

Conditions météorologiques et bouleversements climatiques au Québec

*Analyse des liens avec les risques
de feux de forêt sur le territoire*

Philippe Gachon
Professeur d'hydroclimatologie
Département de géographie
Université du Québec à Montréal

Directeur général du RIISQ
Chercheur au centre ESCER
(Étude et Simulation du Climat à l'Échelle Régionale)



Avec le support financier des

Québec  
 

Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

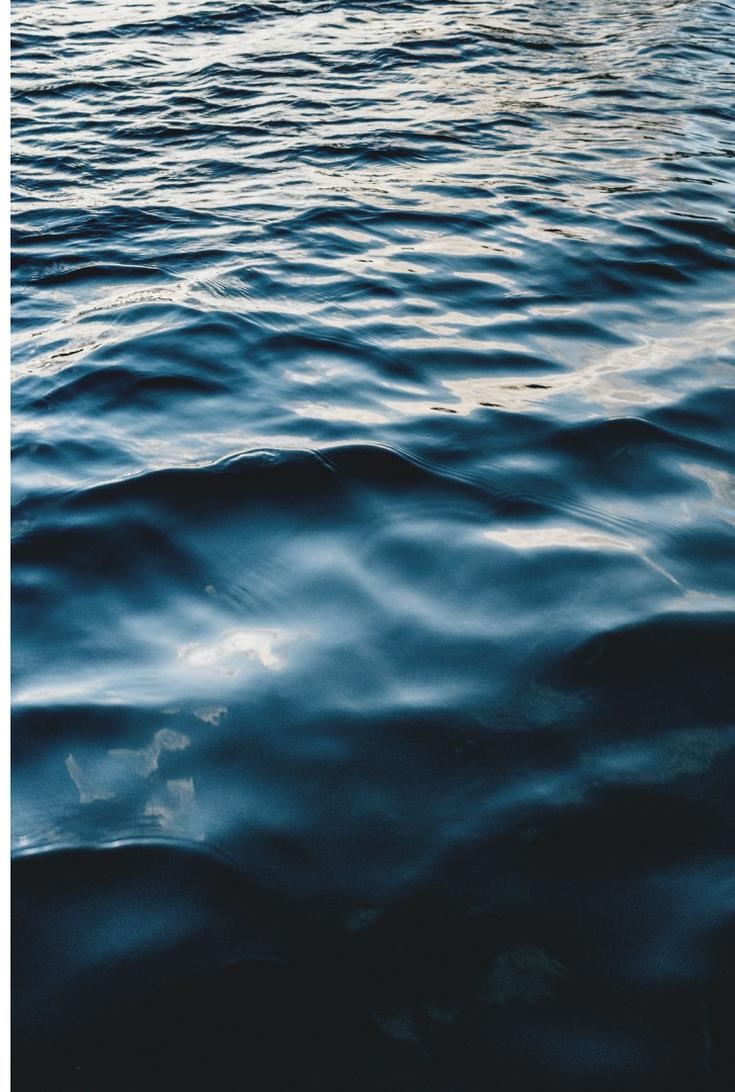
Plan de présentation

1. **Contexte: changements climatiques en cours**
2. **Conditions météorologiques et bouleversements climatiques au Québec (ex. 2023)**
3. **Liens entre risques de feux de forêt et conditions météorologiques**
4. **Perspectives et conclusion**



[Credit: NASA]

1. Contexte: changements climatiques en cours - Les faits saillants (au niveau global, au Canada et Québec)

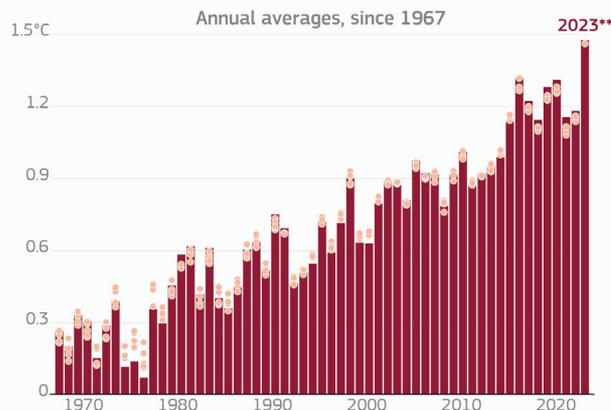
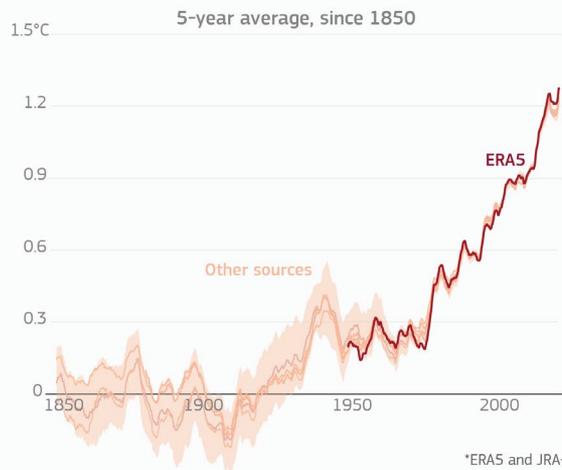


Le climat se réchauffe à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans (IPCC, 2023)

Année 2023 a battu plusieurs records ...

GLOBAL SURFACE TEMPERATURE: INCREASE ABOVE PRE-INDUSTRIAL LEVEL (1850-1900)

■ ERA5 data ● Other sources* (including JRA-3Q, GISTEMPv4, NOAA GlobalTempv5, Berkeley Earth, HadCRUT5)



*ERA5 and JRA-3Q data are only shown from 1948. Shaded area represents the uncertainty for HadCRUT5 data
**Estimate for 2023 based on ERA5 and JRA-3Q data only
Credit: C3S/ECMWF



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



2023 a remplacé 2016 en tant qu'année civile la plus chaude jamais enregistrée. Selon le dernier rapport de la WMO (2024), la température moyenne mondiale (2023) a été de 1,45 °C au-dessus de normale période pré-industrielle (1850-1900)



Températures:

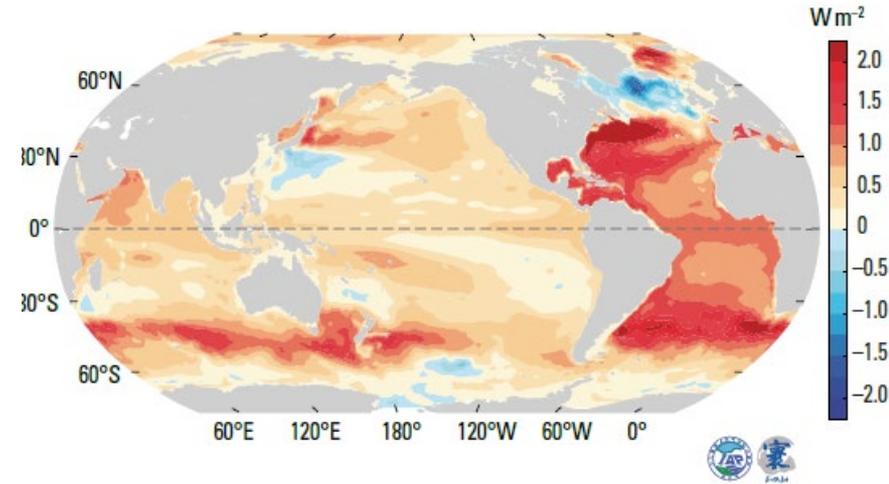
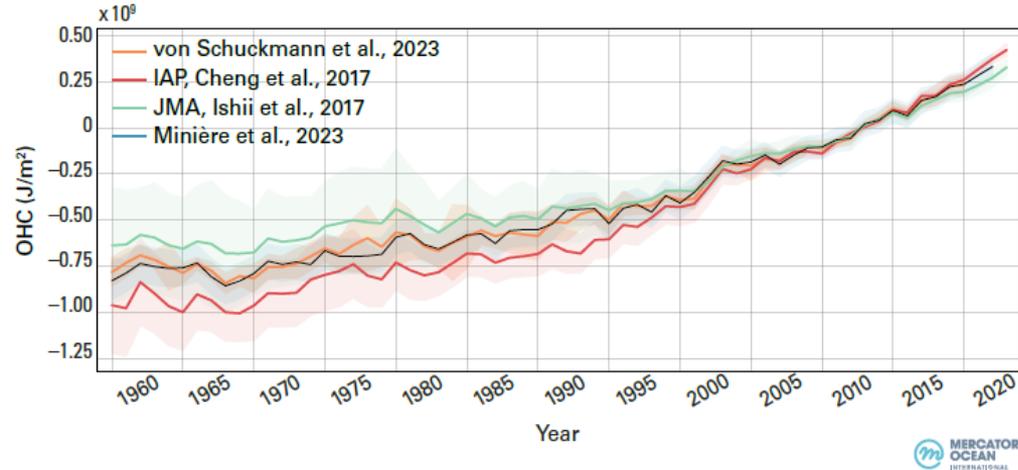
- Continentales: les plus é depuis mai 2023
- Océaniques: les plus é depuis avril 2023

Source:

<https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2023>

En date du 18 mai 2024, l'année 2023 est la plus chaude jamais enregistrée, à 1,58°C plus chaud que la normale préindustrielle estimée de 1850-1900.

