse-Côte-Nord et de la péninsule Gaspésienne, les écarts-types interannuels de Tmax sont un peu plus élevés que ceux de Tmoy et Tmin dans le sud de la province (figure A3).

### Annuel

Compte tenu des effets saisonniers décrits ci-haut, les variations interannuelles de la moyenne annuelle des températures (figure A4 annexe A) sont un peu plus élevées (entre 1 et 2°C) sur la moitié nord du Québec que sur la moitié sud (entre 0,5 et 1°C). Les résultats de (Shi et al., 2024) sont semblables.

Cette variabilité interannuelle, plus grande particulièrement en automne, en hiver et au printemps dans le Nord-du-Québec, découle en grande partie de l'influence que l'oscillation nord-atlantique (acronyme anglais NAO) exerce sur les températures dans le nord du Québec (Morin, 2022). Lorsque l'indice NAO a une valeur négative, les températures dans le nord du Québec sont plus chaudes que la normale. En effet, l'oscillation nord-atlantique est l'un des importants modes naturels qui régissent la variabilité du climat dans l'hémisphère Nord et a un impact important sur les températures dans le nord du Québec (voir l'encadré à la page suivante).

### L'oscillation Nord-Atlantique

L'oscillation nord-atlantique – ou NAO, pour North Atlantic Oscillation – est un phénomène climatique qui décrit la différence de pression atmosphérique entre deux régions clés de l'Atlantique Nord : une région autour de l'Islande, où la pression est généralement basse, et la région des Açores, où la pression est habituellement élevée.

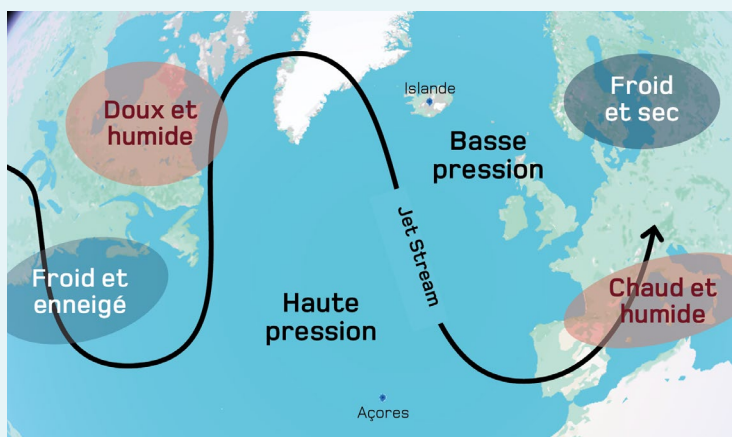
Ce gradient de pression joue un rôle important dans la variabilité interne du climat, car il influence la trajectoire des systèmes météorologiques et le transport de chaleur et d'humidité. Lorsqu'il varie, cela entraîne des changements dans les schémas de température et de précipitations s'étendant de l'est de l'Amérique du Nord à l'ouest et au centre de l'Europe.

La NAO oscille entre deux phases :

Une **phase positive** dans laquelle la différence de pression entre l'Islande et les Açores est très grande, ce qui renforce les vents d'ouest, amenant de l'air doux et humide vers l'Europe. En Amérique du Nord, notamment au Québec, cela se traduit par des hivers plus froids et plus secs.



Une **phase négative** où le contraste de pression entre l'Islande et les Açores devient moins grand. Durant cette phase, les vents d'ouest faiblissent ce qui permet à l'air arctique de plonger plus au sud, provoquant des conditions plus douces, humides et neigeuses dans l'est du Canada.



Les causes exactes des fluctuations de la NAO sont complexes, mais elles sont liées à des interactions entre l'océan Atlantique, la circulation atmosphérique et parfois des influences venues du Pacifique ou de l'Arctique.

Les phases peuvent durer de quelques mois à quelques années, faisant ainsi varier diverses variables climatiques comme l'intensité et la fréquence des tempêtes hivernales, des vagues de froid ou des redoux. Au Québec, la NAO est l'un des principaux facteurs qui influence la variabilité du climat et se superpose aux effets du réchauffement causé par les activités humaines, que ce soit en l'atténuant ou en l'amplifiant.

Sources : Hurrell et al., 2003 ; IPCC, 2021a ; Lindsay et Dahlman, 2009 ; Morin, 2022 ; NCEI, s. d.

### 2.4. Les extrêmes

De nombreux secteurs d'activités utilisent un éventail de définitions de températures extrêmes. Bon nombre de ces définitions consistent en des dépassements de seuil de température – chaude ou froide – qui sont d'intérêt pour certaines applications. Or, ces seuils de température, bien que pouvant être associés à des impacts négatifs, ne constituent pas nécessairement des valeurs extrêmes.

#### TXx et TNn

TXx : la température du jour le plus chaud de l'année. Elle correspond au maximum annuel de tous les Tmax.

Source : (ETCCDI : Klein Tank, Albert M. G. et al., 2009).

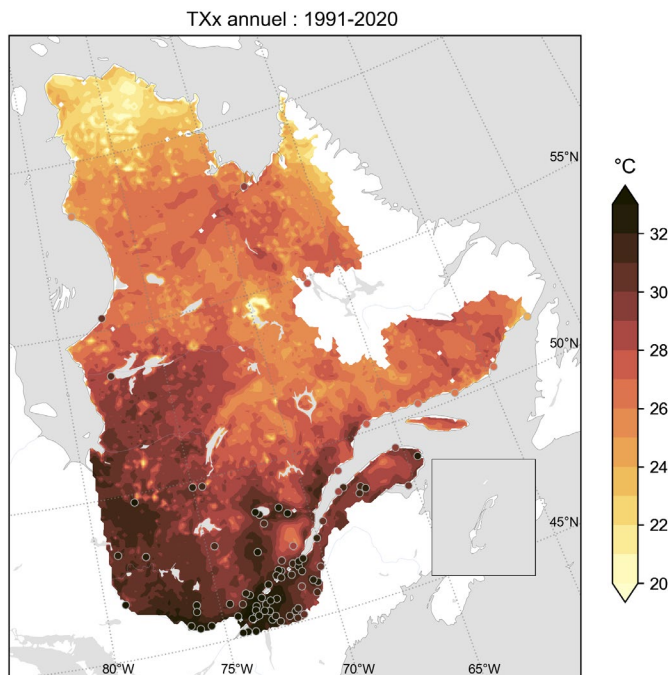
TNn : la température de la nuit la plus froide de l'année. Elle correspond au minimum annuel de tous les Tmin.

Source : (ETCCDI : Klein Tank, Albert M. G. et al., 2009).

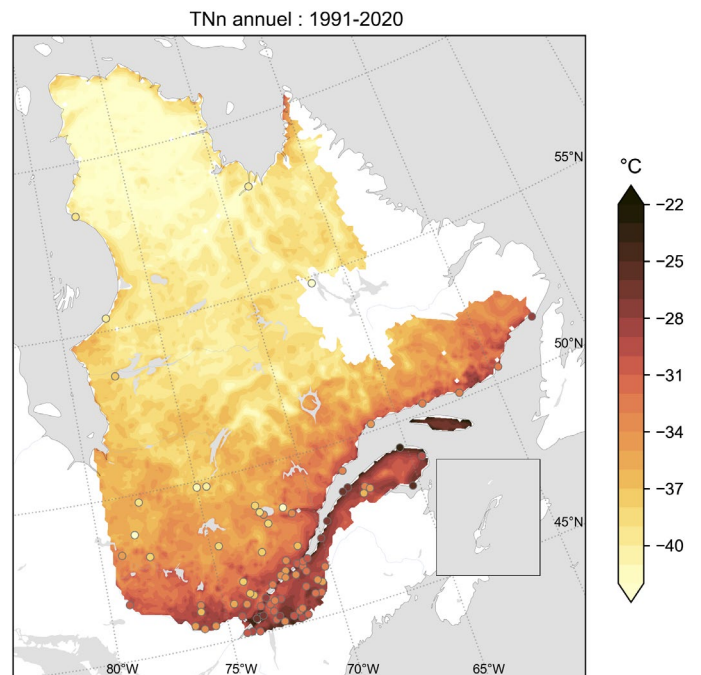
Les extrêmes, dont il sera question dans la présente section, sont définis par rapport aux distributions annuelles respectives de Tmax et de Tmin. Il sera ici question du Tmax le plus chaud (TXx) et du Tmin le plus froid (TNn), défini selon les standards internationaux utilisés par le GIEC et dans de nombreuses publications scientifiques.

Au Québec, le maximum annuel de Tmax survient généralement en été. C'est pourquoi le TXx est souvent utilisé comme un indicateur de chaleur extrême. On remarque que les valeurs TXx dépassent 30°C dans la plupart des secteurs situés dans le

sud-ouest de la province, incluant le sud de la baie James (figure 6). Les TXx sont particulièrement élevées, dépassant 32°C dans les basses terres de la vallée du Saint-Laurent et de l'Outaouais. Les valeurs de TXx au Nunavik sont entre 20 et 26°C selon les endroits.



**Figure 6.** Moyennes 1991-2020 de la température observée du jour le plus chaud de l'année (TXx) selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C10 de l'annexe C.



**Figure 7.** Moyennes 1991-2020 de la température observée de la nuit la plus froide de l'année (TNn) selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C11 de l'annexe C.

On remarque qu'au Québec le contraste nord-sud des valeurs de TNn est bien plus grand que celui des TXx. Les valeurs de TNn plus chaudes que -30°C se concentrent dans le sud-ouest de la province, dans les régions situées au sud du Saint-Laurent et dans les zones côtières de l'est du Québec. À l'opposé, une grande partie du Nunavik connaît des TNn plus froides que -40°C (figure 7). L'effet côtier est bien visible sur les zones littorales de la baie et du détroit d'Hudson ainsi que du golfe et de l'estuaire du Saint-Laurent, puisque les TNn y sont un peu plus chauds que ceux à l'intérieur des terres.

### 2.5. Les tendances observées

D'après les souvenirs de bien des adultes, les températures de saison ne sont plus celles de leur enfance. Cette impression est bel et bien fondée, car les normales pour la période de référence de 1991-2020 diffèrent de celles qui prévalaient, par exemple, durant la période 1951-1980, correspondant aux normales en vigueur durant l'enfance de plusieurs. Le climat du Québec a évolué au fil des années.

Au Québec, en raison des fluctuations naturelles du climat, il n'est pas rare de voir les températures se réchauffer durant quelques années consécutives, puis redescendre pour les quelques années suivantes. Cela fait en sorte que la valeur d'une tendance de température dépend de l'année de début, de l'année de fin et de la longueur de la période considérée.

Dans le cas d'observations à des stations, la quantité de données manquantes peut aussi affecter les valeurs de la tendance. Une valeur de tendance est accompagnée par un intervalle de confiance que l'on peut voir comme une marge d'erreur. Cet intervalle provient d'un test statistique qui permet de déterminer si la tendance est significativement différente de zéro (tendance nulle). Par conséquent, lorsque la valeur de la tendance et les deux bornes de l'intervalle de confiance sont positives, alors la tendance est à la hausse et statistiquement significative. Le raisonnement est identique pour les tendances et bornes négatives pour une tendance significativement à la baisse.



Il faut garder en tête qu'à moins d'avoir une tendance très forte, la détection d'une tendance significative requiert souvent une plus longue série de données dans les régions dotées d'une forte variabilité interannuelle que dans les régions en ayant une plus faible. Une tendance à long terme est plus fiable, car étant calculée sur un plus grand nombre d'années, sa valeur est moins affectée par des années anormales ou extrêmes.

Les trois sous-sections précédentes (2.2 à 2.4) ont décrit les caractéristiques actuelles du climat de températures, autrement dit, les normales, les composantes de la variabilité et les extrêmes. Or chacun de ces aspects de la distribution des  $T_{min}$ ,  $T_{moy}$  et  $T_{max}$  est appelé à évoluer. Cette section s'intéresse donc aux tendances observées à long terme sur la période 1961-2020 de ces caractéristiques en se concentrant sur les résultats saisonniers alors que certaines cartes de tendances annuelles sont présentées à l'annexe A.

### Détection et attribution

#### Comment fait-on pour savoir si les changements observés sont attribuables aux activités humaines ?

Le climat de la Terre est influencé par des facteurs d'origine naturelle ou anthropique, aussi appelés forçages.

Les forçages naturels incluent, par exemple, les variations de l'activité solaire, les éruptions volcaniques, les changements dans l'orbite terrestre et des phénomènes comme El Niño ou l'oscillation nord-atlantique (NAO) (Voir l'encadré « L'oscillation Nord-Atlantique » p.21). Ces éléments peuvent modifier le bilan énergétique de la Terre, influençant temporairement le climat.

Les forçages anthropiques sont dus à des activités humaines comme la combustion des énergies fossiles, les émissions industrielles et les changements d'utilisation des sols comme la déforestation, l'urbanisation ou l'agriculture intensive. Ces activités ont notamment pour effet d'augmenter la concentration de gaz à effet de serre et de modifier les types et les concentrations d'aérosols dans l'atmosphère transformant ainsi le climat terrestre.

Pour déterminer la cause des changements climatiques deux approches complémentaires sont utilisées: la détection et l'attribution. La détection sert à vérifier si un changement dépasse la variabilité naturelle du climat (les hauts et les bas qu'il connaît normalement d'une année à l'autre). L'attribution vise plutôt à identifier les causes de ce changement.

Ces analyses statistiques se basent sur des comparaisons entre observations et simulations climatiques spécialisées. On teste différents scénarios: certains n'incluent que les forçages naturels, d'autres les forçages anthropiques. Si un changement observé n'apparaît que dans les simulations qui incluent les activités humaines, on peut raisonnablement conclure que ces dernières en sont la cause.

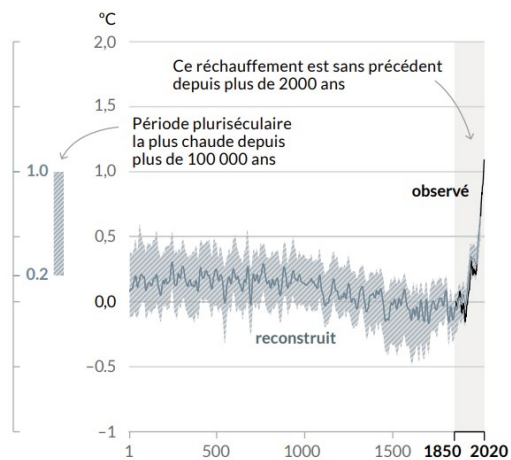
Grâce à ces méthodes, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a pu détecter une hausse de la température moyenne à la surface du globe depuis la fin du 20<sup>e</sup> siècle. Il a également établi que cette augmentation est principalement attribuable aux activités humaines.

Figure: Tiré de Figure RID.1 | Historique des changements de température à l'échelle planétaire et causes du réchauffement récent. (GIEC, 2021)

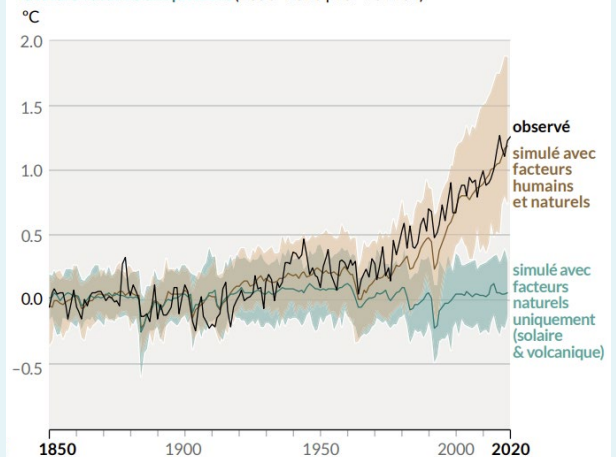
Sources: Arias et al., 2021 ; Chen et al., 2021 ; IPCC, 2021d

#### Changement de la température à la surface du globe par rapport à la période 1850-1900

a) Changement de la température à la surface du globe (moyenne décennale) reconstruit (1-2000) et observé (1850-2020)



b) Changement de la température à la surface du globe (moyenne annuelle) observé et simulé en considérant les facteurs humains et naturels et les facteurs naturels uniquement (1850-2020 pour les deux)



### 2.5.1. Dans les moyennes saisonnières



- Hausse significative des moyennes saisonnières presque partout au Québec, en hiver, en été et en automne sur la période 1961-2020.
- L'hiver est la saison dont les hausses observées de températures sont les plus marquées.
- Les températures minimales augmentent un peu plus vite que les températures maximales dans plusieurs régions du Québec.

Les tendances observées des moyennes saisonnières de T<sub>min</sub>, T<sub>moy</sub> et T<sub>max</sub> se trouvent à la figure 8. Les tendances des moyennes annuelles peuvent quant à elles être consultées à la figure A5 de l'annexe A.

#### Hiver

En hiver, sur la période 1961-2020, les tendances au réchauffement sont les plus élevées. Ces tendances sont significatives presque partout au Québec à l'exception de la Basse-Côte-Nord et de la partie est du Nunavik, et ce, malgré le fait que la variabilité interannuelle soit plus élevée en hiver qu'à d'autres moments de l'année dans la plupart des régions (voir figure 5 et figure A3). On trouve des tendances entre 0,3 et 0,5°C/décennie sur la plus grande partie du Québec et légèrement plus élevées, entre 0,5 et 0,8°C/décennie, dans les secteurs du Nord-du-Québec et du Nunavik qui longent la baie d'Hudson.

De façon générale, on remarque aussi que les tendances au réchauffement sont un peu plus élevées pour les T<sub>min</sub> que pour T<sub>moy</sub> et T<sub>max</sub>. On le constate facilement dans le nord du Québec, mais on trouve aussi des tendances de T<sub>min</sub> élevées dans le sud-ouest de la province.

#### Printemps

Au printemps, sur la période 1961-2020, presque tout le Québec présente de faibles tendances (0,1 à 0,3°C/décennie) au réchauffement. Celles-ci ne sont pas significatives pour la majorité des régions. Elles le sont pour T<sub>min</sub>, T<sub>moy</sub> et T<sub>max</sub> dans les secteurs du Nunavik donnant sur le détroit d'Hudson (0,3 à 0,4°C/décennie) et pour lesquels la variabilité interannuelle est moindre. Quelques secteurs localisés dans le sud du Québec présentent aussi des tendances significatives pour T<sub>min</sub> et T<sub>moy</sub>, mais pas pour T<sub>max</sub>.

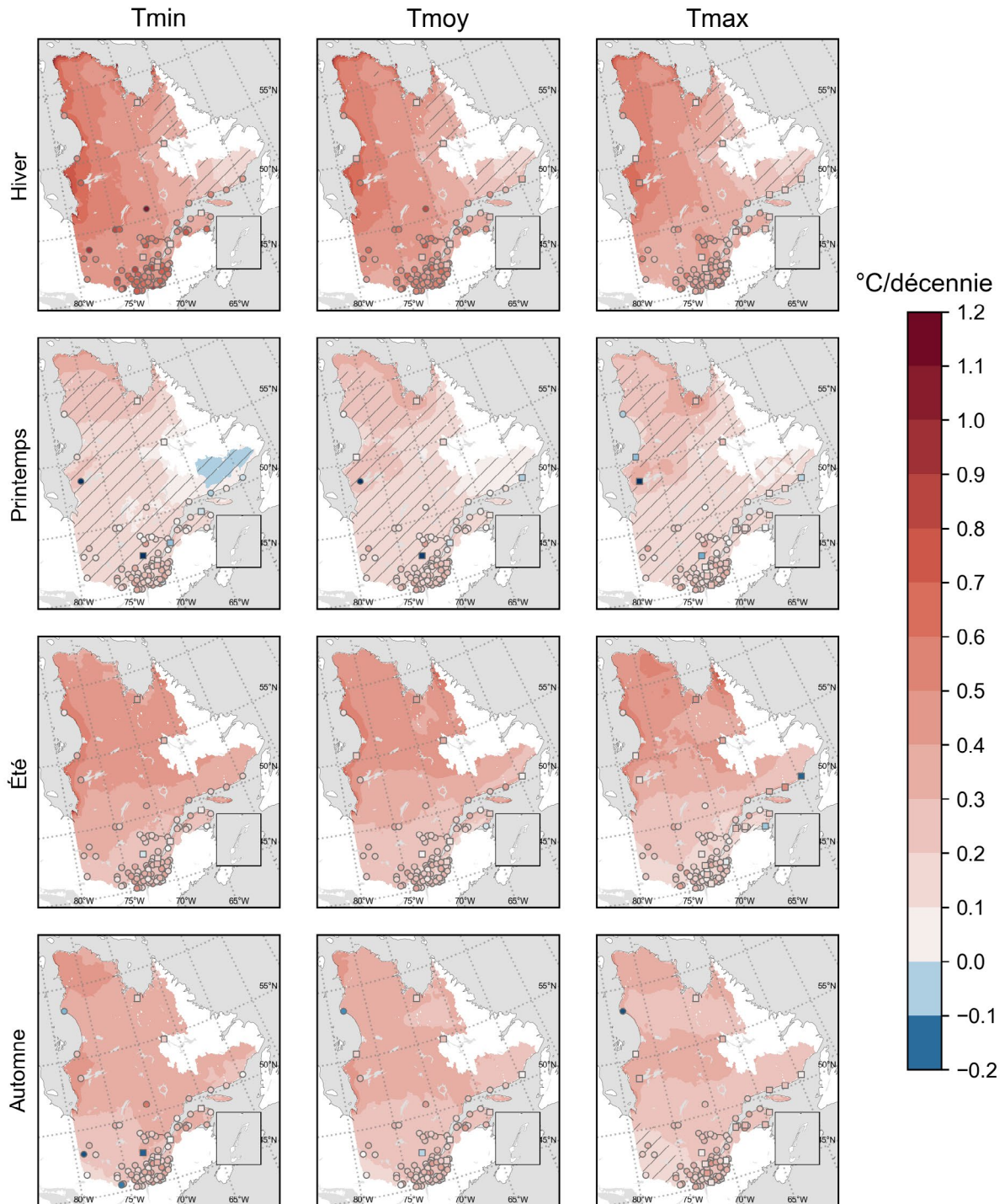
#### Été

En été, sur la période 1961-2020, quelques secteurs situés le long de la baie d'Hudson et dans le nord du Nunavik se réchauffent à un rythme de 0,5 à 0,6°C/décennie, alors que les tendances ailleurs au Québec sont en deçà de 0,5°C/décennie. Les tendances au réchauffement des moyennes estivales de T<sub>min</sub>, T<sub>moy</sub> et T<sub>max</sub> sont statistiquement significatives partout au Québec. Dans plusieurs régions, les tendances de T<sub>min</sub> sont légèrement plus marquées. Le fait que la variabilité interannuelle est généralement plus faible en été facilite l'émergence de tendances significatives.

#### Automne

En automne, sur la période 1961-2020, l'ensemble du Québec présente des tendances au réchauffement des moyennes automnales de T<sub>min</sub>, T<sub>moy</sub> et T<sub>max</sub> inférieures à 0,5°C/décennie. Ces tendances sont significatives sur l'ensemble du territoire sauf pour les T<sub>max</sub> dans le sud-ouest de la Jamésie ainsi que sur une bonne partie des régions de l'Abitibi-Témiscamingue et de l'Outaouais.

### Tendances saisonnières 1961-2020



**Figure 8.** Tendances linéaires 1961-2020 des moyennes saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax observées calculées à partir des données ERA5-Land et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95 %). Méthodologie décrite à la fiche C12 de l'annexe C.

### 2.5.2. Dans la variabilité aux diverses échelles temporelles

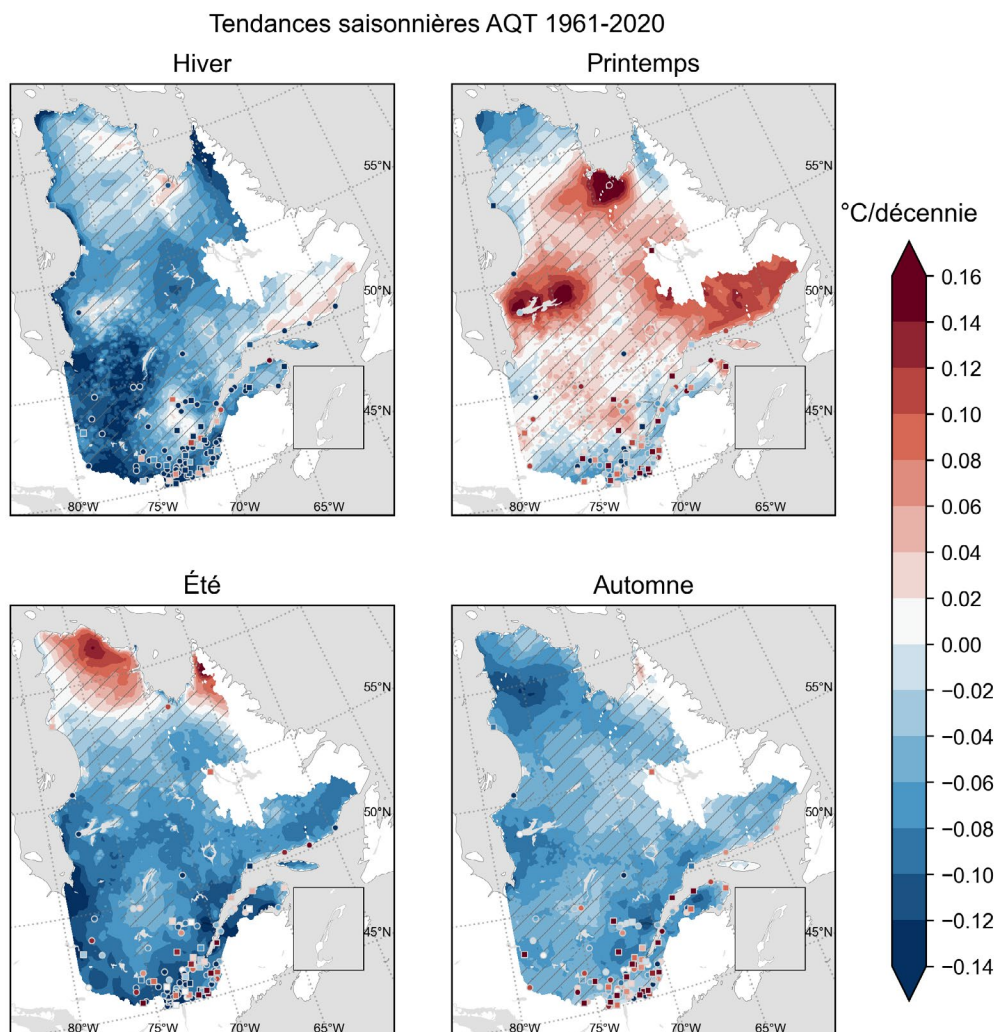
#### 2.5.2.1. Tendances de l'AQT



Une baisse non significative de l'amplitude quotidienne de la température (AQT) en hiver, en été et en automne est observée dans la plupart des régions.

