UQÀM | Université du Québec à Montréal

CENTRE ESCER
POUR L'ÉTUDE ET LA SIMULATION DU CLIMAT À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Changements climatiques et inondations:

Comprendre les risques pour mieux les anticiper

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)

RIISQ
Réseau Inondations InterSectoriel du Québec

Avec le support financier des
Québec
Fonds de recherche – Nature et technologies
Fonds de recherche – Santé
Fonds de recherche – Société et culture

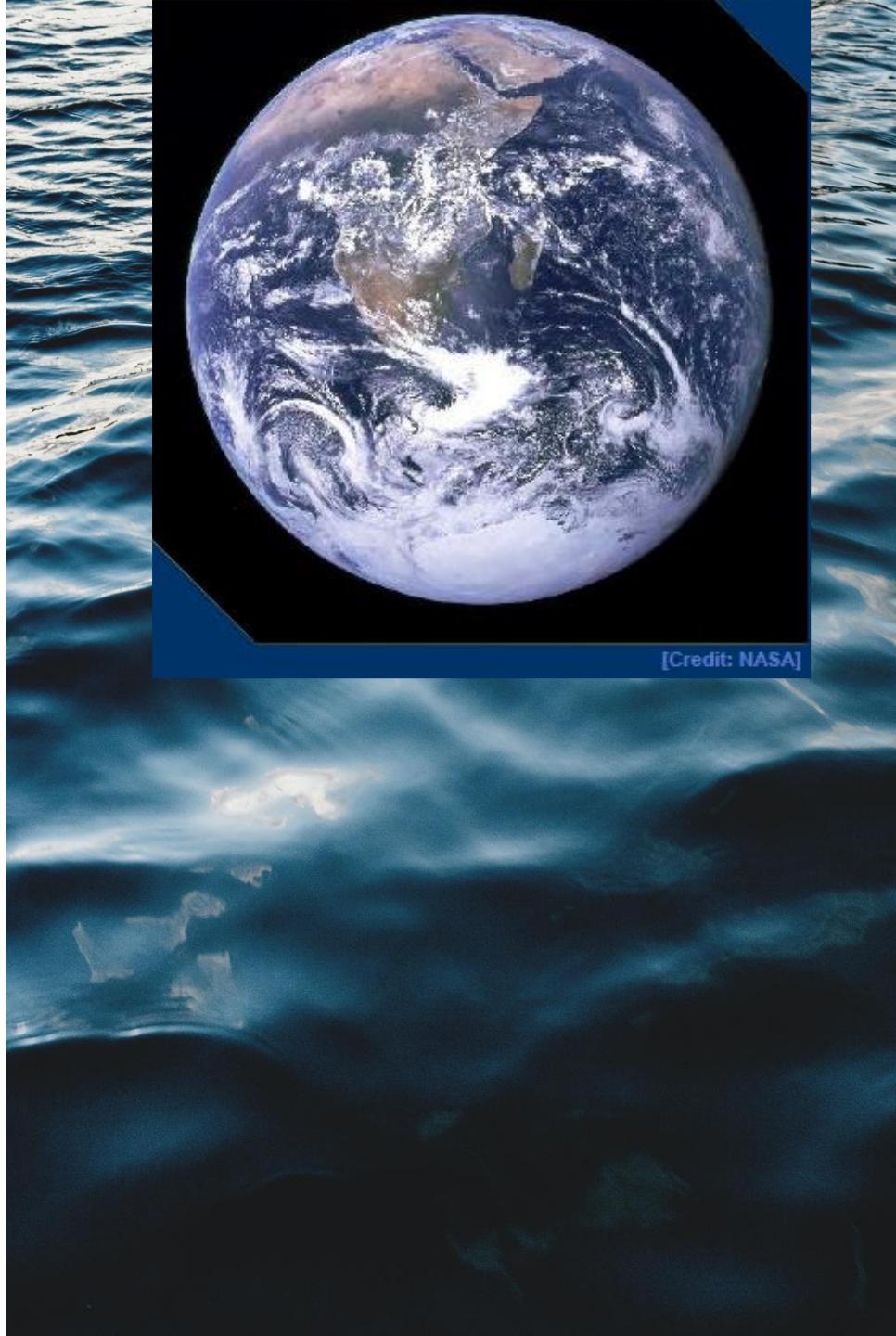
Plan de présentation

1. **Concepts et constats:**
   - Risques climatiques
   - Liens entre changements climatiques, cycle de l'eau et risques
   - Saisonnalité des risques d'inondations
   - Désastres naturels (WMO, 2021) et motifs de préoccupations (IPCC, 2022)

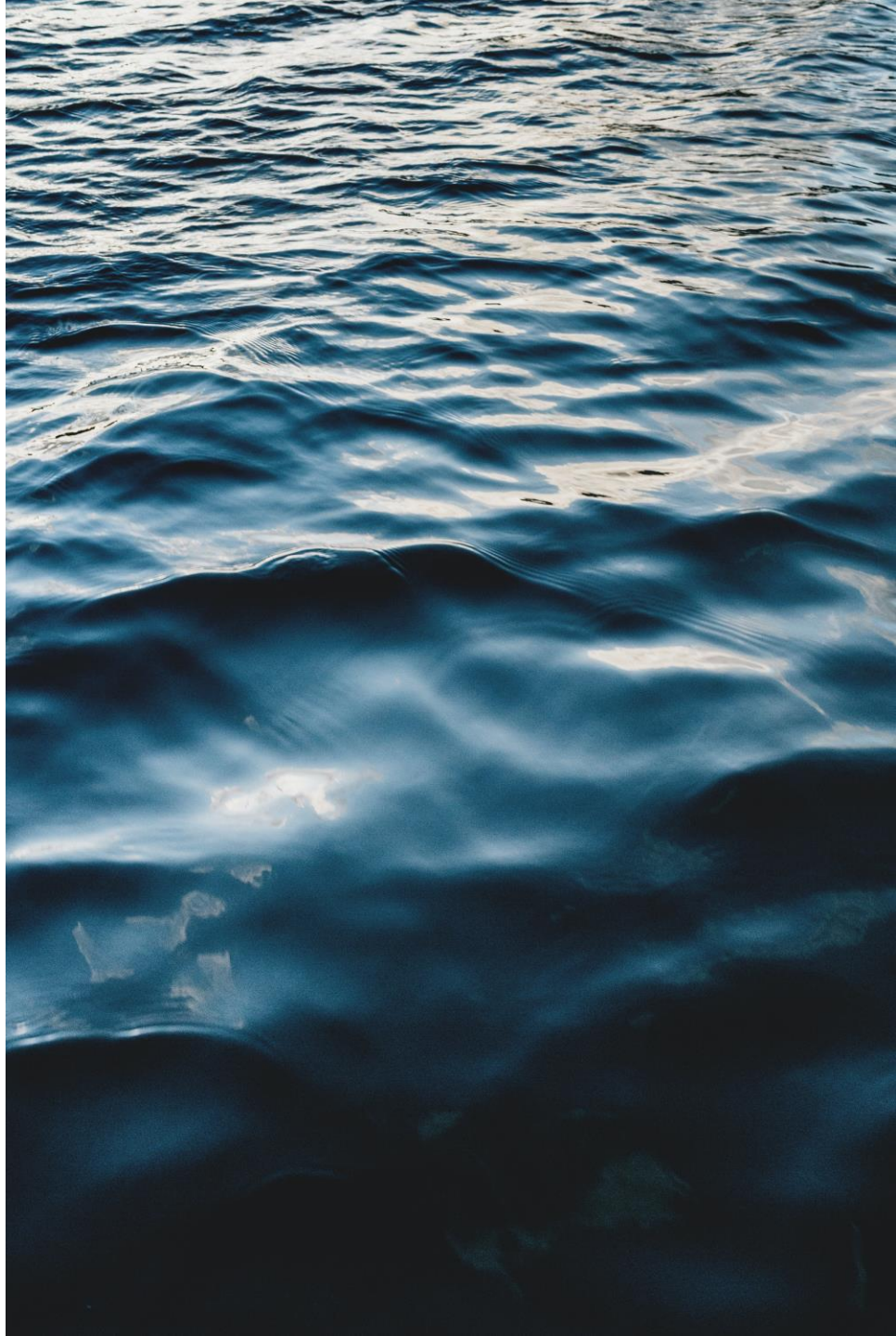
2. **Changements climatiques:**
   - Historiques: Échelle globale vs Canada
   - Futurs: Échelle globale vs Canada et Québec
   - Effets sur risques d'inondations au printemps: Québec

3. **Nouveaux outils de modélisation nécessaires (risques/aléas à l'échelle régionale et locale)**