Réchauffement historique de l'océan (chaleur absorbée)



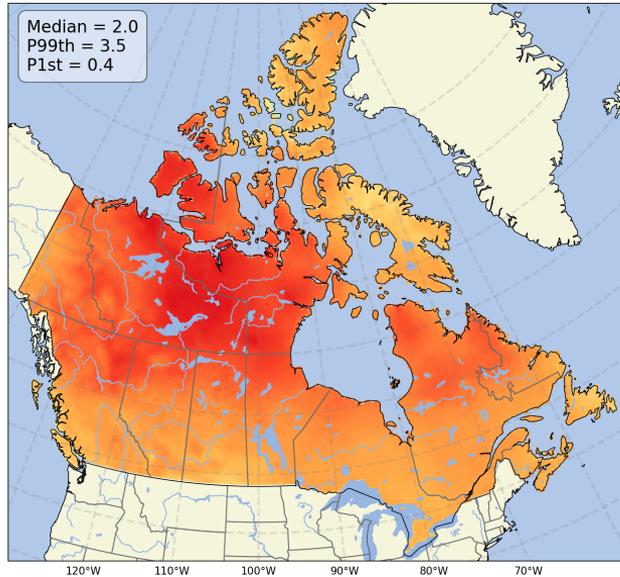
Anomalies du contenu global de chaleur de l'océan (OHC) par rapport à la moyenne 2005-2021 pour la couche de profondeur de 0 à 2000 m 1960-2023.

Tendances du contenu global de chaleur de l'océan (OHC) au-dessus de 2000 m de 1958 à 2023.

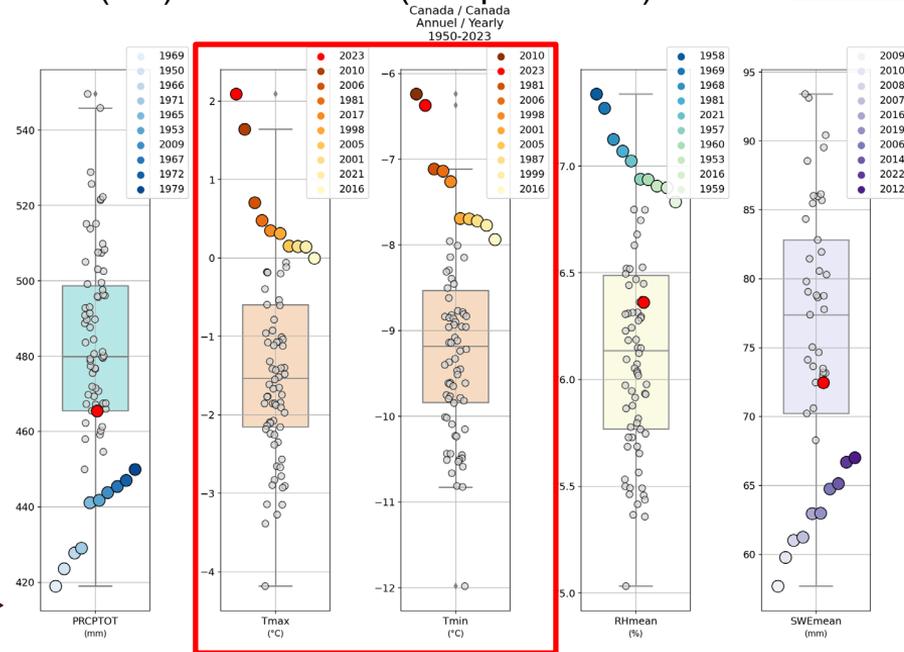
Source: WMO (2024) – State of the global climate 2024

2023: Année la plus chaude jamais observée au Canada depuis 1950 (Source de données ERA5 de Copernicus)

Anomalie absolue / Absolute Anomaly
Moyenne annuelle / Yearly mean
Tmean



À la fois pour les températures maximales (1er) et minimales (2e après 2010)



Variables météorologiques / Meteorological variables
Médiane spatiale / Spatial median

Anomalies des températures annuelles moyennes (°C)

Source: Centre ESCER-UQAM (données réanalyse ERA5)

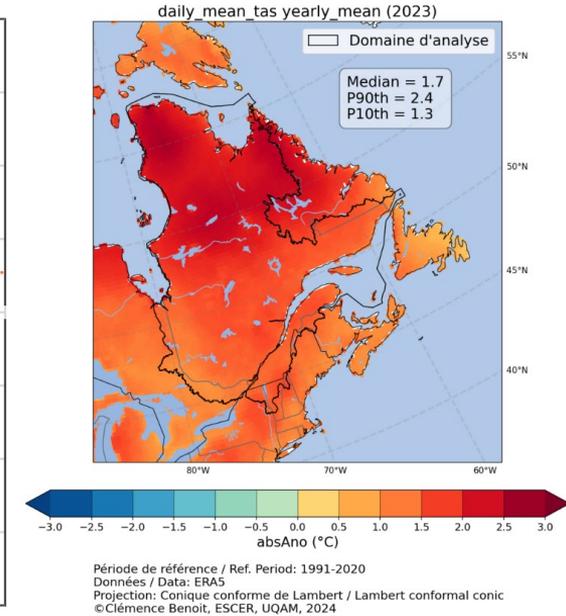
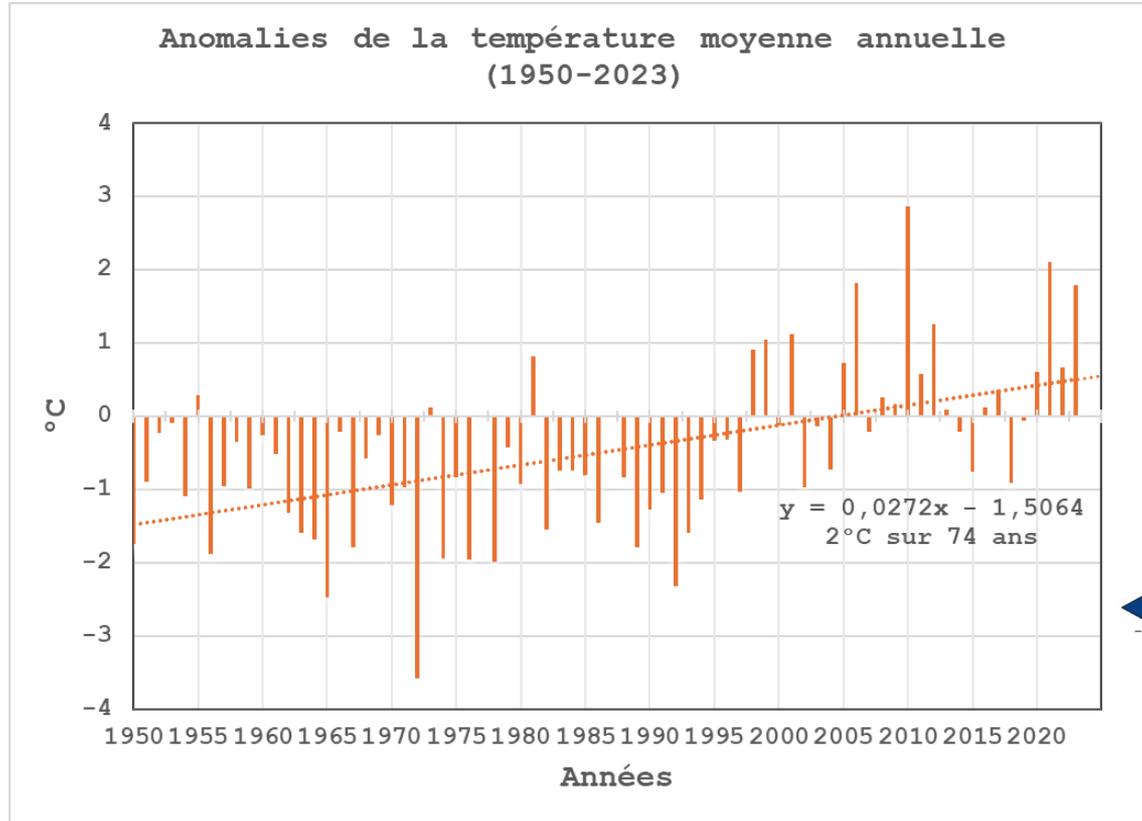
2023 : marqueur rouge / red marker
*SWEmean: 1979 - 2023 (annuel: décembre à mars)
(yearly: december to march)

Statistique spatiale / Spatial statistic: Médiane / Median
Données / Data: ERA5

©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2024

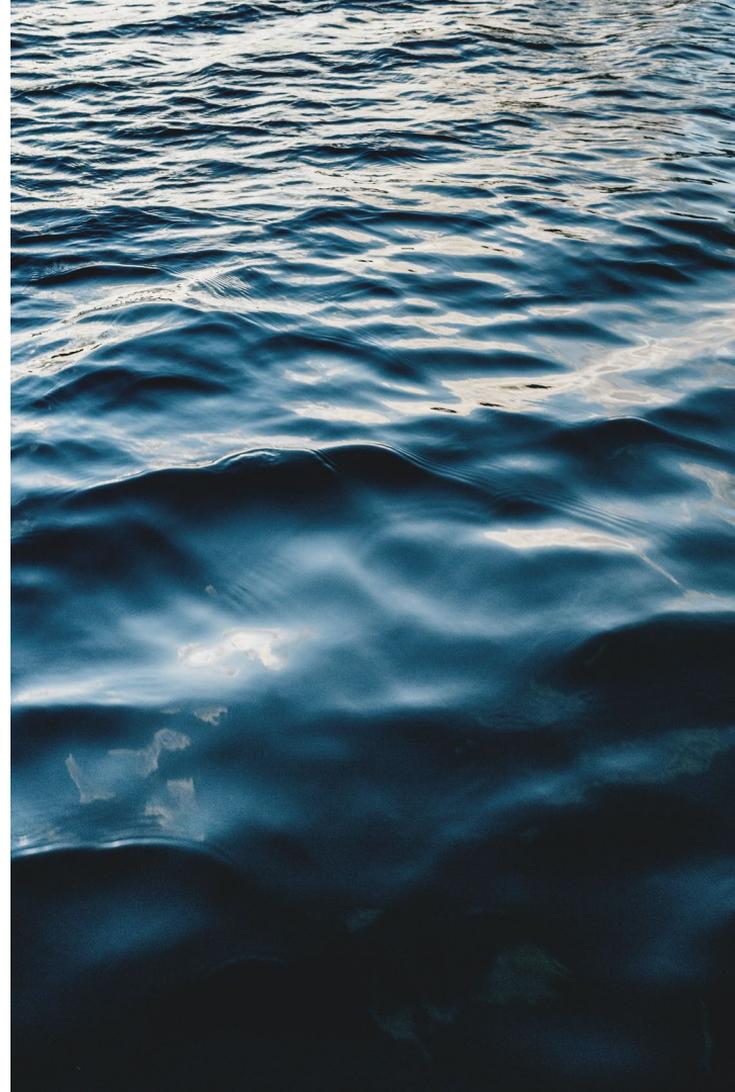
> 3,5° pour Tmax et > 2,7°C pour Tmin

2023: 4^e Année la plus chaude jamais observée au Québec depuis 1950 (Source de données ERA5 de Copernicus)