La tendance de l'AQT correspond mathématiquement à la différence entre la tendance de Tmax et celle de Tmin, ce qui explique les faibles valeurs sur les cartes de la figure 9. On s'attend donc à ce que les tendances de l'AQT soient cohérentes avec celles de Tmax et Tmin illustrées à la figure 8. Les tendances annuelles de l'AQT se trouvent à la figure A6 de l'annexe A.

En hiver, en été et en automne, la tendance de l'AQT est à la baisse presque partout au Québec, ce qui révèle que sur la période 1961-2020, le réchauffement des Tmin a été légèrement plus marqué que celui des Tmax. Or cette tendance à la baisse n'est significative que dans quelques secteurs localisés qui ne sont pas nécessairement les mêmes au gré des saisons. Il faut donc garder en tête que la différence entre deux tendances significatives ne l'est pas nécessairement à son tour.



Quant au printemps, il est plus difficile d'avoir un portrait clair des tendances de l'AQT dont la direction fluctue beaucoup sur le territoire. Cela est peu surprenant compte tenu des faibles tendances non significatives de Tmin et de Tmax (figure 8) et de leur variabilité interannuelle somme toute assez élevée durant cette saison (figure A3).

**Figure 9.** Tendances linéaires 1961-2020 de la moyenne saisonnière de l'amplitude quotidienne de la température observée, calculées à partir des données ERA5-Land DCCAH 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95%). Méthodologie décrite à la fiche C14 de l'annexe C.

### 2.5.2.2. Tendances des écarts-types intrasaisonniers



- Il n'est pas encore possible de se prononcer sur la tendance de la variabilité intraestivale observée des températures au Québec.
- La variabilité intrasaisonnaire en hiver, au printemps et en automne baisse dans le nord du Québec. Elle est significative et attribuable à l'influence humaine.
- La variabilité intrahivernale diminue dans le sud du Québec.

Trois études basées sur des données, des périodes et des méthodologies différentes (Blackport et al., 2021; Kotz et al., 2021; Wan et al., 2021) permettent de constater que la diminution de la variabilité intrahivernale est déjà observable. Pour les périodes 1950-2015, 1960-2019 et 1979-2020, selon les sources de données, les écarts-types diminuent à un rythme évalué entre -0,7 et -0,2°C par décennie. Les trois études attribuent la diminution des écarts-types intrahivernaux à l'augmentation des GES, particulièrement pour les régions au nord du 50<sup>e</sup> parallèle.

Les données utilisées par (Blackport et al., 2021; Wan et al., 2021) fournissent des tendances à la baisse des écarts-types intraprintaniers jusqu'à -0,5°C par décennie sur les périodes 1979-2021 et 1950-2015. Ces deux études concluent que la diminution de la variabilité intraprintanière dans le nord du Québec est attribuable à l'influence humaine (voir encadré «détection et attribution» p. 24). La situation est différente dans le sud du Québec où il n'est pas encore possible de détecter une tendance claire ni d'en attribuer la cause. Les tendances dans la variabilité intraprintanière y sont plus faibles qu'au nord et il y a des disparités tant dans l'amplitude que dans la direction de la tendance, selon les données et les méthodologies employées.

Il n'y a pas de conclusion claire pour le Québec quant à de possibles changements de la variabilité intraestivale au fil des dernières décennies. En effet, les analyses effectuées par (Blackport et al., 2021; Kotz et al., 2021; Wan et al., 2021) donnent des tendances généralement beaucoup plus faibles, parfois même nulles, comparativement aux autres saisons. Ces faibles tendances peuvent même s'inverser lorsqu'on change de données ou de méthodologie.

Les tendances des écarts-types intra-automnaux varient entre -0.7 et environ +0.1°C sur les périodes 1979-2021 et 1950-2015 (Blackport et al., 2021; Wan et al., 2021) sur l'ensemble du Québec. Bien que les deux études s'accordent sur une tendance à la diminution de la variabilité intra-automnale dans le nord du Québec, seule l'étude de (Wan et al., 2021) y détecte une influence humaine. Dans le sud du Québec, les tendances ne sont pas claires. Elles sont presque nulles ou très faiblement à la hausse selon les données et les méthodologies.

### 2.5.3. Dans les extrêmes

Plusieurs études montrent que pour de grands pans du territoire québécois, les normales de Tmax ont augmenté un peu plus rapidement que les extrêmes (TXx) (Di Luca et al., 2020; Krakauer, 2023; Srivastava et al., 2024; Wang et al., 2022). Cela se reflète sur la carte de tendances TXx (figure 10) où le réchauffement ne s'est pas encore concrétisé dans plusieurs secteurs du sud du Québec, alors qu'ailleurs dans la province la tendance au réchauffement n'est pas encore significative.

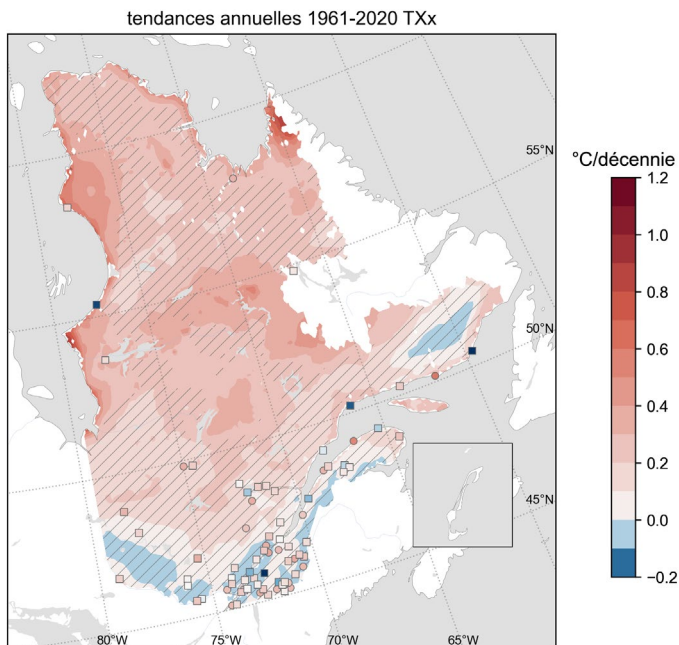
En comparaison, la carte des tendances des moyennes estivales de Tmax (figure 8) montre des tendances au réchauffement significatives partout au Québec. Cela signifie que l'évolution des TXx par rapport aux Tmax au Québec diffère de ce que l'on retrouve à l'échelle mondiale. En d'autres mots, l'idée répandue que les extrêmes se réchauffent toujours plus vite que les moyennes ne s'applique pas aux TXx du Québec.

## 2 Le climat jusqu'à ce jour

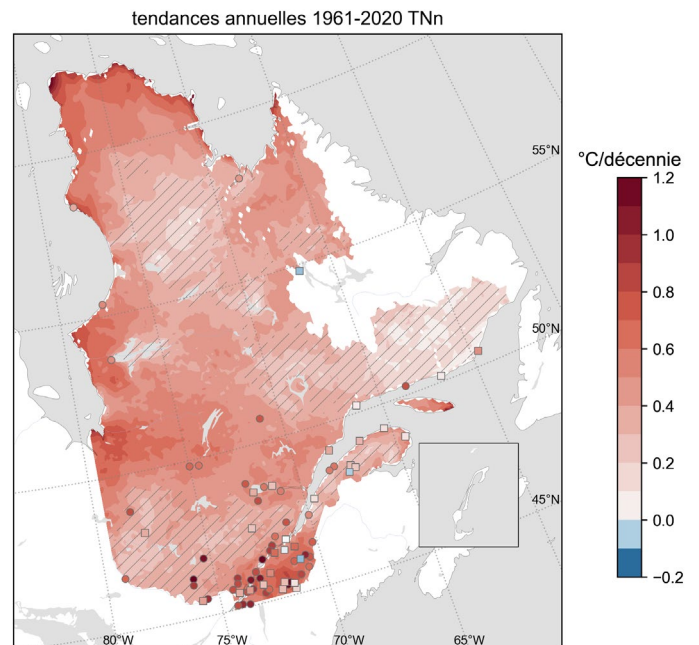
Partout au Québec, on constate une tendance au réchauffement de la température de la nuit la plus froide sur la période 1961-2020. Toutefois, cette tendance de TNn n'est pas significative pour toutes les régions (figure 11).



- La hausse de la température du jour le plus chaud de l'année (TXx) est statistiquement significative dans plusieurs secteurs du nord du Québec. L'augmentation est visible dans le reste de la province à l'exception de quelques régions dans le sud.
- La température de la nuit la plus froide (TNn) augmente partout au Québec entre 1961 et 2020. Cette tendance est significative dans quelques régions.



**Figure 10.** Tendances linéaires 1961-2020 de la température observée du jour le plus chaud de l'année (TXx) calculées à partir des données ERA5-Land et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95%). Méthodologie décrite à la fiche C16 de l'annexe C.



**Figure 11.** Tendances linéaires 1961-2020 de la température observée de la nuit la plus froide de l'année (TNn) calculées à partir des données ERA5-Land et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95%). Méthodologie décrite à la fiche C17 de l'annexe C.

# 3 Les changements anticipés

Afin d'évaluer les changements anticipés dans les températures au Québec, des horizons de temps ainsi que des choix de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) doivent être considérés. Ainsi, les périodes et les scénarios de GES mis de l'avant dans cette synthèse s'alignent avec les choix faits par Ouranos pour sa plateforme [Portraits climatiques](#) en conformité avec les recommandations émises par l'organisation quant à l'utilisation des projections climatiques pour la planification de l'adaptation (Ouranos, 2024).

À l'instar du GIEC, Ouranos priorise deux scénarios d'émissions, soit le scénario d'émissions modérées (SSP2-4.5) et le scénario d'émissions élevées (SSP3-7.0). En termes d'horizons, le GIEC travaille avec des périodes historiques et futures de 20 ans, alors qu'Ouranos travaille avec des périodes de référence de 30 ans, soit actuellement 1991-2020, 2041-2070 et 2071-2100 telles que définies par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Cela dit, le choix de l'horizon futur est spécifique à chaque démarche d'adaptation. Puisqu'il n'est évidemment pas possible d'illustrer tous les horizons dans cette synthèse, seuls 2041-2070 et 2071-2100 seront présentés.

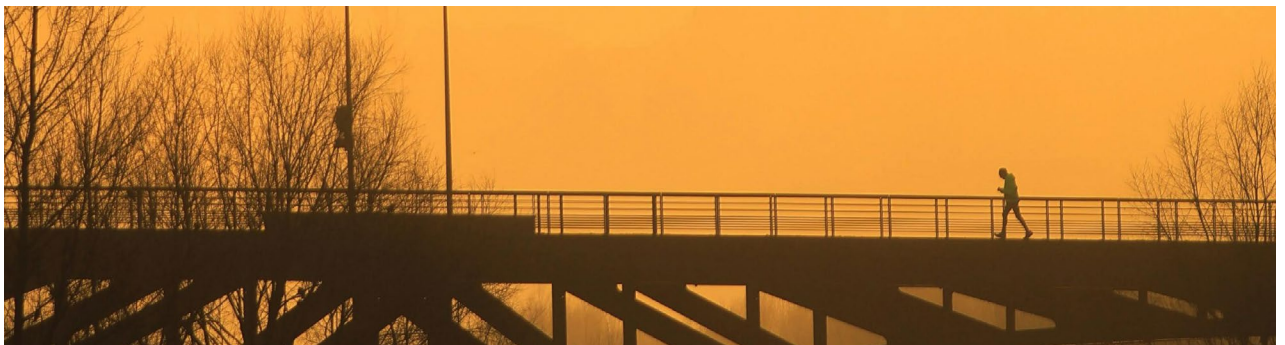
Composante	6 <sup>e</sup> Rapport du GIEC		Ouranos	
Périodes historiques	Référence préindustrielle : 1850-1900		Référence : 1991-2020	
	Référence moderne actuelle : 1995-2014			
Périodes futures	Court terme : 2021-2040 « Horizon 2030 »		Moyen terme : 2041-2070 « Horizon 2050 » Long terme : 2071-2100 « Horizon 2080 »	
	Moyen terme : 2041-2060 « Horizon 2050 »			
	Long terme : 2081-2100 « Horizon 2100 »			
Scénarios SSP d'émissions de GES	SSP 1-1.9	Compatible avec un réchauffement moyen mondial limité à 1,5°C		
	SSP 1-2.6	Compatible avec un réchauffement moyen mondial limité à 2°C		
	SSP 2-4.5	Émissions modérées	SSP 2-4.5	Modéré ou médian
	SSP 3-7.0	Émissions élevées	SSP 3-7.0	Élevé
	SSP 5-8.5	Émissions très élevées	SSP 5-8.5	Très élevé

**Tableau 1.** Terminologies associées aux composantes de l'évaluation des changements climatiques utilisées par le GIEC et par Ouranos.

### 3.1. Dans les normales



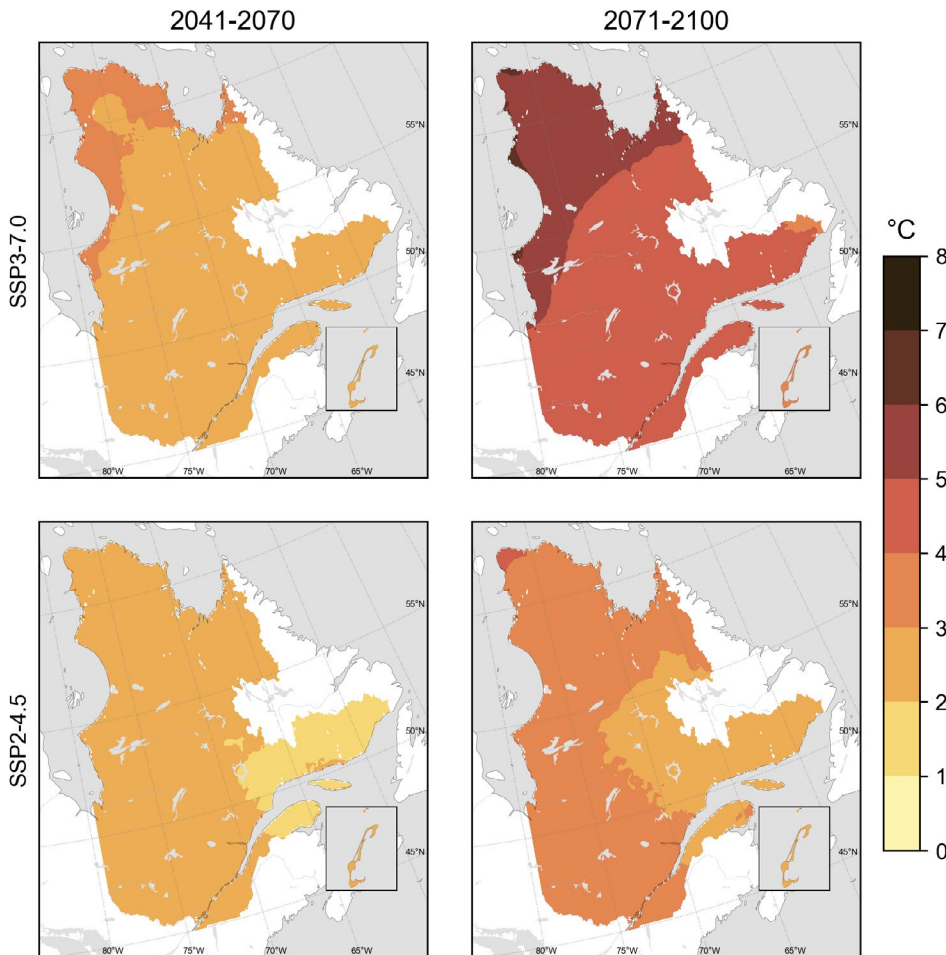
- Des hausses projetées dans les normales saisonnières et annuelles des températures partout au Québec pour le milieu et la fin du siècle selon les scénarios d'émissions de GES modérées et élevées (signal de changement robuste).
- Les hausses des températures normales sont plus marquées en hiver et au printemps dans le Nord du Québec.
- Les hausses des T<sub>min</sub> sont plus marquées que les hausses des T<sub>max</sub>.



Tel que décrit dans de nombreux rapports des dernières décennies, en particulier dans les plus récents (Alberti-Dufort, A. et al., 2022; Bush et al., 2022; Bush et Lemmen, 2019; IPCC, 2021c; Ouranos, 2015), les températures augmenteront partout au Québec au fil du siècle. Les projections les plus récentes abondent également en ce sens et font consensus dans la communauté scientifique.

La hausse projetée des températures est graduelle selon l'augmentation des émissions de GES comme l'indique la figure 12. Le réchauffement projeté avec le scénario élevé SSP3-7.0 est un peu plus accentué au milieu du siècle qu'avec le scénario modéré SSP2-4.5. À la fin du siècle, la trajectoire du SSP3-7.0 s'est substantiellement distancée de celle du SSP2-4.5 pour produire un réchauffement beaucoup plus important à la fin du siècle. Ces résultats réitèrent l'importance de réduire les émissions de GES au plus vite pour éviter une telle hausse des températures.

Δ Tmoy : annuel



À titre indicatif, rappelons qu'à l'échelle planétaire, les régions des pôles se réchauffent plus rapidement que la région équatoriale (voir l'encadré « amplification arctique »). Ainsi, l'ampleur des changements appréhendés pour le nord du Canada, et donc du Québec, est environ trois fois plus prononcée que la moyenne mondiale. Pour ce qui est de la moitié sud du Québec, on parle d'un réchauffement deux fois plus rapide (Bush et Lemmen, 2019).

**Figure 12.** Changements médians dans les normales annuelles de la température moyenne quotidienne par rapport à la période de référence 1991-2020 pour deux horizons futurs (2041-2070 et 2071-2100) et deux scénarios d'émissions des GES (SSP2-4.5 et SSP3-7.0) calculés à partir des données ESPO-G6-R2. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C19 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

#### Amplification arctique

L'amplification arctique est le phénomène selon lequel la variation de la température en surface aux hautes latitudes est d'une plus grande ampleur que la variation moyenne de la température à l'échelle du globe (glossaire GIEC). Au cours des dernières décennies, le réchauffement de l'Arctique a été au moins deux fois plus rapide que le reste du monde.

L'amplification est provoquée par des mécanismes qui peuvent amplifier ou limiter un réchauffement initial causé par un forçage climatique comme l'augmentation des GES, mais dont les effets sur le réchauffement diffèrent dans l'Arctique comparativement aux autres régions du monde. Les plus grandes contributions sont liées à la température et à la glace de mer.

L'effet du gradient thermique vertical (lapse rate) est particulièrement important. En Arctique, l'air près du sol est plus froid que l'air en altitude. Cette inversion rend l'atmosphère très stable et limite le mélange vertical de l'air, de sorte que le réchauffement induit par les GES se concentre près de la surface. Comme le haut de l'atmosphère se réchauffe moins dans l'Arctique, les pertes de chaleur vers l'espace par rayonnement y sont plus faibles que si toute la colonne d'air se réchauffait uniformément. La surface doit donc se réchauffer davantage pour compenser ce déséquilibre.

La réduction de la glace de mer Arctique joue aussi un rôle essentiel pour établir la répartition spatiale et la saisonnalité de l'amplification. Cela se manifeste d'abord par la réduction de l'albédo, c'est-à-

### 3 Les changements anticipés

dire la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire. Avec le réchauffement, les superficies claires comme la neige, les glaciers et la banquise diminuent en Arctique et la surface terrestre et océanique devient plus sombre et absorbe davantage d'énergie solaire au lieu de le réfléchir. Ce processus, surtout visible au printemps et en été, renforce la fonte et accélère le réchauffement. De plus, la banquise agit comme une barrière entre l'océan et l'atmosphère. Lorsqu'elle devient plus fine ou se retire, la chaleur de l'océan s'échappe plus facilement en automne et en hiver, renforçant l'amplification durant les mois froids.

D'autres mécanismes contribuent à l'amplification arctique. La communauté scientifique s'active à mieux comprendre leur contribution au gré des saisons et surtout comment ils s'influencent mutuellement. En voici quelques-uns :

- La réponse de Planck décrit la tendance fondamentale de la Terre à se refroidir en émettant de la chaleur vers l'espace. Cet effet étant plus faible en Arctique, les pertes de chaleur y sont inférieures comparativement à celles d'autres régions.
- Le transport de chaleur et d'humidité vers le nord par la circulation atmosphérique et les courants marins.
- Des changements dans la nébulosité totale durant l'été.



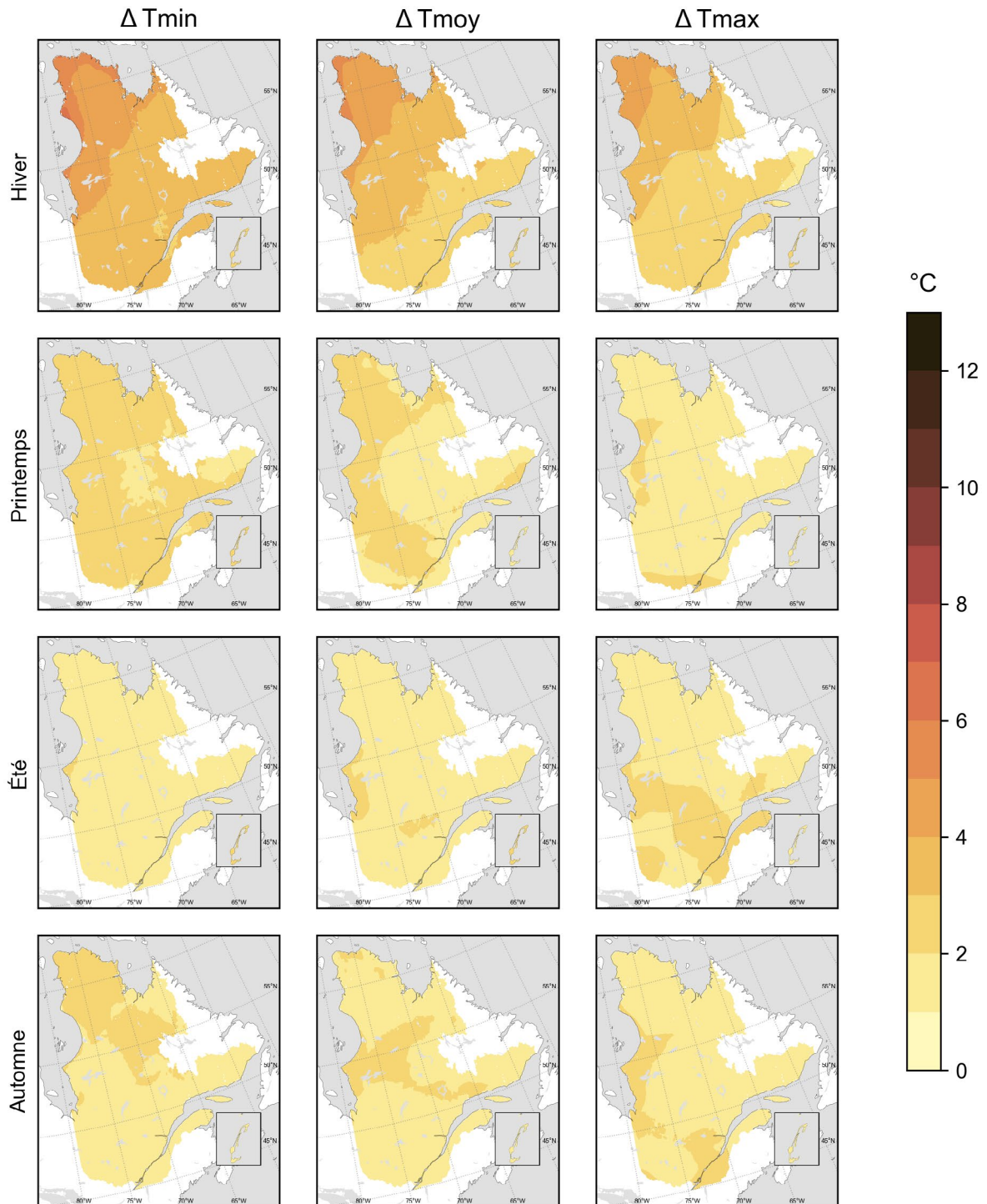
L'amplification arctique a des conséquences majeures sur le système climatique. Elle accélère notamment la fonte des glaciers et des calottes polaires, contribuant à l'élévation du niveau de la mer et au changement des propriétés de l'eau des océans comme la température, la salinité et le pH.

Sources : Meredith, M. et al., 2019 ; Pithan et Mauritsen, 2014 ; Previdi et al., 2021 ; Rantanen et al., 2022 ; Taylor et al., 2022

Puisque les mécanismes qui affectent les températures minimales et maximales fluctuent tout au long de l'année, il est intéressant de regarder les changements dans les normales saisonnières des températures quotidiennes minimales ( $T_{min}$ ), moyennes ( $T_{moy}$ ) et maximales ( $T_{max}$ ). Pour ce faire, celles-ci seront présentées par saison, en référant toujours aux deux mêmes horizons de temps, c'est-à-dire 2050 (2041-2070) et 2080 (2071-2100), ainsi que les scénarios modérés (SSP2-4.5) et élevés (SSP3-7.0).

### 3 Les changements anticipés

2041-2070 : SSP2-4.5



**Figure 13.** Changements médians dans les normales saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax entre 2041-2071 et 1991-2020 calculés à partir données ESPO-G6-R2 pour le scénario d'émissions des GES SSP2-4.5. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C20 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

### Hiver

Pour les 2 horizons et pour les 2 scénarios d'émissions (figures 13, ainsi que B1, B2 et B3 de l'annexe B), on remarque un réchauffement de la Tmoy qui s'accroît du sud vers le nord. Ce gradient latitudinal de réchauffement qui découle de l'amplification arctique est beaucoup plus visible en hiver. L'augmentation des températures déjà présente vers le milieu du siècle augmente davantage vers 2080 (figures B1 et B3).