4. **Conclusion et perspectives:** Actions prioritaires et recommandations

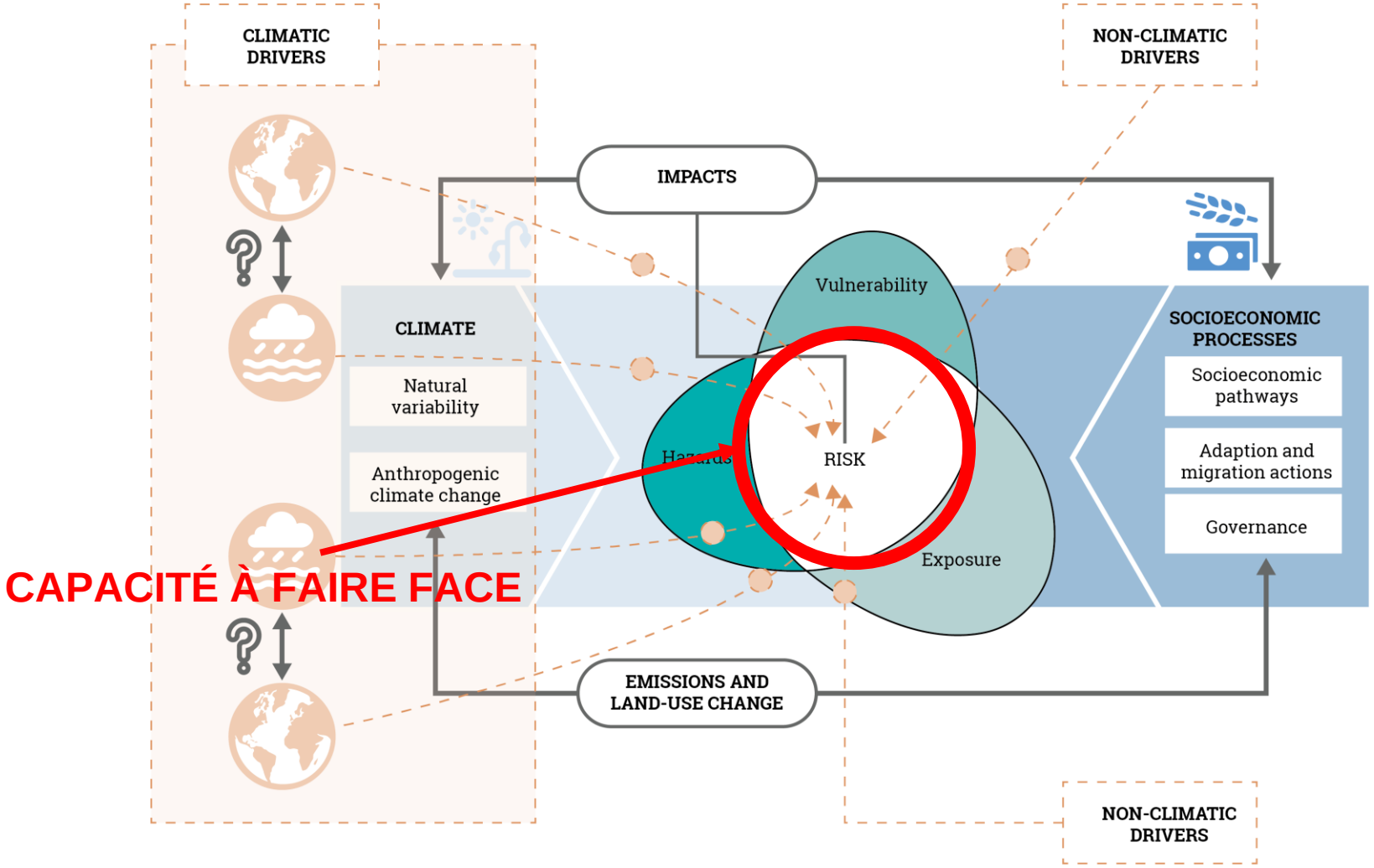


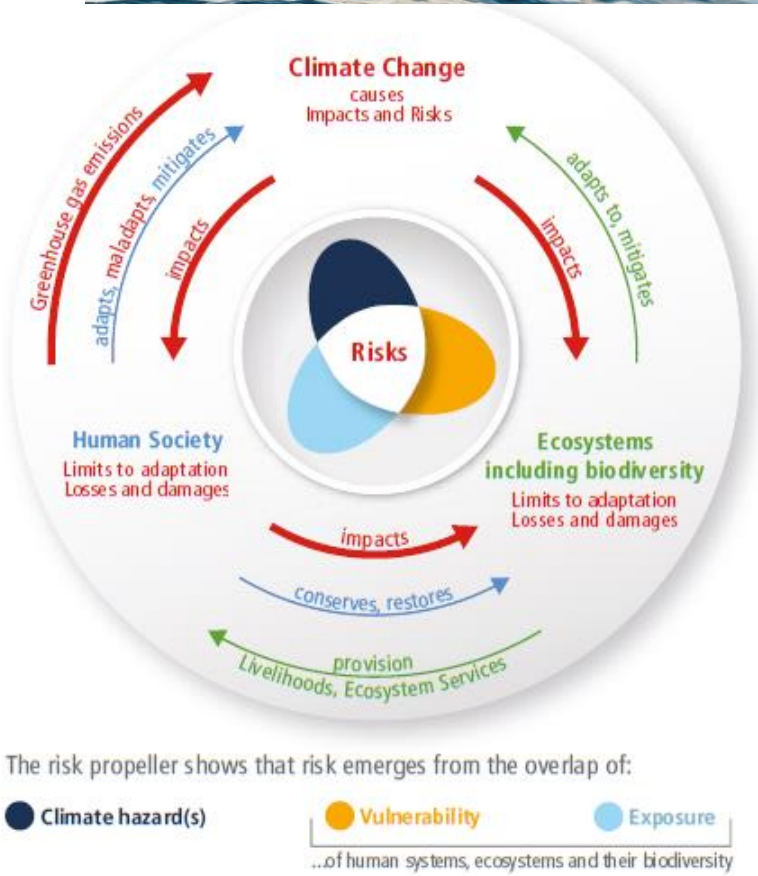
1. Concepts et constats



1. Risques climatiques

Risque = Aléa + Vulnérabilité + Exposition

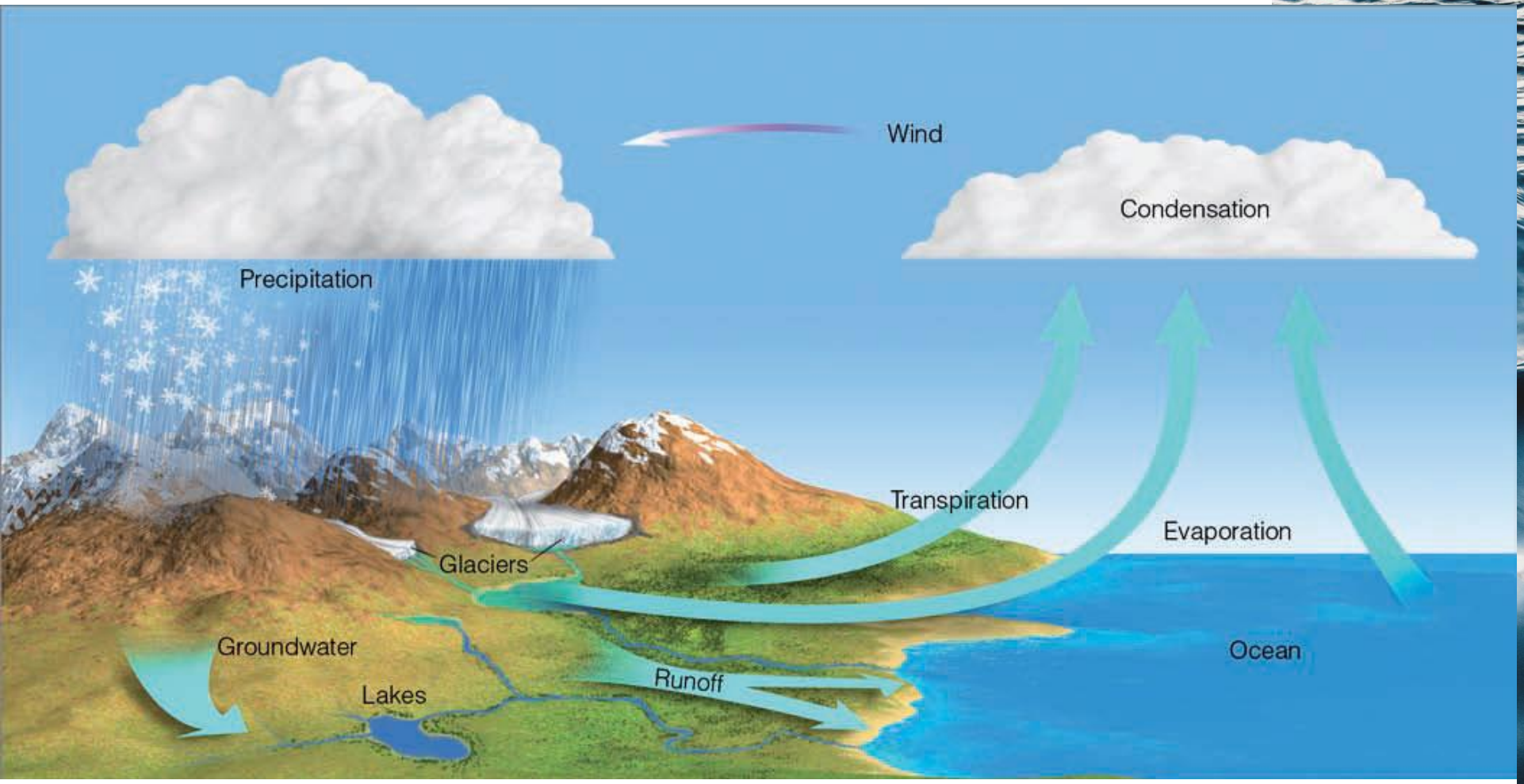


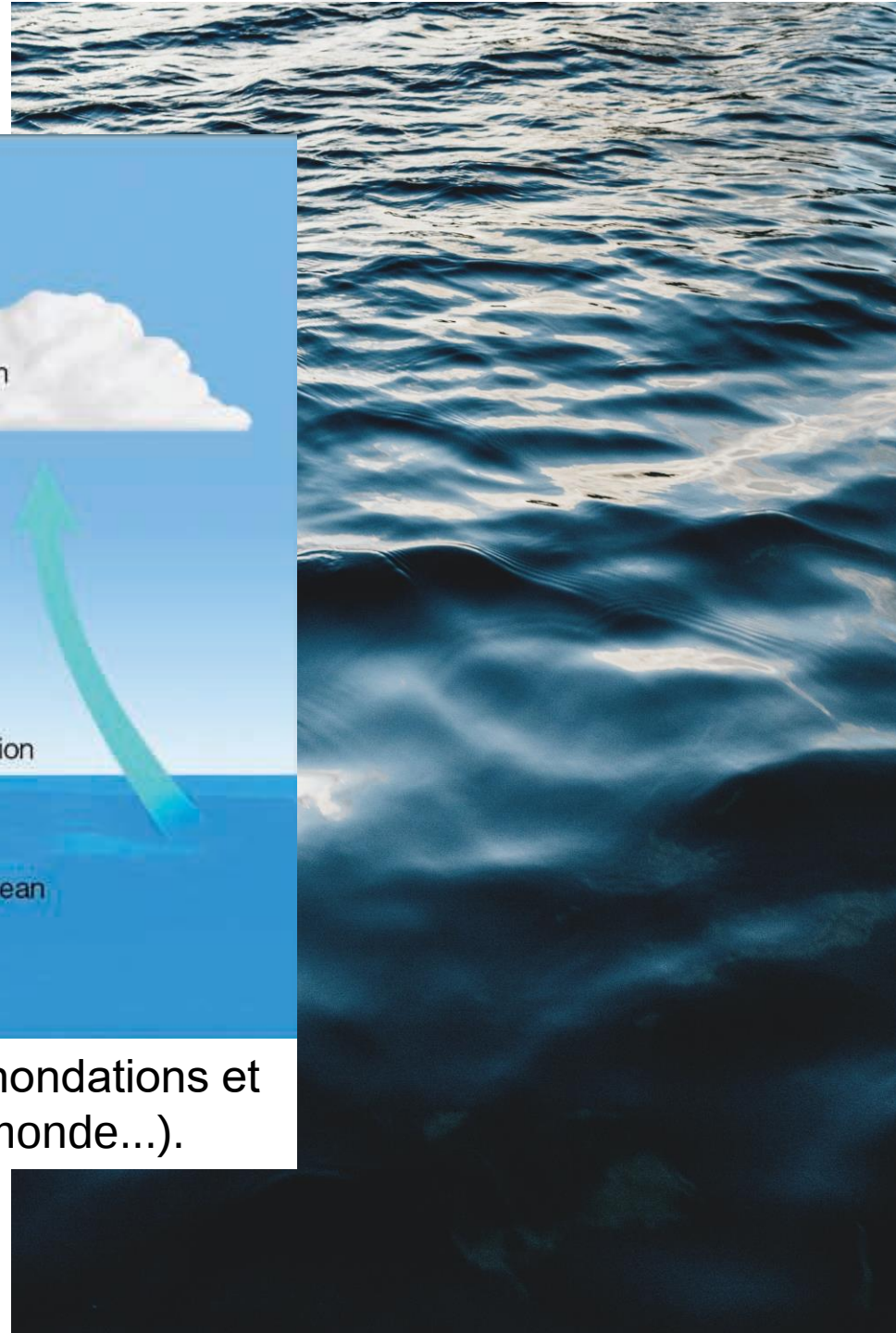


IPCC (2022)

Source: UNDRR (GAR 2022) https://www.undrr.org/gar2022-our-world-risk

1. Le cycle de l’eau et les risques



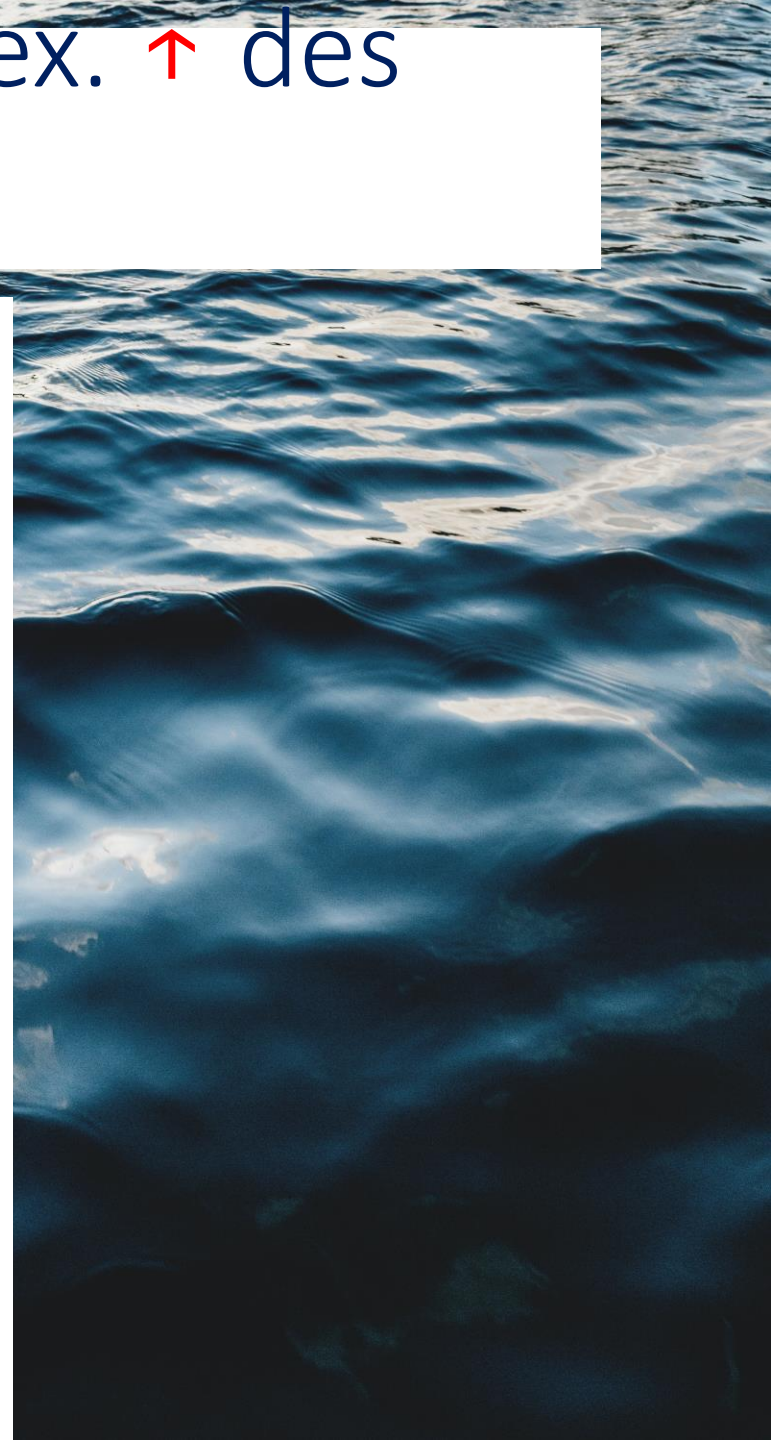


La majorité des risques naturels sur Terre implique l’eau et son cycle (inondations et tempêtes dominent en terme de nombres de catastrophes à travers le monde...).

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

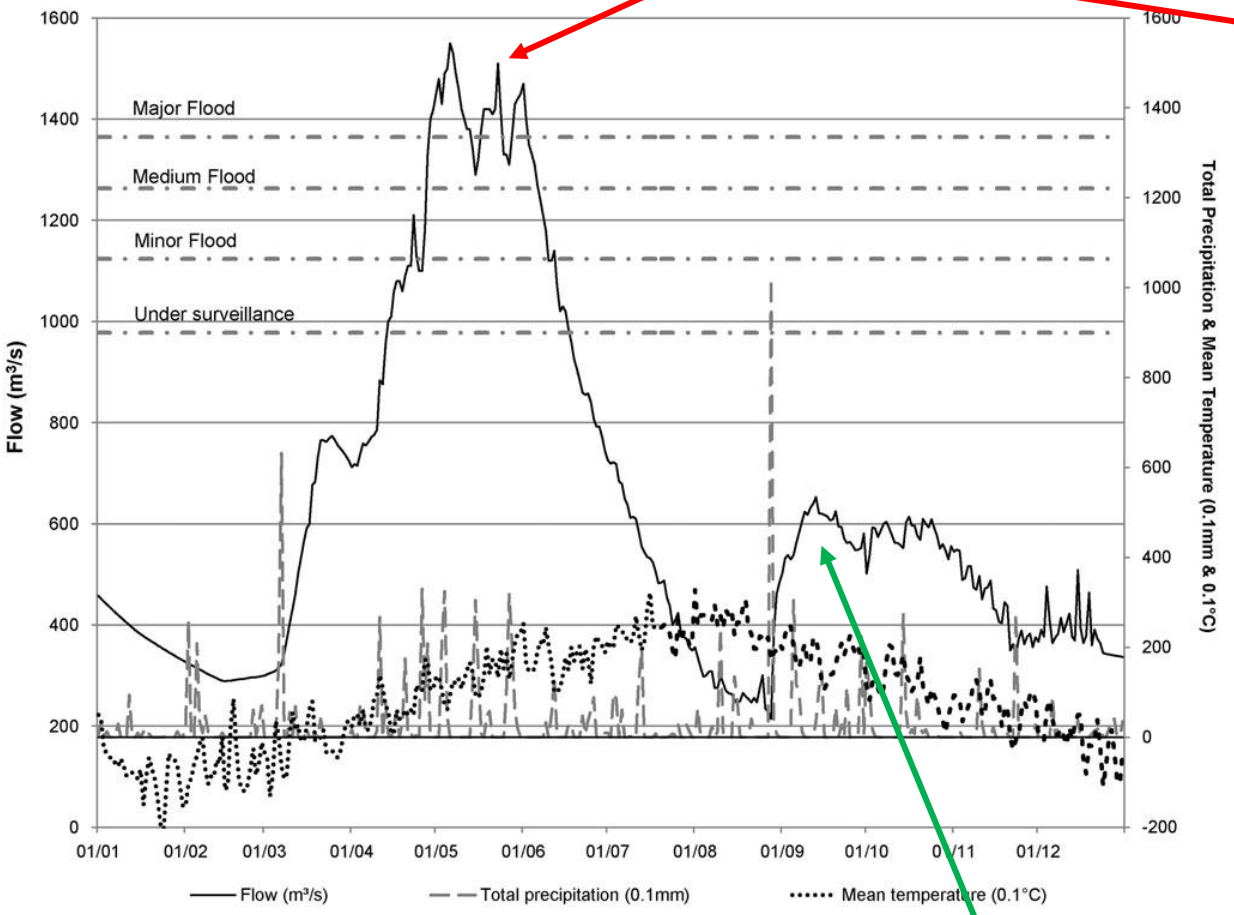
modification du cycle hydrologique (ex. ↑ des T°C)

- **Plus d'humidité** dans l'atmosphère (≈ ↑ 7%/°C)
- **Propriétés des nuages**: nuages convectifs (orages intenses ↑)
- I**ntensité** des précipitations (↑)
- **Evapotranspiration** (plante) et **évaporation surface d'eau** (↑)
- **Ruissellement eaux de surface et circulation eau dans le sol** (↑)
- **Cryosphère** (glace marine et continentale, neige, pergélisol) (↓)
- **Intensité des systèmes météo** (↑)
- **Cycle de gel et de dégel** (↑)
- **Événements** de **pluie sur neige** (↑), effets dominos
- **Régime hydrologique**: crues et étiages (↑), saisonnalité modifiée
- **Niveau de la mer** (↑)

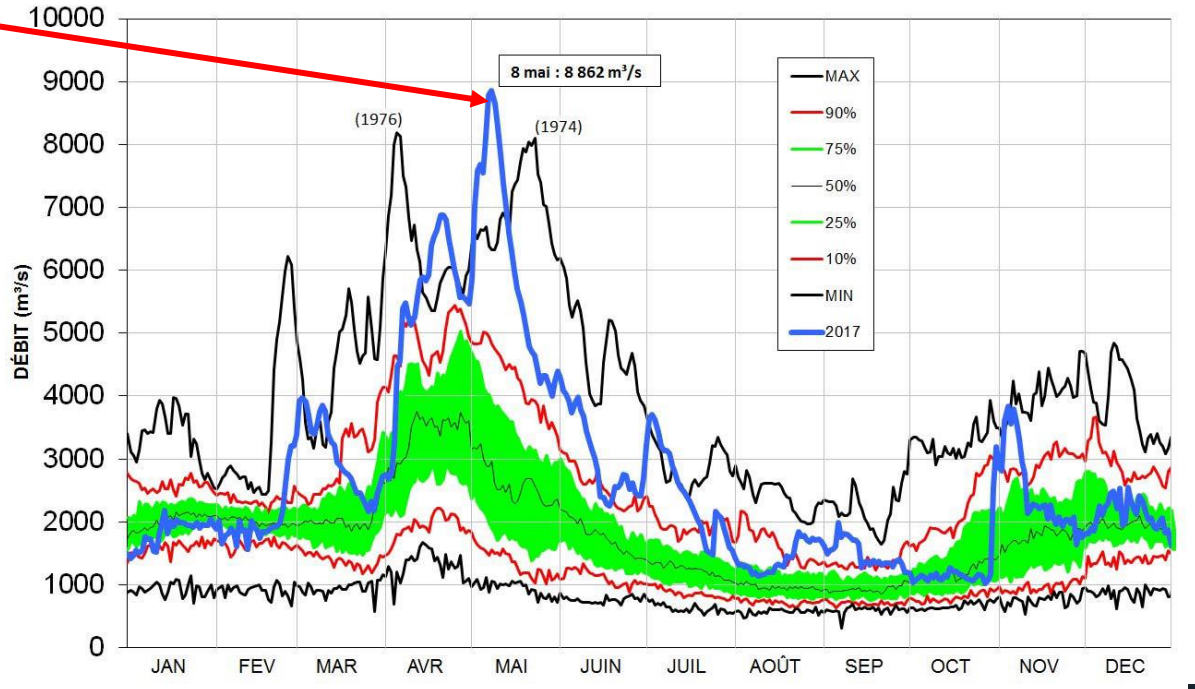


1. Saisonnalité des risques d'inondations (température est le facteur clé)

Printemps: Cumul de fonte de neige et d'occurrence de pluie sur neige



Richelieu à Rapide Fryers
(Saad et al., 2015)



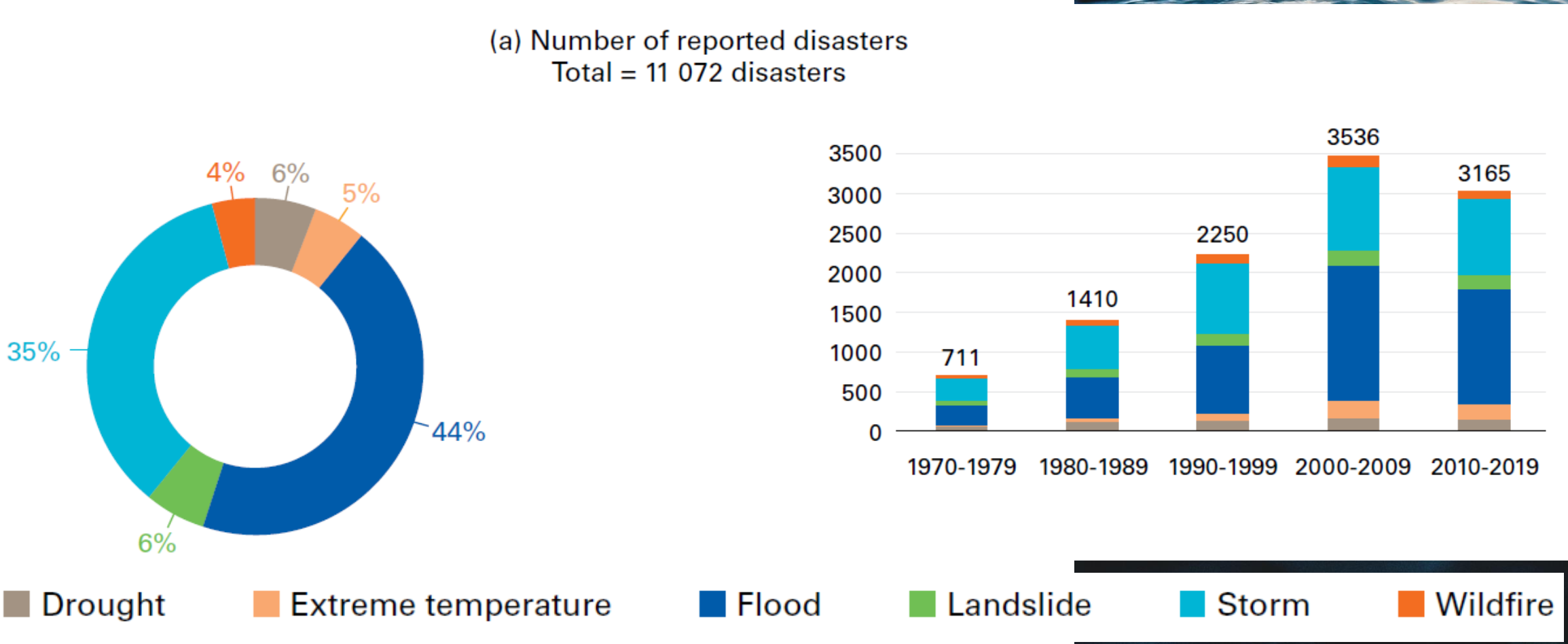
Outaouais à Carillon

Source: Sommaire de la crue printanière 2017, Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais: https://ottawariver.ca/wp-content/uploads/2019/02/Sommaire-crue-printaniere-2017a.pdf