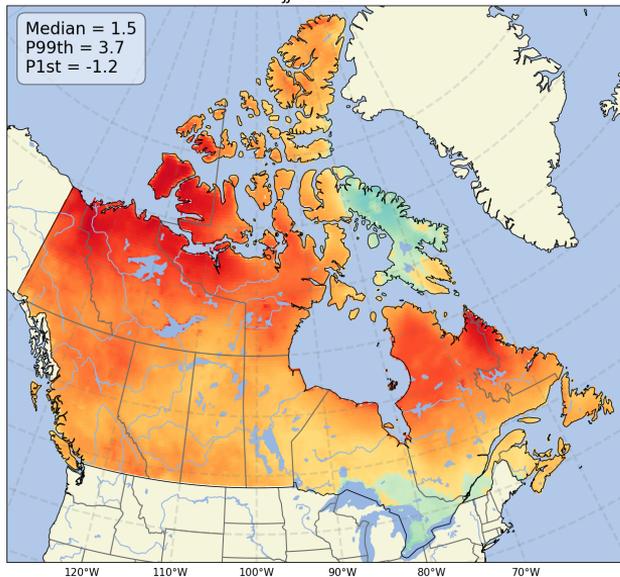
Source: Centre ESCER-UQAM
(données réanalyse ERA5)

2. Conditions météorologiques et bouleversements climatiques au Québec

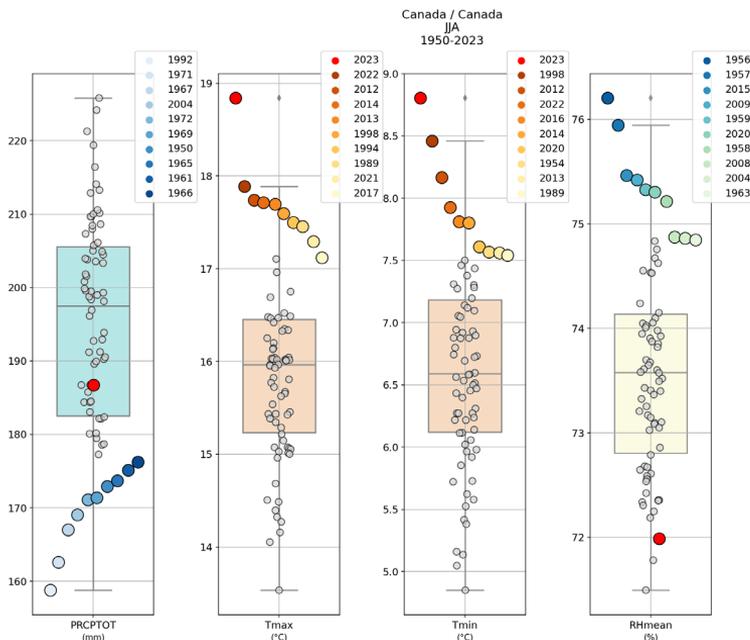


2023: Été le plus chaud jamais observé au Canada (idem au Québec) depuis 1950 (Source de données ERA5 de Copernicus)

Anomalie absolue / Absolute Anomaly
Moyenne saisonnière / Seasonal mean
Tmean
JJA 2023



À la fois pour les températures maximum (1er avant 2022) et minimum (1er avant 1998)



Variables météorologiques / Meteorological variables
Médiane spatiale / Spatial median

Source: Centre ESCER-UQAM (données réanalyse ERA5)

Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2023

Près de 3°C pour Tmax et > 2,6°C pour Tmin



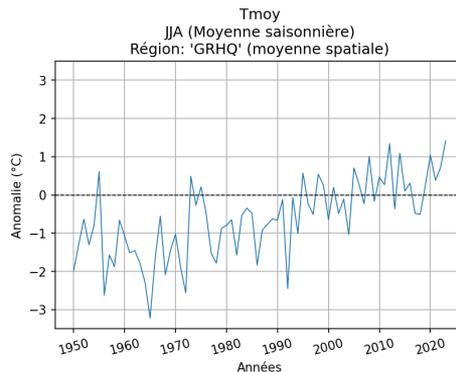
Anomalies des températures estivales moyennes (°C)

2023: Été le plus chaud jamais observé au Québec depuis 1950 mais avec conditions humides/sèches exceptionnelles et très contrastées (Source de données ERA5 de Copernicus)

Conditions d'humidité – excès et pénurie d'eau:

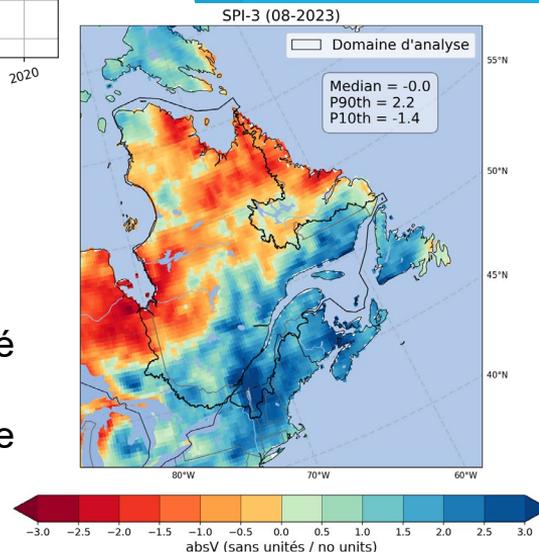
- Extrêmes et records humides (sud et est): Estrie, Mauricie, Basse côte nord, et golfe du St-Laurent;
- Un minimum de 20 jours de pluie dans le nord et un maximum de 68 dans le sud;
- Après 1996, les extrêmes de précipitation furent les plus élevés en moyenne (avec toutefois plusieurs records battus) dans le sud et est; et
- Extrêmes sécheresses dans le nord (feux de forêt)

Source: Centre ESCER-UQAM
(données réanalyse ERA5)



Anomalies des températures moyennes estivales (°C) au Québec

Indice standardisé de précipitation (valeur cumulative sur 3 mois)
Été 2023



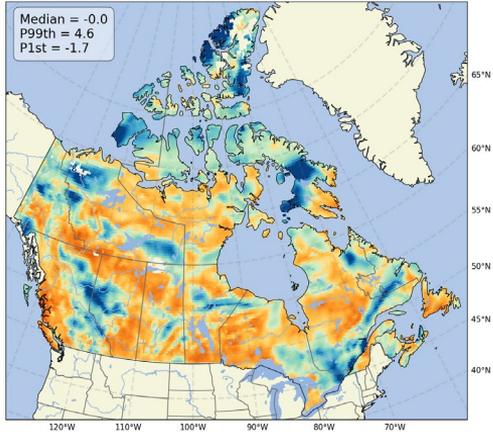
2023: De mai à septembre (suite)

Des pluies fortes un peu partout dans le sud du Québec en 2023: mai, juillet, octobre, ...

Anomalie standardisée / Standardized Anomaly

P99
05-2023

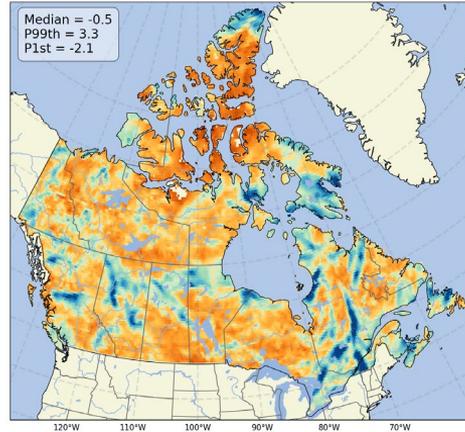
Median = -0.0
P99th = 4.6
P1st = -1.7



Anomalie standardisée / Standardized Anomaly

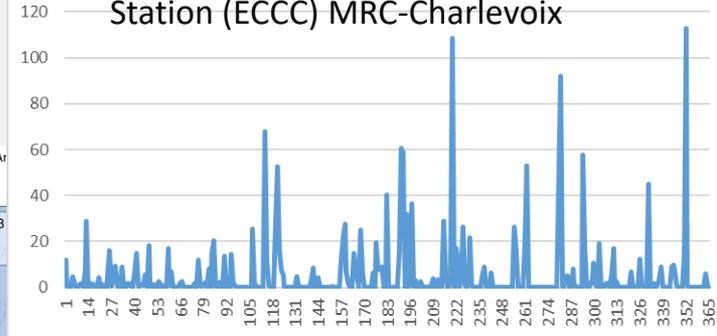
P99
07-2023

Median = -0.5
P99th = 3.3
P1st = -2.1

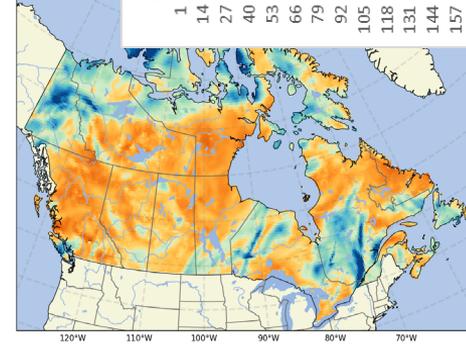


Précipitation quotidienne (mm/jour) en 2023
(jour julien)