Pour les 2 périodes, le gradient latitudinal du réchauffement est plus marqué pour le scénario élevé que pour le modéré. Ce gradient nord-sud dans le réchauffement des températures fait en sorte que celui dans les normales (voir section 2.2) diminuera graduellement dans le futur comparativement à 1991-2020. Autrement dit, sous l'effet du réchauffement, le contraste de température entre l'extrémité sud-ouest du Québec et l'extrémité nord du Nunavik sera plus faible à la fin du siècle qu'il ne l'est aujourd'hui.

La hausse des normales hivernales des Tmin est plus marquée que celles des Tmax. Le changement dans les normales Tmoy se situe quant à lui entre les deux, un peu comme le laissaient déjà entrevoir les tendances observées de Tmin, Tmoy et Tmax à la section 2.5.

### Printemps

Au printemps, le gradient latitudinal dans le patron du réchauffement est peu visible pour les Tmin vers la fin du siècle (figures B1 et B3) et absent pour les Tmax et Tmoy. Les Tmin semblent davantage augmenter en raison d'un effet côtier. Cette tendance est visible le long de la baie d'Hudson et de la baie James. Cet effet est aussi visible sur le littoral du golfe du Saint-Laurent vers la fin du siècle pour le scénario SSP3-7.0 (figure B3).

La hausse des normales printanières des Tmin est légèrement plus élevée que celles des Tmax. Le changement des normales des Tmoy se situe entre celui des normales de Tmin et de Tmax.

Les projections pour l'extrême sud-ouest du Québec montrent une hausse plus marquée des Tmax que presque partout ailleurs au Québec (figure 13). Ce réchauffement, accentué par la disparition de plus en plus hâtive du couvert de neige, n'est visible que pour la période 2041-2070 dans le scénario SSP2-4.5.

### Été

Le réchauffement des moyennes estivales des Tmin, Tmoy et Tmax est assez uniforme sur le territoire bien que certaines exceptions méritent l'attention. En effet, sur la plupart des cartes (figures 13, B1, B2 et B3), la côte de la baie James se distingue avec un réchauffement accru qui s'étend au littoral de la baie d'Hudson pour le scénario élevé (figures B2 et B3).

L'autre exception concerne les réchauffements plus modestes de Tmin, comparativement à Tmoy et Tmax, mais ce comportement n'est pas systématique pour tous les horizons et les scénarios de GES. Dans le sud du Québec, cette gradation du réchauffement entre Tmin et Tmax ressort vers le milieu du siècle pour SSP2-4.5 (figure 13) et vers la fin du siècle selon le SSP3-7.0 (figure B3). Quant au nord du Québec, l'effet se limite à l'horizon 2041-2070 pour le SSP3-7.0 (figure B2).

### Automne

La hausse des températures est assez uniforme sur le territoire du Québec. Il y a peu de différence entre les changements dans les Tmin, Tmax et Tmoy (figures 13, B1 et B2). À l'horizon 2071-2100 dans le scénario d'émissions élevées (figure B3), le réchauffement s'accroît dans le nord pour les Tmin et les Tmoy et dans la moitié ouest du Québec pour les Tmax.



### Portraits climatiques

#### Personnalisez les informations sur les changements de Tmin, Tmoy et Tmax

Cette section met l'accent sur les changements médians (50<sup>e</sup> centile) de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour Tmin, Tmoy et Tmax.

Consultez Portraits climatiques pour connaître les changements projetés pour d'autres périodes et d'autres centiles. Visualisez les changements projetés selon différents niveaux de réchauffement planétaire. Profitez des diverses fonctionnalités pour obtenir les informations sous forme de cartes, de graphiques et de tableaux pour votre région d'intérêt.



### 3.2. Dans la variabilité aux diverses échelles temporelles

#### 3.2.1. La variabilité à l'échelle quotidienne



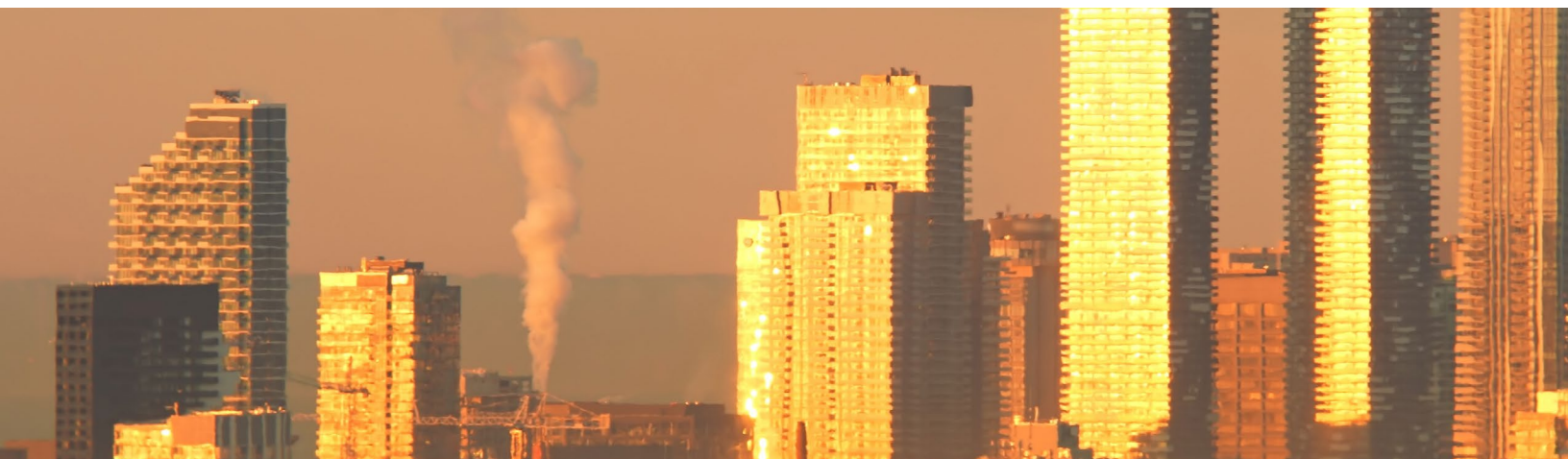
La moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température (AQT) pourrait diminuer d'ici la fin du siècle. Cependant, l'incertitude sur cette diminution est élevée.

Au moment de la rédaction de cette synthèse, deux études récentes fournissent des cartes mondiales des projections de l'amplitude quotidienne des températures (revoir l'encadré «Trois échelles temporelles de la variabilité de la température» p. 15) sur lesquelles les résultats pour le Québec sont bien visibles. Toutefois, plutôt que de présenter les changements anticipés de l'AQT sous la forme de différences entre deux périodes, tel que privilégié dans cette synthèse, les deux études ont choisi d'illustrer les tendances futures.

La première étude (Wang et al., 2023) montre les tendances futures 2021-2050 de la moyenne annuelle de l'AQT provenant d'un sous-ensemble de 19 modèles ESM de CMIP6 pour les scénarios SSP1-2.6 et SSP5-8.5 (figure B4 de l'annexe B). Le niveau de consensus sur la direction de la tendance de cette amplitude n'est pas fourni, mais les valeurs d'incertitude sont élevées comparativement aux valeurs des tendances pour les deux scénarios. Cela suggère que les AQT de certains modèles de l'ensemble évoluent dans des directions opposées même pour le SSP5-8.5. À l'échelle du Québec, les tendances de l'amplitude quotidienne des températures seraient à la baisse d'environ  $-0,01$  à  $-0,06^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$  selon le SSP1-2.6 alors que les tendances à la baisse selon le SSP5-8.5 seraient entre  $-0,03$  et  $-0,15^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ .

L'autre étude, réalisée par (Liu et al., 2022), montre la tendance moyenne calculée à partir des tendances corrigées provenant d'un ensemble de 8 modèles CMIP6 selon les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (Figure B5). Sur la période 1950-2100, ces modèles projettent en moyenne une tendance significative à la baisse de l'amplitude quotidienne des températures d'environ  $1$  à plus de  $2^{\circ}\text{C}$  par siècle selon les scénarios.

Ces deux études suggèrent que plus les émissions de GES sont élevées, plus l'amplitude quotidienne des températures diminue au Québec. Ceci est cohérent avec les réchauffements plus marqués des T<sub>min</sub> comparativement aux T<sub>max</sub>, particulièrement en hiver et au printemps (voir section 3.1). De plus, les tendances 1961-2020 de la moyenne annuelle de l'AQT montrent déjà une baisse même si elles ne sont pas encore significatives partout (figure A6 de l'annexe A).



### 3.2.2. La variabilité intrasaisonnière



**La variabilité intrahivernale des températures quotidiennes moyennes devrait diminuer d'ici la fin du siècle. Cette baisse pourrait être sous-estimée.**

Au moment de la rédaction de cette synthèse, il y avait peu d'informations récentes sur les projections de la variabilité intrasaisonnière des  $T_{moy}$  (revoir l'encadré «Trois échelles temporelles de la variabilité de la température» p. 15). Une seule étude basée sur une dizaine de modèles de la génération CMIP6 s'est attardée aux projections pour l'hiver et l'été (Kotz et al., 2021).

En hiver, les modèles étudiés sont unanimes à projeter une réduction d'environ  $1^{\circ}\text{C}$  de l'écart-type intrasaisonnier entre la décennie 2090-2100 et la décennie 1950-1960 selon le scénario d'émissions SSP5-8.5 sur l'ensemble du Québec. Selon le SSP1-2.6 qui implique de fortes réductions des GES, les diminutions des écarts-types seraient entre 0,6 et  $1^{\circ}\text{C}$  selon les modèles et les régions du Québec. Les auteurs de l'étude soupçonnent que ces diminutions futures pourraient être sous-estimées par les modèles climatiques, car ces derniers ont légèrement sous-estimé les changements détectés dans la période historique. Par conséquent, la diminution de la variabilité intrahivernale, déjà observable et attribuable aux émissions anthropiques de GES (section 2.5.2.2) se poursuit d'ici la fin du siècle (revoir l'encadré «détection et attribution» p. 24).

Toujours selon (Kotz et al., 2021), il n'y a pas de consensus parmi les projections des modèles climatiques considérés pour l'été. Ceux-ci ne s'entendent ni sur l'ampleur ni sur le signe du changement des écarts-types intraestivaux au Québec, et ce, peu importe le SSP. Il est mentionné dans la section 2.5.2.2 qu'il n'y a pas encore de changement observable dans la variabilité intraestivale de  $T_{moy}$ . Force est de constater que les modèles climatiques ne sont pas encore en mesure d'offrir un portrait clair de son évolution future.

### 3.2.3. La variabilité interannuelle



- La diminution projetée de la variabilité interannuelle des températures moyennes quotidiennes ( $T_{moy}$ ) hivernales sera plus marquée dans le nord du Québec que dans le sud.
- En été, un niveau d'incertitude élevé entoure les modestes augmentations projetées de la variabilité interannuelle de la température moyenne quotidienne.

Au moment de la rédaction de cette synthèse, les études les plus récentes ne faisaient pas mention des projections pour la variabilité interannuelle (revoir l'encadré «Trois échelles temporelles de la variabilité de la température» p. 15) des moyennes printanières et automnales de  $T_{moy}$ . Le fait que les études citées aient sélectionné des périodes, des ensembles de simulations et des méthodologies différentes ne facilite en rien les comparaisons de leurs résultats respectifs. C'est pourquoi les résultats pour l'hiver, l'été ainsi qu'à l'échelle annuelle ont été colligés dans les tableaux 2 à 4.

### 3 Les changements anticipés

#### Hiver

La diminution de la variabilité interannuelle des températures hivernales d'ici la fin du siècle fait consensus en hiver au Québec pour les scénarios d'émissions de GES très élevées SSP5-8.5 ou RCP8.5 (Lee et al., 2021; Shi et al., 2024). Ces deux études s'entendent aussi sur des baisses de la variabilité qui seront plus marquées dans le nord du Québec comparative-ment au sud. La plupart des régions pourraient s'attendre à des baisses de la variabilité des températures hivernales d'au moins 20 %, mais pouvant atteindre 47 % plus au nord. Selon (Shi et al., 2024) les scénarios de GES, faibles ou modérés n'induiraient que de faibles diminutions de la variabilité en deçà de 20 % presque partout sur le territoire.

#### HIVER

Période historique	Période future	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5 ou RCP8.5	Source
1961-2014	2051-2100	↓ 20 % et -	Zone baie d'Hudson ↓ 20 % à 30 % Ailleurs ↓ 20 % et -	Moitié nord-est ↓ 20 % à 47 % Moitié sud-ouest ↓ 20 % à 33 %	(Shi et al., 2024)
1995-2014	2081-2100	n.d.	n.d.	Entre ↓ 10 % au sud et ↓ 30 % au nord	Figure 4.21 de (Lee et al., 2021)

**Tableau 2.** Sommaire des changements dans la variabilité interannuelle des moyennes hivernales en fonction des scénarios de GES selon différentes études. Pour faciliter les comparaisons, les changements de la variance interannuelle ont été convertis en pourcentage. Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

#### Été

Beaucoup d'incertitude entoure les modestes hausses projetées de la variabilité interannuelle des températures moyennes estivales. Ceci s'explique par le consensus insuffisant parmi les modèles climatiques quant à la direction du changement ou sur son niveau de signification statistique. Pour la plupart des régions et des scénarios de GES, les hausses de variabilité n'excéderaient pas 25 % de la variabilité historique pour le SSP2-4.5 et le très élevé SSP5-8.5.

#### ÉTÉ

Période historique	Période future	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5 ou RCP8.5	Source
1961-2014	2051-2100	Centre et nord ↑ - de 23 % Sud et est ↓ 20 % et -	↑ - de 23 % Sauf zones localisées ↓ 20 % et -	Sud-ouest du Québec et nord du Nunavik ↑ 23 % à 50 % Ailleurs ↑ - de 23 %	(Shi et al., 2024)
1995-2014	2081-2100	n.d.	n.d.	Centre du Québec ↑ 20 % à 25 % Ailleurs ↑ 5 % à 10 %	Figure 4.21 de (Lee et al., 2021)

**Tableau 3.** Sommaire des changements dans la variabilité interannuelle des moyennes estivales en fonction des scénarios de GES selon différentes études. Pour faciliter les comparaisons, les changements de la variance interannuelle ont été convertis en pourcentage. Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

## 3 Les changements anticipés

### Annuel

Pour tous les scénarios de GES considérés, il n'y a pas de consensus quant à la direction des faibles changements projetés de la variabilité interannuelle de la moyenne annuelle de T<sub>moy</sub> dans le sud du Québec (Coquereau et al., 2024; Olonscheck et al., 2021; Shi et al., 2024).

Le nord pourrait quant à lui s'attendre à une diminution de la variabilité interannuelle d'ici la fin du siècle. Cette diminution serait faible et peu consensuelle par rapport à un passé très récent (Olonscheck et al., 2021; Shi et al., 2024), mais serait plus forte avec un consensus élevé par rapport à la période préindustrielle (Coquereau et al., 2024). Cela illustre bien le défi que représente la détection de changement dans la variabilité interannuelle en présence d'un phénomène tel que NAO (revoir l'encadré «L'oscillation Nord-Atlantique» p. 21) dont le niveau d'activité fluctue beaucoup dans le temps.

#### ANNUELLE

Période historique	Période future	SSP1-2.6	SSP2-4.5	SSP5-8.5 ou RCP8.5	Source
1961-2014	2051-2100	Extrémités sud et nord du Québec ↓ <b>20 % et -</b> Ailleurs ↑ <b>- de 23 %</b>	↑ <b>- de 23 %</b>	↓ <b>20 % et -</b>	(Shi et al., 2024)
2010-2019	2090-2099	n.d.	n.d.	Moitié nord ↓ <b>10 % à 30 %</b> Sud du Québec ↓ <b>10 % à 20 %</b>	Figure 4.21 de (Lee et al., 2021)
1870-1900	2065-2095	Moitié nord ± <b>25 %</b> Moitié sud ± <b>33 %</b>	Nord Nunavik ↓ <b>20 % à 40 %</b> Ailleurs ± <b>33 %</b>	Moitié nord ↓ <b>17 % à 50 %</b> Moitié sud ± <b>33 %</b>	(Coquereau et al., 2024)

**Tableau 4.** Sommaire des changements dans la variabilité interannuelle des moyennes estivales en fonction des scénarios de GES selon différentes études. Pour faciliter les comparaisons, les changements de la variance interannuelle ont été convertis en pourcentage. Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

### 3.3. Changements dans les extrêmes

#### 3.3.1. La température du jour le plus chaud (TX<sub>x</sub>)



La température du jour le plus chaud de l'année augmentera d'ici le milieu et la fin du siècle pour les scénarios d'émissions de GES modérées et élevées (signal de changement robuste).

La température du jour le plus chaud augmentera très graduellement d'ici la fin du siècle. Sur la plus grande partie de la province, la hausse médiane de TX<sub>x</sub> se situe entre 1,8 et 3°C pour le milieu et la fin du siècle par rapport à 1991-2020 d'après le scénario SSP2-4.5. Durant la période 2071-2100, les hausses médianes de TX<sub>x</sub> pourraient atteindre des valeurs entre 3,0 et 4,2°C d'après le SSP3-7.0.

### 3 Les changements anticipés

On remarque aussi que peu importe le SSP, certains secteurs principalement situés en Jamésie et au Nunavik peuvent s'attendre à des hausses un peu plus marquées de TXx comparativement à d'autres endroits dans la province (figure 14). Ces changements sont cohérents avec ceux obtenus par (Sobie et al., 2021) avec un plus grand nombre de modèles, mais pour des périodes différentes (tableau B6 à l'annexe B).

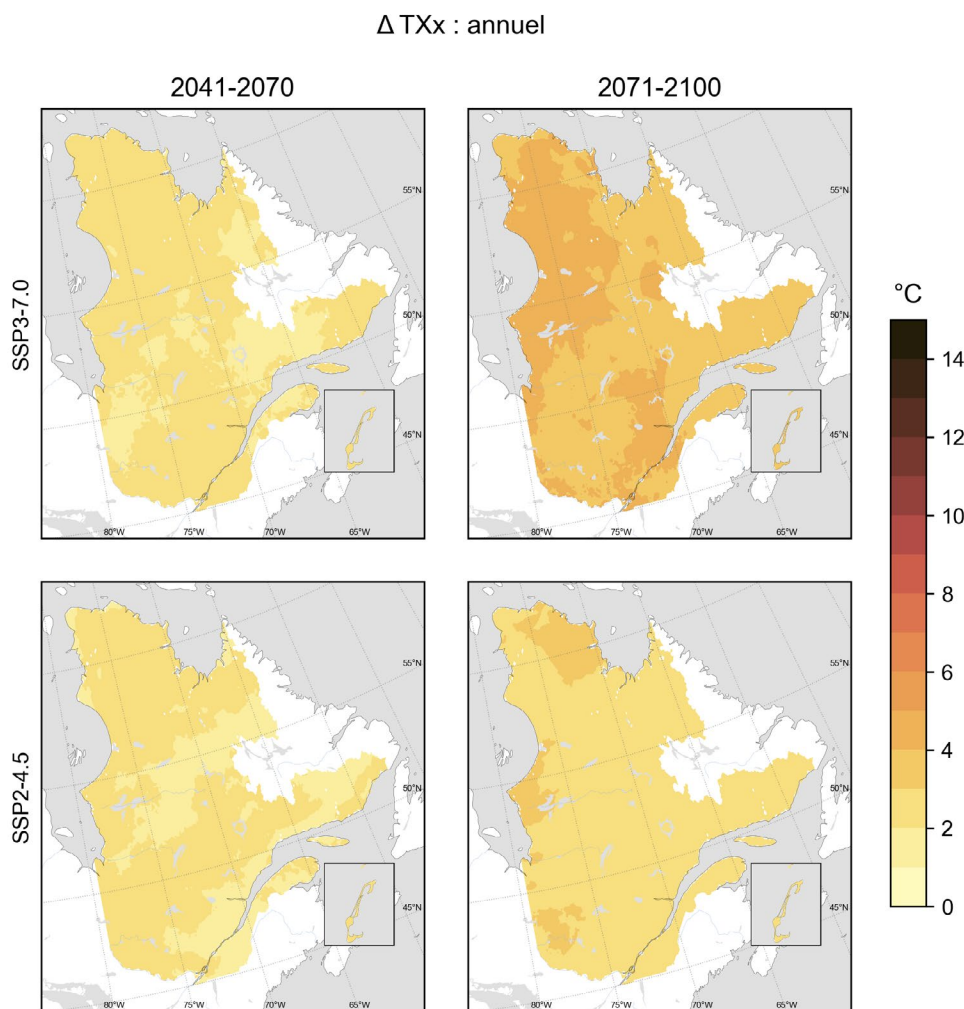
D'après les études ayant fourni les projections de TXx en fonction des niveaux de réchauffement planétaire (tableau B7 annexe B), le succès de l'Accord de Paris, c'est-à-dire l'atteinte d'un réchauffement planétaire de 1,5 à 2°C à la fin du siècle, ferait en sorte que les hausses de TXx au Québec demeuraient entre 0,9 et 3,5°C. Si le réchauffement planétaire atteignait des niveaux plus élevés entre 3 et 4°C, TXx augmenterait d'environ 3 à 6°C au Québec. Bien que l'amplitude du changement puisse varier d'un modèle climatique à l'autre, l'augmentation des valeurs de TXx au Québec fait consensus parmi les projections des modèles climatiques de l'ensemble CMIP6 (Sobie et al., 2021; Wehner, 2020, Portraits climatiques).

#### Portraits climatiques

**Personnalisez les informations sur les changements de TXx.**

Cette section met l'accent sur les changements médians (50° centile) de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour TXx.

Consultez Portraits climatiques pour connaître les changements projetés pour d'autres périodes et d'autres centiles. Visualisez les changements projetés selon différents niveaux de réchauffement planétaire. Profitez des diverses fonctionnalités pour obtenir les informations sous forme de cartes, de graphiques et de tableaux pour votre région d'intérêt.



**Figure 14.** Changements médians de TXx par rapport à la période de référence 1991-2020 pour deux horizons futurs (2041-2070 et 2071-2100) et deux scénarios d'émissions des GES (SSP2-4.5 et SSP3-7.0) calculés à partir des données ESPO-G6-R2. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement robuste. Méthodologie décrite à la fiche C21 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

### 3.3.2. Le pourcentage de jours très chauds (TX90p)

#### TX90p

Pourcentage de jours dont Tmax est supérieure au 90<sup>e</sup> centile de la période de base fixée à 1961-1990.

Source: ETCCDI, (Klein Tank, Albert M. G. et al., 2009).

À noter que cette même période de base est utilisée pour calculer le TX90p d'une autre période historique telle 1991-2020. C'est pourquoi le TX90p d'une période historique n'est pas nécessairement 10%. Cela correspond aux jours très chauds de la distribution des Tmax.

On s'attend à un pourcentage accru de jours très chauds vers la fin du siècle. En moyenne au Québec, la hausse médiane du TX90p serait d'environ 26% en un siècle (2071-2100 vs 1971-2000) selon le SSP2-4.5. Cette hausse médiane projetée par les modèles de la génération CMIP6 serait un peu plus élevée que celle de leurs prédécesseurs. Bien que tous les modèles climatiques s'accordent pour une augmentation du TX90p, l'amplitude du changement varie beaucoup d'un modèle à l'autre.

La même étude présente les projections correspondant à un niveau de réchauffement planétaire de 3°C (préindustriel) en mettant à profit les simulations basées sur tous les SSP. La moyenne québécoise de la hausse médiane du pourcentage de jours très chauds serait d'environ 20% (Sobie et al., 2021).

### 3.3.3. La température du jour le plus froid (TXn)



- La température du jour le plus froid de l'année (TXn) augmentera fortement sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste).
- Cette hausse de TXn est plus élevée au Nunavik qu'ailleurs au Québec.

#### TXn

Le minimum annuel de la température maximale quotidienne. Correspond à la température du jour le plus froid de l'année.

Source: ETCCDI, (Klein Tank, Albert M. G. et al., 2009).

Se produit généralement en hiver.

Dans cette étude (Wehner, 2020), les projections de TXn des modèles climatiques de l'ensemble CMIP6 ont été analysées selon l'approche des niveaux de réchauffement planétaire. Sur le Québec, le niveau de consensus parmi les modèles est très élevé et le signal de changement est plus fort que les disparités entre modèles.

Le tableau 5 collige les changements médians obtenus sur le Québec. On y constate que même en limitant le réchauffement planétaire à 1,5°C la température du jour le plus froid serait entre 3,5 et 5,5°C plus chaude que pendant la période préindustrielle, presque partout au Québec. Cette hausse est encore plus marquée au Nunavik.

Les hausses de TXn s'accroissent rapidement avec les niveaux de réchauffement planétaires. On remarque que pour les niveaux de réchauffement de 3 et 4°C, les augmentations de TXn dépassent 9,5°C dans plusieurs régions du Québec.

### 3 Les changements anticipés

Niveaux de réchauffement planétaire			
+ 1,5°C	+ 2°C	+ 3°C	+ 4°C
Nunavik ↑ 5,5 à 7,5°C Ailleurs ↑ 3,5 à 5,5°C	Nunavik ↑ 5,5 à 9,5°C Ailleurs ↑ 5,5 à 7,5°C	Sud-ouest du Québec ↑ 7,5 à 9,5°C Ailleurs ↑ 9,5°C et +	↑ 9,5°C et +

**Tableau 5.** Changement projeté (°C) de la valeur de TXn sur le Québec selon différents niveaux de réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Les valeurs représentent le changement médian de TXn provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 d'après les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5 et sont tirées des figures de (Wehner, 2020). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par l'auteur de la publication sont identifiés en caractères gras.

#### 3.3.4. La température de la nuit la plus chaude (TNx)



La température de la nuit la plus chaude de l'année (TNx) augmentera sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste).

##### TNx

Le maximum annuel de la température minimale quotidienne. Correspond à la température de la nuit la plus chaude de l'année.

Source: ETCCDI, (Klein Tank, Albert M. G. et al., 2009).

Se produit généralement en été.