Pluies automnales
(ex. systèmes extratropicaux)

catégorie

Distribution du nombre de désastres par décennie depuis 1970s



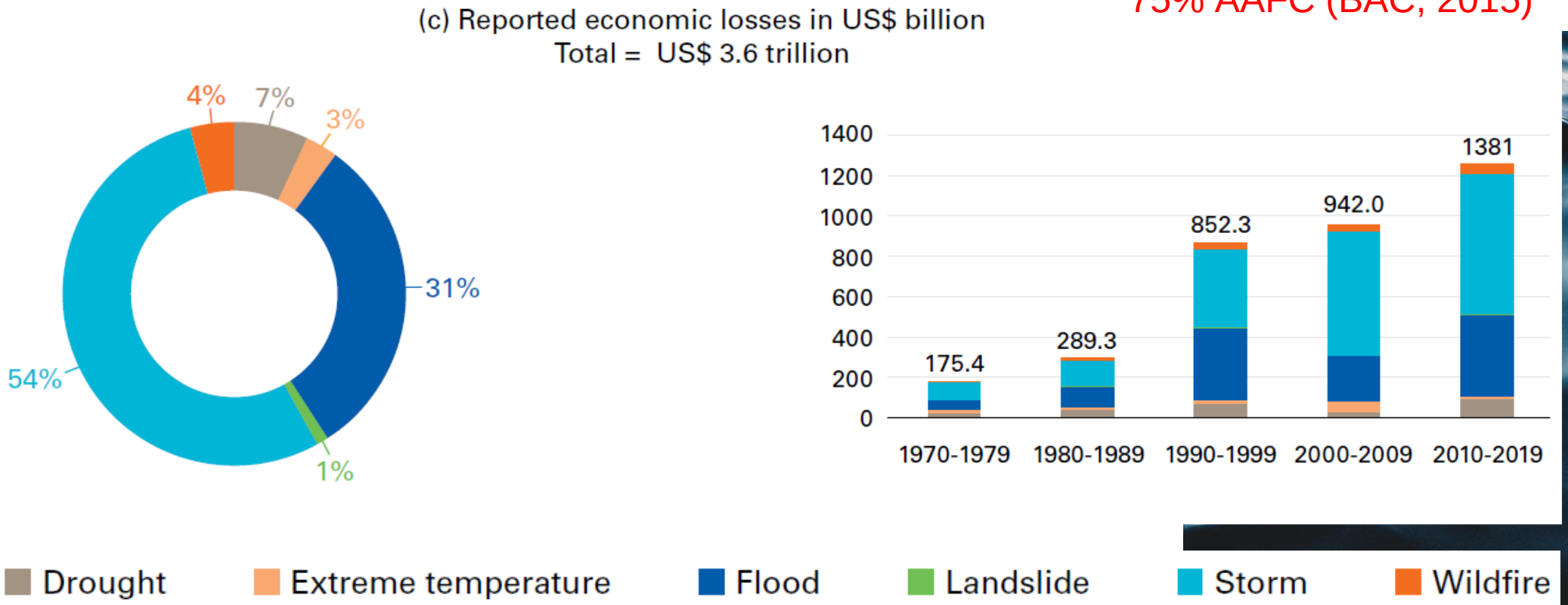
Source: WMO, 2021: Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2018). WMO-No. 1267, 90 p.

1. Désastres naturels: coûts

Coûts économiques associés aux désastres depuis 1970s

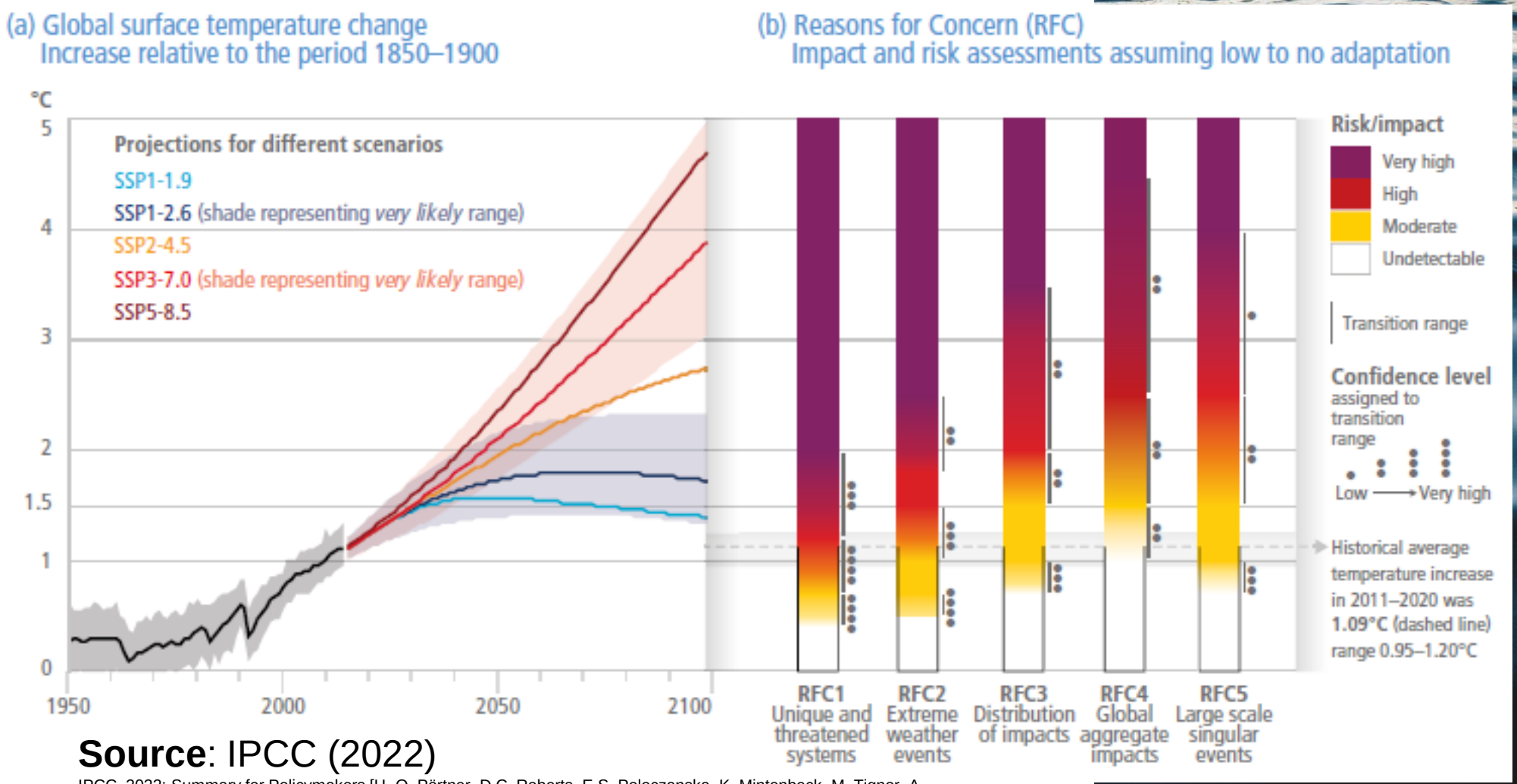
Personnes et biens économiques affectés en croissance: Exposition augmente !

Au Canada (catastrophes hydrométéorologiques augmentent) : Inondations = 40 % de toutes les catastrophes naturelles et l'impact économique annuel moyen le plus élevé = 75% AAFC (BAC, 2015)



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

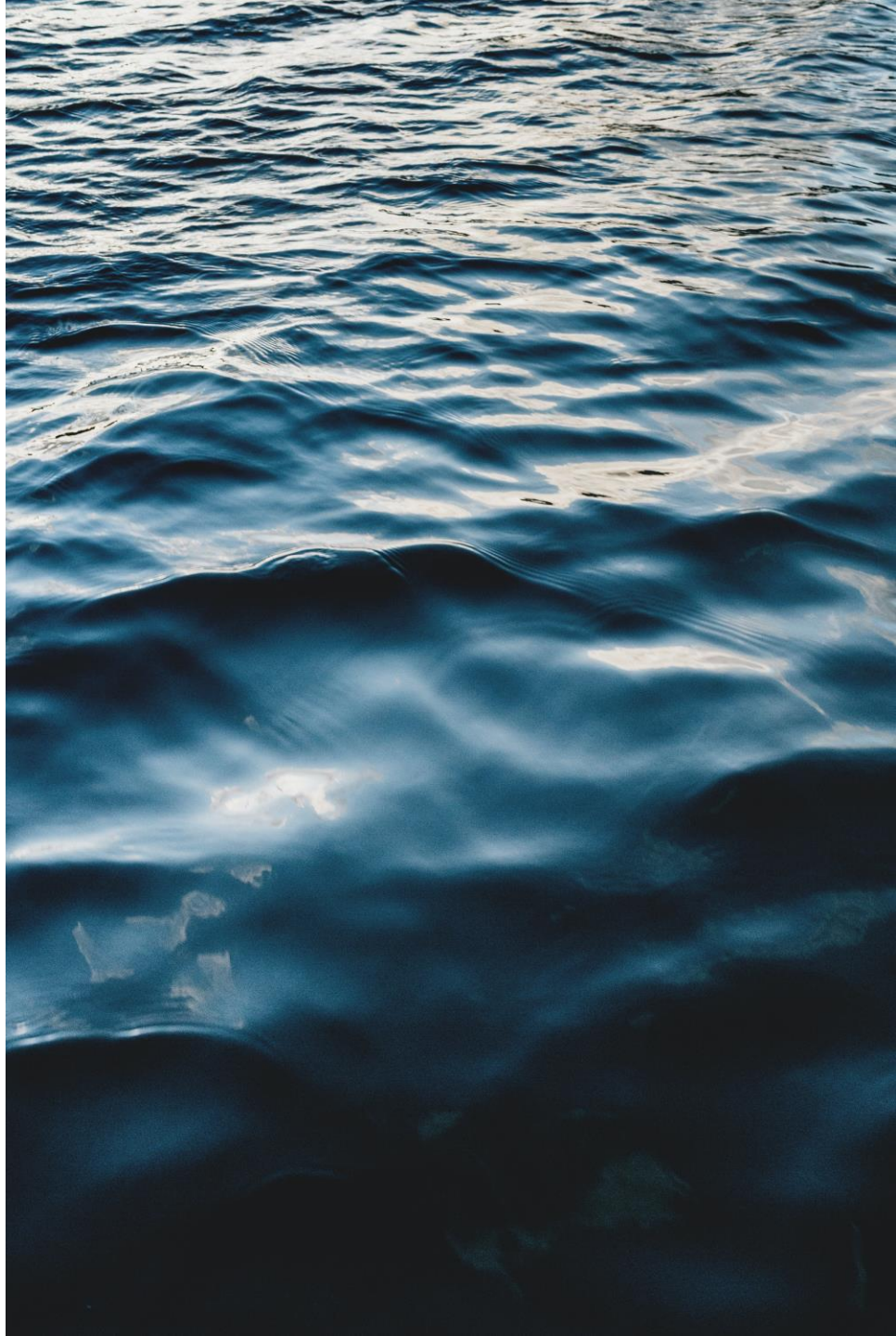
1. Liens entre risques et changements climatiques



Source: IPCC (2022)

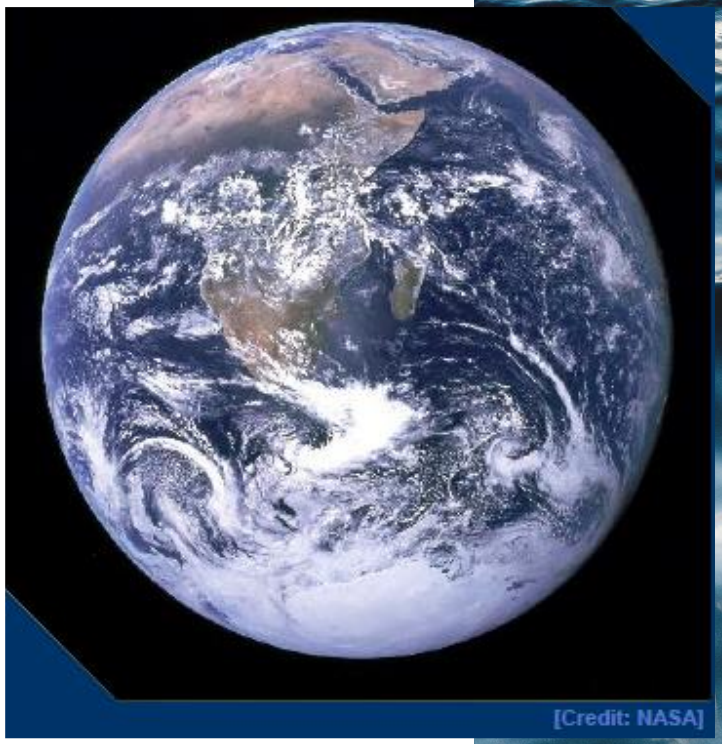
IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment 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.

2. Changements climatiques (les faits saillants)

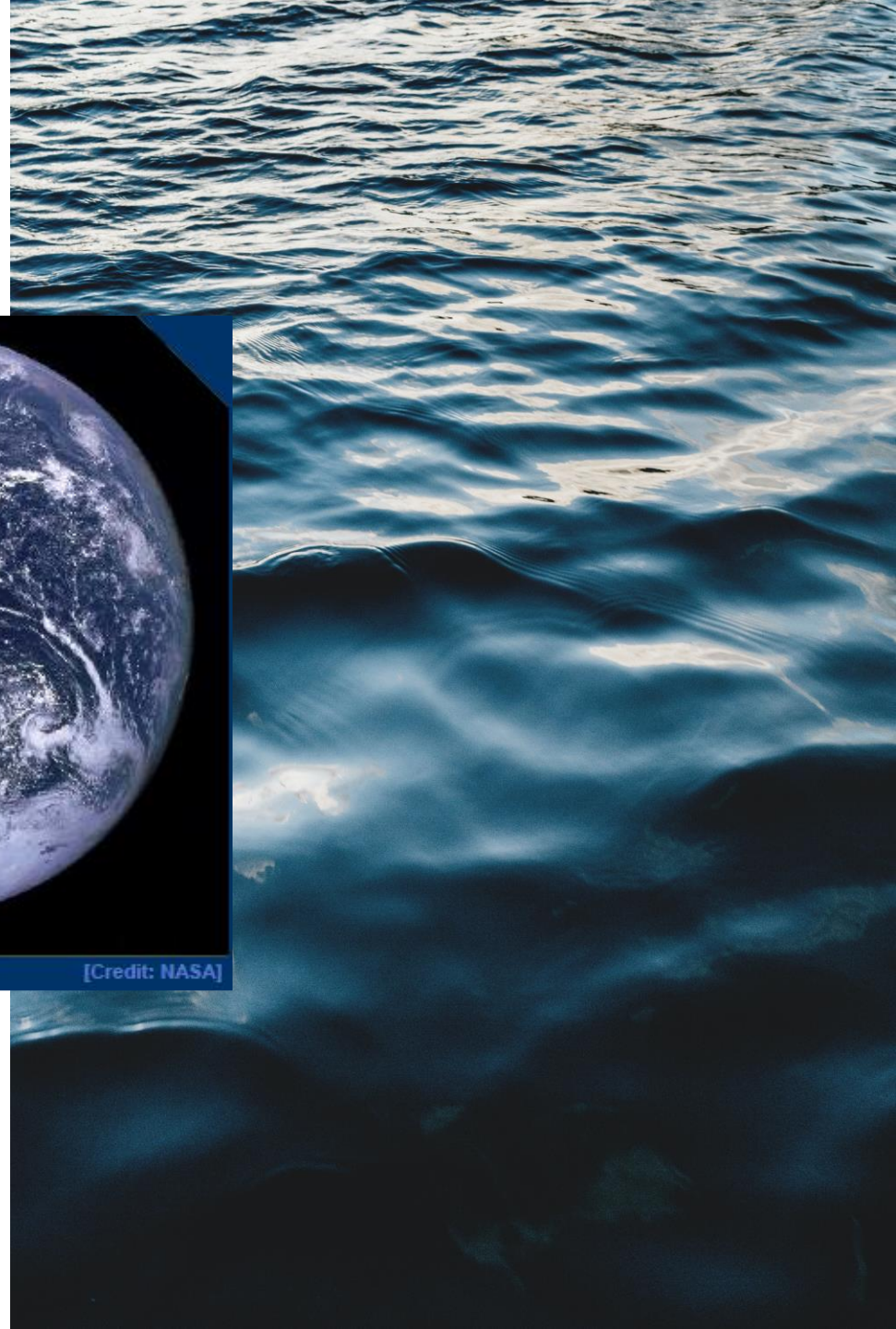


2. Quelques faits saillants du dernier rapport du GIEC (IPCC, 6e AR)

Les changements climatiques récents sont généralisés, rapides et en intensification, et sans précédent depuis des milliers d'années.