Station (ECCC) MRC-Charlevoix



Median = -0.3
P99th = 3.5
P1st = -1.6



Anomalies standardisées du P99 pour mai, juillet et octobre 2023
(données de réanalyse ERA5, C. Benoit, ESCER-UQAM)

Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2024

2023: Des coûts économiques parmi les plus élevés (ex. biens assurés)

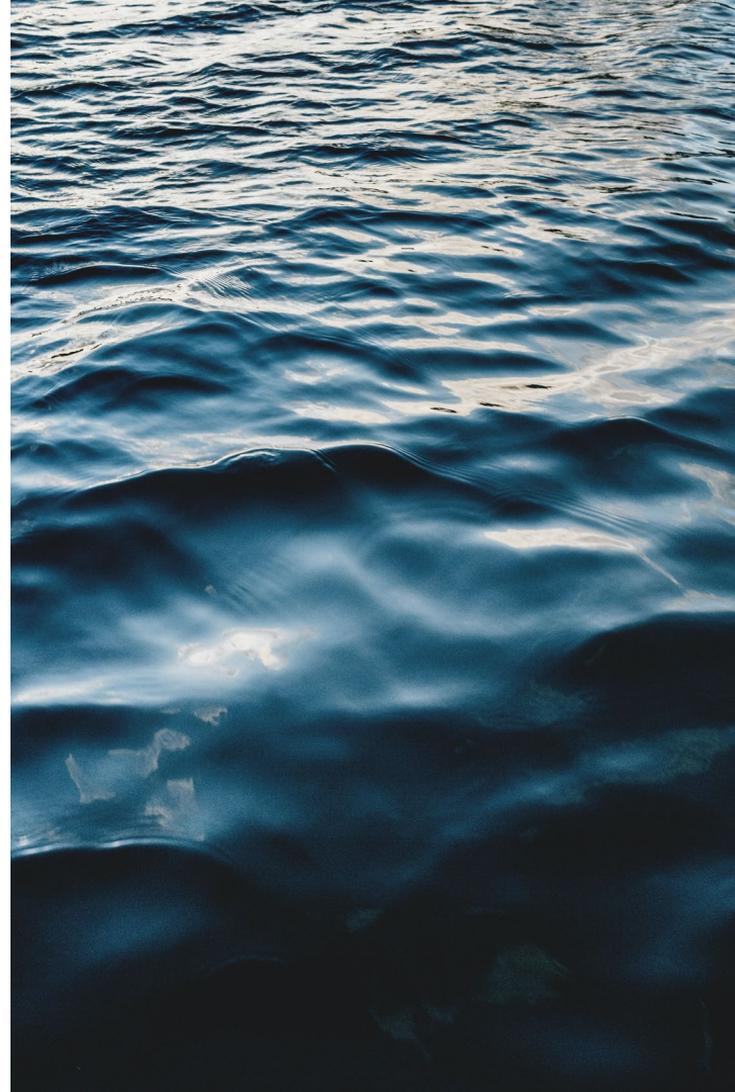
4^e année la plus couteuse au pays:

- Au Canada, 2023 se classe parmi les cinq pires années jamais enregistrées en ce qui concerne les dommages assurés causés par des phénomènes météorologiques extrêmes (biens assurés = 3,1 milliards de \$, Bureau d'assurance du Canada, 2024)
- Au Québec, le coût économique des désastres (aléas hydrométéorologiques) a plus que quadruplé en une décennie, et fut supérieur à 738 millions de \$ en 2023 (biens assurés).

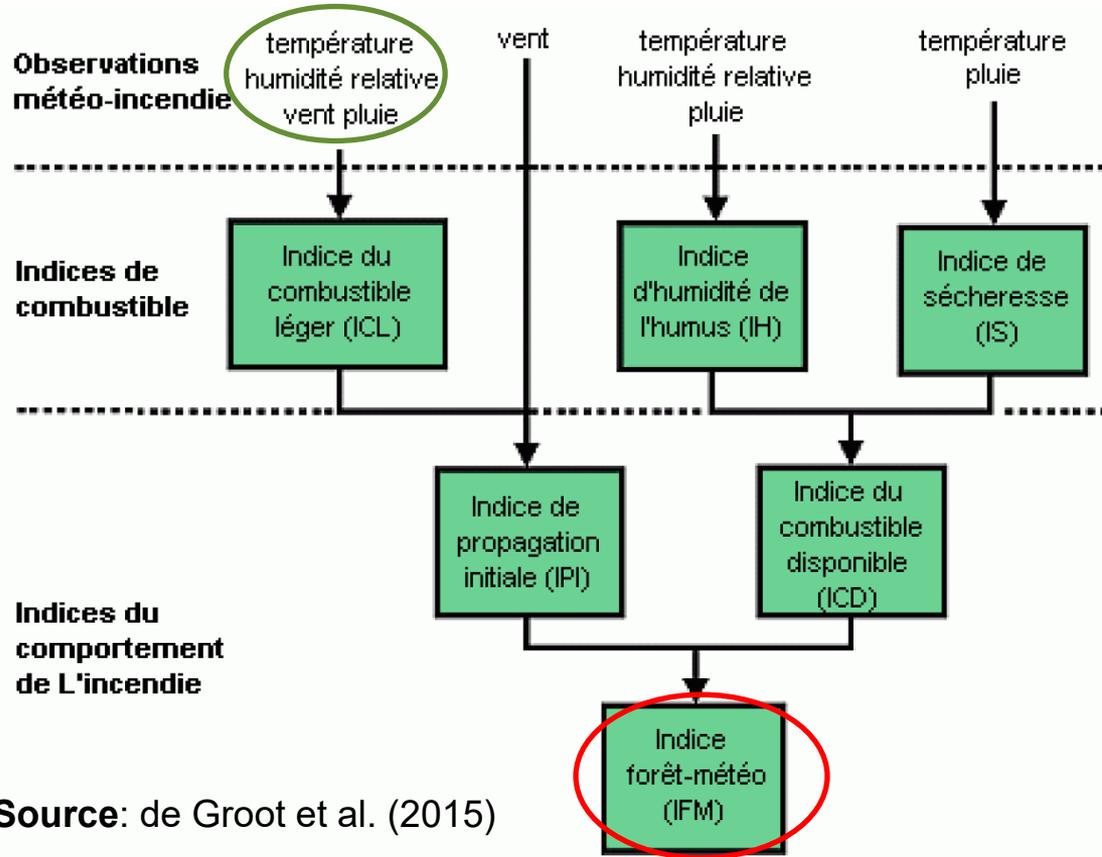
Dans le monde: 280 milliards de \$US dont 108 milliards \$US couverts par assureurs (Swiss Re, 2024)

Avec l'augmentation des températures et événements météorologiques extrêmes qui deviennent «plus fréquents et intenses», la facture des catastrophes naturelles pour les assureurs pourrait doubler au cours des dix prochaines années (Swiss Re, 2024).

3. Liens entre risques de feux de forêt et conditions météorologiques



Les indices de forêt météo (IFM): Variables considérées



Source: de Groot et al. (2015)

Définition IFM :

Évaluation numérique de l'intensité du feu, et constitue un indice général du **danger d'incendie basé sur les variables météorologiques** (températures, précipitations, vents, humidité relative et neige).

Définition IG :

Évaluation du risque d'un feu de forêt, l'**indice de gravité IG** (SR en anglais) est une évaluation numérique de la **difficulté à maîtriser les incendies**.

Il reflète plus précisément l'effort attendu pour la suppression des incendies.

$$IG = 0.0272 \times IFM^{1.77}$$

Besoin des variables météorologiques aux heures !