Au moment de la rédaction de cette synthèse, seule l'étude publiée par (Wehner, 2020) fournissait des projections de TNx issues des modèles CMIP6 pouvant facilement être analysés sur le Québec.

Les changements projetés de TNx y sont présentés en fonction de divers niveaux de réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Le tableau 6 collige les changements médians obtenus sur le Québec à partir des plus récents modèles climatiques de l'ensemble CMIP6.

Le signal de changement de TNx est plus élevé que les disparités entre les modèles de l'ensemble. Pour les niveaux de réchauffement planétaire respectant l'Accord de Paris, la hausse médiane de la température de la nuit la

plus chaude se situerait entre 1,5 et 3,5°C. L'augmentation de TNx s'accroît pour les niveaux de réchauffement planétaire plus élevés. Le réchauffement de TNx pourrait atteindre de 5,5 à 7,5°C sur le Nunavik pour un réchauffement planétaire de 4°C.

Niveaux de réchauffement planétaire			
+ 1,5°C	+ 2°C	+ 3°C	+ 4°C
↑ 1,5 à 3,5°C	↑ 1,5 à 3,5°C	↑ 3,5 à 5,5°C	Nunavik ↑ 5,5 à 7,5°C Ailleurs ↑ 3,5 à 5,5°C

**Tableau 6.** Changement projeté (°C) de la valeur de TNx sur le Québec selon différents niveaux de réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Les valeurs représentent le changement médian de TNx provenant de l'ensemble des

modèles CMIP6 d'après les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 et SSP5-8.5 et sont tirées des figures de (Wehner, 2020). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par l'auteur de la publication sont identifiés en caractères gras.



### 3.3.5. La température de la nuit la plus froide (TNn)



- La température de la nuit la plus froide de l'année (TNn) augmentera vers le milieu et la fin du siècle selon les scénarios modéré et élevé d'émissions de GES (signal de changement robuste).
- Ce réchauffement de TNn sera plus marqué dans le nord du Québec et dans la plupart des zones côtières.

Les cartes illustrant le changement de la température de la nuit la plus froide de l'année montrent que la hausse de TNn s'intensifie au fil du siècle, mais aussi en fonction de la quantité de GES. Ainsi, selon les régions, on s'attend à une hausse médiane de la température de la nuit la plus froide entre 3 et 6°C vers 2041-2070 selon le SSP2-4.5, mais pouvant atteindre de 8 à 14°C d'ici 2100 selon le SSP3-7.0 (figure 15).

Ces projections sont cohérentes avec celles obtenues par (Sobie et al., 2021) qui considèrent une période de référence historique différente (tableau B6). Les cartes montrent bien que les augmentations de TNn dans les régions côtières du golfe du Saint-Laurent, de la baie James, de la baie et du détroit d'Hudson, sont plus marquées qu'ailleurs sur le territoire. On remarque aussi que la hausse des TNn est généralement plus élevée dans le nord du Québec que dans le sud, même si le gradient nord-sud n'est pas aussi bien défini que pour les changements des normales de Tmin (section 3.1, figures 12 et 13, ainsi que B1 à B3 en annexe).

### 3 Les changements anticipés

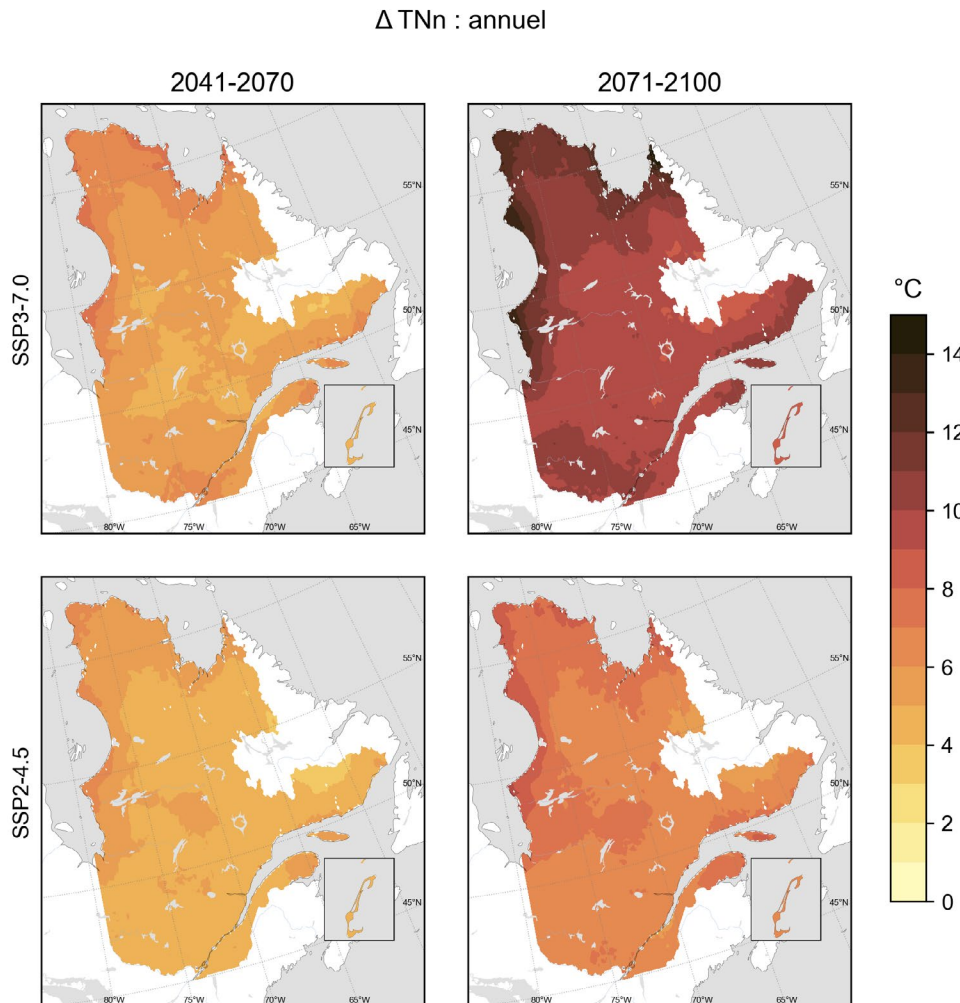
Étant donné que la nuit la plus froide de l'année survient l'hiver, peu importe la période ou le scénario de GES considéré, les changements projetés de TNn sont plus élevés que ceux des normales hivernales de Tmin (figures 13, B1 à B3 en annexe). Autrement dit, les extrêmes froids de Tmin se réchauffent plus rapidement que les normales de Tmin. On constate aussi que les hausses anticipées de TNn sont plus marquées que les hausses de TXx (figure 14 ainsi que les tableaux B6, B7 et B8). Par conséquent, la température des extrêmes froids augmente davantage que la température des extrêmes chauds.

#### Portraits climatiques

##### Personnalisez les informations sur les changements de TNn.

Cette section met l'accent sur les changements médians (50<sup>e</sup> centile) de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour TNn.

Consultez Portraits climatiques pour connaître les changements projetés pour d'autres périodes et d'autres centiles. Visualisez les changements projetés selon différents niveaux de réchauffement planétaire. Profitez des diverses fonctionnalités pour obtenir les informations sous forme de cartes, de graphiques et de tableaux pour votre région d'intérêt.



**Figure 15.** Changements médians de TNn par rapport à la période de référence 1991-2020 pour deux horizons futurs (2041-2070 et 2071-2100) et deux scénarios d'émissions des GES (SSP2-4.5 et SSP3-7.0) calculés à partir des données ESPO-G6-R2. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C22 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

### 3.3.6. Les périodes de retour des températures extrêmes



- Une hausse de la température correspondant à chacun des extrêmes annuels (TXx, TXn, TNx, TNn) de période de retour 20 ans (probabilité annuelle de 5 %) est projetée sur l'ensemble du Québec (signal de changement robuste).
- Une température de jour considérée comme un extrême chaud (TXx) qui se produisait une fois aux 20 ans (période de retour 20 ans) entre 1984 et 2014 deviendrait une valeur normale de Tmax entre 2071 et 2100.
- Une température de nuit considérée comme un extrême froid (TNn) qui se produisait une fois aux 50 ans entre 1984 et 2014, ne serait plus atteinte (probabilité de 1 fois sur 2500 ans) à la fin du siècle entre 2071 et 2100.

Plusieurs secteurs d'activités ont l'habitude d'utiliser des périodes de retour d'événements extrêmes dans leurs outils de prise de décision. Le concept de période de retour d'un événement pose parfois certains défis d'interprétation. Recourir aux explications proposées par (Wehner et al., 2020) pourrait certainement aplanir quelques difficultés. Ces auteurs rappellent que dans un climat stationnaire, donc sans changement, une personne serait témoin de 3 ou 4 événements de période de retour 20 ans mémorables dans le courant de sa vie. Or, vu que le climat n'est plus stationnaire en raison des changements climatiques (Wehner et al., 2020) soulignent qu'il serait plus approprié de considérer un événement de période de retour 20 ans comme ayant 5 % de probabilité de se produire durant une année.

Cette section offre un sommaire des résultats qu'il était possible d'extraire pour le Québec pour les périodes de retour 20 ans et 50 ans des températures extrêmes TXx, TXn, TNx, et TNn dans les études déjà citées dans les sections 3.3.1 à 3.3.5. Ces résultats présentés par niveaux de réchauffement planétaire se trouvent dans le tableau 7 pour les récurrences 20 ans et dans le tableau 8 pour les récurrences 50 ans. De plus, les changements pour des horizons futurs selon certains scénarios SSP se trouvent dans l'annexe B (tableaux B9 et B10). De ces tableaux, on remarque que la hausse projetée des températures extrêmes de récurrence 20 ans et 50 ans est semblable à celle des moyennes sur 30 ans respectives de TXx, TXn, TNx, et TNn (tableaux 5, 6, B7 et B8) provenant des mêmes études.

#### Période de retour

Estimation de l'intervalle de temps moyen séparant deux manifestations d'un événement d'une ampleur ou d'une intensité donnée (ou inférieure ou supérieure à cette grandeur).

Source : (IPCC, 2021b).

Synonyme : période de récurrence.

### 3 Les changements anticipés

Période de retour 20 ans (probabilité annuelle de 5 %)					
Extrême	Niveaux de réchauffement planétaire				Source
	1,5°C	2°C	3°C	4°C	
TXx	↑ 1,5 à 3,5°C	Moitié nord ↑ 3,5 à 5,5°C Moitié sud ↑ 1,5 à 3,5°C	↑ 3,5 à 5,5°C	↑ 5,5 à 7,5°C	(Wehner, 2020)
	n.d.	↑ 1 à 2°C	n.d.	↑ 4 à 6°C	(Li et al., 2021)
	n.d.	n.d.	↑ 3,3°C	n.d.	(Sobie et al, 2021)
TXn	Nunavik ↑ 5,5 à 7,5°C Ailleurs ↑ 3,5 à 5,5°C	Nunavik ↑ 5,5 à 9,5°C Ailleurs ↑ 5,5 à 7,5°C	Sud-ouest du Québec ↑ 7,5 à 9,5°C Ailleurs ↑ 9,5°C et +	↑ 9,5°C et +	(Wehner, 2020)
TNx	Partout ↑ 1,5 à 3,5°C	Partout ↑ 1,5 à 3,5°C	Partout ↑ 3,5 à 5,5°C	Nunavik ↑ 5,5 à 7,5°C Ailleurs ↑ 3,5 à 5,5°C	(Wehner, 2020)
TNn	Nunavik ↑ 5,5 à 7,5°C Ailleurs ↑ 3,5 à 5,5°C	↑ 5,5 à 7,5°C	Sag-Lac, Abitibi-Témis ↑ 7,5 à 9,5°C Ailleurs ↑ 9,5°C et +	↑ 9,5°C et +	(Wehner, 2020)
	n.d.	Nunavik ↑ 3 à 6°C Ailleurs ↑ 1 à 4°C	n.d.	Selon les régions ↑ 8 à 12°C	(Li et al., 2021)
	n.d.	n.d.	Moyenne au Québec ↑ 7,0°C	n.d.	(Sobie et al, 2021)

**Tableau 7.** Sommaire des résultats sur le Québec des changements médians dans les températures extrêmes de récurrence 20 ans issues des diverses publications scientifiques en fonction des divers niveaux du réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

### 3 Les changements anticipés

Période de retour 50 ans (probabilité annuelle de 2%)				
Extrême	Niveaux de réchauffement planétaire			
	1,5°C	2°C	3°C	4°C
TXx	n.d.	<b>↑ 1 à 3°C</b>	n.d.	<b>↑ 4 à 6°C</b>
TNx	n.d.	Nunavik <b>↑ 3 à 6°C</b> Ailleurs <b>↑ 1 à 4°C</b>	n.d.	Selon les régions <b>↑ 8 à 12°C</b>

**Tableau 8.** Sommaire des résultats sur le Québec des changements dans les températures extrêmes de récurrence 50 ans issues de (Li et al., 2021). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs de la publication sont identifiés en caractères gras.

Dans l'éventualité du respect de l'accord de Paris limitant le réchauffement planétaire à 1,5°C ou 2°C, les hausses TXx de période de retour 20 ans et 50 ans seraient de l'ordre de 1 à 3,5°C dans la plupart des régions du Québec et même jusqu'à 5,5°C au Nunavik.

Les hausses de TXn de période de retour 20 ans, qui survient généralement en hiver, sont généralement plus élevées que celles de TXx qui se produit en été. Ce résultat est cohérent avec les réchauffements hivernaux qui seront plus marqués et ceux attendus en été, présentés dans les sections précédentes. Les hausses de température des périodes de retour 20 ans de TNx et de TNn se comportent de la même manière.

Ce sont les TNn de récurrence 20 ans et 50 ans qui devraient subir les hausses les plus marquées, peu importe le niveau de réchauffement planétaire. D'ailleurs, à l'exception du Nunavik, seul le respect de l'accord de Paris limiterait les hausses de la température de la nuit la plus froide en deçà de 7,5°C.

Finalement, une équipe (Li et al., 2021) a calculé quelle serait la fréquence future des températures qui correspond aux TXx et TNn de récurrence 20 ans et 50 ans de la période historique. D'après leurs évaluations, les jours qui seraient aussi chauds que le TXx de récurrence 20 ans ou 50 ans de 1984-2014 seraient si fréquents qu'ils seraient considérés en 2071-2100 proches des valeurs moyennes de Tmax et non plus comme des extrêmes selon le SSP5-8.5 (voir l'encadré «Des températures maximales rares qui deviendront habituelles» à la page suivante).

Quant aux nuits qui seraient aussi froides que le TNn de récurrence 20 ans ou 50 ans de 1984-2014, elles seraient de 46 à 50 fois moins fréquentes vers 2071-2100, peu importe si l'on considère le SSP1-2.6 ou le SSP5-8.5. Concrètement, cela signifie que la température de la nuit la plus froide ayant annuellement une probabilité de 1/50 (ou 2%) en 1984-2014 n'aurait plus qu'une probabilité de 1/2500 (ou 0,04%) de se produire en 2071-2100 (voir l'encadré «Des températures minimales rares qui disparaîtront» à la page suivante).

## Des températures maximales rares qui deviendront habituelles



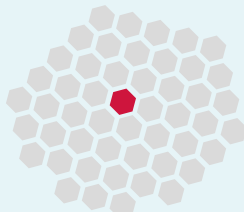
Les jours dont la température maximale serait aussi chaude :

que le TXx de période de retour 20 ans en 1984-2014...

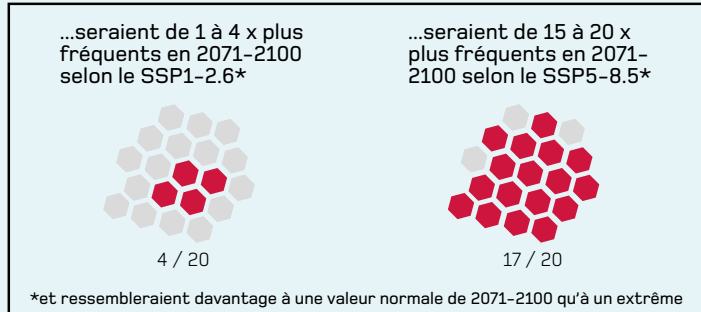


1 / 20

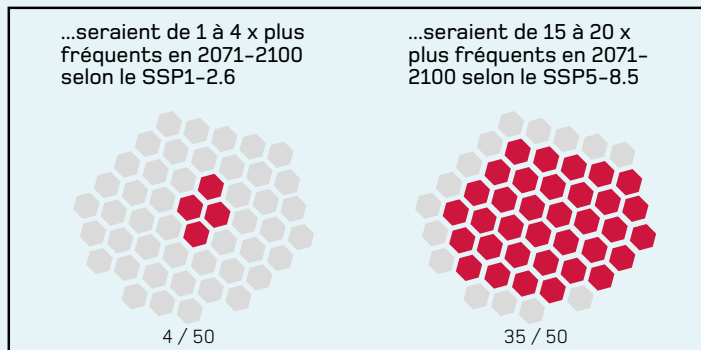
que le TXx de période de retour 50 ans en 1984-2014...



1 / 50

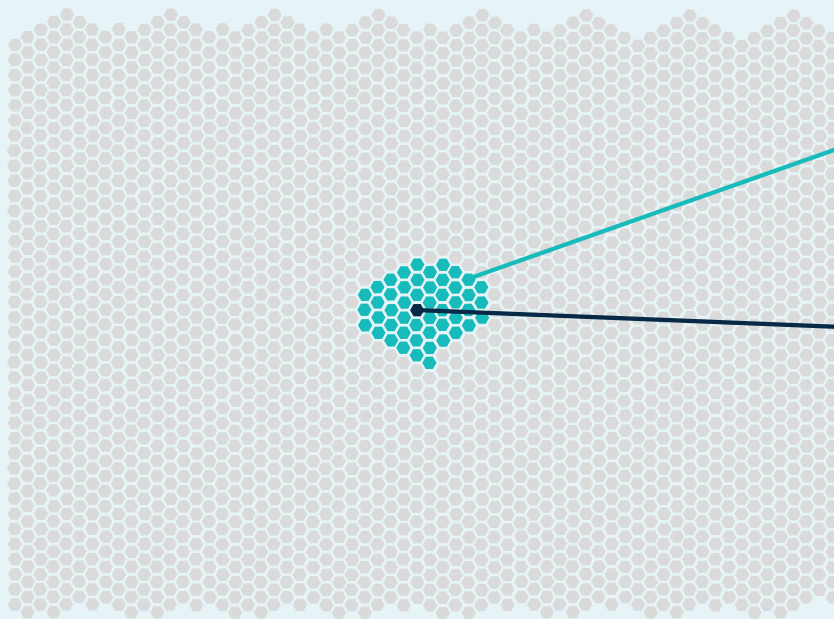


\*et ressembleraient davantage à une valeur normale de 2071-2100 qu'à un extrême



Source : Li et al., 2021.

## Des températures minimales rares qui disparaîtront



Les jours dont la température minimale serait aussi froide que le TNn de période de retour 50 ans en 1984-2014...  
50 / 2500

...seraient de 46 à 50 x moins fréquents en 2071-2100 peu importe le SSP  
1 / 2500

Source : Li et al., 2021.

# 4

## Conclusions et perspectives

Comparativement aux synthèses précédentes publiées par Ouranos, les avancées scientifiques des dernières années ont permis d'offrir un portrait un peu plus complet de l'évolution des températures au Québec. La présente synthèse repose sur des méthodologies désormais éprouvées qui ont été appliquées aux versions actualisées des données climatiques historiques ainsi qu'aux projections climatiques les plus récentes.

Il a donc été possible de mettre à jour les informations sur les normales, les extrêmes et les tendances des températures quotidiennes. Grâce à la fiabilité accrue des données observées, nous avons une meilleure idée des tendances de températures des 60 dernières années. L'ajout des informations relatives aux diverses composantes de la variabilité des températures quotidiennes constitue une première, avec l'espoir que celles-ci fournissent au moins un début de réponse à plusieurs questionnements. Tout en gardant en tête que le climat observé comporte son propre lot d'incertitudes, les valeurs historiques des normales, des composantes de la variabilité, des tendances et des extrêmes ont pu être cartographiées sur tout le Québec. Cela est désormais possible du fait que les plus récentes versions des données de réanalyses ont atteint un niveau de qualité suffisant pour pallier à la fois la faible densité des réseaux d'observation et la proportion élevée de données manquantes à certaines stations.

La section sur les changements anticipés a été élaborée avec le souci de limiter le dédoublement d'informations facilement accessibles sur la plateforme [Portraits climatiques](#) d'Ouranos. C'est pourquoi l'accent a été mis sur les cartes des changements médians projetés pour les diverses statistiques climatiques. Les résultats découlant de l'ensemble de projections ESPO-G6-R2 qui y sont présentés se situent dans la continuité des synthèses précédentes et sont cohérents avec ceux des diverses études publiées, basées sur la même génération de modèles climatiques. La littérature scientifique mettant à profit les grands ensembles de simulations climatiques a pu fournir de précieuses informations sur la direction des changements attendus des diverses composantes de la variabilité au Québec pour plusieurs saisons ainsi que pour les périodes de retour d'événements extrêmes, bien que des incertitudes subsistent sur l'amplitude de ces changements.

Plusieurs articles scientifiques récents cités dans cette synthèse laissent déjà présager de plusieurs avenues de recherches prometteuses qui devraient porter fruits dans les prochaines années. La plupart des recherches scientifiques en émergence visent bien plus large que les températures, mais c'est souvent par celles-ci que les premiers résultats encourageants se manifestent.

Sans prétendre offrir un panorama complet de la recherche en sciences du climat et encore moins une revue exhaustive de la littérature scientifique, voici un survol des travaux susceptibles d'améliorer les connaissances sur divers aspects de l'évolution des températures.



### Les données observées

Le suivi de l'évolution du climat requiert des séries de données observées de grande qualité sur de longues périodes. Ces observations sont essentielles pour améliorer l'estimation de la moyenne mondiale de la température et fournir une évaluation fiable du réchauffement déjà encouru. Leur importance est toute aussi cruciale à des échelles plus locales pour caractériser adéquatement tous les aspects du climat.

L'amélioration des séries d'observations repose sur les techniques d'homogénéisation des données observées. L'homogénéisation fait appel à plusieurs méthodes statistiques qui tentent de détecter et distinguer des discontinuités (inhomogénéités) induites par des changements d'instruments, des déplacements de stations et des changements dans les protocoles d'observation de celles provenant réellement de la variabilité ou de l'évolution du système climatique. Ces techniques sont en constante évolution comme en témoignent plusieurs publications récentes et leurs références citées (Chan et al., 2024a, 2024b; Wan et al., 2025).

Les avancées récentes et les travaux en cours portent sur l'amélioration des contrôles de qualité des observations et des méthodes de détection des discontinuités impliquant des stations voisines de plus en plus distantes. La prise en compte de séries observées d'autres variables (p.ex. température du thermomètre sec) ou de proxy (p.ex. cercles de croissance des arbres) améliore le succès de la détection des discontinuités, mais aussi la fiabilité de l'ajustement des données qui en découle. Les séries corrigées sont testées contre un nombre croissant de jeux de données à l'étape de la validation. Les procédures d'homogénéisation s'intéressent de plus en plus aux façons de combler les données manquantes dans les séries. En plus des méthodes statistiques, il est de plus en plus question de recourir aux techniques d'apprentissage machine.

Ces travaux seront particulièrement bénéfiques pour les régions du monde dans lesquelles les réseaux d'observation sont moins denses. C'est le cas d'une grande partie du Québec. Cela s'applique aussi lorsque l'on veut remonter dans le temps, notamment entre les années 1850 et 1940 pendant lesquelles les réseaux de mesures étaient considérablement moins denses et les changements d'instruments ou dans les protocoles d'observation étaient moins bien documentés. C'est durant ces périodes que les techniques d'homogénéisation diffèrent le plus les unes des autres. C'est pourquoi l'on assiste à l'émergence d'ensembles de données homogénéisées contenant quelques centaines de membres générés en perturbant les paramètres des algorithmes utilisés. Les recherches en cours devraient aussi mener à une meilleure quantification des incertitudes sur les données observées. Il y a lieu de s'attendre à des valeurs de plus en plus fiables des diverses composantes de la variabilité et des tendances. Par conséquent, toutes ces améliorations pourraient mener à des révisions de l'ampleur du réchauffement encouru depuis l'époque préindustrielle.

### Les méthodes d'analyse des extrêmes et de la variabilité

En raison de la gravité des conséquences potentielles, les événements extrêmes suscitent un intérêt accru qui stimule plusieurs axes de recherche. Les extrêmes très rares ou ayant de longues périodes de récurrence posent de plus grands défis. Certains experts développent de nouvelles approches statistiques pour combler les lacunes des méthodes existantes tandis que d'autres cherchent à améliorer les résultats des méthodes statistiques en leur fournissant des informations de nature physique (Huser et al., 2024; Kwasniok, 2021; Noyelle, Robin et al., 2024; Zeder et al., 2023).

Plusieurs études se concentrent sur des événements extrêmes particuliers. On essaie entre autres de peaufiner les méthodes permettant d'évaluer quelle serait l'ampleur dans un climat plus chaud d'un événement extrême ayant marqué une population donnée (Boé et al., 2025; Hawkins et al., 2023). Quant aux événements extrêmes ayant récemment pulvérisé des records par une forte marge, on développe des techniques pour évaluer si ces derniers seraient facilement battus dans un climat plus chaud ou si de tels événements demeureraient exceptionnels (Le Priol et al., 2024; Risbey et al., 2023).



Les scientifiques continuent d'approfondir les connaissances sur la nature et le comportement des grandes oscillations et des téléconnexions qui constituent les principaux modes de variabilité du climat. À cet égard, les travaux sur El Niño et La Niña (ENSO) sont représentatifs des avancées potentielles des prochaines années. Il est de plus en plus évident qu'il existe à tout le moins deux types d'El Niño et peut-être aussi de La Niña (Lenssen et al., 2024; Monselesan et al., 2024) et que ceux-ci affecteraient différemment plusieurs régions du monde. Par conséquent, il serait pertinent de réévaluer l'impact d'ENSO au Québec à la lumière de ces nouvelles connaissances. D'autres s'intéressent au comportement futur des modes de variabilité du climat, tel qu'ENSO, en essayant d'étudier leur comportement lorsque les GES seront stabilisés à un niveau de réchauffement planétaire donné plutôt qu'en augmentation continue plus ou moins intense (Cassidy et al., 2025; King et al., 2024).