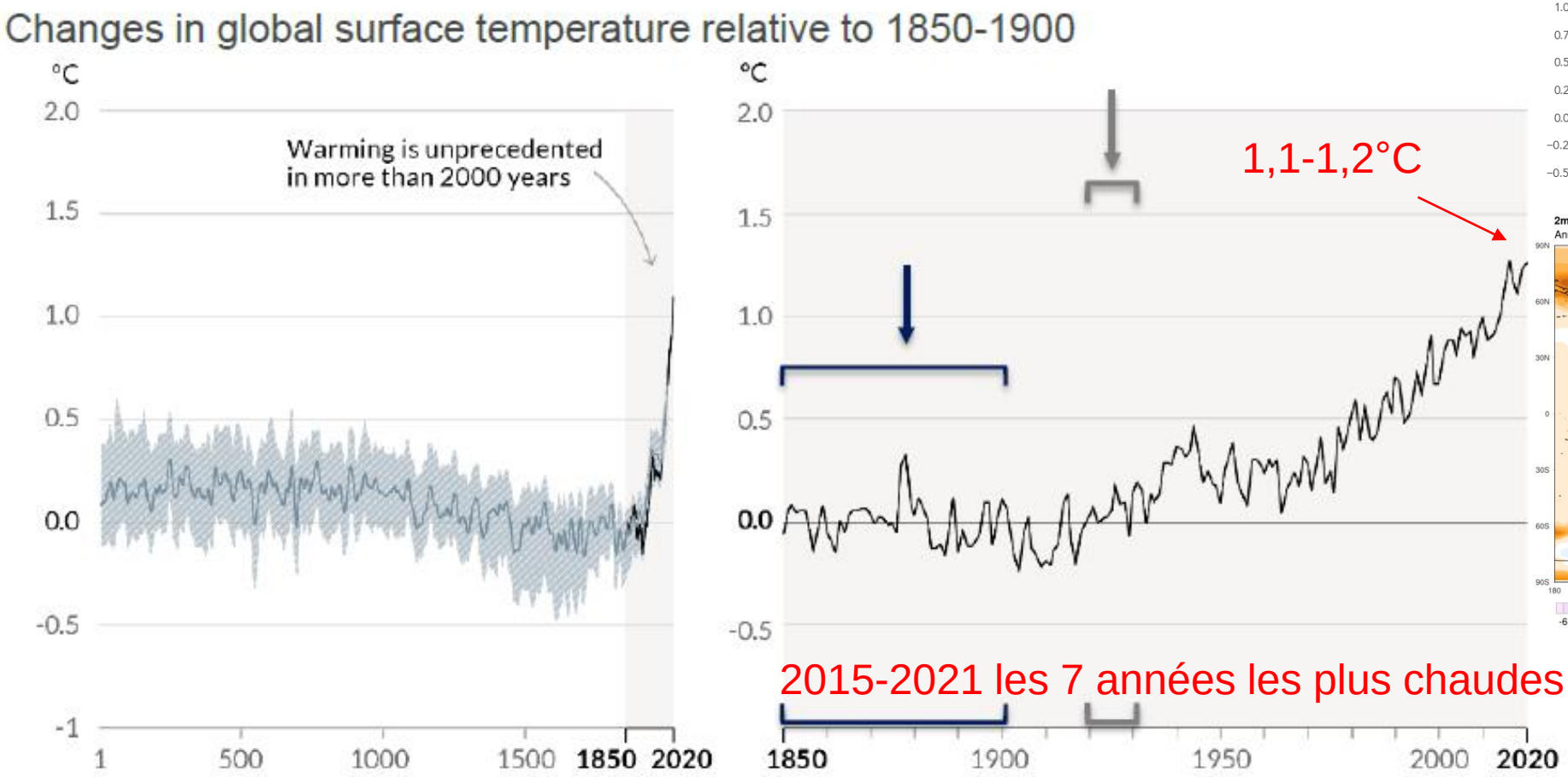


Source: IPCC (2021)

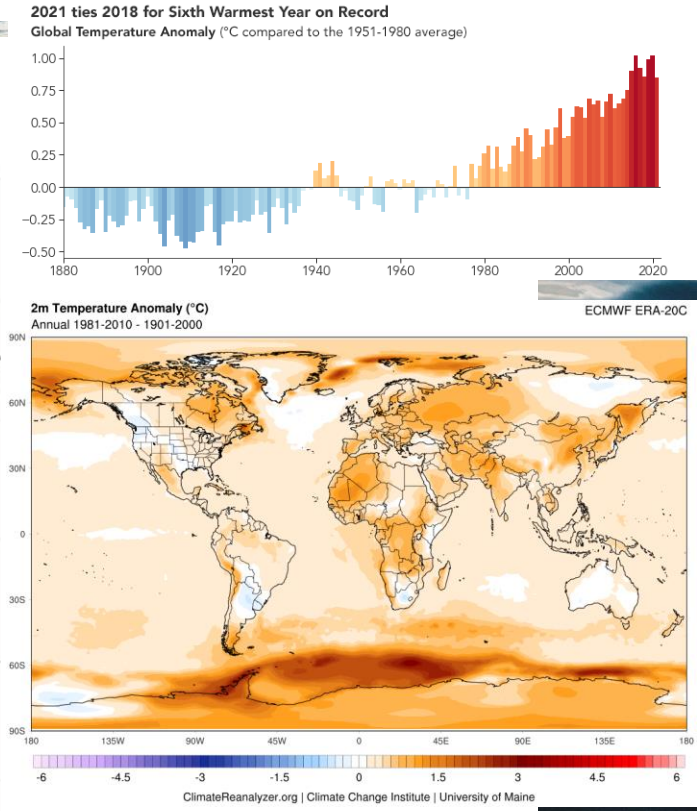


INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

2. L'influence humaine a réchauffé le climat à un rythme sans précédent depuis au moins 2000 ans



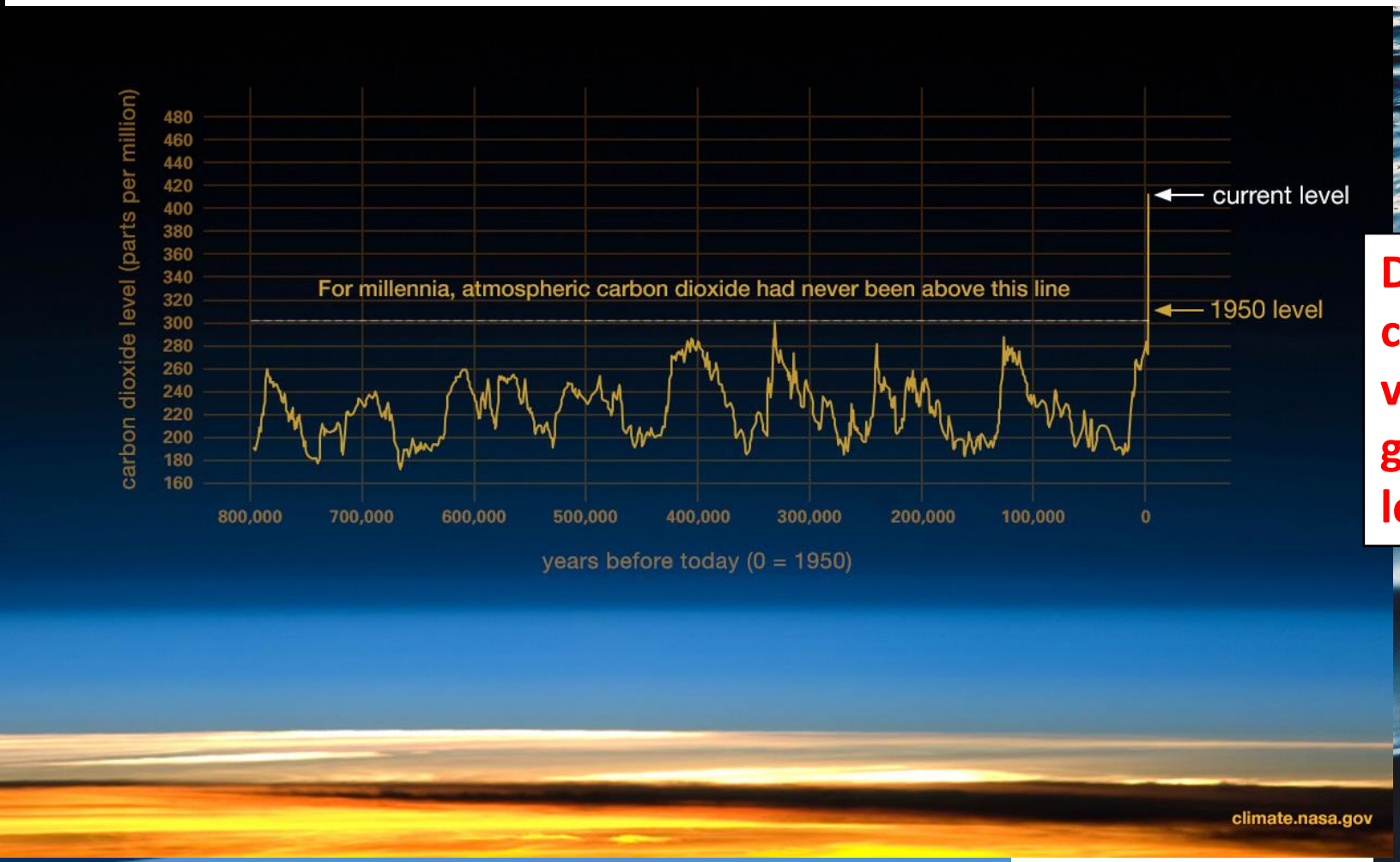
Source: IPCC (2021)



Source: https://climatereanalyzer.org/

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

2. L'influence humaine a modifié la composition de GES (CO_2)… sans précédent depuis 800 000 ans



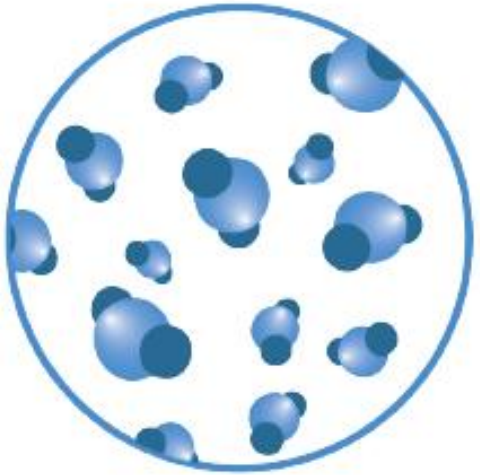
Depuis 800 000 ans (avant 1750), la concentration atmosphérique de CO_2 a varié de 180 ppm pendant les phases glaciaires (froides) à 300 ppm pendant les périodes interglaciaires (chaudes).

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

Source: IPCC et NASA (2021)