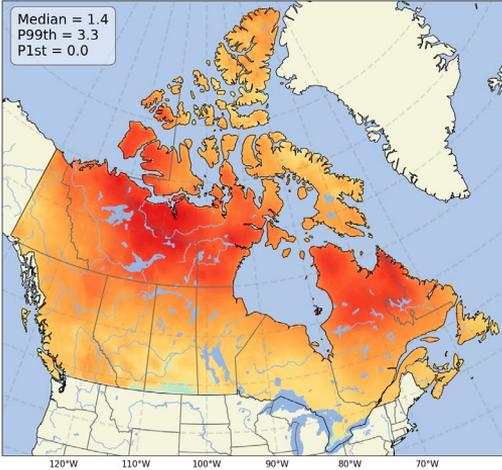
Conditions météorologiques (réanalyse ERA5)

Saison de feux 2023 de mai à octobre

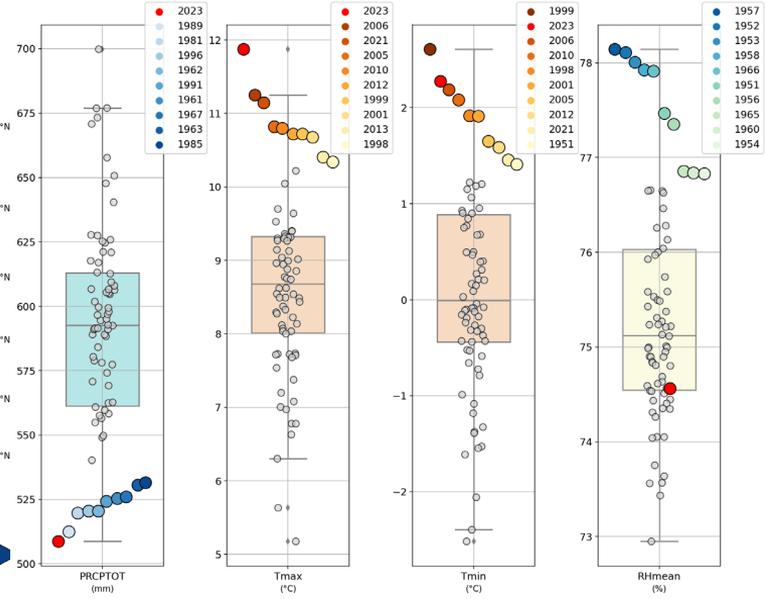
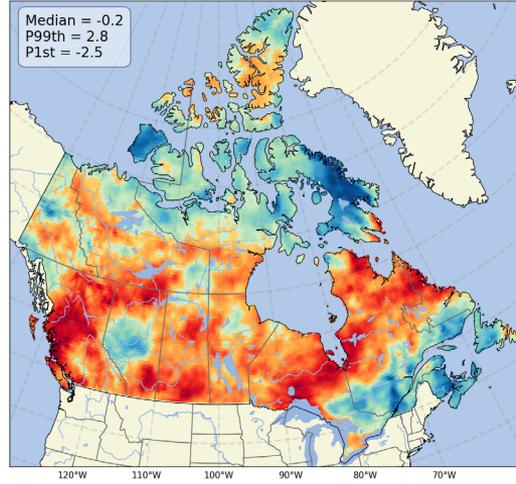
QUÉBEC

Québec / Quebec
Fires
1950-2023

Anomalie absolue / Absolute Anomaly
Moyenne saisonnière / Seasonal mean
Tmean
Fires 2023



SPI-6
10-2023



Variables météorologiques / Meteorological variables
Médiane spatiale / Spatial median

Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2023

Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2023

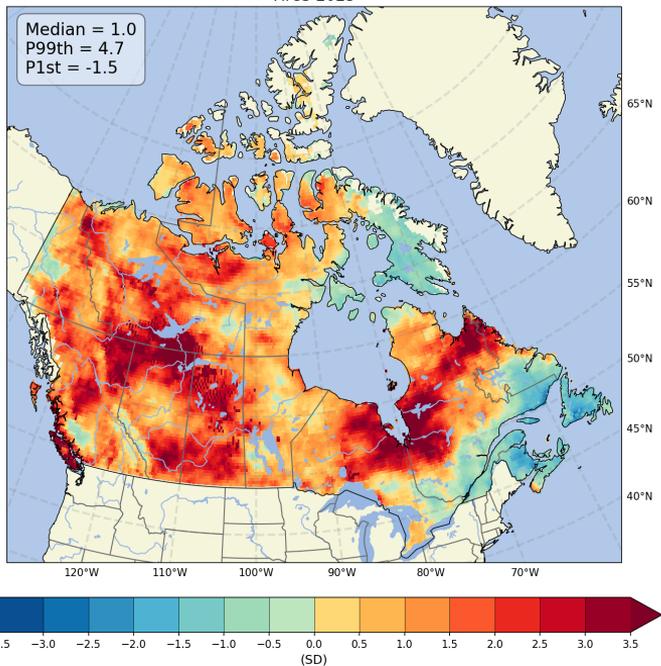
Température moyenne (°C)

Standardized precipitation index (SU)
Valeurs cumulatives sur 6 mois

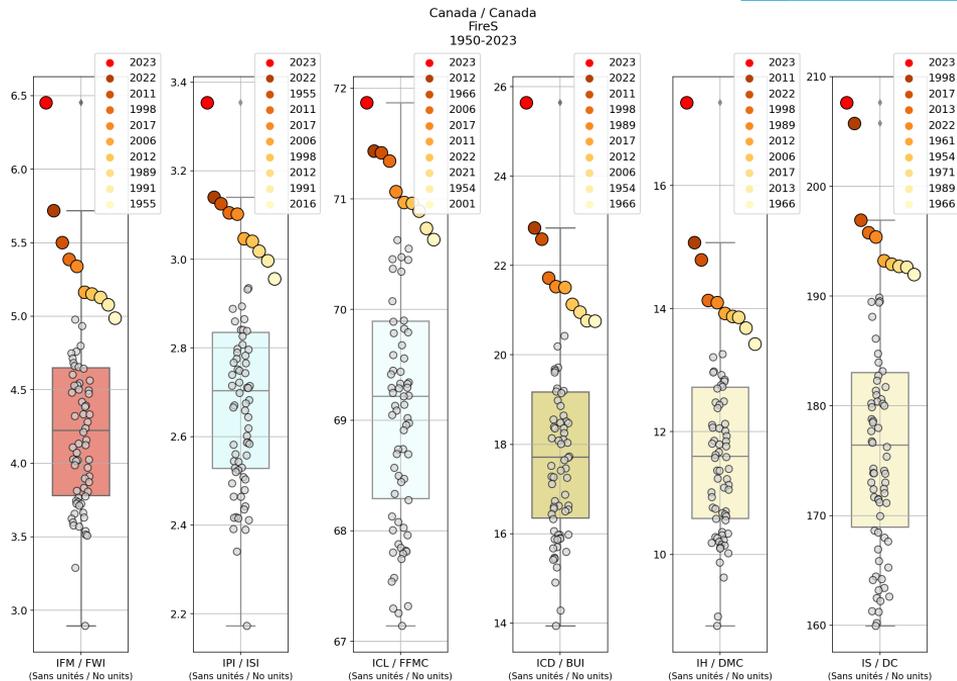
Températures moyennes les plus élevées
Déficit de précipitation le plus élevé (avant 1989)

2023: Saison de feux exceptionnelle au Canada (et au Québec) depuis 1950 pour indices forêt-météo (Source de données ERA5 de Copernicus)

Anomalie standardisée / Standardized Anomaly
Moyenne saisonnière / Seasonal mean
FWI
FireS 2023



Tous les indices forêt-météo ont dépassé les valeurs des autres années



Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2024

Indices IFM / FWI indices
Médiane spatiale / Spatial median

Source: Centre ESCER
(données réanalyse ERA5)

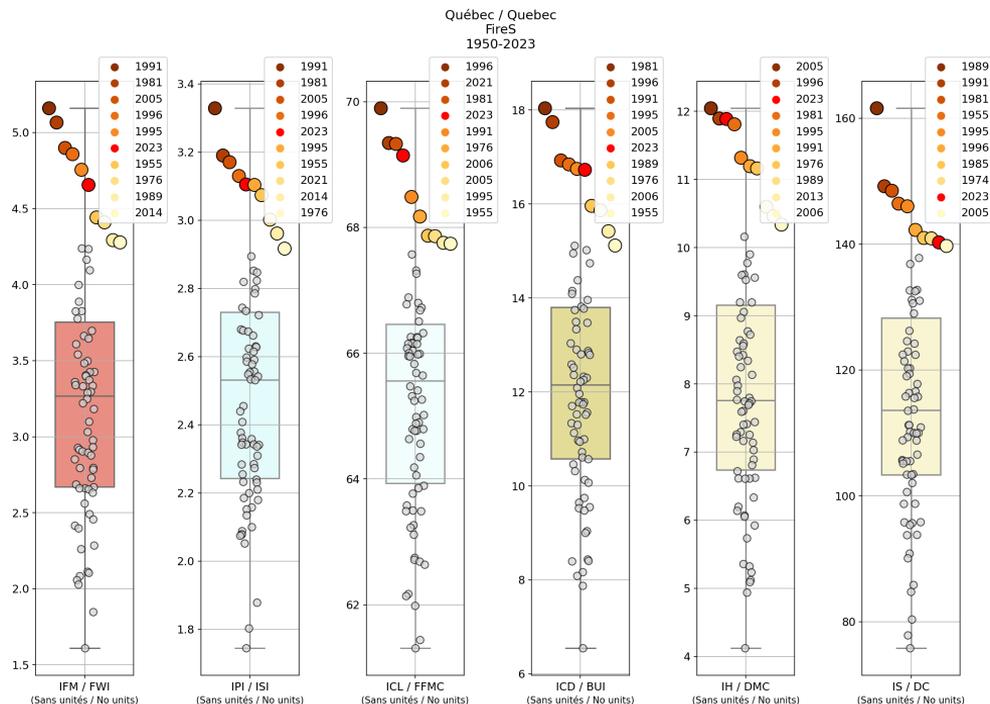
Anomalies standardisées de l'indice IFM

Indice de propagation; Indices de combustible, indices de l'humus et de sécheresse...

2023 : marqueur rouge / red marker
Statistique spatiale / Spatial statistic: Médiane / Median
Données / Data: ERA5
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2024

2023: saison de feux au Québec

Les indices IFM parmi les plus élevés depuis 1950 (Données ERA5, Copernicus)



Indices IFM / FWI indices
Médiane spatiale / Spatial median

Source: Centre ESCER-
UQAM (données réanalyse
ERA5)

2023 : marqueur rouge / red marker

Statistique spatiale / Spatial statistic: Médiane / Median
Données / Data: ERA5
© Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2024

IFM; Indice de propagation initiale; Indices du combustible léger et disponible; indices de l'humus et de sécheresse

2023: saison de feux exceptionnelle au Canada et au Québec

Constats (Service Canadien des Forêts – CWFIS, Canada):

- Saison la plus destructrice jamais enregistrée (Canada).
- Superficie brûlée plus grande que la Grèce et plus du double du record de 1989.
- 6 fois la moyenne (2,5 millions d'hectares) de superficies brûlées (an) au Canada.
- Contrairement aux années précédentes, incendies s'étendaient depuis la côte Ouest aux provinces de l'Atlantique et le Nord.