Le coffre à outils permettant de caractériser les composantes de la variabilité et d'en comprendre les mécanismes sous-jacents ne cesse d'évoluer, car plusieurs recherches peaufinent diverses méthodes d'analyses. Une partie de ces efforts portent sur les techniques d'identification des divers régimes de circulation atmosphérique (Fernández-Granja et al., 2024; Huth et al., 2024; Spuler et al., 2024) dans lesquelles on constate un recours de plus en plus fréquent à diverses méthodes associées à l'intelligence artificielle. Non seulement ces techniques sont utiles pour l'analyse de la variabilité, mais elles contribuent aussi à la compréhension des phénomènes qui engendrent des événements extrêmes. De plus, elles bénéficient aux méthodes de détection et d'attribution des causes des changements climatiques qui prennent en compte la variabilité. D'ailleurs, les analyses de détection et d'attribution progressent, notamment en ce qui a trait à la séparation des diverses contributions.

### Les ensembles de projections climatiques

Que l'on s'intéresse à la variabilité ou aux extrêmes ou que l'on se questionne sur la possibilité de leur détecter des changements attribuables aux GES, le recours à des ensembles de projections climatiques est primordial. De nombreuses recherches récentes tentent de bonifier les approches classiques tandis que d'autres font appel, en tout ou en partie, à diverses techniques issues de l'intelligence artificielle. Leur but est d'améliorer la composition des ensembles multimodèles ou encore d'augmenter substantiellement à moindre coût la taille des grands et très grands ensembles basés sur un seul modèle. Pour ce faire, les approches statistiques telles que les générateurs stochastiques de météo (« weather generators ») (Cognot et al., 2025) sont en évolution, mais on constate aussi un attrait pour le développement d'émulateurs de modèles climatiques basés sur l'IA (Doury et al., 2023; González-Abad et al., 2023; Kendon et al., 2025).

Il y a aussi des avancées prometteuses du côté des méthodes de sélection de modèles et de correction de biais qui sont principalement appliquées aux ensembles de projections multimodèles. Par exemple, des approches visant à corriger les biais de l'ensemble de la distribution d'une variable d'intérêt plutôt qu'une seule caractéristique, comme par exemple la moyenne, suscitent beaucoup d'intérêt (Vrac et al., 2024). Une autre approche particulièrement prometteuse vise à inclure une contrainte liée aux observations dans la sélection des projections qui formeront un ensemble (Li et al., 2025a, 2025b; Ribes et al., 2025). Peu importe les méthodologies préconisées, chacune d'entre elles doit pouvoir compter sur des observations et des modèles climatiques de qualité.

### La prochaine génération de modèles climatiques

Au moment de la rédaction de ces lignes, les préparatifs pour la production des simulations climatiques dans le cadre du programme CMIP7 vont bon train. La planification des simulations à produire selon différentes configurations adaptées aux principales questions pour lesquelles la communauté scientifique souhaiterait améliorer les connaissances dans le prochain rapport du GIEC est quasi complétée (Dunne et al., 2025). Pendant ce temps, de nombreuses équipes dans les divers centres de modélisation à travers le monde, se concentrent sur l'amélioration des composantes de chacun des modèles climatiques qui feront partie de cette nouvelle génération.

Comme toujours, les attentes seront grandes envers les modèles de la génération CMIP7. D'ailleurs, leurs prédécesseurs des générations CMIP5 et CMIP6 offraient déjà de bonnes performances pour les températures au Québec. La plupart des références citées plus loin mentionnent le peu de différence entre ces deux générations de modèles bien que les modèles CMIP6 aient réussi à réduire quelques-uns des biais de température sur le Québec. Dans quelques années, il sera possible d'évaluer si les modèles CMIP7 auront maintenu et amélioré ces bonnes performances.

Cela étant dit, il sera intéressant de surveiller l'évolution de certains biais de température qui perdurent au Québec. Dans les normales, les performances sont généralement bonnes à l'exception d'un biais froid dans les T<sub>min</sub> au nord du 55<sup>e</sup> parallèle durant l'hiver et d'un biais froid dans les T<sub>max</sub> en été sur une grande partie du Québec (Sobie et al., 2021). Les modèles CMIP6 ont bien reproduit le patron de l'AQT, mais en ont légèrement sous-estimé les valeurs au Québec (Fan et al., 2020b; Wang et al., 2023; Wang et Clow, 2020).

La variabilité intraestivale de T<sub>moy</sub> au Québec pose quelques difficultés à certains modèles (Blackport et al., 2021). Quant à la variabilité interannuelle, elle est fortement surestimée en été par les modèles CMIP6 (Shi et al., 2024). Il sera intéressant de voir si les modèles CMIP7 reproduiront mieux les composantes de la variabilité estivale. La modélisation adéquate des extrêmes demeure un défi de taille pour les modèles climatiques qui en capturent bien la répartition géographique, mais ont de la difficulté à reproduire les bonnes valeurs. Les prochaines années nous apprendront ce qu'il adviendra des importants biais froids de T<sub>Xx</sub> et T<sub>Xn</sub> (Fan et al., 2020b; Li et al., 2021; Sobie et al., 2021; Wehner et al., 2020) ainsi que pour les biais froids de T<sub>Nn</sub> sur une grande partie Québec (Fan et al., 2020b; Li et al., 2021; Wehner et al., 2020).

## 4 Conclusions et perspectives

En ce qui a trait aux efforts de réduction des GES, l'actualité politique et géopolitique suscite bien des inquiétudes tandis que les impacts des changements climatiques se multiplient au Québec comme partout dans le monde. Les changements provenant de deux scénarios d'émissions de GES et pour deux horizons font autant la démonstration de ce qui pourrait nous attendre que de ce que nous pourrions éviter. Ils nous permettent d'anticiper notre avenir et de prendre des décisions ambitieuses pour intégrer la stratégie de lutte contre les changements climatiques, c'est-à-dire de diminuer les émissions de gaz à effet de serre et de mettre en place des mesures d'adaptation. Autrement dit, il nous faut apprendre à vivre avec ces changements climatiques démontrés et assurer un avenir durable et vivable à tous.



# 5 Références

- Ara Begum, R., R. Lempert, E. Ali, T.A. Benjaminsen, T. Bernauer, W. Cramer, X. Cui, K. Mach, G. Nagy, N.C. Stenseth, R. Sukumar, & P.Wester (2022). Point of Departure and Key Concepts. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 121–196, <https://doi.org/doi:10.1017/9781009325844.003>
- Bresson, É., Laprise, R., Paquin, D., Thériault, J. M., & de Elía, R. (2017). Evaluating the Ability of CRCM5 to Simulate Mixed Precipitation. *Atmosphere - Ocean*. <https://doi.org/10.1080/07055900.2017.1310084>
- Alberti-Dufort, A., Bourduas Crouhen, V., Demers-Bouffard, D., Hennigs, R., Legault, S., Cunningham, J., Larrivée, C. et Ouranos. (2022). Québec; Chapitre 2 dans Le Canada dans un climat en changement : Le rapport sur les Perspectives régionales. Gouvernement du Canada. [https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/4/2020/11/QC\\_CHAPITRE\\_FR\\_v7.pdf](https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/4/2020/11/QC_CHAPITRE_FR_v7.pdf)
- Arias, P. A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R. G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M. D., Plattner, G.-K., Rogelj, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P. W., Trewin, B., Achuta Rao, K., Adhikary, B., Allan, R. P., Armour, K., ... Zickfeld, K. (2021). Technical Summary. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 33–144). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Betts, A. K. et Ball, J. H. (1997). Albedo over the boreal forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), 28901–28909. <https://doi.org/10.1029/96JD03876>
- Blackport, R., Fyfe, J. C. et Screen, J. A. (2021). Decreasing subseasonal temperature variability in the northern extratropics attributed to human influence. *Nature Geoscience*, 14(10), 719–723. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00826-w>
- Boé, J., Bador, M. et Terray, L. (2025). A hybrid statistical-dynamical method to translate past extreme temperature days into the future climate. *Weather and Climate Extremes*, 49, 100785. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2025.100785>
- Bush, E., Bonsal, B., Derksen, C., Flato, G., Fyfe, J., Gillett, N., Greenan, B. J. W., James, T. S., Kirchmeier-Young, M., Mudryk, L. et Zhang, X. (2022). Rapport sur le climat changeant du Canada à la lumière de la plus récente évaluation scientifique mondiale. Gouvernement du Canada. <https://ostrnrcan-dostrncan.canada.ca/entities/publication/202d7ab7-4bdb-42bf-928b-1de38229f986>
- Bush, E. et Lemmen, D. S. (dir.). (2019). Rapport sur le climat changeant du Canada. Gouvernement du Canada. <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>
- Cassidy, L. J., King, A. D., Brown, J. R., Ziehn, T. et Borowiak, A. (2025). Evolution of Heat Extremes Under Net-Zero CO2 Emissions. *Earth's Future*, 13(5), e2024EF005399. <https://doi.org/10.1029/2024EF005399>
- Chan, D., Gebbie, G. et Huybers, P. (2024a). An Improved Ensemble of Land Surface Air Temperatures Since 1880 Using Revised Pair-Wise Homogenization Algorithms Accounting for Autocorrelation. *Journal of Climate*, 37(7), 2325–2345. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0338.1>
- Chan, D., Gebbie, G., Huybers, P. et Kent, E. C. (2024b). A Dynamically Consistent ENsemble of Temperature at the Earth surface since 1850 from the DCENT dataset. *Scientific Data*, 11(1), 953. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03742-x>

- Chen, D., Rojas, M., Samset, B. H., Cobb, K., Diongue Niang, A., Edwards, P., Emori, S., Faria, S. H., Hawkins, E., Hope, P., Huybrechts, P., Meinshausen, M., Mustafa, S. K., Plattner, G.-K. et Tréguier, A.-M. (2021). Framing, Context, and Methods. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 147-286). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.003>
- Cognot, C., Bel, L., Métivier, D. et Parey, S. (2025). A spatio-temporal weather generator for the temperature over France. *Advances in Statistical Climatology, Meteorology and Oceanography*, 11(2), 203-228. <https://doi.org/10.5194/ascmo-11-203-2025>
- Copernicus. (2025, 14 mars). OBSERVER: Copernicus Climate Change Service tracks record atmospheric moisture and sea surface temperatures in 2024. <https://www.copernicus.eu/fr/node/81390>
- Copernicus Climate Change Service. (2019). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/CDS.E2161BAC>
- Coquereau, A., Sévellec, F., Huck, T., Hirschi, J. J.-M. et Hochet, A. (2024). Anthropogenic Changes in Interannual-to-Decadal Climate Variability in CMIP6 Multiensemble Simulations. *Journal of Climate*, 37(14), 3723-3739. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0606.1>
- Di Luca, A., de Elía, R., Bador, M. et Argüeso, D. (2020). Contribution of mean climate to hot temperature extremes for present and future climates. *Weather and Climate Extremes*, 28, 100255. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100255>
- Doury, A., Somot, S., Gadat, S., Ribes, A. et Corre, L. (2023). Regional climate model emulator based on deep learning: concept and first evaluation of a novel hybrid downscaling approach. *Climate Dynamics*, 60(5), 1751-1779. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06343-9>
- Dunne, J. P., Hewitt, H. T., Arblaster, J. M., Bonou, F., Boucher, O., Cavazos, T., Dingley, B., Durack, P. J., Hassler, B., Jukes, M., Miyakawa, T., Mizielinski, M., Naik, V., Nicholls, Z., O'Rourke, E., Pincus, R., Sanderson, B. M., Simpson, I. R. et Taylor, K. E. (2025). An evolving Coupled Model Intercomparison Project phase 7 (CMIP7) and Fast Track in support of future climate assessment. *Geoscientific Model Development*, 18(19), 6671-6700. <https://doi.org/10.5194/gmd-18-6671-2025>
- Fan, X., Duan, Q., Shen, C., Wu, Y. et Xing, C. (2020a). Global surface air temperatures in CMIP6: historical performance and future changes. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104056. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb051>
- Fan, X., Miao, C., Duan, Q., Chenwei Shen et Wu, Y. (2020b). The Performance of CMIP6 Versus CMIP5 in Simulating Temperature Extremes Over the Global Land Surface. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(18), e2020JD033031. <https://doi.org/10.1029/2020JD033031>
- Fernández-Granja, J. A., Bedia, J., Casanueva, A., Brands, S. et Fernández, J. (2024). The signature of the main modes of climatic variability as revealed by the Jenkinson-Collision classification over Europe. *International Journal of Climatology*, 44(11), 4076-4088. <https://doi.org/10.1002/joc.8569>
- Gasset, N., Fortin, V., Dimitrijevic, M., Carrera, M., Bilodeau, B., Muncaster, R., Gaborit, É., Roy, G., Pentcheva, N., Bulat, M., Wang, X., Pavlovic, R., Lespinas, F., Khedhaouria, D. et Mai, J. (2021). A 10km North American precipitation and land-surface reanalysis based on the GEM atmospheric model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(9), 4917-4945. <https://doi.org/10.5194/hess-25-4917-2021>
- Gasset, N., Khedhaouria, D., Fortin, V., Lauer, A., Dimitrijevic, M., Bulat, M., Pentcheva, N., Wang, X. et Muncaster, R. (2025, 28 janvier). Réanalyse canadienne de surface (RCaS- CaSR) version 3.1 d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). Symposium Ouranos 2025, Montréal. [https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2025-02/03\\_Gasset\\_Nicolas\\_Jour\\_1\\_Salle2\\_session9\\_16h.pdf](https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2025-02/03_Gasset_Nicolas_Jour_1_Salle2_session9_16h.pdf)

- González-Abad, J., Baño-Medina, J. et Gutiérrez, J. M. (2023). Using Explainability to Inform Statistical Down-scaling Based on Deep Learning Beyond Standard Validation Approaches. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 15(11), e2023MS003641. <https://doi.org/10.1029/2023MS003641>
- Gutiérrez, J. M., Jones, R. G., Narisma, G. T., Alves, L. M., Amjad, M., Gorodetskaya, I. V., Grose, M., Klutse, N. A. B., Krakovska, S., Li, J., Martínez-Castro, D., Mearns, L. O., Mernild, S. H., Ngo-Duc, T., van den Hurk, B. et Yoon, J.-H. (2021). Atlas. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 1927-2058). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.021>
- Hawkins, E., Compo, G. P. et Sardeshmukh, P. D. (2023). ESD Ideas: Translating historical extreme weather events into a warmer world. *Earth System Dynamics*, 14(5), 1081-1084. <https://doi.org/10.5194/esd-14-1081-2023>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Huang, X., Dunn, R. J. H., Li, L. Z. X., McVicar, T. R., Azorin-Molina, C. et Zeng, Z. (2023). Increasing Global Terrestrial Diurnal Temperature Range for 1980–2021. *Geophysical Research Letters*, 50(11), e2023GL103503. <https://doi.org/10.1029/2023GL103503>
- Hurrell, J. W., Kushnir, Y., Ottensen, G. et Visbeck, M. (2003). The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. *Geophysical Monograph Series*, 134. <https://doi.org/10.1029/GM134>
- Huser, R., Opitz, T. et Wadsworth, J. (2024, 30 janvier). Modeling of spatial extremes in environmental data science: Time to move away from max-stable processes. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.17430>
- Huth, R., Stryhal, J. et Krauskopf, T. (2024). Classifications of atmospheric circulation patterns as a tool for explaining asymmetry of day-to-day temperature difference (p. 10222). *European Geosciences Union General Assembly 2024 (EGU24)*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-10222>
- IPCC. (2021a). Annex IV: Modes of Variability [Cassou, C., A. Cherchi, Y. Kosaka (eds.)]. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 2153-2192). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.018>
- IPCC. (2021b). Annex VII: Glossary [Matthews, J.B.R., V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.)]. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 2215-2256). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.022>
- IPCC. (2021c). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (vol. In Press). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC. (2021d). Summary for Policymakers. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 3–32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>

- Isabelle, P.-E., Nadeau, D. F., Asselin, M.-H., Harvey, R., Musselman, K. N., Rousseau, A. N. et Anctil, F. (2018). Solar radiation transmittance of a boreal balsam fir canopy: Spatiotemporal variability and impacts on growing season hydrology. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.agr-formet.2018.07.022>
- James, R. P. et Arguez, A. (2015). On the Estimation of Daily Climatological Temperature Variance. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32(12), 2297-2304. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0086.1>
- Kendon, E. J., Addison, H., Doury, A., Somot, S., Watson, P. A. G., Booth, B. B. B., Coppola, E., Gutiérrez, J. M., Murphy, J. et Scullion, C. (2025). Potential for Machine Learning Emulators to Augment Regional Climate Simulations in Provision of Local Climate Change Information. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 106(6), E1175-E1203. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0114.1>
- Khedhaouria, D., Gasset, N., Fortin, V., Dimitrijevic, M., Lauer, A. et Bulat, M. (s. d.). Canadian Surface Reanalysis [CaSR] V3: ECCO hourly 0.1° surface reanalysis across North America. (en préparation).
- King, A. D., Ziehn, T., Chamberlain, M., Borowiak, A. R., Brown, J. R., Cassidy, L., Dittus, A. J., Grose, M., Maher, N., Paik, S., Perkins-Kirkpatrick, S. E. et Sengupta, A. (2024). Exploring climate stabilisation at different global warming levels in ACCESS-ESM-1.5. *Earth System Dynamics*, 15(5), 1353-1383. <https://doi.org/10.5194/esd-15-1353-2024>
- Klein Tank, Albert M. G., Zwiers, Francis W. et Zhang, Xuebin. (2009). Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation (WMO-TD No. 1500). World Meteorological Organization.
- Kotz, M., Wenz, L. et Levermann, A. (2021). Footprint of greenhouse forcing in daily temperature variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(32), e2103294118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2103294118>
- Krakauer, N. Y. (2023). Amplification of Extreme Hot Temperatures over Recent Decades. *Climate*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/cli11020042>
- Kwasniok, F. (2021). Robust extreme value analysis by semiparametric modelling of the entire distribution range. Dans *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. EGU21-15271). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-15271>
- Lavoie, J., Bourgault, P., Smith, T. J., Logan, T., Leduc, M., Caron, L.-P., Gammon, S. et Braun, M. (2024). An ensemble of bias-adjusted CMIP6 climate simulations based on a high-resolution North American reanalysis. *Scientific Data*, 11(1), 64. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02855-z>
- Le Priol, C., Monteiro, J. M. et Bouchet, F. (2024). Using rare event algorithms to understand the statistics and dynamics of extreme heatwave seasons in South Asia. *Environmental Research : Climate*, 3(4), 045016. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/ad8027>
- Lee, J.-Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S. et Zhou, T. (2021). Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. Dans V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu et B. Zhou (dir.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 553-672). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Lenssen, N., DiNezio, P., Goddard, L., Deser, C., Kushnir, Y., Mason, S. J., Newman, M. et Okumura, Y. (2024). Strong El Niño Events Lead to Robust Multi-Year ENSO Predictability. *Geophysical Research Letters*, 51(12), e2023GL106988. <https://doi.org/10.1029/2023GL106988>
- Li, C., Zwiers, F. W., Zhang, X., Fischer, E. M., Du, F., Liu, J., Wang, J., Liang, Y., Li, T. et Yuan, L. (2025a). Constraining the entire Earth system projections for more reliable climate change adaptation planning. *Science Advances*, 11(9), eadr5346. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr5346>

- Li, C., Zwiers, F., Zhang, X., Li, G., Sun, Y. et Wehner, M. (2021). Changes in Annual Extremes of Daily Temperature and Precipitation in CMIP6 Models. *Journal of Climate*, 34(9), 3441-3460.  
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1013.1>
- Li, T., Zwiers, F. W., Zhang, X. et Wang, X. (2025b). Constrained Estimates of Externally Forced Past and Future Warming for Canada. *Earth's Future*, 13(10), e2025EF006374. <https://doi.org/10.1029/2025EF006374>
- Lindsay, R. et Dahlman, L. (2009). Climate variability: North Atlantic Oscillation. *Understanding Climate*.  
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-north-atlantic-oscillation>
- Liu, J., Feng, X., Gu, X., Zhang, J., Slater, L. J. et Kong, D. (2022). Detection and Attribution of Human Influence on the Global Diurnal Temperature Range Decline. *Geophysical Research Letters*, 49(13), e2021GL097155.  
<https://doi.org/10.1029/2021GL097155>
- Mahmood, R., King, J., Music, B. et Côté, H. (2024). How Skilful Are Cloud Cover Products in Representing Observed Cloudiness in Québec? *Atmosphere-Ocean*, 62(5), 360-371.  
<https://doi.org/10.1080/07055900.2024.2425859>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. et Waterfield, T. (dir.). (2018). Summary for Policymakers. Dans *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* (1re éd., p. 3-24). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157940>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. et Waterfield, T. (dir.). (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15\\_Full\\_Report\\_HR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_HR.pdf)
- Meredith, M., Sommerkorn, M., Cassotta, S., Derksen, C., Ekaykin, A., Hollowed, A., Kofinas, G., Mackintosh, A., Melbourne-Thomas, J., Muelbert, M.M.C., Ottersen, G., Pritchard, H. et Schuur, E.A.G. (2019). Polar Regions. Cambridge Core. Dans Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegria, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B. et Weyer, N.M. (dir.), *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (p. 203-320). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/9781009157964.005>
- Monselesan, D. P., Risbey, J. S., Legresy, B., Cravatte, S., Pagli, B., Izumo, T., Chapman, C. C., Freund, M., Hannachi, A., Irving, D., Reddy, P. J., Richardson, D., Squire, D. T. et Tozer, C. R. (2024, 12 juin). On the archetypal 'flavours', indices and teleconnections of ENSO revealed by global sea surface temperatures. arXiv.  
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.08694>
- Morin, D. (2022). Effets de la variabilité naturelle sur les tendances observées pour la neige dans le Nord du Québec et au Labrador [Université du Québec à Montréal].
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C. et Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- NCEI. (s. d.). North Atlantic Oscillation (NAO). National Centers for Environmental Information.  
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/nao/>

- Noyelle, Robin, Robin, Yoann, Naveau, Philippe, Yiou, Pascal et Faranda, Davide. (2024, 27 février). Integration of physical bound constraints to alleviate shortcomings of statistical models for extreme temperatures. HAL. <https://hal.science/hal-04479249>
- Olonscheck, D., Schurer, A. P., Lücke, L. et Hegerl, G. C. (2021). Large-scale emergence of regional changes in year-to-year temperature variability by the end of the 21st century. *Nature Communications*, 12(1), 7237. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27515-x>
- Ouranos. Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2022-12/proj-201419-synthese2015-rapportcomplet.pdf> 2015.
- Ouranos. Guide de recommandations scientifiques visant à faciliter l'utilisation de projections climatiques. [https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2024-01/Guide\\_de\\_recommandations\\_scientifiques\\_visant\\_a\\_faciliter\\_utilisation\\_de\\_projections\\_climatiques.pdf](https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2024-01/Guide_de_recommandations_scientifiques_visant_a_faciliter_utilisation_de_projections_climatiques.pdf) 2024.
- Pithan, F. et Mauritsen, T. (2014). Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geoscience*, 7(3), 181-184. <https://doi.org/10.1038/ngeo2071>
- Previdi, M., Smith, K. L. et Polvani, L. M. (2021). Arctic amplification of climate change: a review of underlying mechanisms. *Environmental Research Letters*, 16(9), 093003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c29>
- Rantanen, M., Karpechko, A. Yu., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T. et Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Ribes, A., Tessiot, O., Forster, P. M., Gillett, N. P., Masson-Delmotte, V., Rogelj, J., Vautard, R. et Walsh, T. (2025). Towards annual updating of forced warming to date and constrained climate projections. *Nature Communications*, 16(1), 9214. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-63026-9>
- Risbey, J. S., Irving, D. B., Squire, D. T., Matear, R. J., Monselesan, D. P., Pook, M. J., Ramesh, N., Richardson, D. et Tozer, C. R. (2023). A large ensemble illustration of how record-shattering heat records can endure. *Environmental Research: Climate*, 2(3), 035003. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/acd714>
- Santer, B. D., Thorne, P. W., Haimberger, L., Taylor, K. E., Wigley, T. M. L., Lanzante, J. R., Solomon, S., Free, M., Gleckler, P. J., Jones, P. D., Karl, T. R., Klein, S. A., Mears, C., Nychka, D., Schmidt, G. A., Sherwood, S. C. et Wentz, F. J. (2008). Consistency of modelled and observed temperature trends in the tropical troposphere. *International Journal of Climatology*, 28(13), 1703-1722. <https://doi.org/10.1002/joc.1756>
- Shi, J., Tian, Z., Lang, X. et Jiang, D. (2024). Projected changes in the interannual variability of surface air temperature using CMIP6 simulations. *Climate Dynamics*, 62(1), 431-446. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06923-3>
- Sobie, S. R., Zwiers, F. W. et Curry, C. L. (2021). Climate Model Projections for Canada: A Comparison of CMIP5 and CMIP6. *Atmosphere-Ocean*, 59(4-5), 269-284. <https://doi.org/10.1080/07055900.2021.2011103>
- Spuler, F. R., Kretschmer, M., Kovalchuk, Y., Balmaseda, M. A. et Shepherd, T. G. (2024). Identifying probabilistic weather regimes targeted to a local-scale impact variable. *Environmental Data Science*, 3, e25. <https://doi.org/10.1017/eds.2024.29>
- Srivastava, A. K., Wehner, M., Bonfils, C., Ullrich, P. A. et Risser, M. (2024). Local hydroclimate drives differential warming rates between regular summer days and extreme hot days in the Northern Hemisphere. *Weather and Climate Extremes*, 100709. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2024.100709>
- Sun, X., Ren, G., You, Q., Ren, Y., Xu, W., Xue, X., Zhan, Y., Zhang, S. et Zhang, P. (2019). Global diurnal temperature range (DTR) changes since 1901. *Climate Dynamics*, 52(5), 3343-3356. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4329-6>