2. Des constats très préoccupants !

CO_2 concentration



Highest

in at least

2 million years

Sea level rise

Fastest rates

in at least

3000 years

Arctic sea ice area

Lowest level

in at least

1000 years

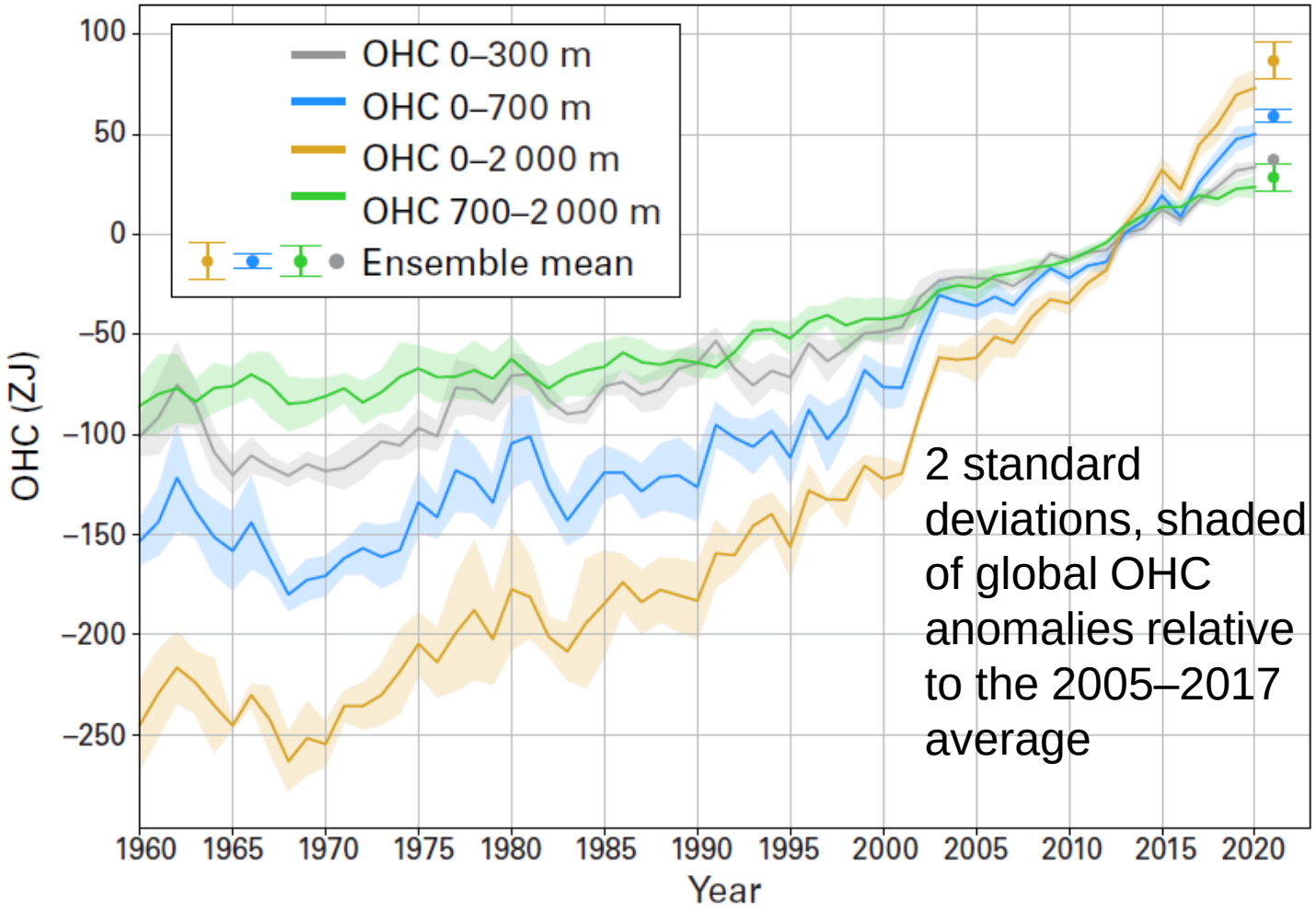
Glaciers retreat

Unprecedented

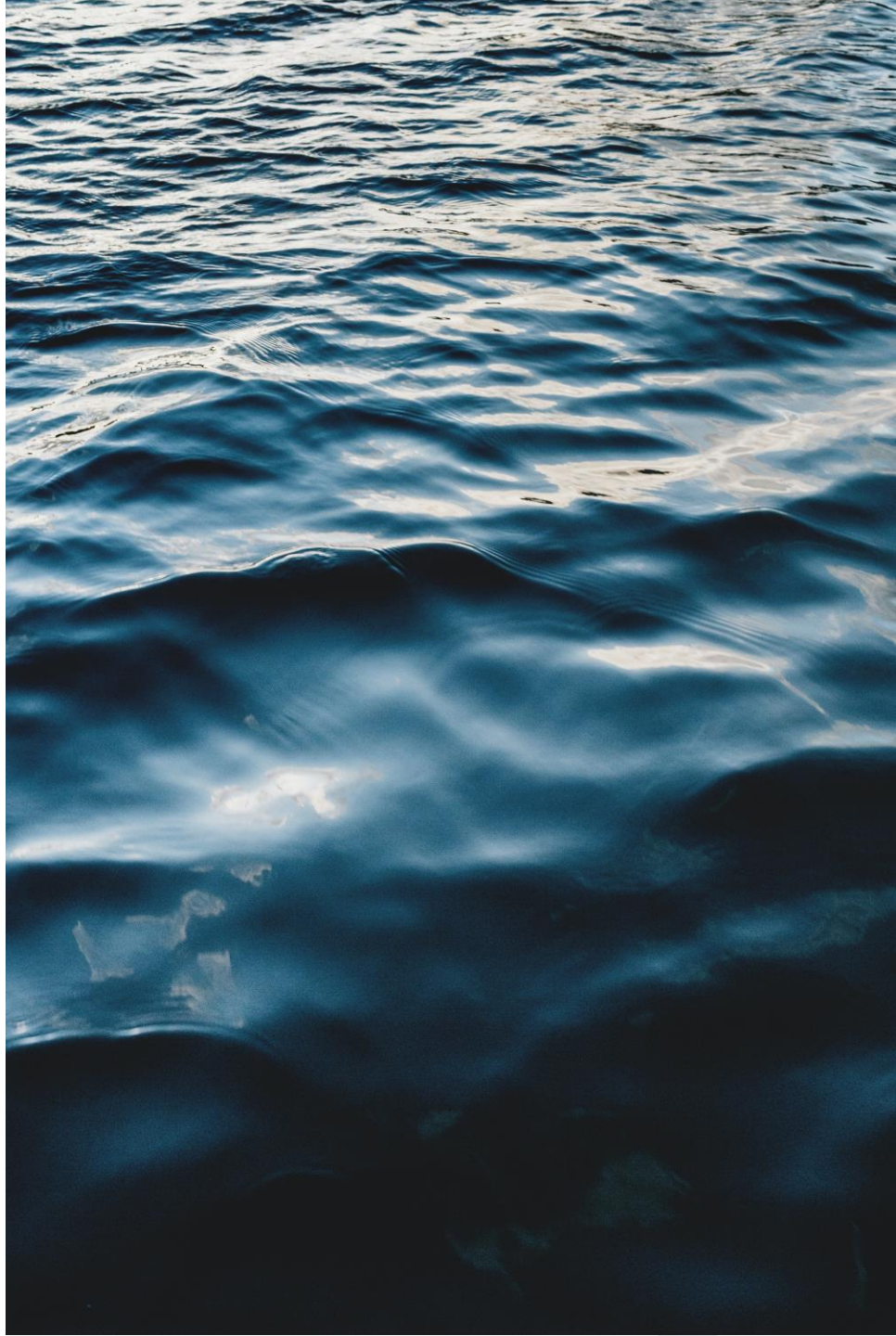
in at least

2000 years

2. Réchauffement historique de l'océan (chaleur absorbée)

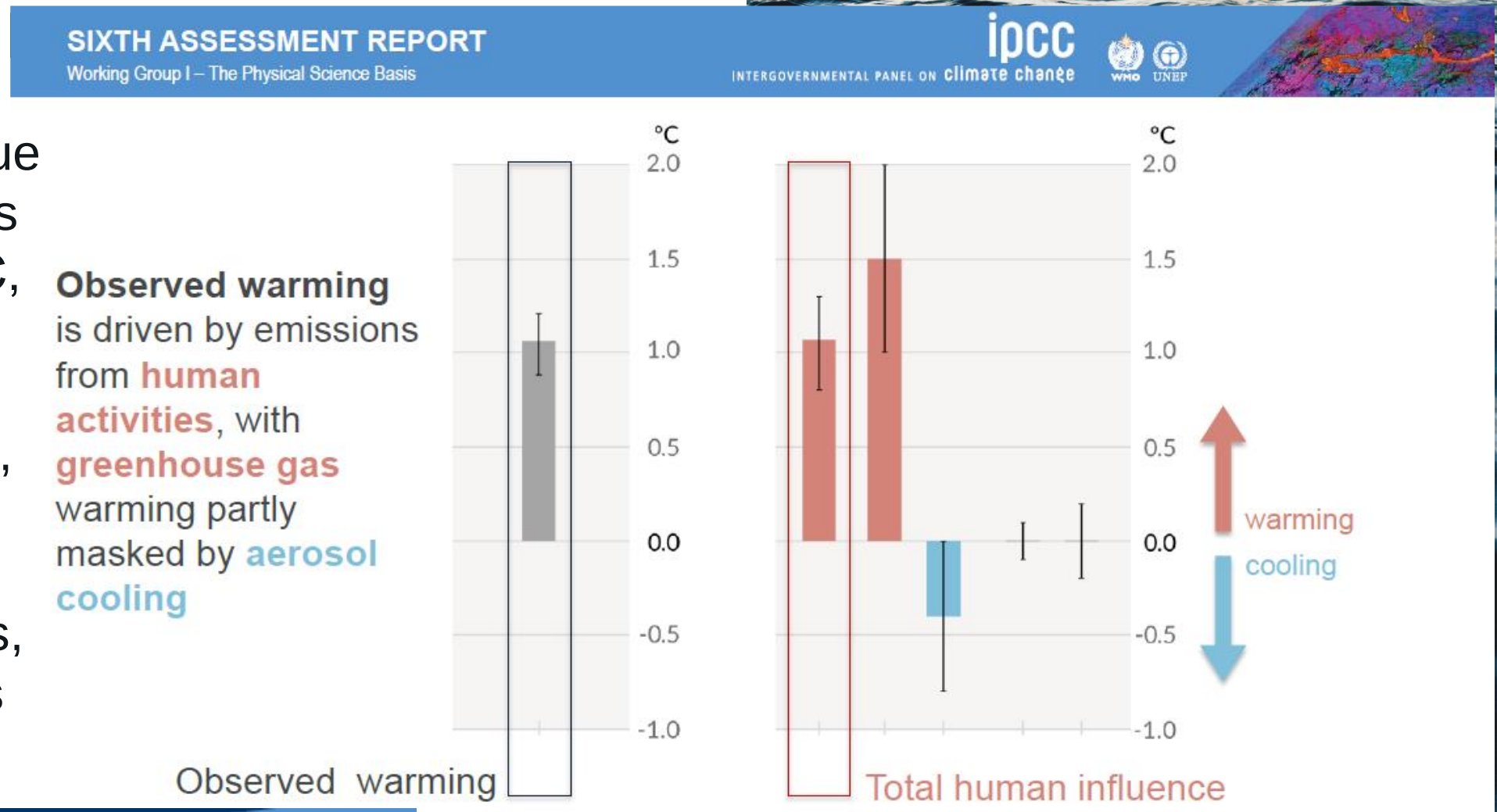


Source: WMO (2022) – State of the global climate 2021



2. Réchauffement

Il est incontestable que les activités humaines sont à l'origine du CC, rendant les événements climatiques extrêmes, y compris les vagues de chaleur, fortes pluies et sécheresses, plus fréquents et plus sévères.



Source: IPCC (2021)

Des constats très préoccupants 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

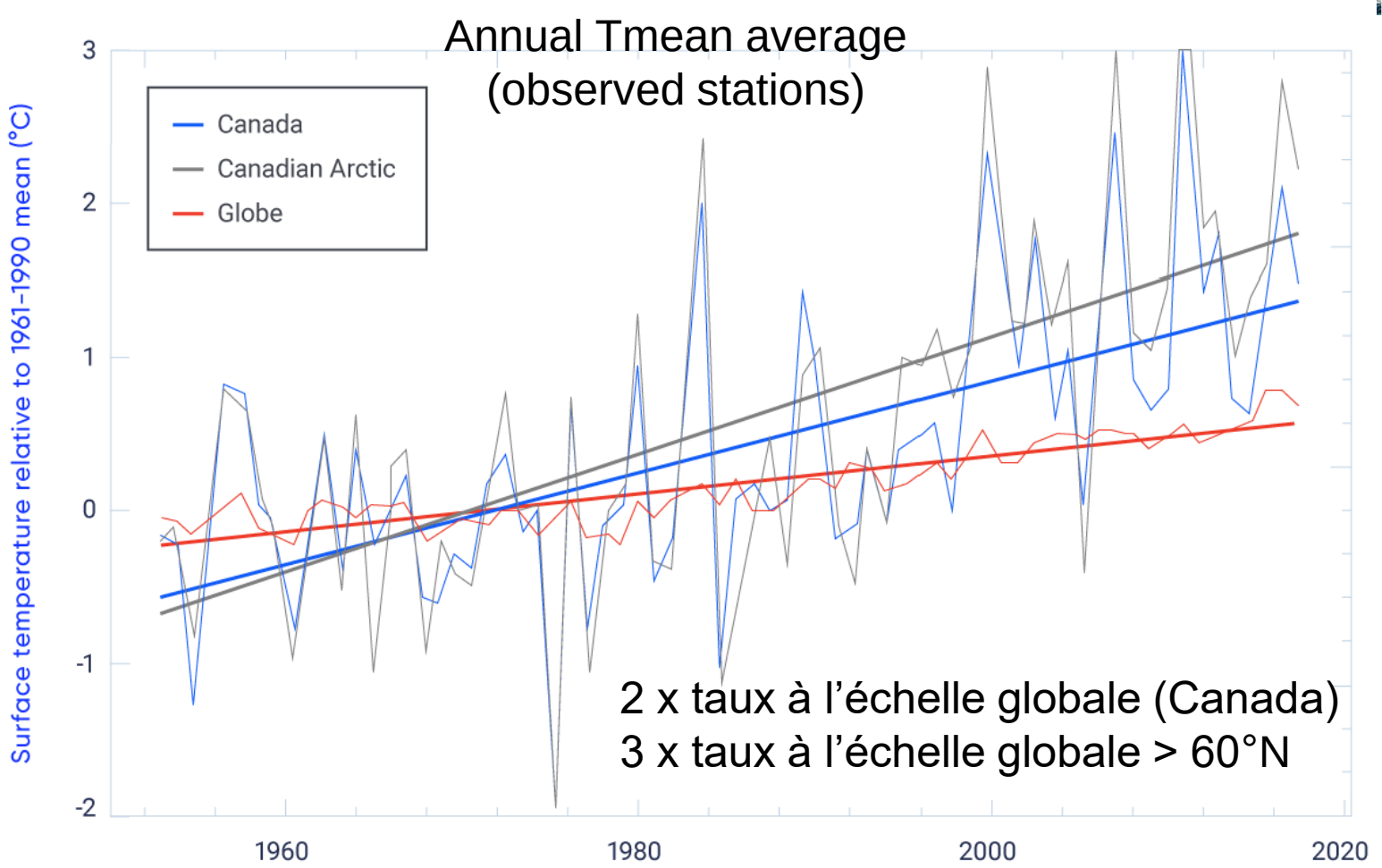
Warming

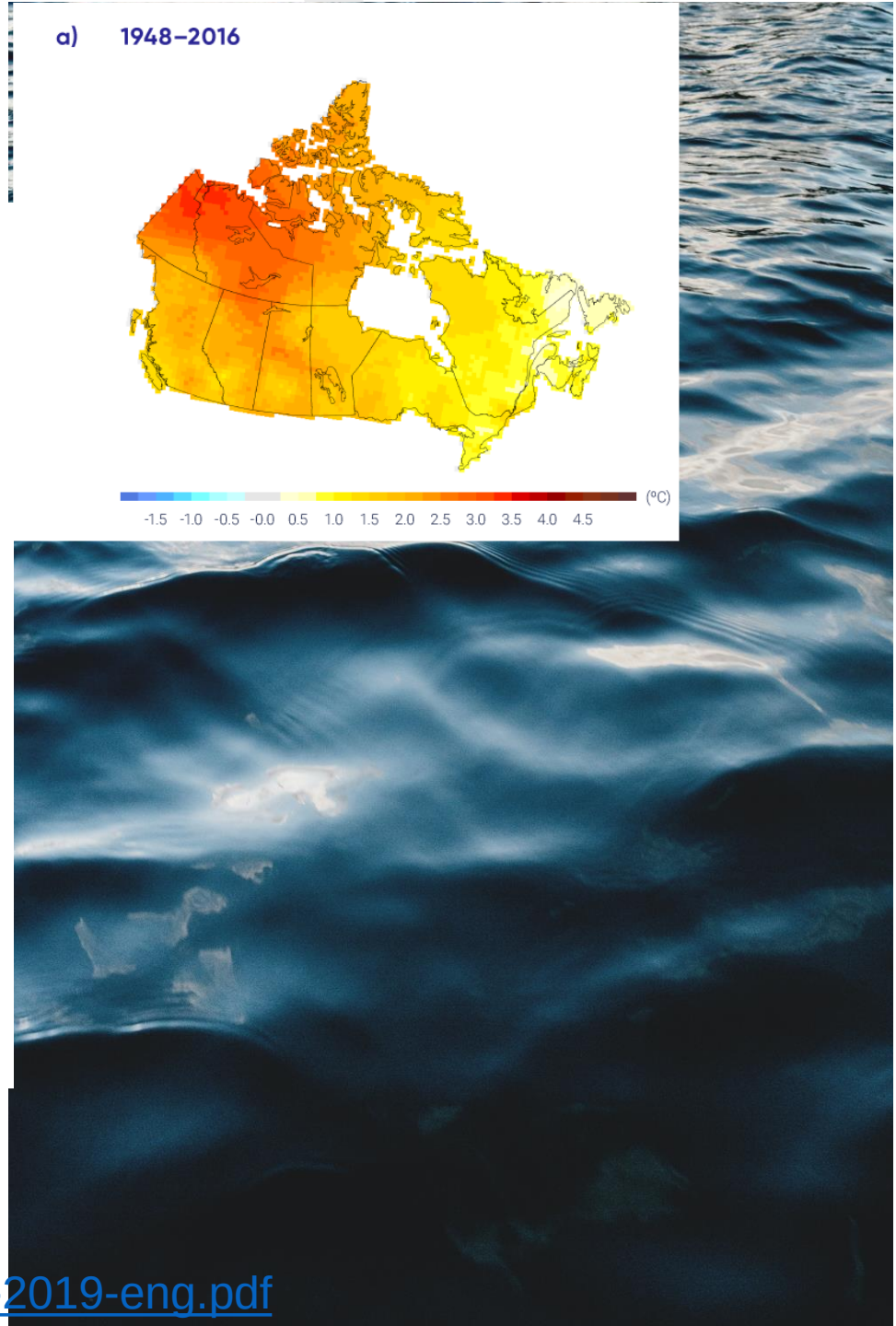
Acidifying

Losing oxygen

Photo Credits from left: 1. Luiz Guimaraes 2. Jonathan Ford 3. Peter Burdon 4. Ben Kuo 5. NOAA

2. Réchauffement au Canada vs globe





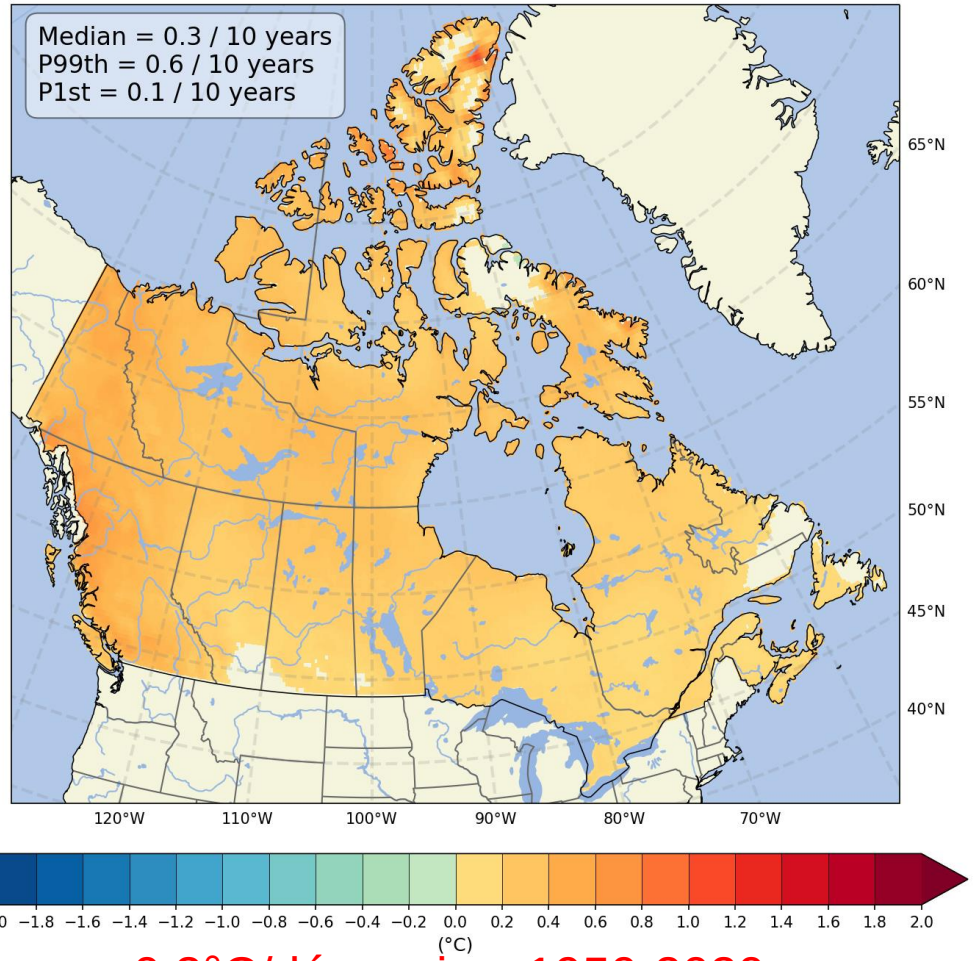
- 1,7°C d'augmentation au Canada (0,25°C/décennie)
- 0,7-0,8°C d'augmentation à l'échelle globale (0,12°C/décennie)

Source: Bush et Lemmen, 2019
https://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En4-368-2019-eng.pdf

2. Réchauffement au Canada (Tmoy moyenne annuelle): 1991-2020 vs 1950-2020

Trends from reanalysis data (ERA5)