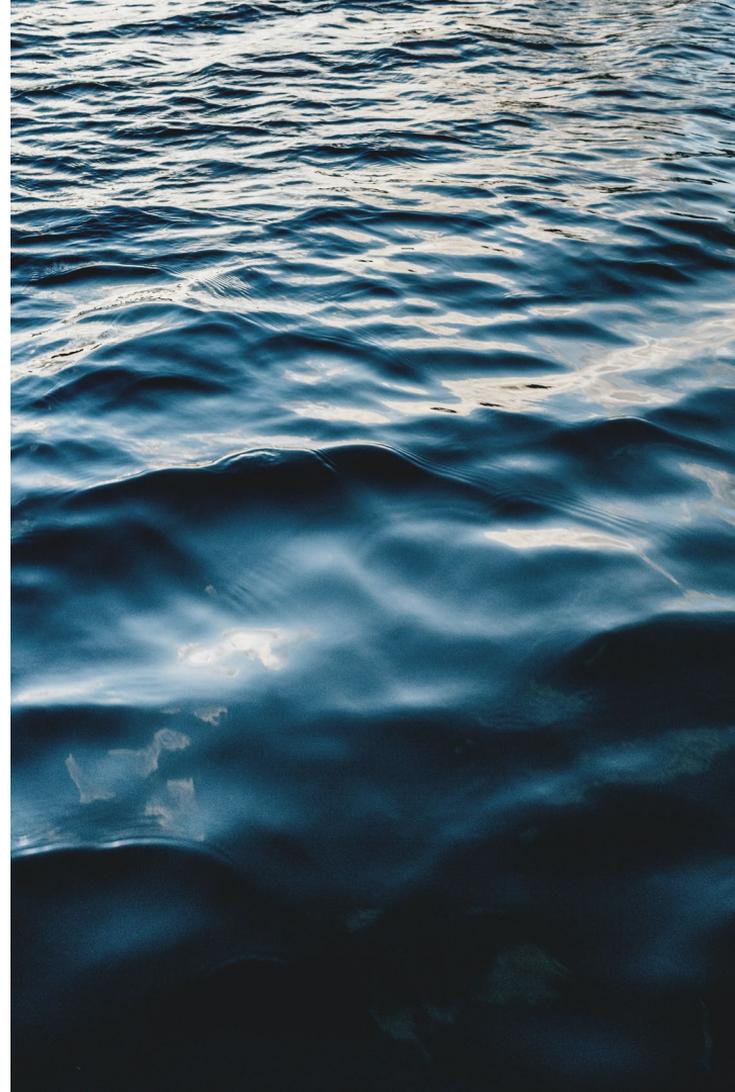
Constat (SOPFEU, Québec):

- L'année 2023 marque un point historique dans l'histoire des forêts du Québec.
- Au cours de la saison, 566 feux ont brûlé près de 1,1 million d'hectares (ha) en Zone de protection intensive (ZPI), et 147 feux ont rasé plus de 3,2 millions ha en Zone nordique, pour un total de 4,3 millions ha.
- Un record de superficie brûlée jamais enregistré dans une province canadienne au cours du dernier siècle.
- La superficie brûlée cette année, causée à 99,9 % par la foudre, est plus élevée que la somme des superficies brûlées des 20 dernières années, toutes causes confondues.

Canada: > 14,9 millions d'Ha de forêts brûlées

Québec: > 4,3 millions d'Ha de forêts brûlées

4. Perspectives et conclusion





Constats: aléas et extrêmes avec le réchauffement...



Extreme heat

More frequent

More intense



Heavy rainfall

More frequent

More intense



Drought

Increase in some
regions



Fire weather

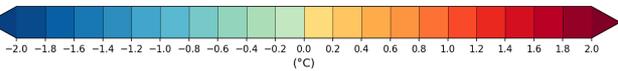
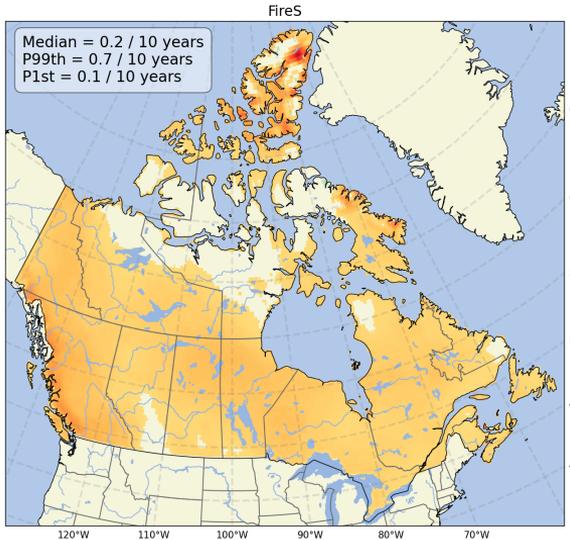
More frequent



Ocean

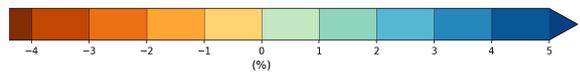
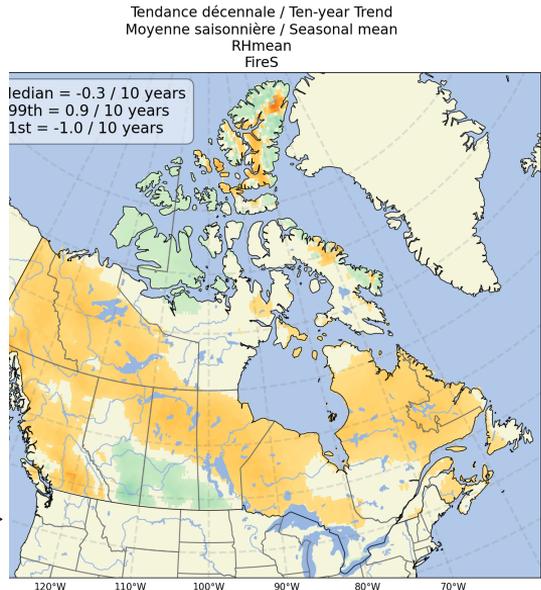
Warming
Acidifying
Losing oxygen

Des indices IFM plus élevés avec le réchauffement au Canada: Évolution durant la saison de feux (mai-octobre) 1950-2020



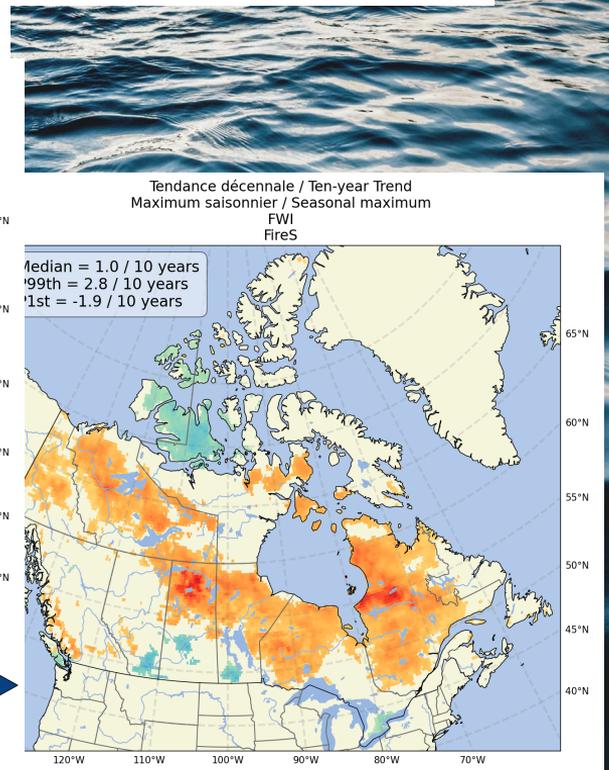
Période de référence / Ref. Period: 1950-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
© Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2022

Température moyenne
(°C/décennie)



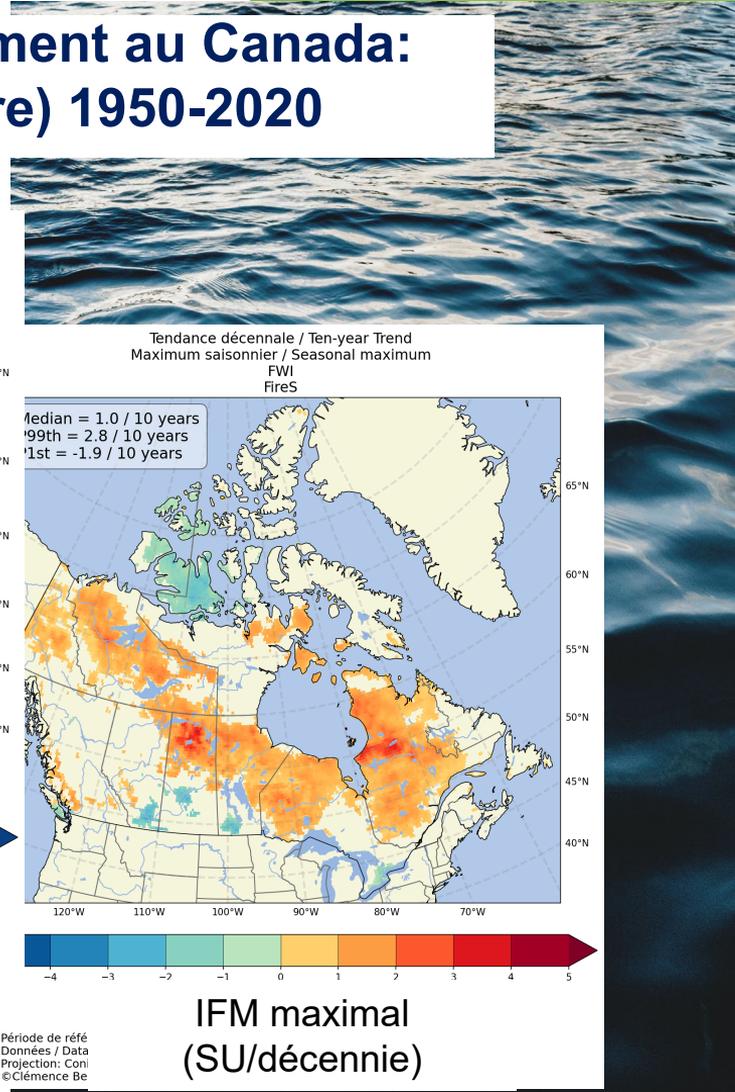
Période de référence / Ref. Period: 1950-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
© Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2022