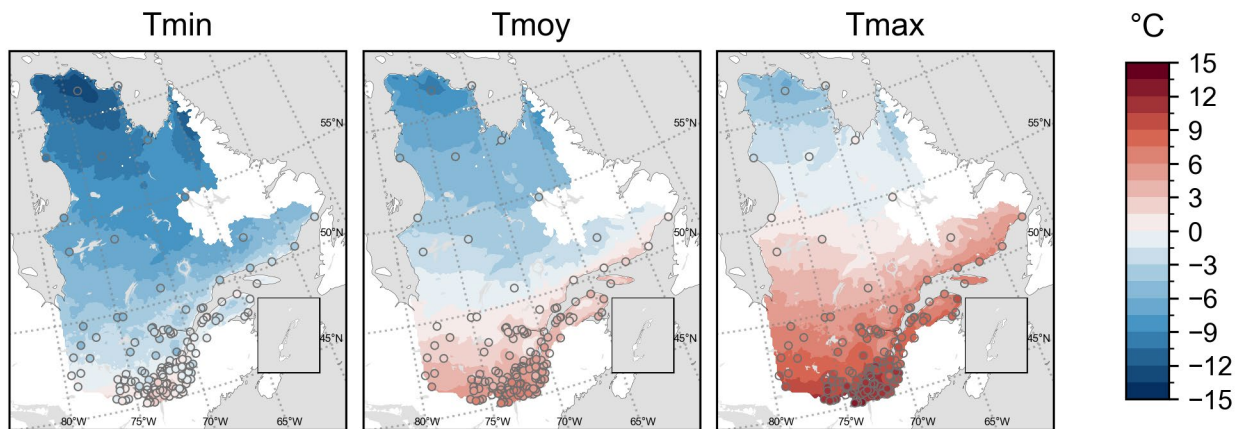
- Taylor, P. C., Boeke, R. C., Boisvert, L. N., Feldl, N., Henry, M., Huang, Y., Langen, P. L., Liu, W., Pithan, F., Sejas, S. A. et Tan, I. (2022). Process Drivers, Inter-Model Spread, and the Path Forward: A Review of Amplified Arctic Warming. *Frontiers in Earth Science*, Volume 9-2021. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.758361>
- Vincent, L. A., Hartwell, M. M. et Wang, X. L. (2020). A Third Generation of Homogenized Temperature for Trend Analysis and Monitoring Changes in Canada's Climate. *Atmosphere-Ocean*, 58(3), 173-191. <https://doi.org/10.1080/07055900.2020.1765728>
- Vrac, M., Allard, D., Mariéthoz, G., Thao, S. et Schmutz, L. (2024). Distribution-based pooling for combination and multi-model bias correction of climate simulations. *Earth System Dynamics*, 15(3), 735-762. <https://doi.org/10.5194/esd-15-735-2024>
- Wan, H., Kirchmeier-Young, M. C. et Zhang, X. (2021). Human influence on daily temperature variability over land. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1cb9>
- Wan, H., Spassiani, A. C. et Vincent, L. A. (2025). Canada's Fourth Generation of Homogenized Surface Air Temperature and its Trends for 1948–2023. *Atmosphere-Ocean*, 63(4), 223-240. <https://doi.org/10.1080/07055900.2025.2516796>
- Wang, K. et Clow, G. D. (2020). The Diurnal Temperature Range in CMIP6 Models: Climatology, Variability, and Evolution. *Journal of Climate*, 33(19), 8261-8279. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0897.1>
- Wang, R., Gentine, P., Li, L., Chen, J., Ning, L., Yuan, L. et Lü, G. (2022). Observational Evidence of Regional Increasing Hot Extreme Accelerated by Surface Energy Partitioning. *Journal of Hydrometeorology*, 23(3), 491-501. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-21-0114.1>
- Wang, Y.-R., Samset, B. H., Stordal, F., Bryn, A. et Hessen, D. O. (2023). Past and future trends of diurnal temperature range and their correlation with vegetation assessed by MODIS and CMIP6. *Science of The Total Environment*, 904, 166727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166727>
- Wehner, M. F. (2020). Characterization of long period return values of extreme daily temperature and precipitation in the CMIP6 models: Part 2, projections of future change. *Weather and Climate Extremes*, 30, 100284. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100284>
- Wehner, M., Gleckler, P. et Lee, J. (2020). Characterization of long period return values of extreme daily temperature and precipitation in the CMIP6 models: Part 1, model evaluation. *Weather and Climate Extremes*, 30, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100283>
- WMO. (2009). Handbook on CLIMAT and CLIMAT TEMP Reporting. World Meteorological Organization (WMO). [https://library.wmo.int/viewer/45360/download?file=wmo-td\\_1188\\_en.pdf&type=pdf&navigator=1](https://library.wmo.int/viewer/45360/download?file=wmo-td_1188_en.pdf&type=pdf&navigator=1)
- World Meteorological Organization. (1992). International meteorological vocabulary = Vocabulaire météorologique internationale = Mezhdunarodnyĭ meteorologicheskii slovar = Vocabulario meteorológico internacional. Second edition. Geneva, Switzerland : Secretariat of the World Meteorological Organization, 1992. <https://search.library.wisc.edu/catalog/999703461102121>
- Zeder, J., Sippel, S., Pasche, O. C., Engelke, S. et Fischer, E. M. (2023). The Effect of a Short Observational Record on the Statistics of Temperature Extremes. *Geophysical Research Letters*, 50(16), e2023GL104090. <https://doi.org/10.1029/2023GL104090>

# Annexes

## Annexe A.

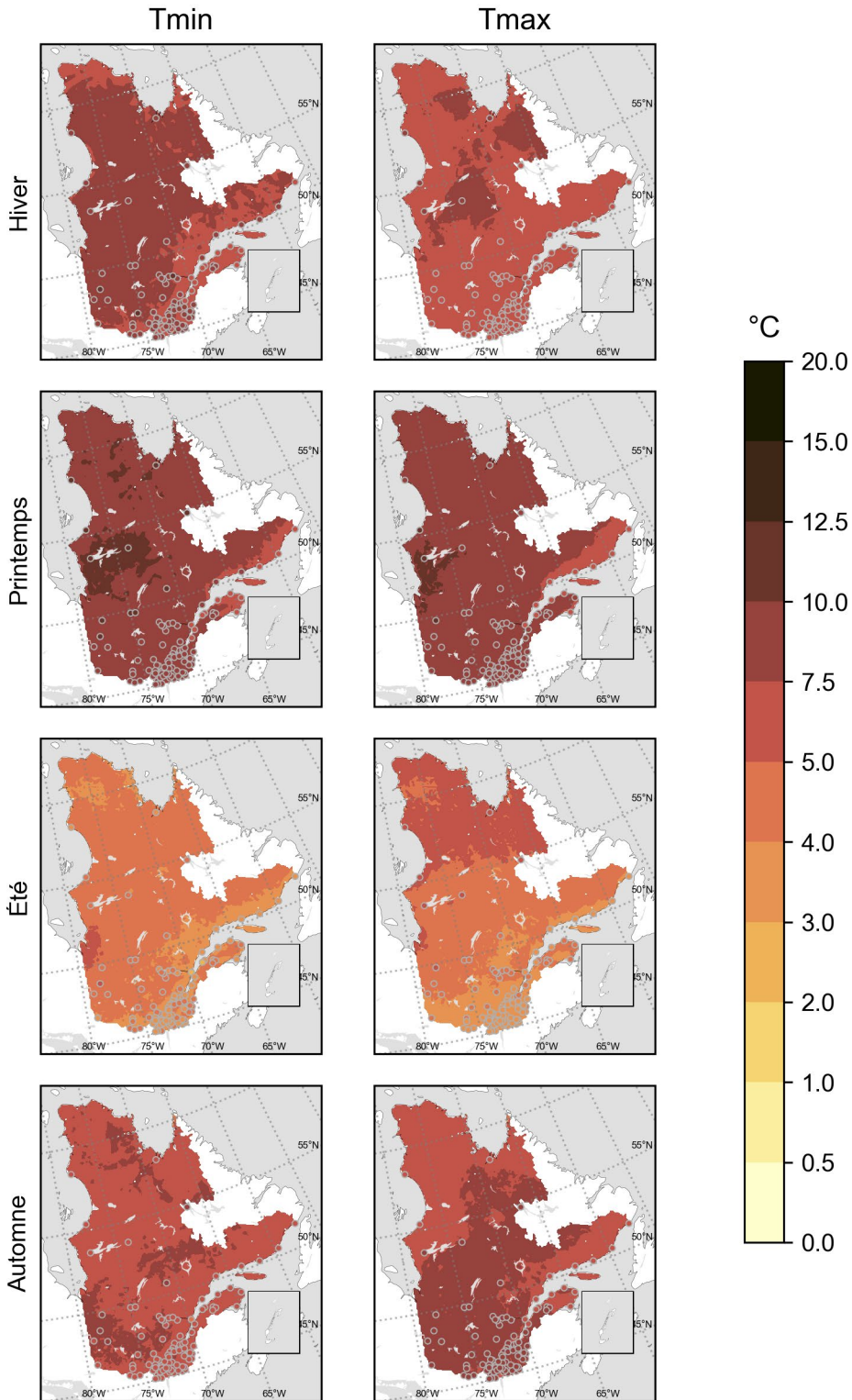
# Figures supplémentaires pour le climat observé

Normales annuelles 1991-2020



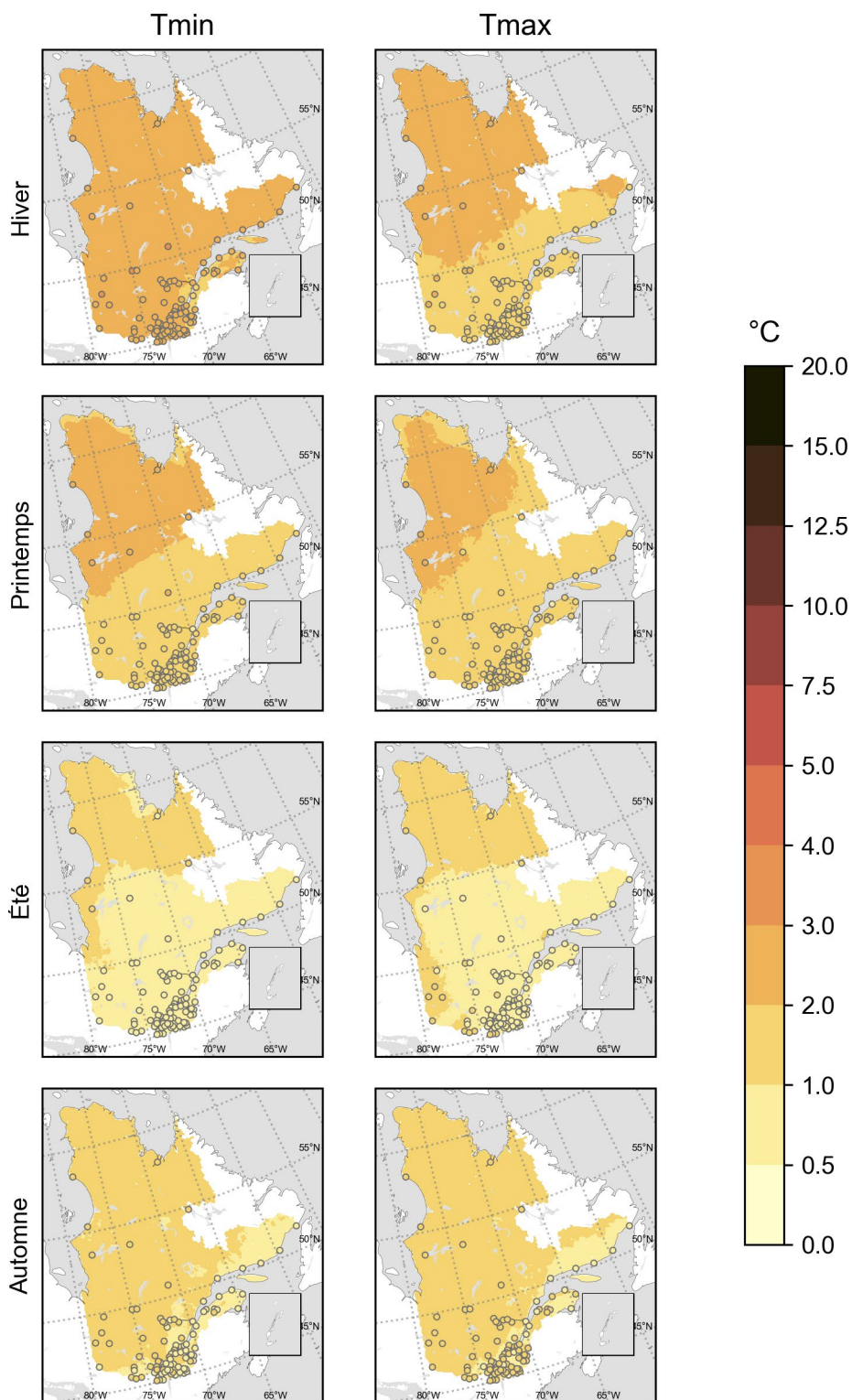
**Figure A1.** Normales annuelles 1991-2020 des températures quotidiennes minimales (Tmin), moyennes (Tmoy) et maximales (Tmax) observées selon les données RCaS v3.1 et DCCA 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C5 de l'annexe C.

Écarts-types intrasaisonniers 1991-2020



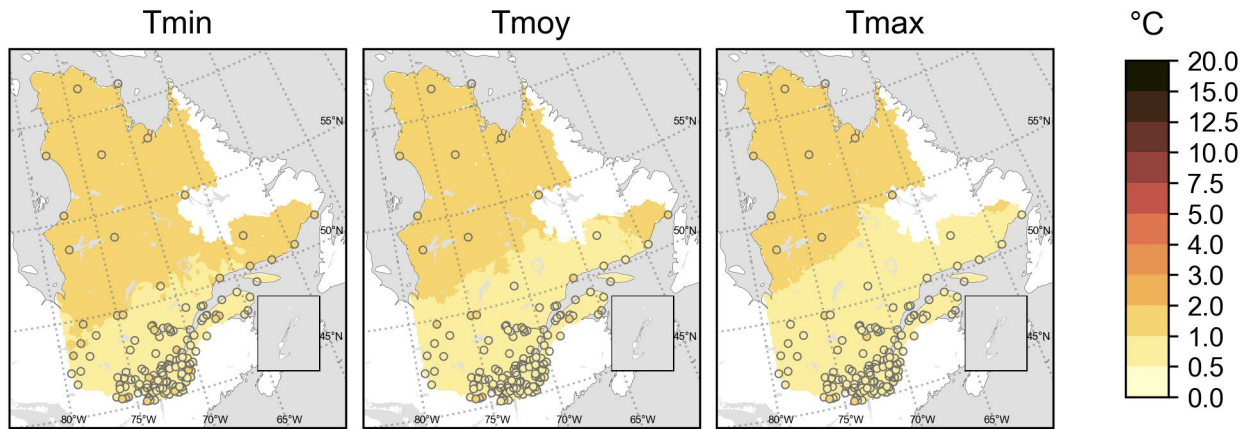
**Figure A2.** Écarts-types intrasaisonniers 1991-2020 de la température minimale (Tmin) et maximale (Tmax) quotidienne observée selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C7 de l'annexe C.

## Écarts-types interannuels 1991-2020



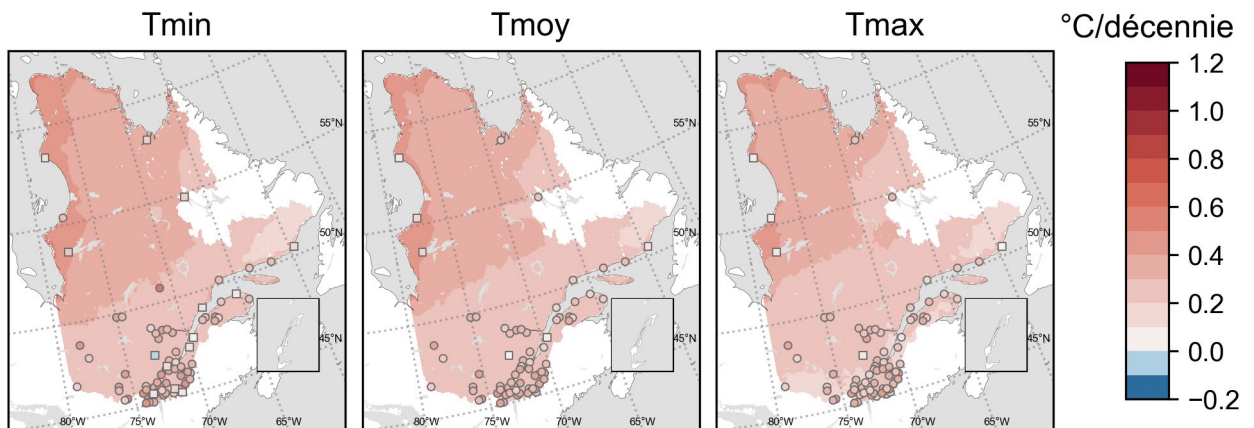
**Figure A3.** Écarts-types interannuels 1991-2020 de chaque moyenne saisonnière de la température minimale (Tmin) et maximale (Tmax) quotidienne observée selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C8 de l'annexe C.

## Écarts-types interannuels 1991-2020



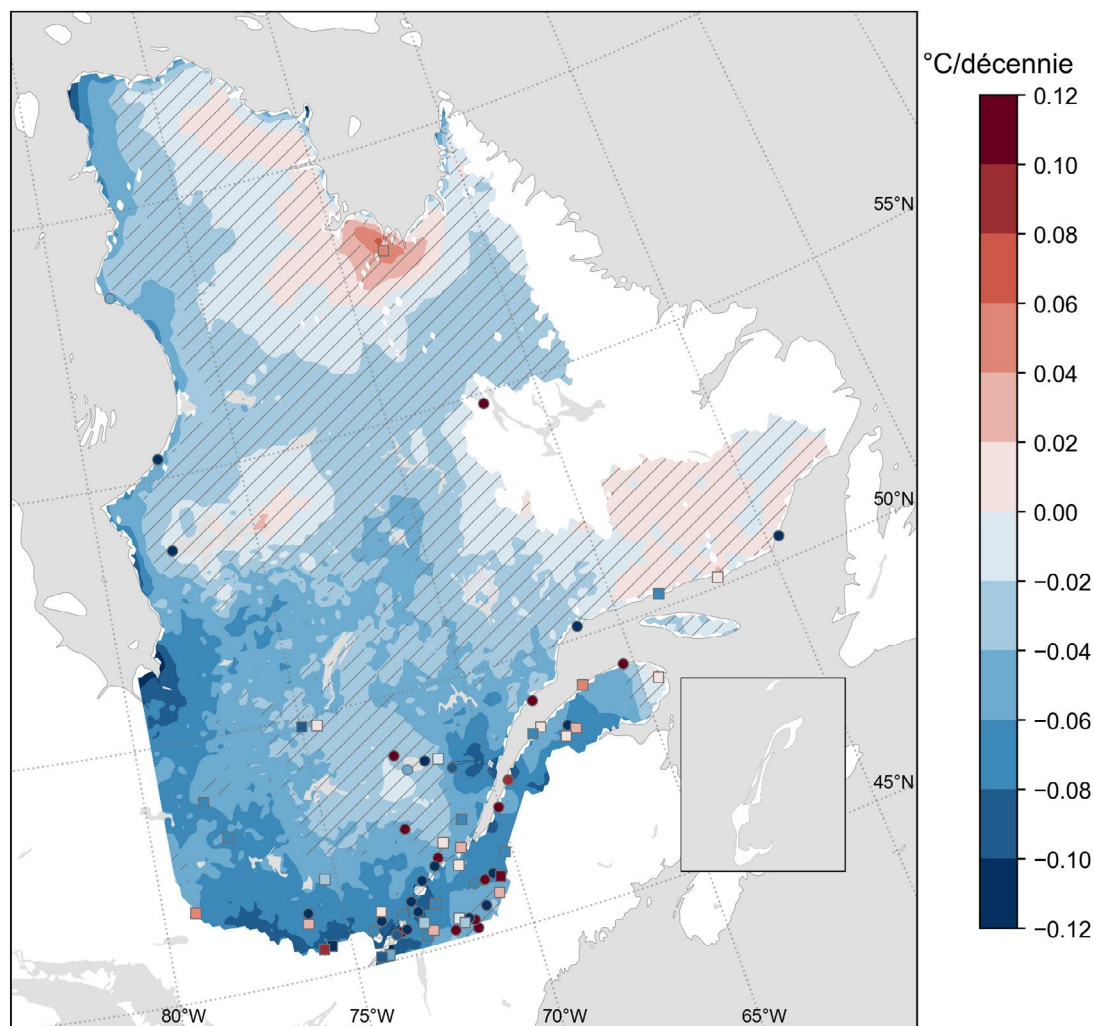
**Figure A4.** Écarts-types interannuels 1991-2020 de la moyenne annuelle des températures minimales (Tmin), moyennes (Tmoy) et maximales (Tmax) quotidiennes observées selon les données RCaS v3.1 et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Méthodologie décrite à la fiche C9 de l'annexe C.

## Tendances annuelles 1961-2020



**Figure A5.** Tendances linéaires 1961-2020 des moyennes annuelles de Tmin, Tmoy et Tmax observées, calculées à partir des données ERA5-Land et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95%). Méthodologie décrite à la fiche C13 de l'annexe C.

## Tendances annuelles AQT 1961-2020

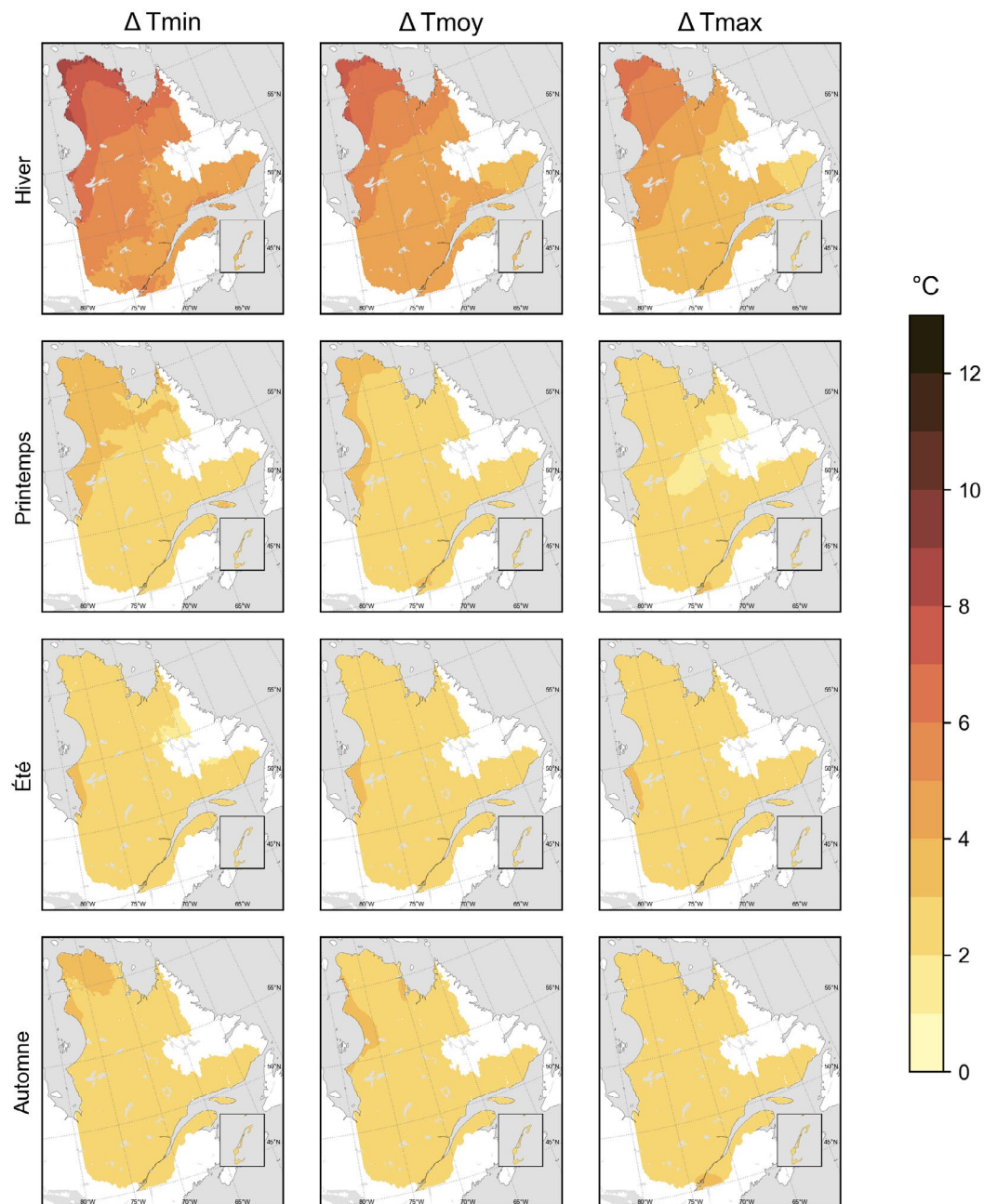


**Figure A6.** Tendances linéaires 1961-2020 de la moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température observée, calculées à partir des données ERA5-Land et DCCA3 3<sup>e</sup> génération. Les symboles carrés et les zones hachurées correspondent à des tendances statistiquement non significatives (niveau 95%). Méthodologie décrite à la fiche C15 de l'annexe C.