Tendance décennale / Ten-year Trend
Moyenne annuelle / Yearly mean
Tmean

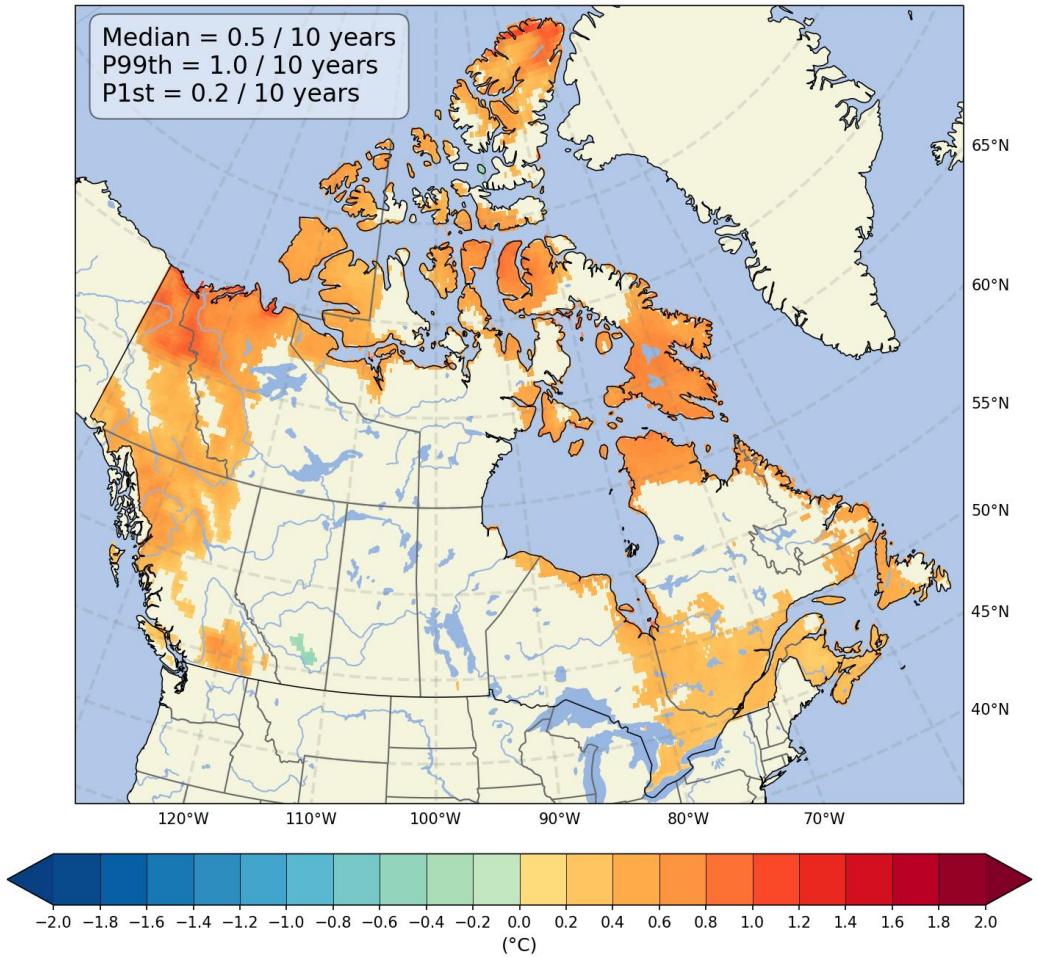


0.3°C/décennies: 1950-2020

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

Source: Benoit (ESCER)

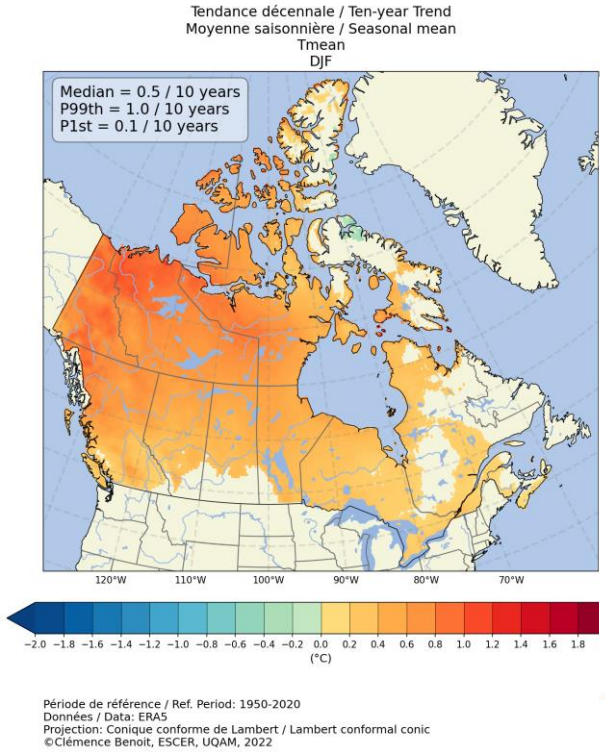
Tendance décennale / Ten-year Trend
Moyenne annuelle / Yearly mean
Tmean



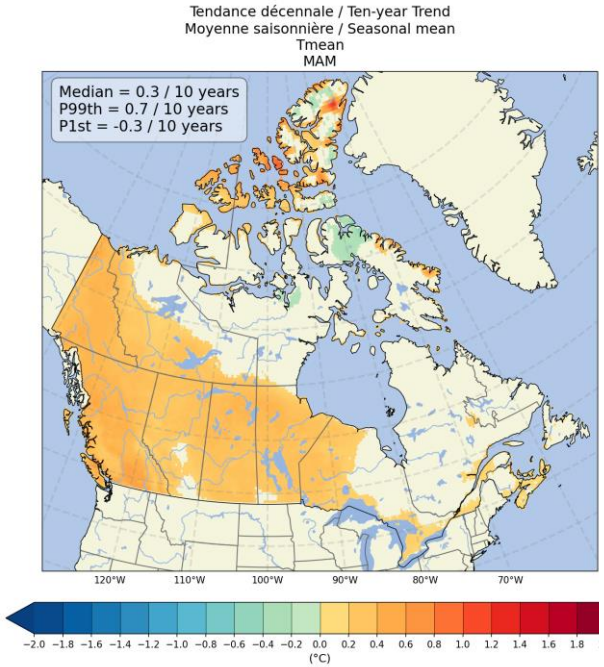
0.5°C/décennies: 1991-2020

Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2022

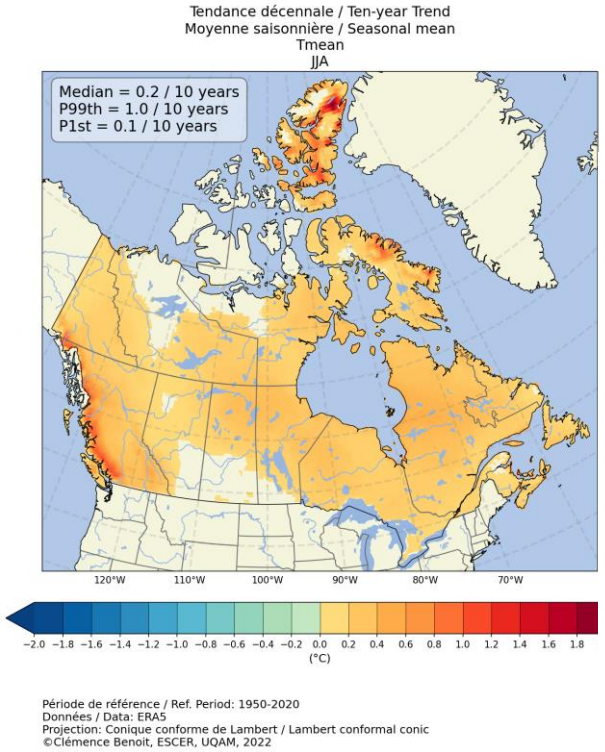
2. Changements des Tmoy au Canada (moyenne saisonnière): 1950-2020



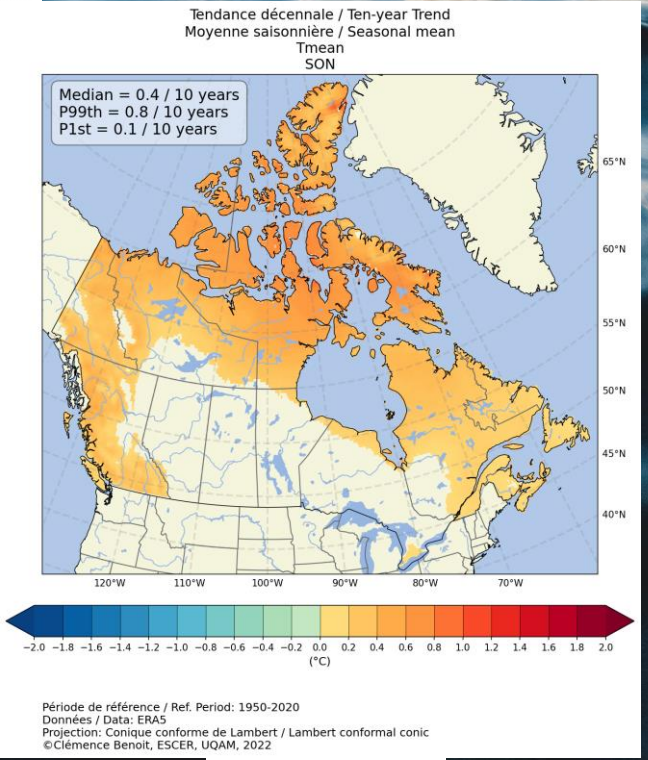
Hiver



Printemps



Été



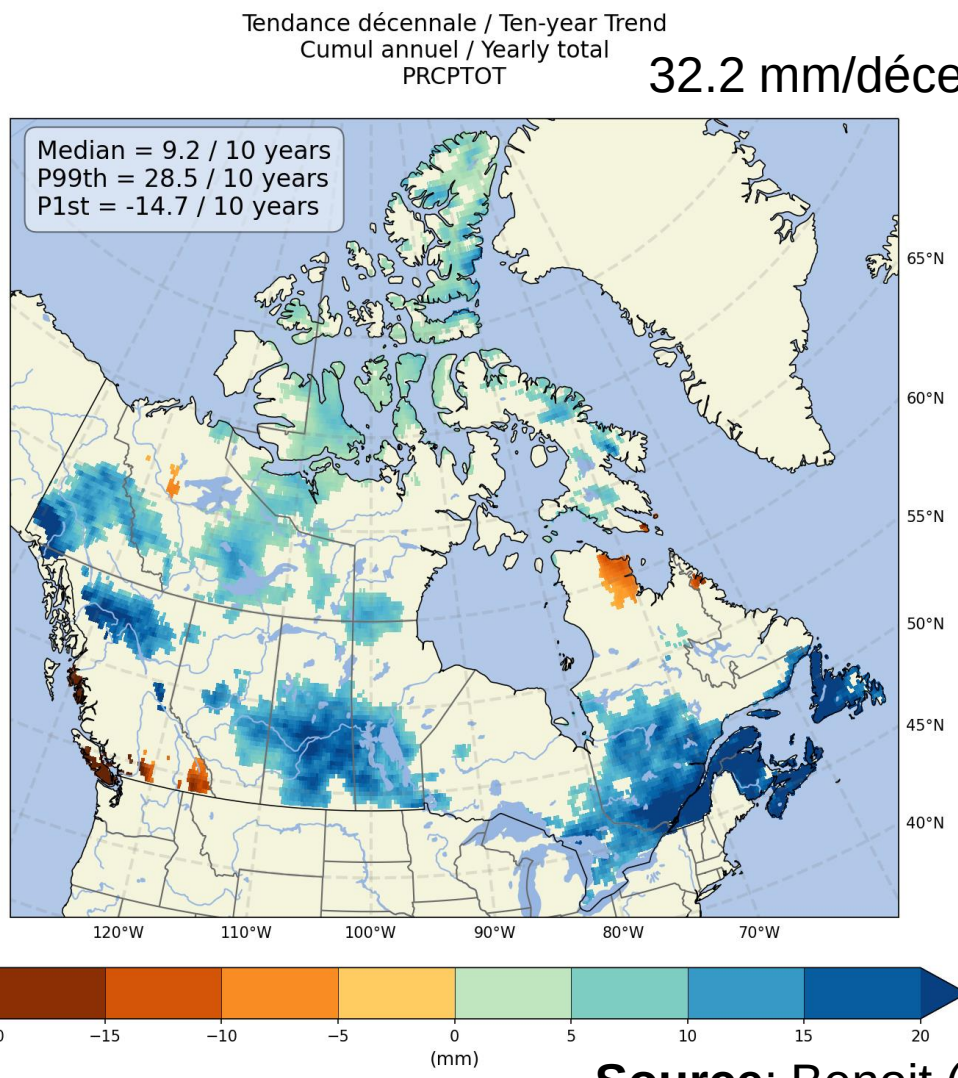
Automne

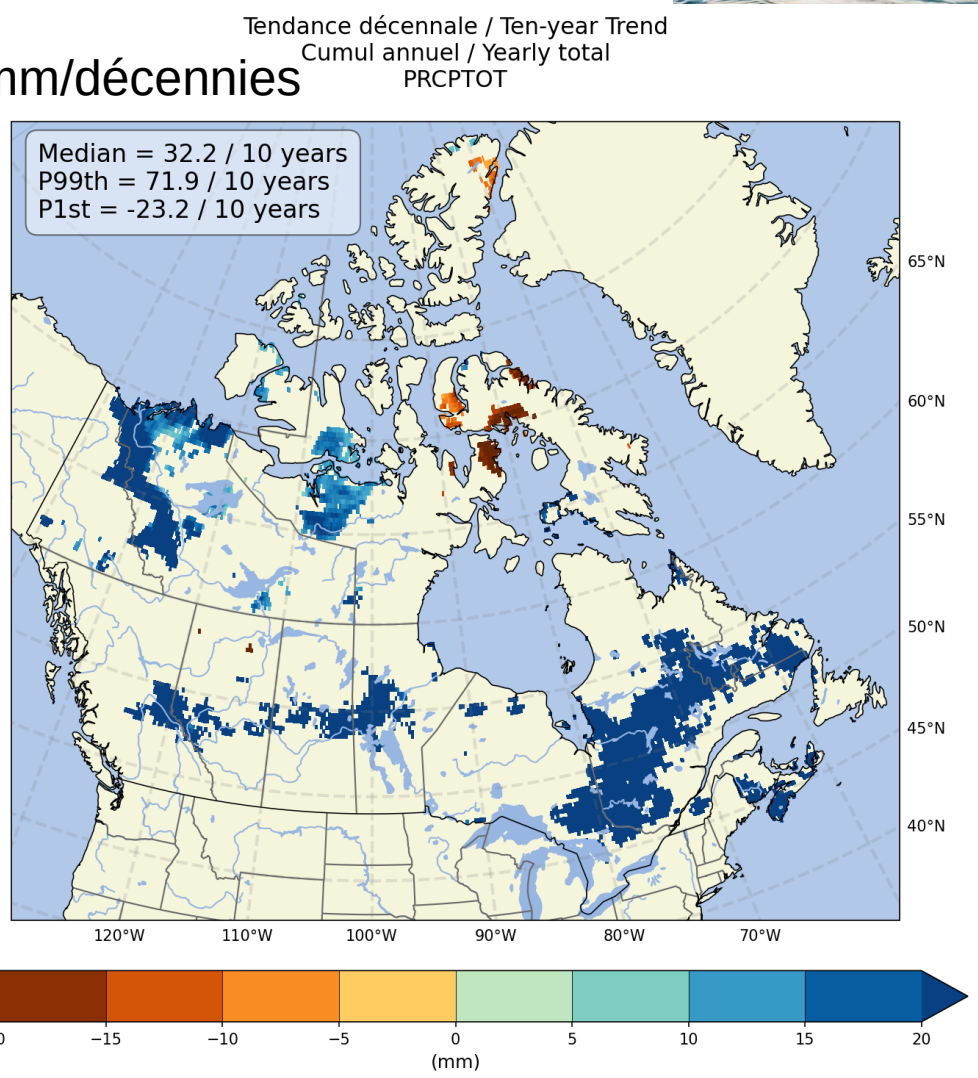
0,5°C/décennies en hiver & 0,2-0,4°C/décennies autres saisons

Source: Benoit (ESCER)

2. Changement des précipitations au Canada (cumul moyen annuel): 1991-2020 vs 1950-2020

32.2 mm/décennies vs 9,2 mm/décennies



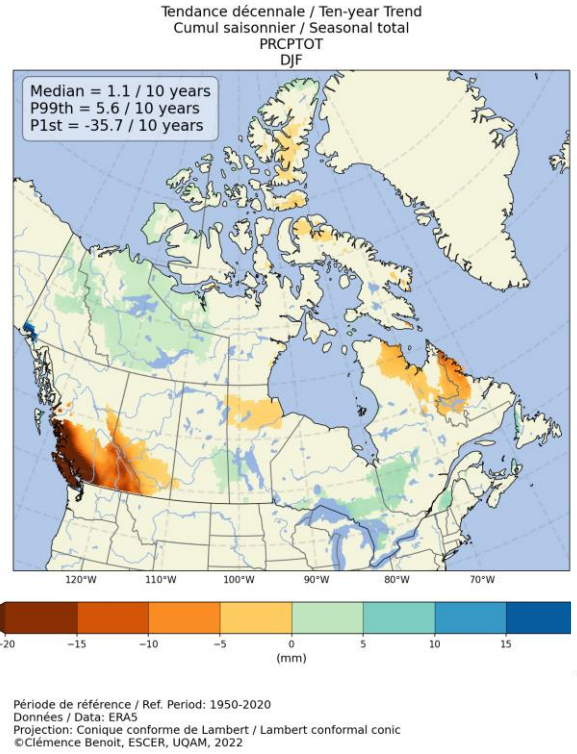


Source: Benoit (ESCER)