Humidité relative
(%/décennie)



Période de réf.
Données / Data
Projection: Coni
© Clémence Be

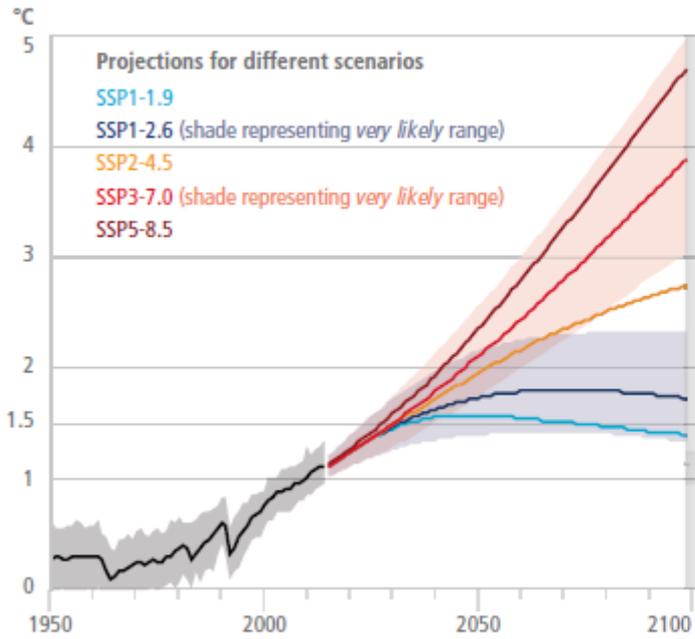
IFM maximal
(SU/décennie)



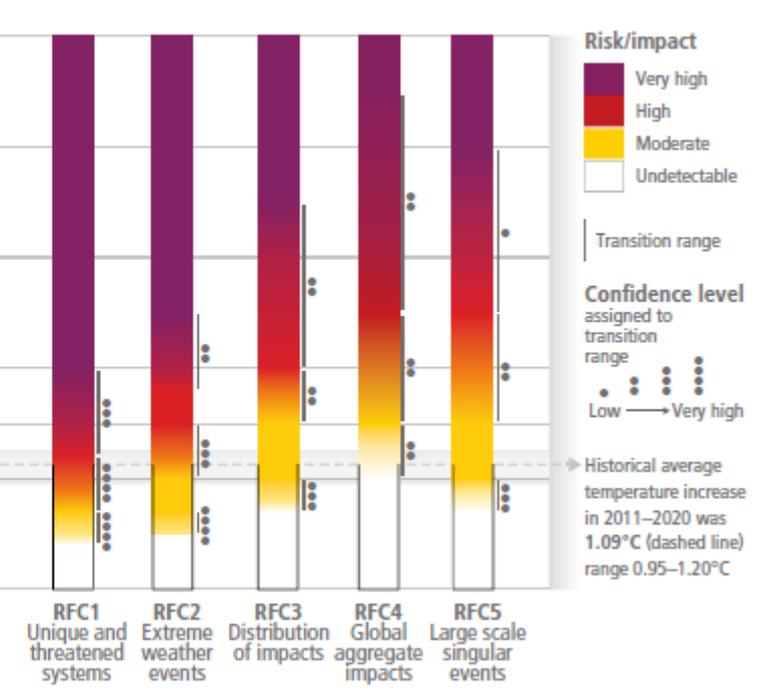
Changements climatiques et risques futurs



(a) Global surface temperature change
Increase relative to the period 1850–1900



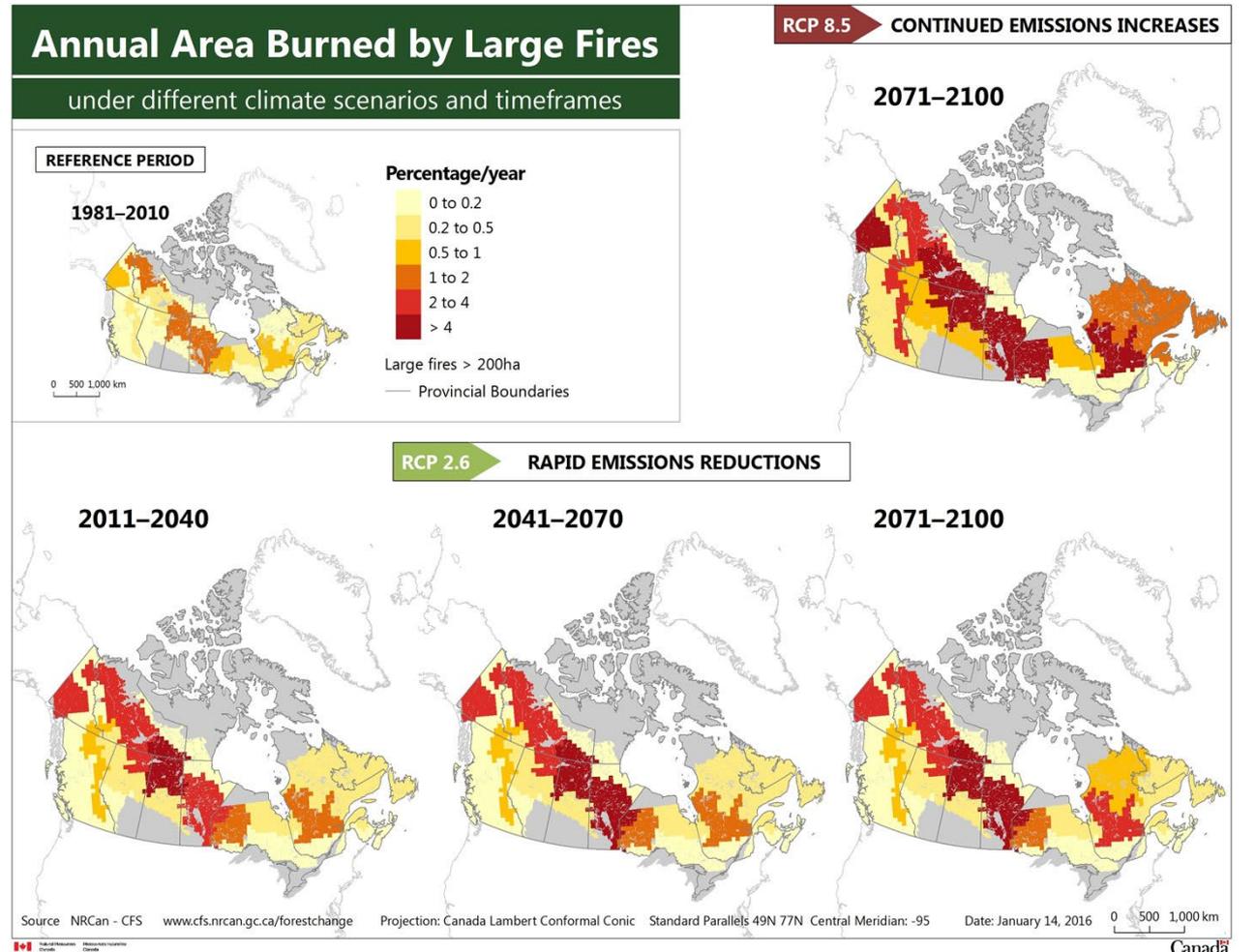
(b) Reasons for Concern (RFC)
Impact and risk assessments assuming low to no adaptation



Source: IPCC (2022)

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. 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 [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Changements climatiques et risques de feux futurs