# Annexe B.

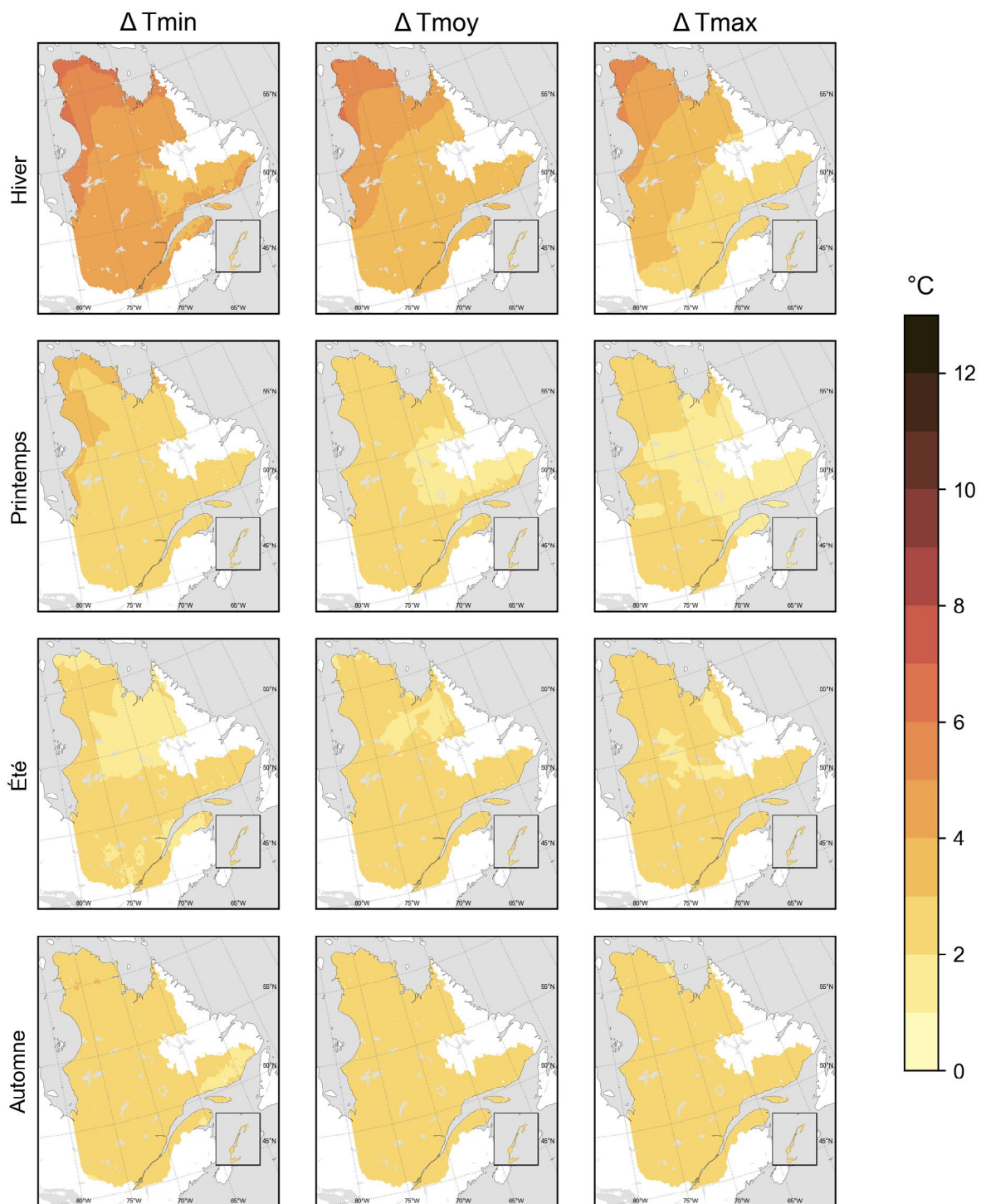
## Figures et tableaux supplémentaires sur les changements anticipés

2071-2100 : SSP2-4.5



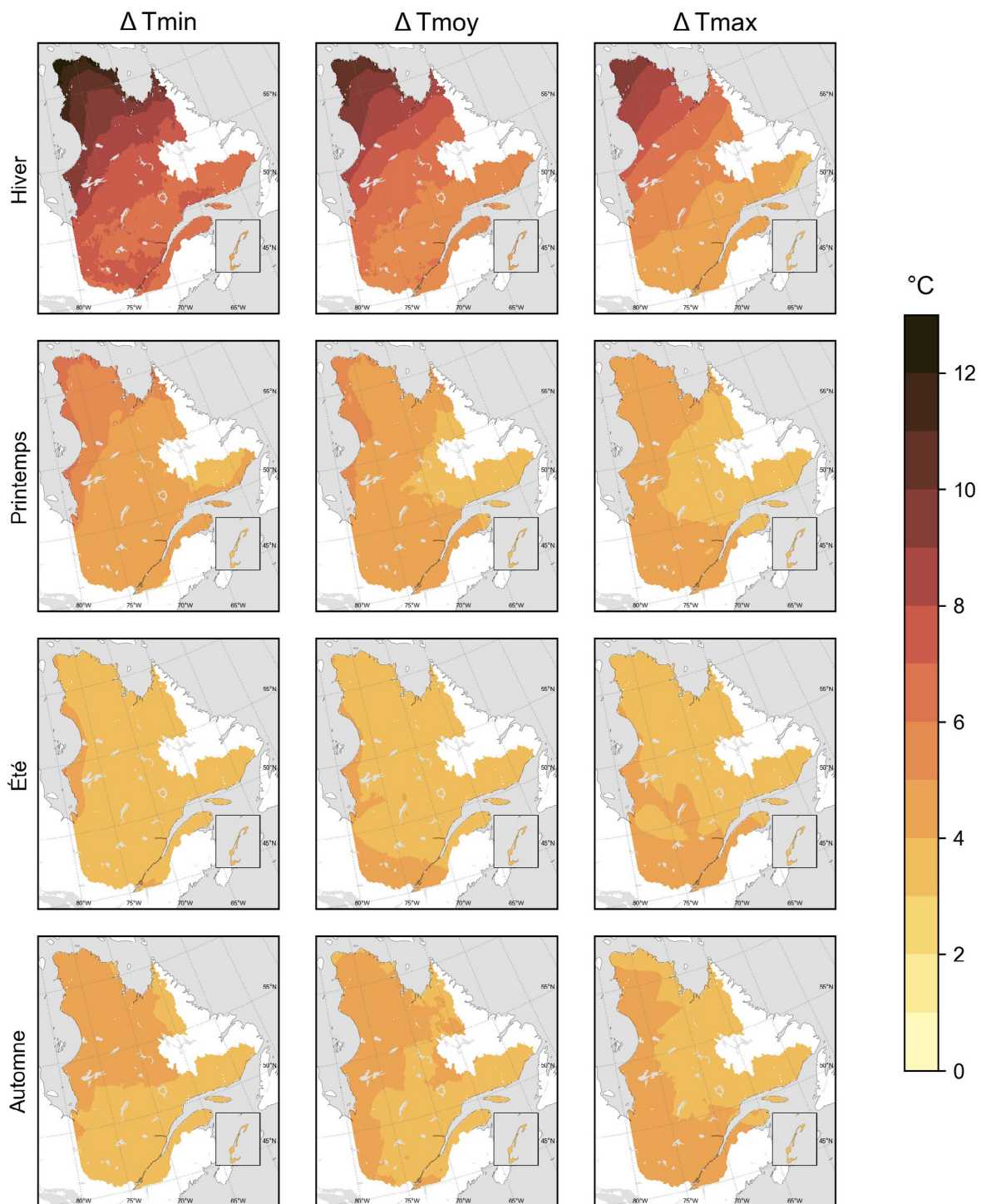
**Figure B1.** Changements médians dans les normales saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax entre 2071-2100 et 1991-2020 calculés à partir des données ESPO-G6-R2 pour le scénario d'émissions des GES SSP2-4.5. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C20 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

2041-2070 : SSP3-7.0

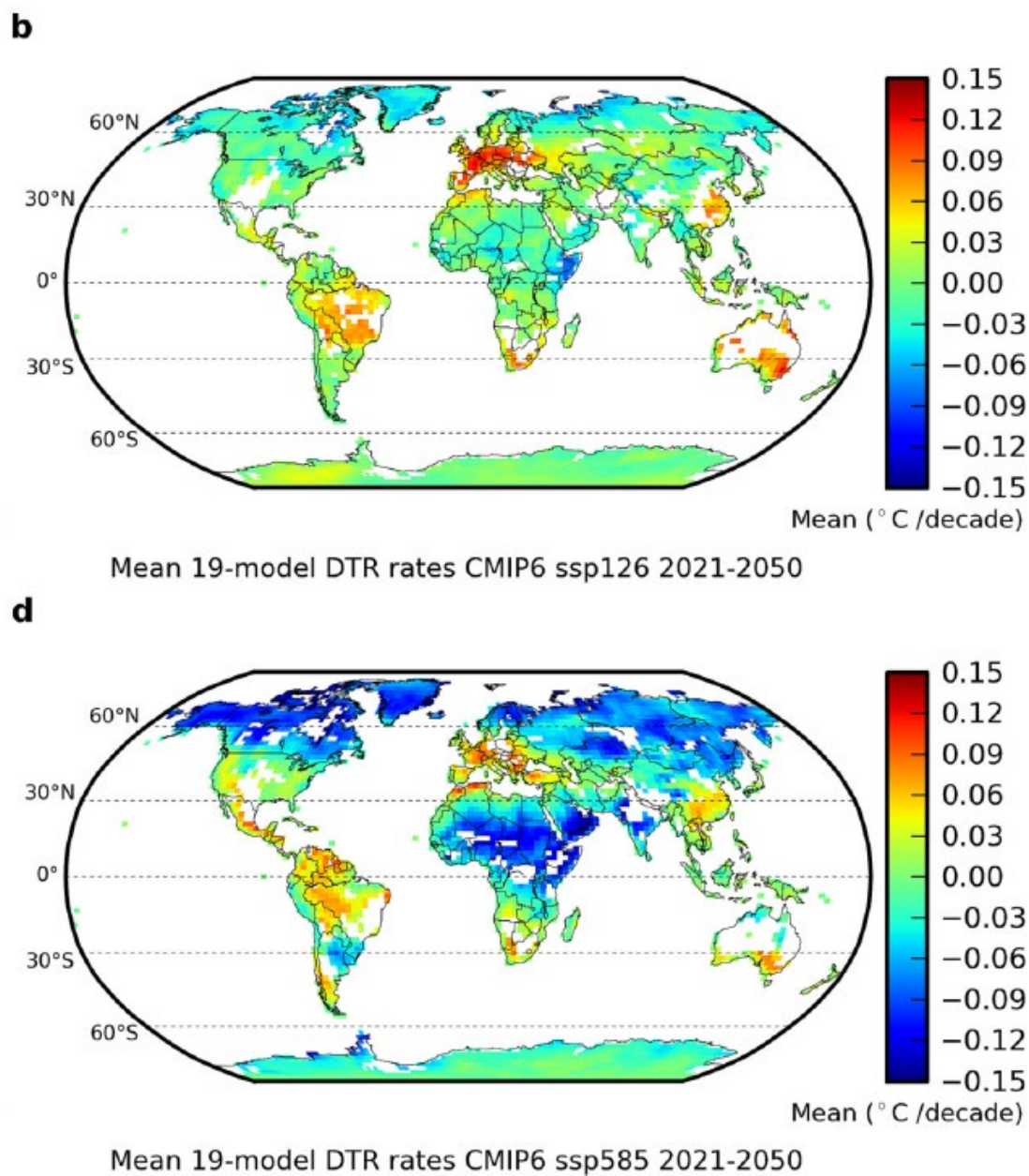


**Figure B2.** Changements médians dans les normales saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax entre 2041-2071 et 1991-2020 calculés à partir des données ESPO-G6-R2 pour le scénario d'émissions des GES SSP3-7.0. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C20 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.

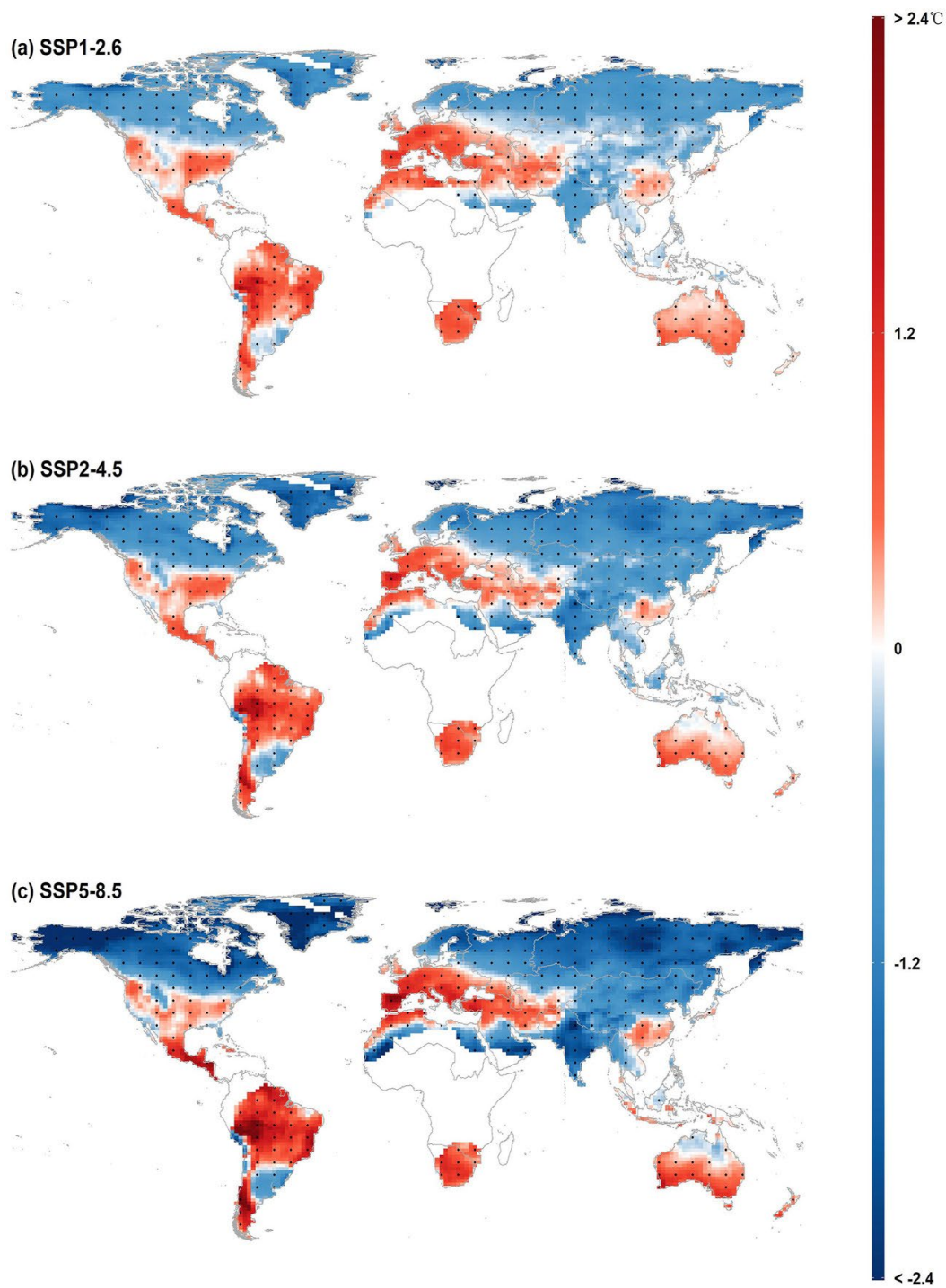
2071-2100 : SSP3-7.0



**Figure B3.** Changements médians dans les normales saisonnières de Tmin, Tmoy et Tmax entre 2071-2100 et 1991-2020 calculés à partir des données ESPO-G6-R2 pour le scénario d'émissions des GES SSP3-7.0. L'absence de motif sur les cartes indique que le changement est robuste. Méthodologie décrite à la fiche C20 de l'annexe C. Adapté de Portraits climatiques.



**Figure B4.** Tendances futures 2021-2050 ( $^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ ) de la moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température provenant de 19 modèles CMIP6 selon les scénarios d'émissions des GES b) SSP1-2.6 et d) SSP5-8.5. Tiré de la figure 6 Wang et al., 2023, Science of the Total Environment, avec la permission de Elsevier. Tous droits réservés.



**Figure B5.** Changements projetés de l'amplitude quotidienne de la température sur la période 1951-2100 selon les scénarios a) SSP1-2.6, b) SSP2-4.5 et c) SSP5-8.5. Les cartes montrent la moyenne d'un ensemble de 8 tendances corrigées ( $^{\circ}\text{C}/\text{siècle}$ ) provenant de modèles CMIP6. Adapté de la figure 4 de Liu et al., 2022, avec la permission de John Wiley and Sons. Tous droits réservés.

Périodes	SSP	TXx	TNn
2071-2100 vs 1971-2000	2-4.5	Moy. QC ↑ <b>3,8°C</b>	Moy QC ↑ <b>8°C</b>

**Tableau B6.** Moyenne sur tout le Québec du changement projeté pour la fin du siècle des valeurs de TXx et de TNn. Ces valeurs représentent le changement médian provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 selon (Sobie et al., 2021). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs de la publication sont identifiés en caractères gras.

Niveaux de réchauffement planétaire				Source
1,5°C	2°C	3°C	4°C	
↑ <b>1,5 à 3,5°C</b>	↑ <b>1,5 à 3,5°C</b>	↑ <b>3,5 à 5,5°C</b>	↑ <b>3,5 à 5,5°C</b>	(Wehner, 2020)
n.d.	n.d.	↑ <b>3,3°C</b>	n.d.	(Sobie et al., 2021)
↑ 0,9 à 1,2°C	↑ <b>1,5 à 2,1°C</b>	↑ <b>3,0 à 4,0°C</b>	↑ <b>4,2 à 6,0°C</b>	Plateforme Portraits climatiques, consulté le 2026-01-12

**Tableau B7.** Changement projeté de la valeur de TXx sur le Québec selon différents niveaux de réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Les valeurs représentent le changement médian de TXx provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 et sont tirées de la Plateforme Portraits climatiques (2026) et des figures de deux études (Sobie et al., 2021; Wehner, 2020). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

Niveaux de réchauffement planétaire				Source
1,5°C	2°C	3°C	4°C	
Nunavik ↑ <b>5,5 à 7,5°C</b> Ailleurs ↑ <b>3,5°C à 5,5°C</b>	↑ <b>5,5 à 7,5°C</b>	↑ <b>9,5°C et +</b>	↑ <b>9,5°C et +</b>	(Wehner, 2020)
n.d.	n.d.	Moy QC ↑ <b>7,8°C</b>	n.d.	(Sobie et al., 2021)
↑ <b>1,8 à 3,4°C</b>	↑ <b>3,5 à 5,7°C</b>	↑ <b>6,4 à 10,4°C</b>	Moitié nord ↑ <b>10,2 à 15,2°C</b> Moitié sud ↑ <b>9,7°C à 11,5°C</b>	Plateforme Portraits climatiques, consulté le 2026-01-12

**Tableau B8.** Changement projeté (°C) de la valeur de TNn sur le Québec selon différents niveaux de réchauffement planétaire calculés par rapport à la période préindustrielle. Les valeurs représentent le changement médian de TNn provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 et sont tirées de la Plateforme Portraits climatiques (2026) et des figures de deux études (Sobie et al., 2021; Wehner, 2020). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

Périodes	SSP	$\Delta$ TXx retour 20 ans	$\Delta$ TNn retour 20 ans	Source
2071-2100 vs 1971-2000	2-4.5	Moy. QC <b>↑ 4°C</b>	Moy QC <b>↑ 8°C</b>	(Sobie et al., 2021)
2081-2100 vs 1985-2014	1-2.6	↑ 1 à 2°C	Nunavik <b>↑ 4 à 6°C</b> Sud-ouest <b>↑ 2 à 3°C</b> Ailleurs <b>↑ 3 à 4°C</b>	(Li et al., 2021)
	5-8.5	<b>↑ 4 à 6°C</b>	Moitié nord-ouest <b>↑ 10 à 12°C</b> Moitié sud-ouest <b>↑ 8 à 10°C</b>	(Li et al., 2021)

**Tableau B9.** Changement projeté de la valeur de TXx et TNn de période de retour 20 ans sur le Québec. Les valeurs représentent le changement médian provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 selon diverses études. Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs des publications sont identifiés en caractères gras.

Périodes	SSP	$\Delta$ TXx retour 50 ans	$\Delta$ TNn retour 50 ans	Source
2071-2100 vs 1971-2014	1-2.6	↑ 0,5 à 2°C consensus au Nunavik et sur le sud-ouest	<b>↑ 3 à 6°C</b>	(Li et al., 2021)
	5-8.5	<b>↑ 4 à 8°C</b>	<b>↑ 8 à 10°C</b> Selon les endroits	

**Tableau B10.** Changement projeté de la valeur de TXx et TNn de période de retour 50 ans sur le Québec. Les valeurs représentent le changement médian provenant de l'ensemble des modèles CMIP6 selon (Li et al., 2021). Les changements qui sont soit consensuels ou significatifs selon le test choisi par les auteurs de la publication sont identifiés en caractères gras.



# Annexe C.

## Fiches descriptives des données climatiques et des méthodologies utilisées pour la production des figures

Fiche C1. Description et traitement des données observées DCCAHA 3<sup>e</sup> génération

### Données Climatiques Canadiennes Ajustées et Homogénéisées, 3<sup>e</sup> génération (DCCAHA 3<sup>e</sup> génération)

Source : Environnement et changement climatique Canada [https://catalogue.ec.gc.ca/geonetwork/srv/fre/catalog\\_search#/metadata/fc09beda-744f-48df-ab7c-0949152e961f](https://catalogue.ec.gc.ca/geonetwork/srv/fre/catalog_search#/metadata/fc09beda-744f-48df-ab7c-0949152e961f)

Description :

Données aux stations climatologiques canadiennes créées pour étudier le climat et les changements climatiques. Les données originales aux stations ont subi des ajustements pour traiter les sauts causés par les changements d'instruments et de procédures d'observations. Dans certains cas, les observations de plusieurs stations ont été combinées pour générer de plus longues séries temporelles. La description des procédures d'ajustement et d'homogénéisation se trouve dans (Vincent et al., 2020).

<b>Sélection</b>	Températures minimales (Tmin), moyennes (Tmoy) et maximales (Tmax) disponibles à une fréquence quotidienne.
<b>Découpage spatio-temporel</b>	<b>Spatial :</b> Stations situées au Québec <b>Temporel :</b> périodes 1961-2020 et 1991-2020
<b>Critères pour les données manquantes</b>	Tous les calculs effectués à partir des données DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, décrits dans les fiches C4 à C17 inclusivement, respectent les critères suivants : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Critère de l'Organisation météorologique mondiale (WMO, 2009) appliqué aux séries quotidiennes d'observations de chaque mois de chaque année. Un mois d'observations est considéré comme manquant (invalide) si l'un des deux critères suivants est rempli : <ul style="list-style-type: none"> <li>• les observations sont manquantes pendant 11 jours ou plus au cours du mois ;</li> <li>• les observations sont manquantes pendant 5 jours consécutifs ou plus au cours du mois.</li> </ul> </li> <li>2. Critère appliqué aux valeurs saisonnières ou annuelles pour chaque année : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une statistique saisonnière ou annuelle d'une année donnée est considérée comme manquante si les observations sont manquantes pour au moins l'un des mois qui la composent.</li> </ul> </li> <li>3. Critère appliqué aux statistiques climatiques sur les périodes de 30 ans et plus <ul style="list-style-type: none"> <li>• La normale ou la statistique climatique est considérée invalide s'il y a plus de 30 % d'années manquantes</li> </ul> </li> </ol>
<b>Transfert de grille</b>	n/a
<b>Conversion</b>	Du format CVS au format netCDF

Fiche C2. Description et traitement des données de réanalyse RCaS v3.1

## La réanalyse Canadienne de Surface (RCaS) v3.1

Source:

Environnement et Changement climatique Canada [https://hpfx.collab.science.gc.ca/~scar700/rcas-casr/index\\_fr.html](https://hpfx.collab.science.gc.ca/~scar700/rcas-casr/index_fr.html)

Accès aux données via GPSC-C: [https://hpfx.collab.science.gc.ca/~scar700/rcas-casr/download\\_fr.html](https://hpfx.collab.science.gc.ca/~scar700/rcas-casr/download_fr.html)

Description:

Il s'agit d'un produit de variables météorologiques de surface et de précipitation maillées à une résolution de 0,1° (10 km) qui intègre des données de prévisions atmosphériques du modèle GEM et diverses observations assimilées grâce aux outils opérationnels d'ECCE. Les données RCaS fournissent des données détaillées sur l'Amérique du Nord pour un grand nombre de variables climatiques à une fréquence horaire à partir de l'année 1980.

Cette réanalyse est particulièrement utile dans les secteurs où les observations sont peu nombreuses ou inexistantes.

La description complète des étapes de production de RCaS v3.1 se trouve dans (Gasset et al., 2021; Gasset, N. et al., 2025; Khedhaouiria, D. et al., s. d.)

<b>Sélection</b>	Séries de température de l'air à 2 mètres disponible à une fréquence horaire permettant de calculer les températures minimales, moyennes et maximales à une fréquence quotidienne.
<b>Découpage spatio-temporel</b>	<b>Spatial:</b> Points de grilles se trouvant au Québec <b>Temporel:</b> période 1991-2020
<b>Critères pour les données manquantes</b>	n/a
<b>Transfert de grille</b>	n/a
<b>Conversion</b>	De degrés Kelvin à degrés Celsius. Conversion des noms de variables selon la nomenclature CMIP.

## Fiche C3. Description et traitement des données de réanalyse ERA5-Land

## Réanalyse ERA5-Land

Source :

European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) pour le programme Copernicus Climate Change Service (C3S).

<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land?tab=overview> (Copernicus Climate Change Service, 2019)

Description :

La réanalyse ERA5-Land a été conçue pour fournir une version améliorée et à plus fine résolution des variables associées à la surface terrestre. Ces données ont été produites en alimentant le module de surface terrestre d'ECMWF par les variables atmosphériques provenant de la réanalyse ERA5 (Hersbach et al., 2020).

Le processus d'élaboration des données ERA5-Land est décrit dans (Muñoz-Sabater et al., 2021).

Cette réanalyse fournit des données horaires débutant en 1950 avec une couverture mondiale à 9 km de résolution pour de nombreuses variables atmosphériques et terrestres situées proches de la surface. Elles sont particulièrement utiles dans les secteurs où les observations sont peu nombreuses ou inexistantes.

Certaines variables sont fournies à une fréquence quotidienne par le C3S.

<b>Sélection</b>	Séries de température de l'air à 2 mètres disponible à une fréquence horaire permettant de calculer les températures minimales, moyennes et maximales à une fréquence quotidienne.
<b>Découpage spatio-temporel</b>	<b>Spatial:</b> Points de grilles se trouvant au Québec <b>Temporel:</b> périodes 1961-2020
<b>Critères pour les données manquantes</b>	n/a
<b>Transfert de grille</b>	n/a
<b>Conversion</b>	De degrés Kelvin à degrés Celsius.