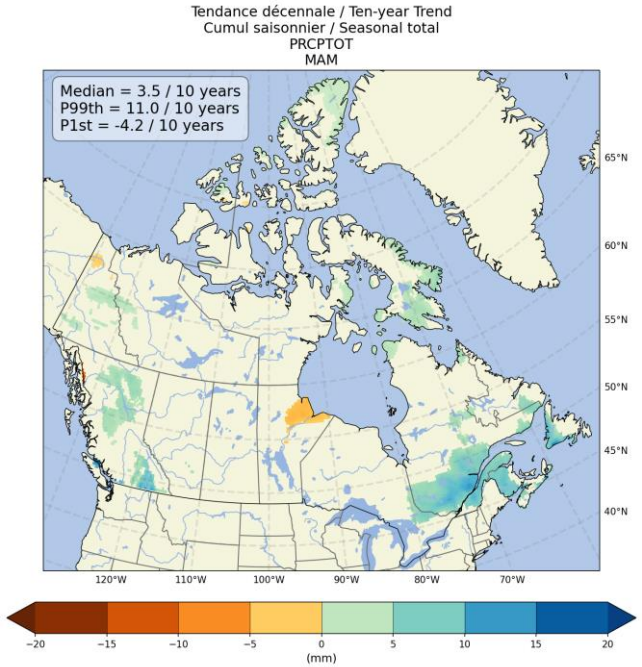
Période de référence / Ref. Period: 1950-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2022

Période de référence / Ref. Period: 1991-2020
Données / Data: ERA5
Projection: Conique conforme de Lambert / Lambert conformal conic
©Clémence Benoit, ESCER, UQAM, 2022

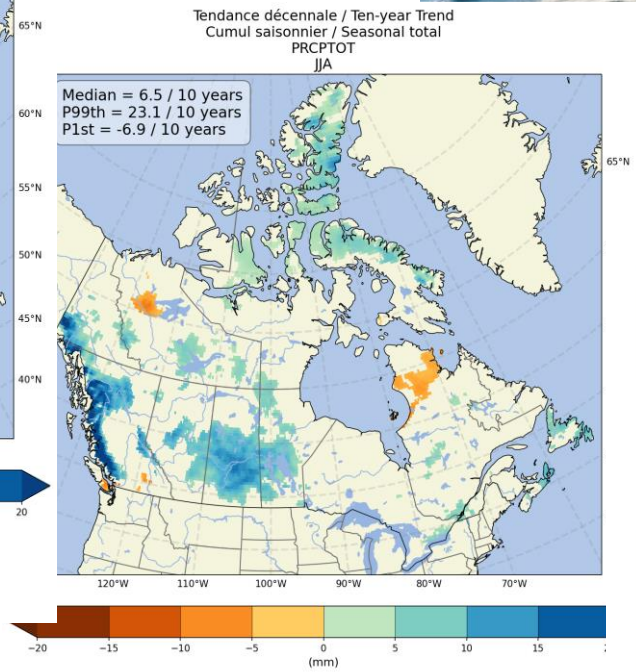
2. Changements des précipitations au Canada (moyenne saisonnière): 1950-2020



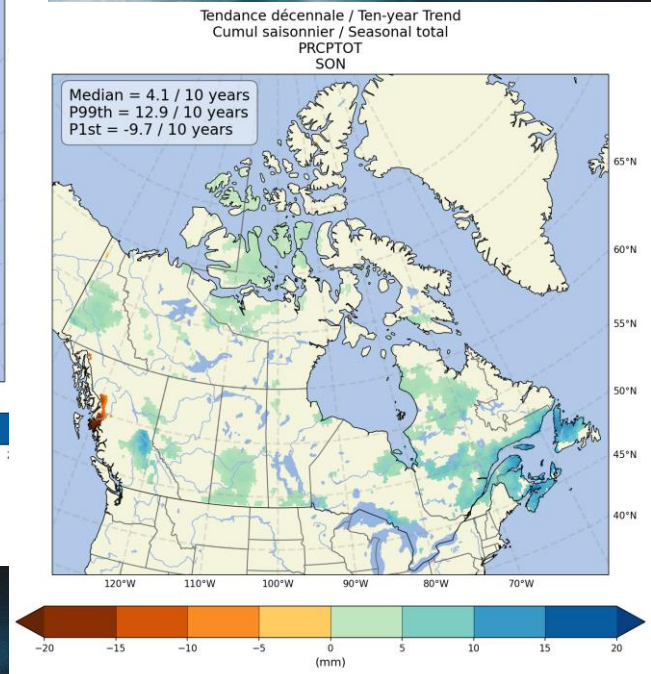
Hiver



Printemps



Été



Automne

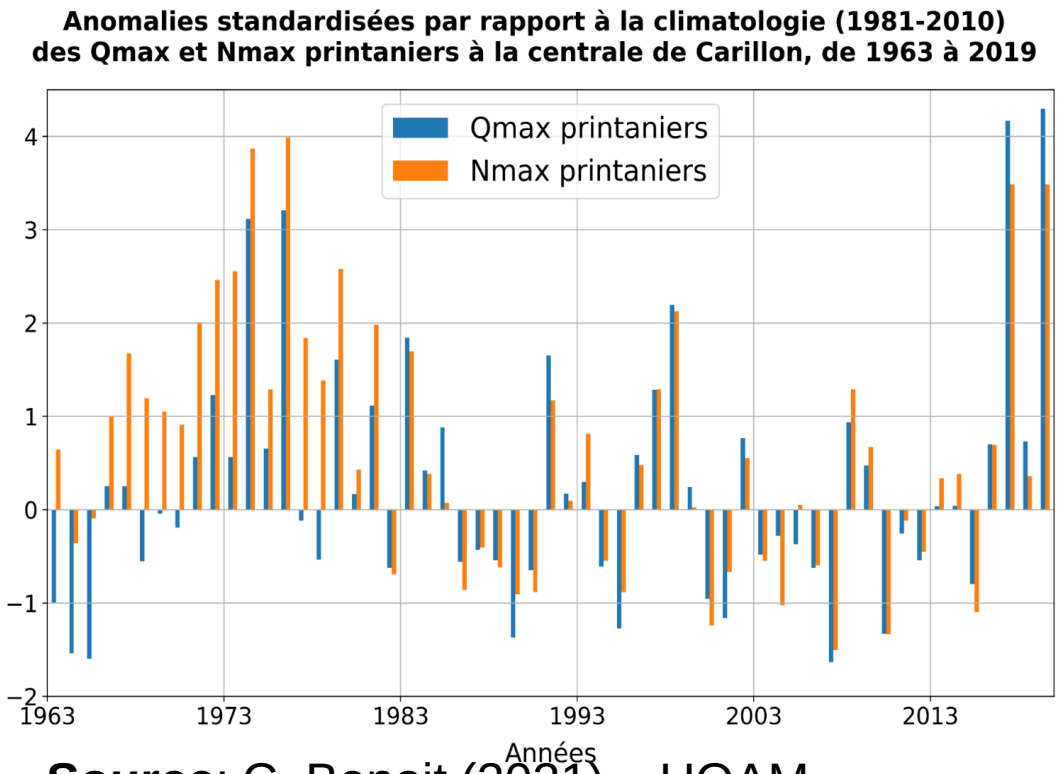
1,1 mm/décennies (hiver) vs 3,5-6,5 mm/décennies autres saisons

Source: Benoit (ESCER)

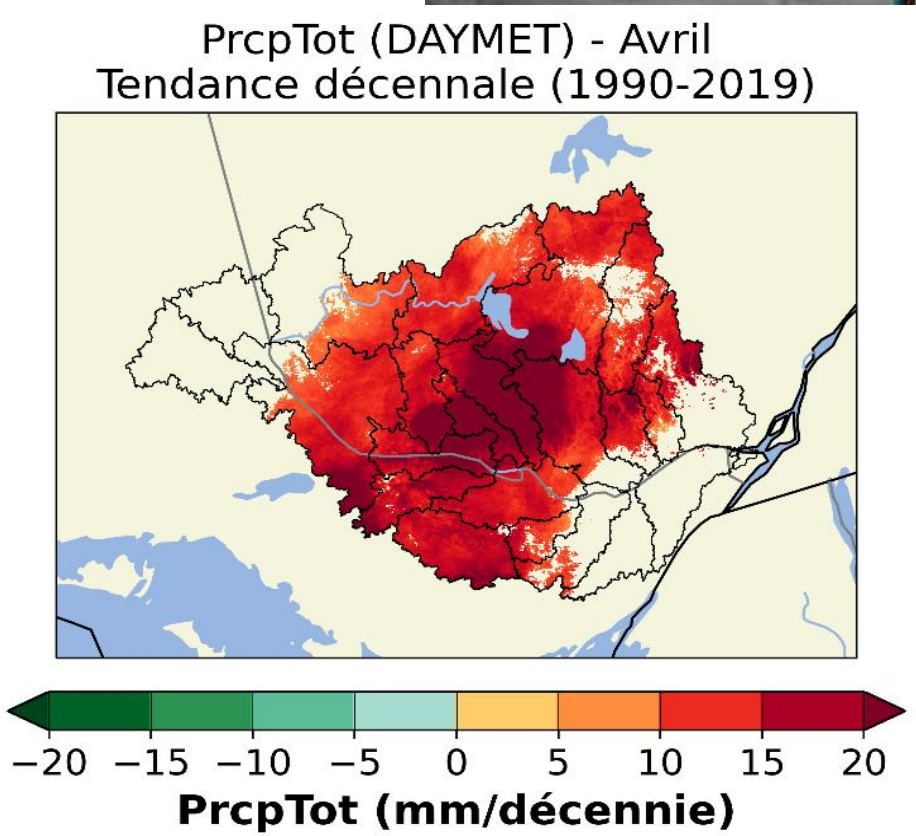
cours pour nos cours d'eau … (BVRO)

Augmentation de 500 m^3/s (par décennie sur 1990-2019) du débit max. en mai à Carillon

Des débits records jamais observés en 2017 & 2019 depuis 1963 pour l'Outaouais (Carillon) alors que la précipitation totale en avril (pluie sur neige) augmente déjà !!!

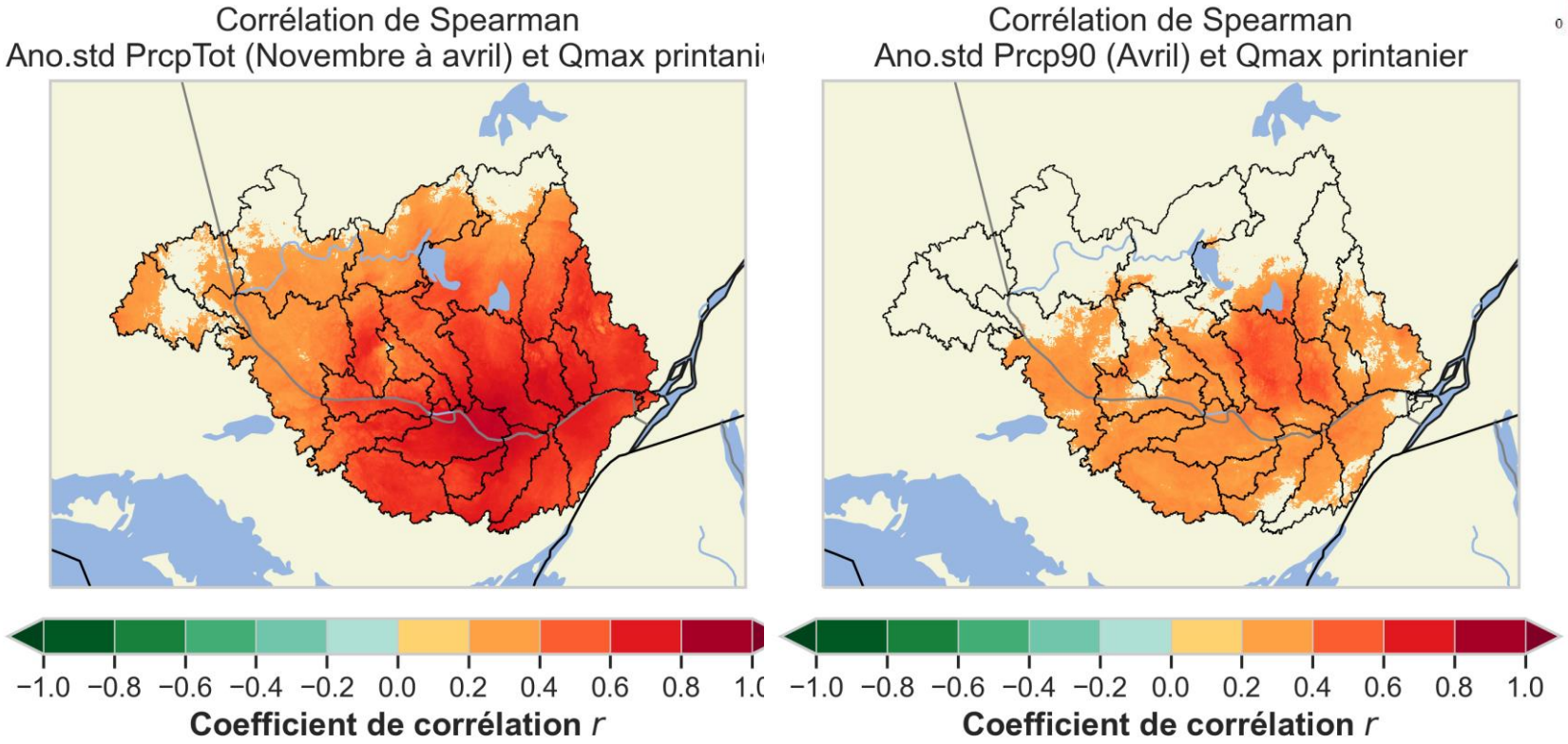


Source: C. Benoit (2021) – UQAM

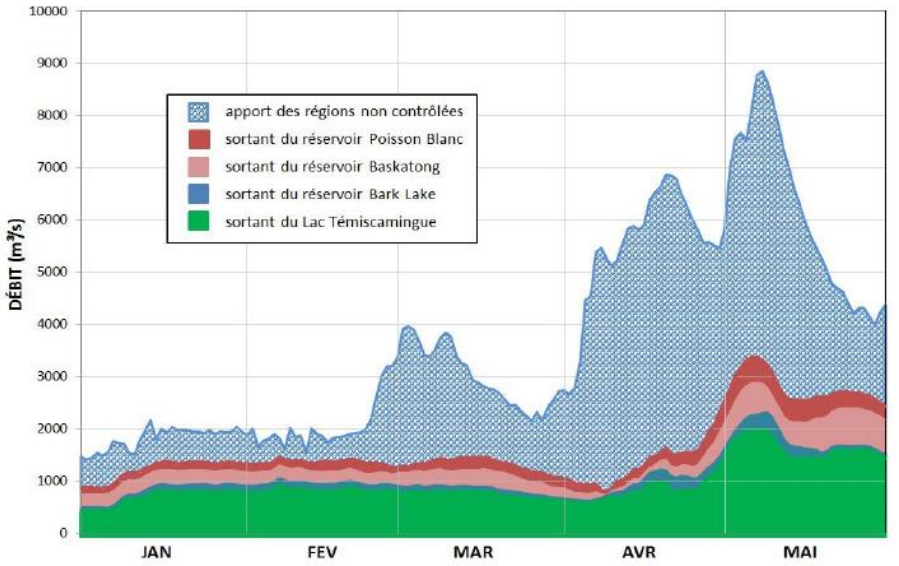


2. Des liens entre régimes de précipitations et débits … (BVRO)

Fortes corrélations entre les précipitations totales (nov. à avril) et 90^{e} centile de précipitation et le débit max. printanier (Carillon)



Source: C. Benoit et al. (2022)

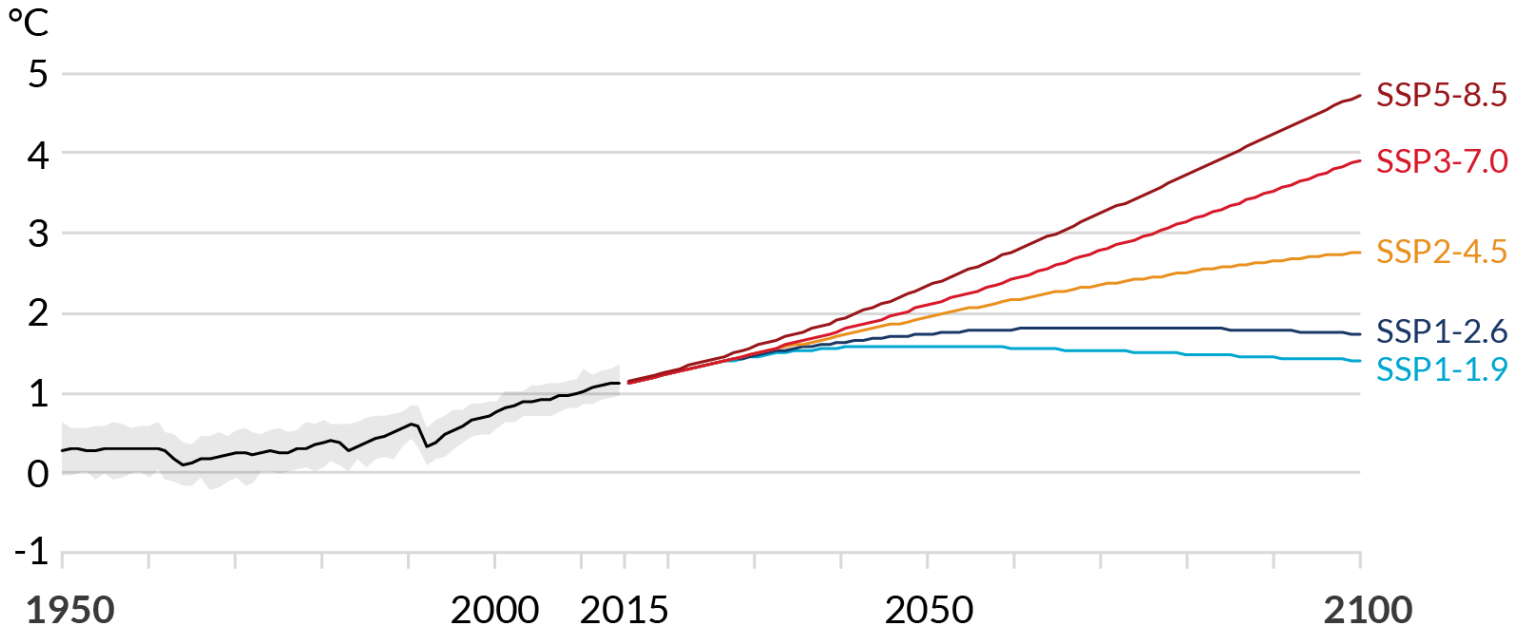


Apports non contrôlés dominent (+ de 60% débit mesuré à Carillon)

Source: Sommaire de la crue printanière 2017, Commission de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais: https://ottawariver.ca/wp-content/uploads/2019/02/Sommaire-crue-printaniere-2017a.pdf

2. Les émissions futures de GES provoqueront un réchauffement supplémentaire (vs historique)

À moins qu'il n'y ait des réductions immédiates, rapides et à grande échelle des émissions de gaz à effet de serre, limiter le réchauffement à 1,5 °C sera hors de portée.