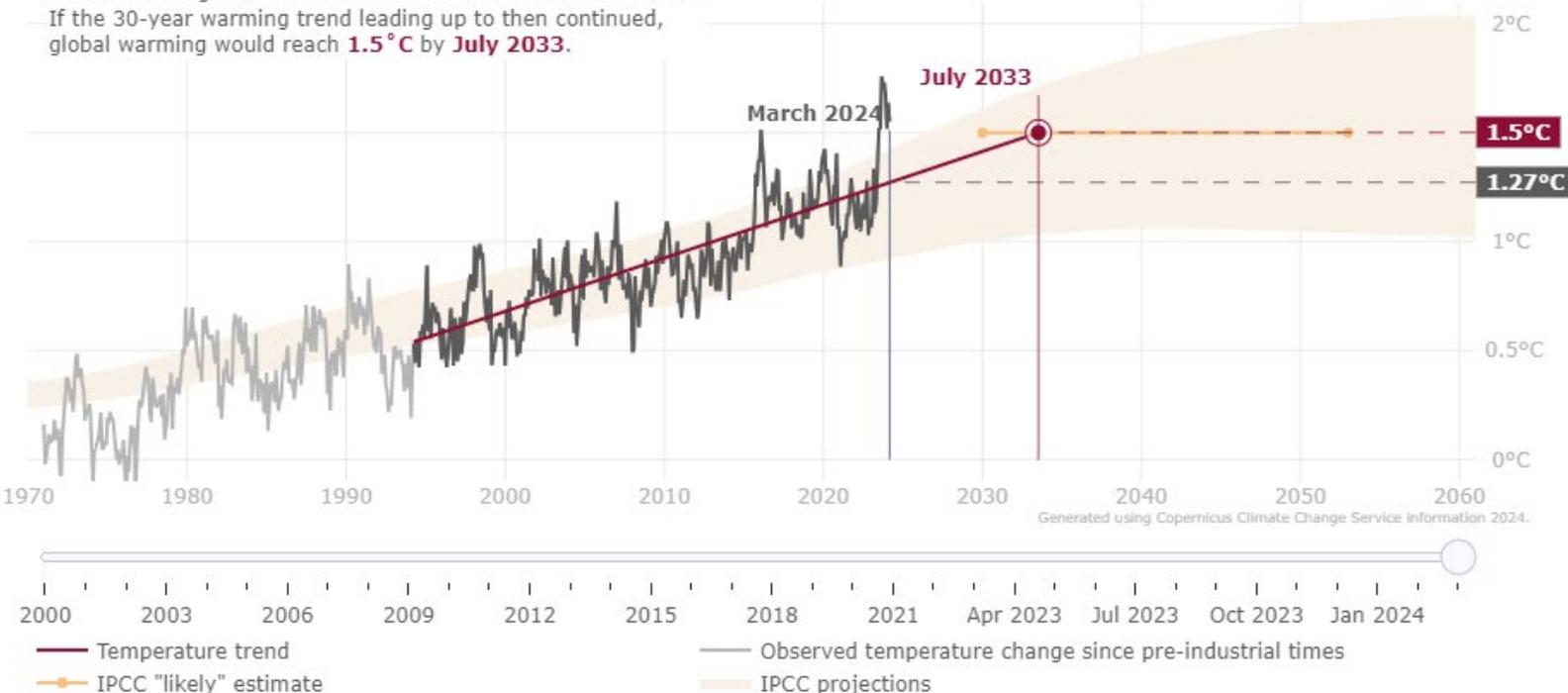


Source: Service Canadien des Forêts, 2024: <https://natural-resources.canada.ca/climate-change/climate-change-impacts-forests/forest-change-indicators/fire-regime/17780>

Le seuil de 1,5°C (accord de Paris) se rapproche dangereusement, ...

Global warming reached an estimated 1.27°C in March 2024.

If the 30-year warming trend leading up to then continued, global warming would reach 1.5°C by July 2033.



Source: ECMWF – Copernicus

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/software/app-c3s-global-temperature-trend-monitor?tab=app>

4. Conclusion, défis et perspectives

1. Conditions météorologiques et climatiques et risques de feux associés:

- **Accélération du réchauffement ... combiné à un fort déficit de précipitation à travers le Canada** → feux de grande envergure (ex., 2023 a battu des records de superficie brûlée);
- **Effets dominos** qui s'amplifient: vagues de chaleur + sécheresses (selon l'occurrence, durée, étendue et fréquence des jours bloqués ou persistance de temps humides/secs);
- **Nombre de phénomènes de persistance (jours bloqués dans la circulation atmosphérique, tendances significatives) à surveiller (ex. printemps):** région Atlantique Nord (tendances futures à confirmer).

2. Défis et perspectives (gestion des risques):

- **Mieux comprendre les facteurs de risques** (ex., prévisibilité des risques de feux associés aux effets combinés) selon les seuils de réchauffement (on se rapproche de 1,5°C...);
- **Renforcer le suivi et la surveillance intégrés** des risques de feux (basés sur les impacts et mise en perspective des conditions en cours, vs passées et futures); et
- **Améliorer la prévention et la préparation**, alors que la capacité à faire face qui est très variable selon le milieu, les communautés (ex., 1^{ère} nations) et les individus.

4. Défis et perspectives (suite)

3. Solutions (risques de feux en augmentation, cf. Barnes et al., 2023; Y. Boulanger et al., 2024):

- 1) **Considérer le feu dans la planification forestière:** À posteriori (re-planification), À priori créer des réserves de précautions (police d'assurance et réduire la variabilité de la récolte);
- 2) **Rendre les forêts/communautés/infrastructures plus résistances/résilientes** aux feux;
- 3) **Vaincre les accidents de régénération** qui augmenteront: forêts non matures qui brûleront plus souvent alors que les feux seront plus fréquents; ex. 80 kha de forêts jeunes plantés ont brûlé en 2023 (plantations ex. 50-60 kha/an);
- 4) **Approche de transition** (ex., espèces à l'extérieur de leur zone de distribution);
- 5) **Secteur forestier et structure industrielle** plus résilients (?)
- 6) **Augmenter les capacités de suppression** des feux (améliorer le suivi et la surveillance des risques de feux et leurs dommages et la capacité d'intervention).

Des défis majeurs persistent ou sont à considérer:

- Coût du statut quo vs adaptation ou gestion intégrée des risques;
- Coûts du reboisement de 2023 (> 2 milliard de \$; cf. Boulanger et al., 2024);
- Services écosystémiques et socio-écologiques de la forêt (?);
- Mieux gérer la ressource sur le long terme,

Références et suggestions de lecture

Barnes C., Boulanger Y., Keeping T., Gachon P., Gillett N., Boucher J., Roberge F., Kew S., Haas O., et al. (2023). Climate change more than doubled the likelihood of extreme fire weather conditions in Eastern Canada. Scientific Report, <https://doi.org/10.25561/105981>.

Boulanger Y., Arseneault D., Bélisle A.C., Bergeron Y., Boucher J., Boucher Y., Danneyrolles V., Erni S., Gachon P., Girardin M.P., Grant E., Grondin P., Jetté J.P., Labadiem G., Leblond M., Leduc A., Puigdevall J.P., St-Laurent M.H., Tremblay J.A., et Waldron K. (2024). The 2023 wildfire season in Québec: an overview of extreme conditions, impacts, lessons learned and considerations for the future. *Canadian Journal of Forest Research* (sous presse), <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/cjfr-2023-0298>.

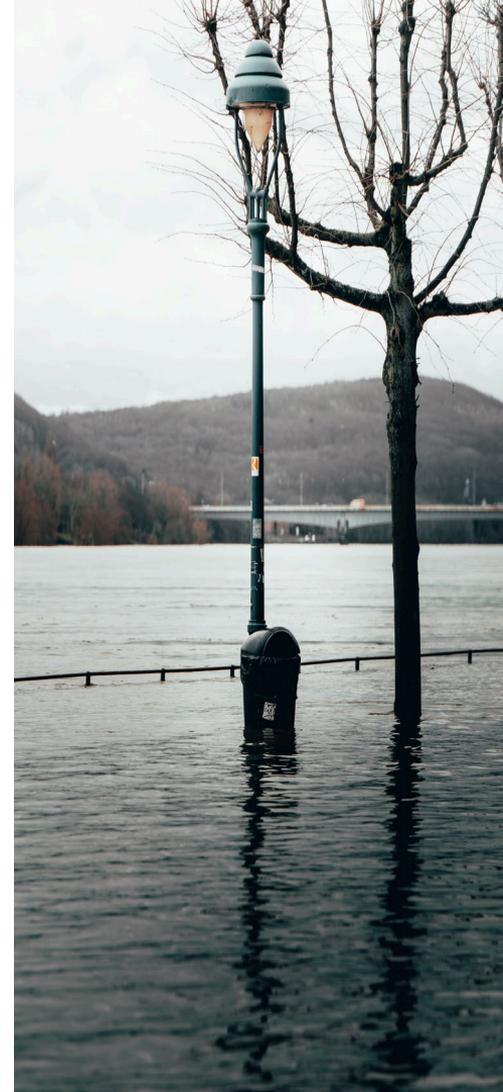
Boulanger, Y., Bélisle, A.C., Boucher, J., Boucher, Y., Danneyrolles, V., Erni, S., Gachon, P., Girardin, M., Grondin, P., Jetté, J.-P., Labadie, G., Leduc, A., St-Laurent, M.-H., Thiffault, E. et Waldron, K. (2023). The 2023 wildfire season is a wakeup call for the Quebec forest sector. *Civil Magazine*. 39: 12-14.

IPCC, 2024: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. 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* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

UNDRR (2019), “Global assessment report on disaster risk reduction”, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), Geneva, available at: https://gar.undrr.org/sites/default/files/reports/2019-05/full_gar_report.pdf

World Meteorological Organization (WMO) (2024), “State of the Global Climate 2023”, WMO, Geneva, Vol. 1347, available at: <https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023>

WMO, 2021: Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2018). WMO-No. 1267, 90 p.



Remerciements

Nous tenons à remercier:

- ▶ Le centre **ESCER** et **Alliance Numérique du Canada** (temps de calcul);
- ▶ **Ressources naturelles Canada** (Service canadien des forêts) pour leur collaboration et leur support financier;
- ▶ **Copernicus** pour l'accès libre aux données de la réanalyse ERA5;
- ▶ Ainsi que nos collègues **Frédéric Toupin**, Katja Winger, Clémence Benoit, François Roberge et Ana Llerena pour leur assistance technique et leur collaboration au projet, ainsi que Yan Boulanger et Jonathan Boucher.

Merci beaucoup pour votre attention
Questions ?