**Fiche C4.** Calcul des normales saisonnières 1991-2020 des températures quotidiennes observées.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>À partir d'une série d'observations journalières dans laquelle chaque donnée est identifiée <math>T_{a,s,j}</math> comme étant la température du jour <math>j</math> de la saison <math>s</math> de l'année <math>a</math>, on calcule la normale saisonnière <math>\overline{T}_s</math> sur la période de 30 ans correspondant à 1991-2020 selon l'équation :</p> $\overline{T}_s = \frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J T_{a,s,j} \quad \text{avec} \quad J = \begin{cases} 90 & \text{si } s = DJF \\ 92 & \text{si } s = MAM \\ 92 & \text{si } s = JJA \\ 91 & \text{si } s = SON \end{cases} \quad (4)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les moyennes saisonnières ont d'abord été calculées à l'aide de fonctions tirées du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b> : <code>xclim.indicators.atmos.tg_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tn_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tx_mean</code>.</li> <li>La moyenne sur 30 ans a été calculée à l'aide de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> provenant du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 2.

**Fiche C5.** Calcul des normales annuelles 1991-2020 des températures quotidiennes observées.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>À partir d'une série de données journalières dans laquelle chaque donnée est identifiée <math>T_{a,j}</math> comme étant la température du jour <math>j</math> de l'année <math>a</math>, on calcule la normale annuelle sur la période de 30 ans correspondant à 1991-2020 selon la formule :</p> $\bar{T} = \frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} \frac{1}{365} \sum_{j=1}^{365} T_{a,j} \quad (5)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les moyennes saisonnières ont d'abord été calculées à l'aide de fonctions tirées du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b> : <code>xclim.indicators.atmos.tg_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tn_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tx_mean</code>.</li> <li>• La moyenne sur 30 ans a été calculée à l'aide de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> provenant du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure A1

**Fiche C6.** Calcul de la moyenne climatique saisonnière 1991-2020 de l'amplitude quotidienne de la température observée

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>À partir des séries de données journalières dans laquelle chaque donnée <math>T_{max_{a,s,j}}</math> et <math>T_{min_{a,s,j}}</math> est identifiée comme étant les températures maximales et minimales du jour <math>j</math> de la saison <math>s</math> de l'année <math>a</math>, on calcule d'abord l'amplitude quotidienne de température pour chacun des jours selon la formule:</p> $AQT_{a,s,j} = T_{max_{a,s,j}} - T_{min_{a,s,j}} \quad (6a)$ <p>Il ne reste qu'à calculer la moyenne climatique saisonnière d'<math>AQT_{a,s,j}</math> sur la période de 30 ans correspondant à 1991-2020 selon la formule:</p> $\overline{AQT}_s = \frac{\sum_{a=1991}^{2020} \sum_{j=1}^J AQT_{a,s,j}}{30 \times J} \quad \text{avec} \quad J = \begin{cases} 90 & \text{si } s = DJF \\ 92 & \text{si } s = MAM \\ 92 & \text{si } s = JJA \\ 91 & \text{si } s = SON \end{cases} \quad (6b)$
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les moyennes saisonnières ont d'abord été calculées à l'aide de fonctions tirées du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b>: <code>xclim.indicators.atmos.tg_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tn_mean</code>, <code>xclim.indicators.atmos.tx_mean</code>.</li> <li>La moyenne sur 30 ans a été calculée à l'aide de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> provenant du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 3

Fiche C7. Calcul de l'écart-type intrasaisonnier 1991-2020 de la température quotidienne observée

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>Le calcul de l'écart-type intrasaisonnier est basé sur la différence entre <math>T_{a,s,j}</math> qui est la température de la journée <math>j</math> de la saison <math>s</math> de l'année <math>a</math> et la moyenne de cette saison <math>s</math> de cette année <math>a</math>. Le carré de cette différence est moyenné sur tous les jours de la saison puis sur les 30 saisons de la période 1991-2020 selon la formule :</p> $\sigma_s^* = \sqrt{\frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J (T_{a,s,j} - \overline{T_{a,s}})^2} \quad \text{avec} \quad J = \begin{cases} 90 & \text{si } s = DJF \\ 92 & \text{si } s = MAM \\ 92 & \text{si } s = JJA \\ 91 & \text{si } s = SON \end{cases} \quad (7)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'écart-type intrasaisonnier. Celle utilisée dans cette synthèse est la plus simple, mais elle peut donner des valeurs légèrement plus élevées d'à peine quelques dixièmes de degrés au printemps ou en automne comparativement aux autres méthodes (James et Arguez, 2015; Wan et al., 2021).</li> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide de la fonction <code>xclim.indices.generic.select_rolling_resample_op</code> du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b> ainsi que de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides).</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figures associées</b>	Figure 4 et Figure A2

**Fiche C8.** Calcul de l'écart-type interannuel 1991-2020 de la moyenne saisonnière de la température quotidienne observée.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>L'écart-type interannuel de la moyenne saisonnière est basé sur la différence entre la moyenne de la saison <b>s</b> de l'année <b>a</b> et la normale climatique de cette saison. La formule complète est :</p> $\sigma'_s = \sqrt{\frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} (\overline{T_{s,a}} - \overline{T_s})^2} \quad (8)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide de la fonction <code>xclim.indices.generic.select_rolling_resample_op</code> du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b> ainsi que de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides).</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figures associées</b>	Figure 5 et Figure A3

**Fiche C9.** Calcul de l'écart-type interannuel 1991-2020 de la moyenne annuelle de la température quotidienne observée.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>L'écart-type interannuel de la moyenne annuelle est basé sur la différence entre la moyenne de l'année <b>a</b> et la normale climatique annuelle. La formule complète est :</p> $\sigma' = \sqrt{\frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} (\overline{T}_a - \overline{T})^2} \quad (9)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide de la fonction <code>xclim.indices.generic.select_rolling_resample_op</code> du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b> ainsi que de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides).</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure A4

**Fiche C10.** Calcul de la moyenne climatique 1991-2020 de la température observée du jour le plus chaud de l'année.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>À partir de la série journalière dans laquelle chaque donnée <math>Tmax_{a,j}</math> est identifiée comme étant la température maximale du jour <b>j</b> de l'année <b>a</b>, on calcule d'abord le maximum de chaque année avant de moyenner sur les 30 années de la période selon les formules :</p> $TXx_a = \max(Tmax_{a,j}) \quad (10a)$ $TXx = \frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} TXx_a \quad (10b)$
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le maximum annuel (10a) a été calculé à l'aide de la fonction <code>xclim.indicators.atmos.tx_max</code> provenant du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b>.</li> <li>• La moyenne sur 30 ans (10b) a été calculée à l'aide de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 6

**Fiche C11.** Calcul de la moyenne climatique 1991-2020 de la température observée de la nuit la plus froide de l'année.

<b>Données</b>	Réanalyse RCaS v3.1 traitée selon la fiche C2 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>À partir de la série journalière dans laquelle chaque donnée <math>Tmin_{a,j}</math> est identifiée comme étant la température minimale du jour <math>j</math> de l'année <math>a</math>, on calcule d'abord le minimum de chaque année avant de moyenner sur les 30 années de la période selon les formules :</p> $TNn_a = \min(Tmin_{a,j}) \quad (11a)$ $TXx = \frac{1}{30} \sum_{a=1991}^{2020} TXx_a \quad (11b)$
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le minimum annuel (11a) a été calculé à l'aide de la fonction <code>xclim.indicators.atmos.tn_min</code> provenant du paquet Python <b>xclim version 0.57.0</b>.</li> <li>• La moyenne sur 30 ans (11b) a été calculée à l'aide de la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> provenant du paquet Python <b>Xscen version 0.12.3</b>.</li> <li>• Le calcul de la moyenne est ajusté en fonction du nombre d'années valides (p.ex. 21 ans au lieu de 30 si 70 % d'années valides).</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 7

**Fiche C12.** Calcul de la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne saisonnière de la température quotidienne observée

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5-Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCAH 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des moyennes de la saison <b>s</b> pour chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne saisonnière de la température quotidienne suit la formule :</p> $b_{\overline{T_{s,a}}} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(\overline{T_{s,a}} - \overline{T_s})}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (12)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p> <p>Un test de Wald bilatéral permet d'établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes: Ho: b=0; H1: b≠0 avec p=0,05. Le rejet de Ho par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95%.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l'une des méthodes fréquemment utilisées pour l'étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Voir la fiche C4 pour le calcul des moyennes (normales) saisonnières. À noter que les moyennes utilisées dans l'équation (12) couvrent une période plus longue que pour l'équation (4).</li> <li>• Les tendances sont calculées s'il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 8

**Fiche C13.** Calcul de la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne annuelle de la température quotidienne observée

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5-Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCAH 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des moyennes annuelles de chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne annuelle de la température quotidienne suit la formule :</p> $b_{\bar{T}_a} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(\bar{T}_a - \bar{T})}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (13)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p> <p>Un test de Wald bilatéral permet d'établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes: Ho: b=0; H1: b≠0 avec p=0,05. Le rejet de Ho par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95%.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l'une des méthodes fréquemment utilisées pour l'étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Voir la fiche C5 pour le calcul des moyennes (normales) annuelles. À noter que les moyennes utilisées dans l'équation (13) couvrent une période plus longue que pour l'équation (5).</li> <li>• Les tendances sont calculées s'il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure A5

**Fiche C14.** Calcul de la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne saisonnière de l'amplitude quotidienne de la température observée.

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5-Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des moyennes de l'AQT de la saison <b>s</b> pour chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne saisonnière de l'amplitude quotidienne de la température suit la formule :</p> $b_{AQT_{s,a}} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(\overline{AQT_{s,a}} - \overline{AQT_s})}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (14)$ <p>Un test de Wald bilatéral permet d'établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes: Ho: b=0; H1: b≠0 avec p=0,05. Le rejet de Ho par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95 %.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l'une des méthodes fréquemment utilisées pour l'étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Voir la fiche C6 pour le calcul des moyennes saisonnières de l'AQT. À noter que les moyennes utilisées dans l'équation (14) couvrent une période plus longue que pour l'équation (6b).</li> <li>• Les tendances sont calculées s'il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 9

**Fiche C15.** Calcul de la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température observée.

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5-Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCAHA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des moyennes annuelles de l'AQT pour chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961-2020 de la moyenne annuelle de l'amplitude quotidienne de la température suit la formule :</p> $b_{AQT_a} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(\overline{AQT_a} - \overline{AQT})}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (15)$ <p>Un test de Wald bilatéral permet d'établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes : Ho : b=0; H1 : b≠0 avec p=0,05. Le rejet de Ho par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95 %.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l'une des méthodes fréquemment utilisées pour l'étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Les tendances sont calculées s'il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure A6

**Fiche C16.** Calcul de la tendance linéaire 1961-2020 de la température observée du jour le plus chaud de l'année.

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5-Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des maximums annuels de Tmax de chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961-2020 de la température observée du jour le plus chaud de l'année suit la formule :</p> $b_{TXx_a} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(TXx_a - TXx)}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (16)$ <p>Un test de Wald bilatéral permet d'établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes: Ho: b=0; H1: b≠0 avec p=0,05. Le rejet de Ho par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95 %.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l'aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l'une des méthodes fréquemment utilisées pour l'étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Voir la fiche C10 pour le calcul de la température du jour le plus chaud de l'année. À noter que les moyennes utilisées dans l'équation (16) couvrent une période plus longue que pour l'équation (10b).</li> <li>• Les tendances sont calculées s'il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d'origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 10

**Fiche C17.** Calcul de la tendance linéaire 1961–2020 de la température observée de la nuit la plus froide de l’année.

<b>Données</b>	Réanalyse ERA5–Land traitée selon la fiche C3 Données aux stations DCCA 3 <sup>e</sup> génération, traitées selon la fiche C1
<b>Calcul</b>	<p>La méthode de calcul de la tendance fait appel à la régression linéaire des moindres carrés. La tendance <b>b</b> est la pente de la droite de régression en fonction des années. À partir de la série des minimums annuels de T<sub>min</sub> pour chaque année <b>a</b> de la période, la tendance linéaire 1961–2020 de la température observée de la nuit la plus froide de l’année suit la formule :</p> $b_{TNn_a} = \frac{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})(TNn_a - TNn)}{\sum_{a=1961}^{2020} (a - \bar{a})^2} \quad (17)$ <p>Un test de Wald bilatéral permet d’établir si la tendance est statistiquement différente de zéro selon les hypothèses suivantes: H<sub>0</sub>: b=0; H<sub>1</sub>: b≠0 avec p=0,05. Le rejet de H<sub>0</sub> par le test statistique correspond à une tendance significativement différente de zéro avec un niveau de confiance de 95 %.</p>
<b>Note</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été réalisés à l’aide du paquet Python <b>xscen version 0.12.3</b>, notamment la fonction <code>xscen.aggregate.climatological_op</code> qui utilise la version 1.16.0 de <code>scipy.stats.linregress()</code></li> <li>• La régression linéaire des moindres carrés est l’une des méthodes fréquemment utilisées pour l’étude des tendances observées (Fan et al., 2020a; Huang et al., 2023; Santer et al., 2008; Sun et al., 2019; Wang et al., 2022, 2023).</li> <li>• Voir la fiche C11 pour le calcul de la température du jour le plus chaud de l’année. À noter que les moyennes utilisées dans l’équation (17) couvrent une période plus longue que pour l’équation (11b).</li> <li>• Les tendances sont calculées s’il y a au moins 70 % des années valides (au moins 42 années sur 60)</li> </ul>
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les calculs ont été effectués sur la grille d’origine de la réanalyse. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Les valeurs pour les stations ayant suffisamment de données valides ont été superposées sur les cartes.</li> <li>• Les zones hachurées et les symboles carrés indiquent des tendances qui ne sont pas statistiquement significatives.</li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 11

Fiche C18. Description et traitement des données ESPO-G6-R2

## Ensemble de Simulations Post-traitées d'Ouranos – modèles Globaux CMIP6 – RCaS v2.1 (ESPO-G6-R2)

Source :

Ouranos <https://www.ouranos.ca/fr/donnees-climatiques-ouranos/espo-g6-r2>

Description :

Les scénarios climatiques de ESPO-G6-R2 (Lavoie et al., 2024) proviennent de 15 simulations produites par les modèles climatiques mondiaux CMIP6 dont les biais ont été ajustés à l'aide des données de la réanalyse RCaS v2.1 (Gasset et al., 2021) choisie comme référence. Cet ensemble de simulations couvre la période allant de 1950 à 2100 et inclut la température minimale quotidienne (tasmin), la température maximale quotidienne (tasmax) et le flux moyen quotidien de précipitations (pr). Ce jeu de données couvre l'Amérique du Nord allant de 179,9°W à 10,0°W et de 10,0°N à 83,3°N avec une résolution de 0,1°.

Consultez (Lavoie et coll., 2024) pour la description détaillée des étapes de production des données ESPO-G6-R2. L'accès au code permettant de les produire est fourni par ce lien :

<https://zenodo.org/records/7877330>

<b>Sélection</b>	Les températures minimales et maximales sont disponibles à une fréquence quotidienne. Les températures moyennes quotidiennes sont calculées à partir des températures minimales et maximales : $T_{moy} = (T_{min} + T_{max}) / 2$
<b>Découpage spatio-temporel</b>	<b>Spatial :</b> Points de grilles correspondant au Québec <b>Temporel :</b> périodes 1991-2020, 2041-2070 et 2071-2100
<b>Critères pour les données manquantes</b>	n/a
<b>Transfert de grille</b>	Les données simulées de chacun des membres, définies sur une grille d'origine spécifique à chaque modèle climatique, ont été transférées sur la grille de la réanalyse RCaS v2.1 grâce à une succession d'interpolations bilinéaires.
<b>Conversion</b>	De degrés Kelvin à degrés Celsius.

**Fiche C19.** Calcul du changement médian de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour les normales annuelles de la température quotidienne selon un scénario d'évolution des GES donné.

<b>Données</b>	Données provenant des 15 membres (M=15) de l'ensemble ESPO-G6-R2 traitées selon la fiche C18 pour les scénarios de GES SSP2-4.5 et SSP3-7.0
<b>Calcul</b>	<p>La médiane est définie comme la valeur centrale de l'ensemble. Elle correspond à une probabilité de 50 %. Autrement dit, 50 % des membres de l'ensemble ont une valeur inférieure à la médiane tandis que les 50 % restants ont une valeur qui lui est supérieure.</p> <p>Pour chacun des scénarios SSP, on calcule le changement <math>\Delta</math> de la normale annuelle de la température <math>T</math> entre un horizon futur <math>F</math> et la période historique <math>H</math> pour chacun des membres <math>m</math> de l'ensemble :</p> $\Delta_{\bar{T} ssp,m}^{FvsH} = \bar{T}_{ssp,m}^F - \bar{T}_{ssp,m}^H \quad \text{avec} \quad \begin{cases} m = [1, \dots, 15] \\ H = 1991 - 2020 \\ F = \begin{cases} 2041 - 2070 \\ 2071 - 2100 \end{cases} \end{cases} \quad (19a)$ <p>Les 15 valeurs obtenues sont ordonnées pour calculer la médiane</p> $\widetilde{\Delta}_{\bar{T} ssp}^{FvsH} = P50(\Delta_{\bar{T} ssp,m}^{FvsH}) \quad (19b)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	Voir la fiche C5 pour le calcul des normales annuelles.
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous les calculs ont été effectués sur la grille finale d'ESPO-G6-R2 qui est celle de la réanalyse RCaS v2.1. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Un motif peut être appliqué sur la carte selon le résultat de l'analyse de robustesse du changement basé sur l'«approche avancée (C)» décrite par le GIEC dans la Cross-Chapter Box Atlas 1 du rapport Climate Change 2021 (Gutiérrez et al., 2021). Pour ce faire, la signification statistique et le signe du changement de chaque modèle membre de l'ensemble doivent être établis. Le changement climatique est qualifié de significatif s'il dépasse un seuil basé sur la variabilité naturelle durant la période de référence.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal robuste (absence de motif) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> <li>• Sans changement (motif hachuré) : Moins de 66 % des modèles montrent un changement significatif.</li> <li>• Signaux conflictuels (motif carreauté) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, mais moins de 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 12

**Fiche C20.** Calcul du changement médian de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour les normales saisonnières de la température quotidienne selon un scénario d'évolution des GES donné..

<b>Données</b>	Données provenant des 15 membres (M=15) de l'ensemble ESPO-G6-R2 traitées selon la fiche C18 pour les scénarios de GES SSP2-4.5 et SSP3-7.0
<b>Calcul</b>	<p>La médiane est définie comme la valeur centrale de l'ensemble. Elle correspond à une probabilité de 50 %. Autrement dit, 50 % des membres de l'ensemble ont une valeur inférieure à la médiane tandis que les 50 % restants ont une valeur qui lui est supérieure.</p> <p>Pour chacun des scénarios SSP, on calcule le changement <math>\Delta</math> de la normale annuelle de la température <math>T</math> de la saison <math>s</math> entre un horizon futur <math>F</math> et la période historique <math>H</math> pour chacun des membres <math>m</math> de l'ensemble :</p> $\Delta_{\overline{T}_s ssp,m}^{FvsH} = \overline{T}_s ssp,m^F - \overline{T}_s ssp,m^H \quad \text{avec} \quad \begin{cases} m = [1, \dots, 15] \\ H = 1991 - 2020 \\ F = \begin{cases} 2041 - 2070 \\ 2071 - 2100 \end{cases} \end{cases} \quad (20a)$ <p>Les 15 valeurs obtenues sont ordonnées pour calculer la médiane</p> $\widetilde{\Delta}_{\overline{T}_s ssp}^{FvsH} = \Delta_{\overline{T}_s ssp,m}^{FvsH} \quad (20b)$ <p>Le T dans l'équation est remplacé par Tmin, Tmoy ou Tmax.</p>
<b>Note</b>	Voir la fiche C4 pour le calcul des normales saisonnières.
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous les calculs ont été effectués sur la grille finale d'ESPO-G6-R2 qui est celle de la réanalyse RCaS v2.1. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Un motif peut être appliqué sur la carte selon le résultat de l'analyse de robustesse du changement basé sur l'«approche avancée (C)» décrite par le GIEC dans la Cross-Chapter Box Atlas 1 du rapport Climate Change 2021 (Gutiérrez et al., 2021). Pour ce faire, la signification statistique et le signe du changement de chaque modèle membre de l'ensemble doivent être établis. Le changement climatique est qualifié de significatif s'il dépasse un seuil basé sur la variabilité naturelle durant la période de référence.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal robuste (absence de motif) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> <li>• Sans changement (motif hachuré) : Moins de 66 % des modèles montrent un changement significatif.</li> <li>• Signaux conflictuels (motif carreauté) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, mais moins de 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Figures associées</b>	Figure 13, Figure B1, Figure B2 et Figure B3

**Fiche C21.** Calcul du changement médian de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour les moyennes climatiques de la température du jour le plus chaud de l'année selon un scénario d'évolution des GES donné.

<b>Données</b>	Données provenant des 15 membres (M=15) de l'ensemble ESPO-G6-R2 traitées selon la fiche C18 pour les scénarios de GES SSP2-4.5 et SSP3-7.0
<b>Calcul</b>	<p>La médiane est définie comme la valeur centrale de l'ensemble. Elle correspond à une probabilité de 50 %. Autrement dit, 50 % des membres de l'ensemble ont une valeur inférieure à la médiane tandis que les 50 % restants ont une valeur qui lui est supérieure. Pour chacun des scénarios SSP, on calcule le changement <math>\Delta</math> de la moyenne climatique de la température du jour le plus chaude l'année <math>TXx</math> entre un horizon futur <math>F</math> et la période historique <math>H</math> pour chacun des membres <math>m</math> de l'ensemble :</p> $\Delta_{TXx ssp,m}^{FvsH} = TXx ssp,m^F - TXx ssp,m^H \quad \text{avec} \quad \begin{cases} m = [1, \dots, 15] \\ H = 1991 - 2020 \\ F = \begin{cases} 2041 - 2070 \\ 2071 - 2100 \end{cases} \end{cases} \quad (21a)$ <p>Les 15 valeurs obtenues sont ordonnées pour calculer la médiane</p> $\widetilde{\Delta}_{TXx ssp}^{FvsH} = P50(\Delta_{TXx ssp,m}^{FvsH}) \quad (21b)$
<b>Note</b>	Voir la fiche C10 pour le calcul de la moyenne climatique de la température du jour le plus chaud de l'année.
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous les calculs ont été effectués sur la grille finale d'ESPO-G6-R2 qui est celle de la réanalyse RCaS v2.1. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Un motif peut être appliqué sur la carte selon le résultat de l'analyse de robustesse du changement basé sur l'« approche avancée (C) » décrite par le GIEC dans la Cross-Chapter Box Atlas 1 du rapport Climate Change 2021 (Gutiérrez et al., 2021). Pour ce faire, la signification statistique et le signe du changement de chaque modèle membre de l'ensemble doivent être établis. Le changement climatique est qualifié de significatif s'il dépasse un seuil basé sur la variabilité naturelle durant la période de référence.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal robuste (absence de motif) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> <li>• Sans changement (motif hachuré) : Moins de 66 % des modèles montrent un changement significatif.</li> <li>• Signaux conflictuels (motif carreauté) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, mais moins de 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 14

**Fiche C22.** Calcul du changement médian de l'ensemble ESPO-G6-R2 pour les moyennes climatiques de la température de la nuit la plus froide de l'année selon un scénario d'évolution des GES donné.

<b>Données</b>	Données provenant des 15 membres (M=15) de l'ensemble ESPO-G6-R2 traitées selon la fiche C18 pour les scénarios de GES SSP2-4.5 et SSP3-7.0
<b>Calcul</b>	<p>La médiane est définie comme la valeur centrale de l'ensemble. Elle correspond à une probabilité de 50 %. Autrement dit, 50 % des membres de l'ensemble ont une valeur inférieure à la médiane tandis que les 50 % restants ont une valeur qui lui est supérieure. Pour chacun des scénarios SSP, on calcule le changement <math>\Delta</math> de la moyenne climatique de la température de la nuit la plus froide de l'année <b>TNn</b> entre un horizon futur <b>F</b> et la période historique <b>H</b> pour chacun des membres <b>m</b> de l'ensemble :</p> $\Delta_{TNn ssp,m}^{FvsH} = TNn ssp,m^F - TNn ssp,m^H \quad \text{avec} \quad \begin{cases} m = [1, \dots, 15] \\ H = 1991 - 2020 \\ F = \begin{cases} 2041 - 2070 \\ 2071 - 2100 \end{cases} \end{cases} \quad (22a)$ <p>Les 15 valeurs obtenues sont ordonnées pour calculer la médiane</p> $\widetilde{\Delta}_{TNn ssp}^{FvsH} = P50(\Delta_{TNn ssp,m}^{FvsH}) \quad (22b)$
<b>Note</b>	Voir la fiche C11 pour le calcul de la moyenne climatique de la température de la nuit la plus froide de l'année.
<b>Cartographie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tous les calculs ont été effectués sur la grille finale d'ESPO-G6-R2 qui est celle de la réanalyse RCaS v2.1. Le résultat final a été cartographié selon la projection Lambert conforme sans changer la résolution spatiale des données.</li> <li>• Un motif peut être appliqué sur la carte selon le résultat de l'analyse de robustesse du changement basé sur l'« approche avancée (C) » décrite par le GIEC dans la Cross-Chapter Box Atlas 1 du rapport Climate Change 2021 (Gutiérrez et al., 2021). Pour ce faire, la signification statistique et le signe du changement de chaque modèle membre de l'ensemble doivent être établis. Le changement climatique est qualifié de significatif s'il dépasse un seuil basé sur la variabilité naturelle durant la période de référence.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signal robuste (absence de motif) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> <li>• Sans changement (motif hachuré) : Moins de 66 % des modèles montrent un changement significatif.</li> <li>• Signaux conflictuels (motif carreauté) : 66 % des modèles montrent un changement significatif, mais moins de 80 % de ceux-ci s'entendent sur le signe du changement.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Figure associée</b>	Figure 15



[ouranos.ca](http://ouranos.ca)

  
**Ouranos**