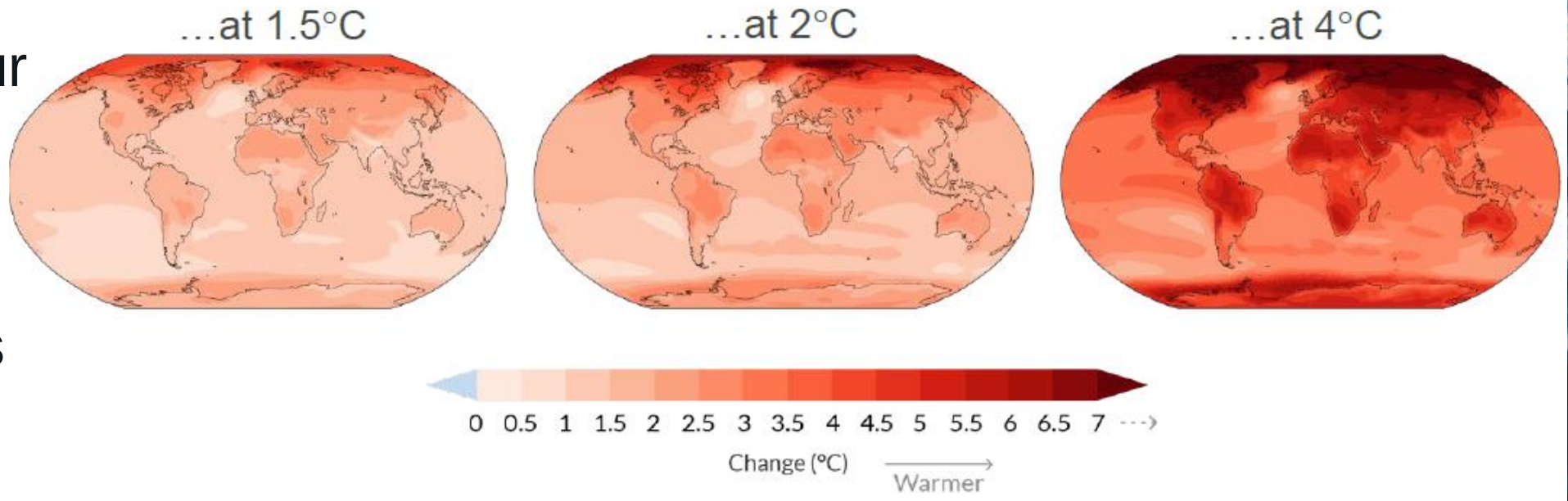


Source: IPCC (2021)

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

2. Les émissions futures de GES provoqueront un réchauffement supplémentaire (vs historique)

Avec chaque valeur supplémentaire de réchauffement, les changements deviennent de plus en plus majeurs



Source: IPCC (2021)

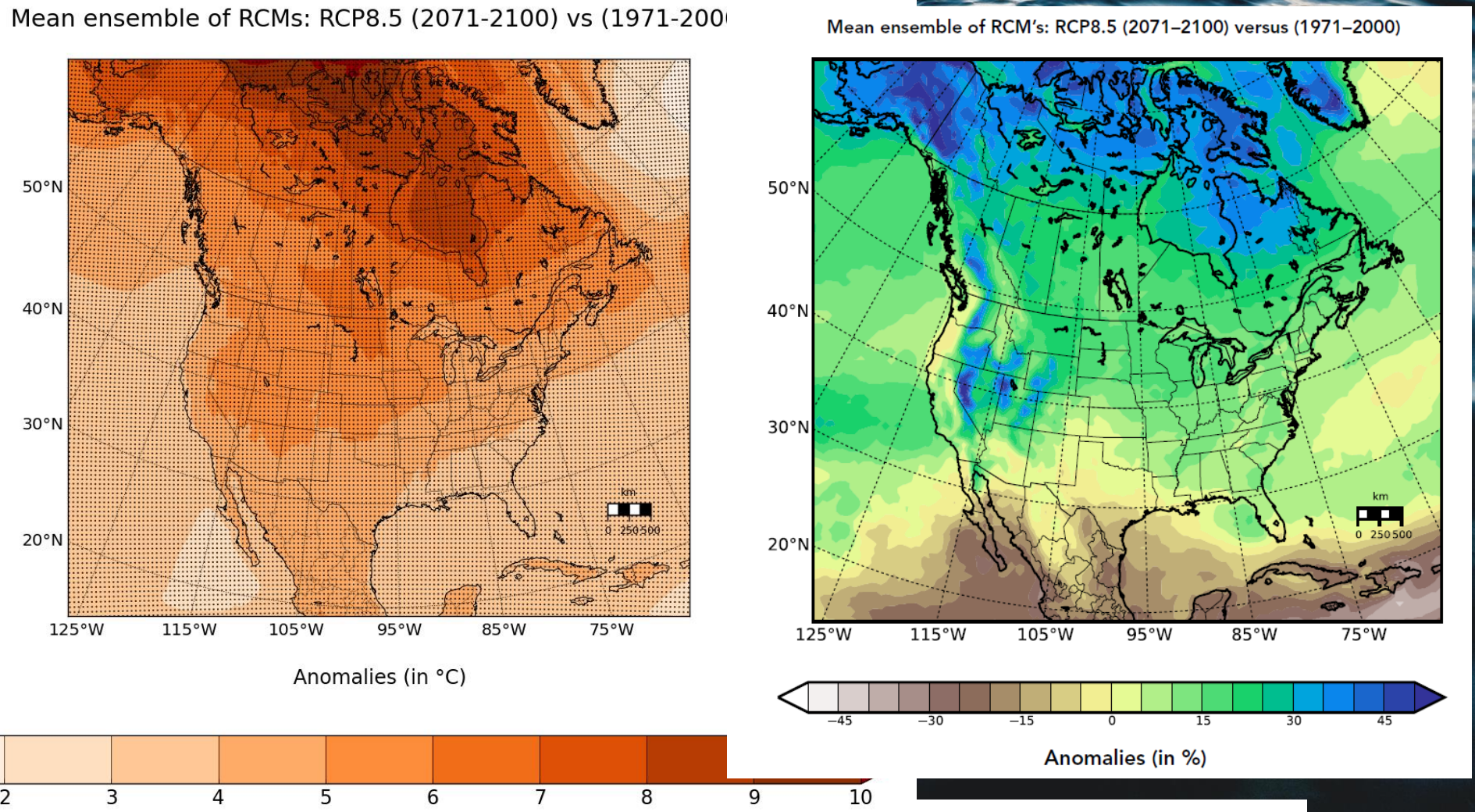
ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WMO UNEP

2. Les émissions futures de GES provoqueront un réchauffement majeur au Canada

3.2 - 5,5°C à l'échelle globale

5 - 10°C pour le Canada et le Québec

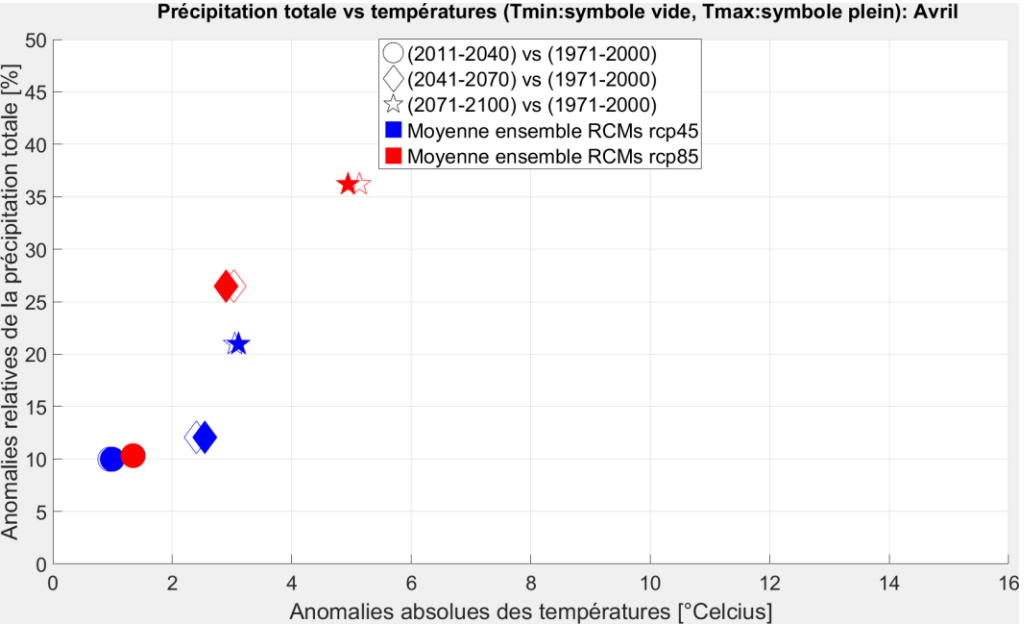
Ensemble average of 9 regional climate models (CORDEX, 45-50-km) with one RCM (CRCM5) from UQAM

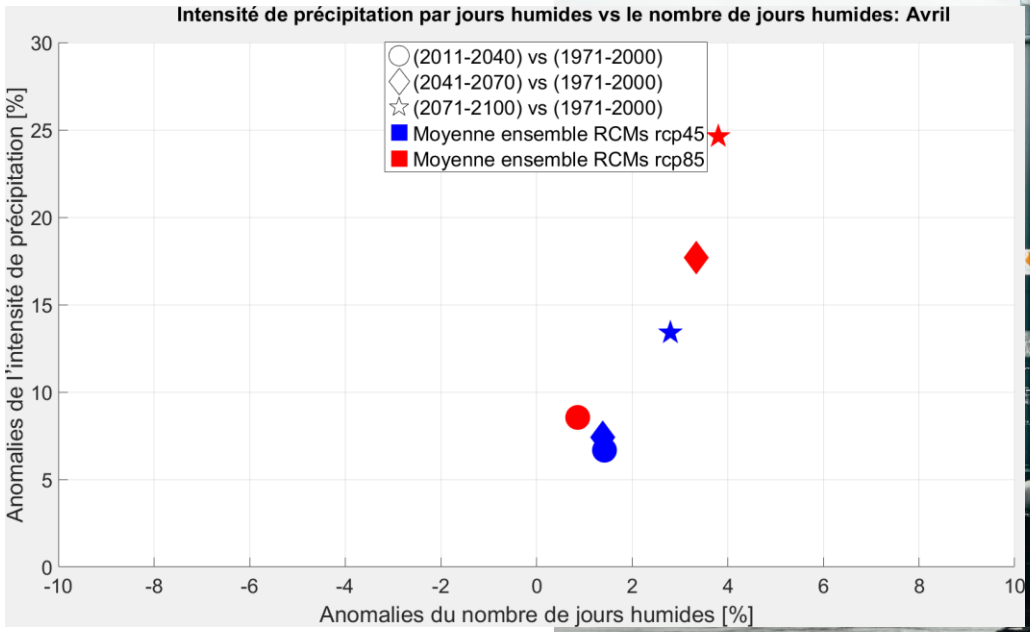


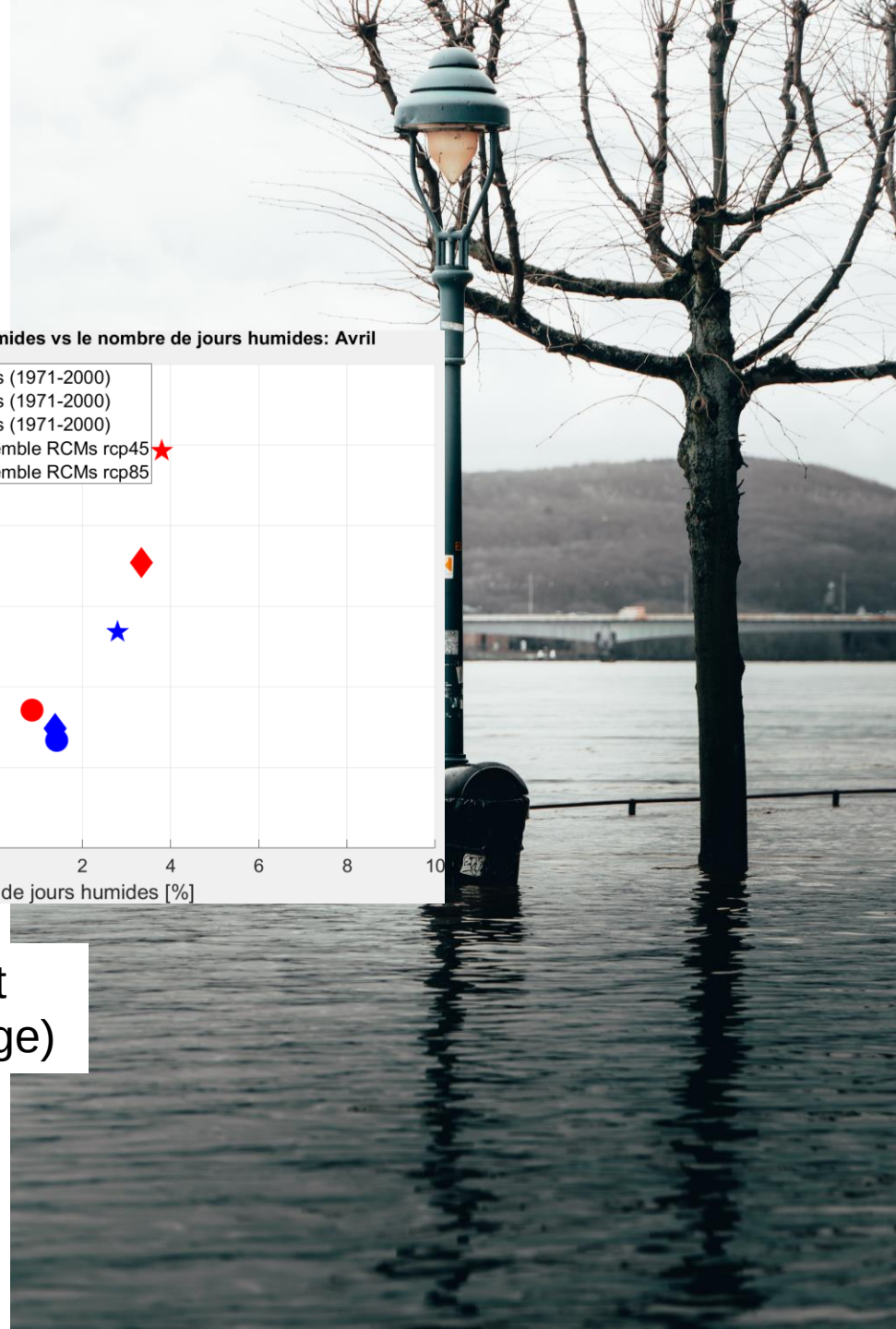
CENTRE ESCER
POUR L'ÉTUDE ET LA SIMULATION DU CLIMAT À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

Source : Ogden, N.H. et Gachon, P. (2019). Climate change and infectious diseases: What can we expect? Canada Communicable Disease Report, 45(4), 76–80.

2. Des changements à venir... Ex. bassin versant de la rivière des Outaouais







En **avril,** les précipitations totales augmenteront avec le réchauffement incluant les occurrences et les intensités de précipitation (pluie sur neige)

Au printemps, augmentation de 20 à 33% (2050s) et 28 à 41% (2070s) des précipitations liquides (estimations modèles climatiques régionaux)

Source: Gachon et al. (2019)

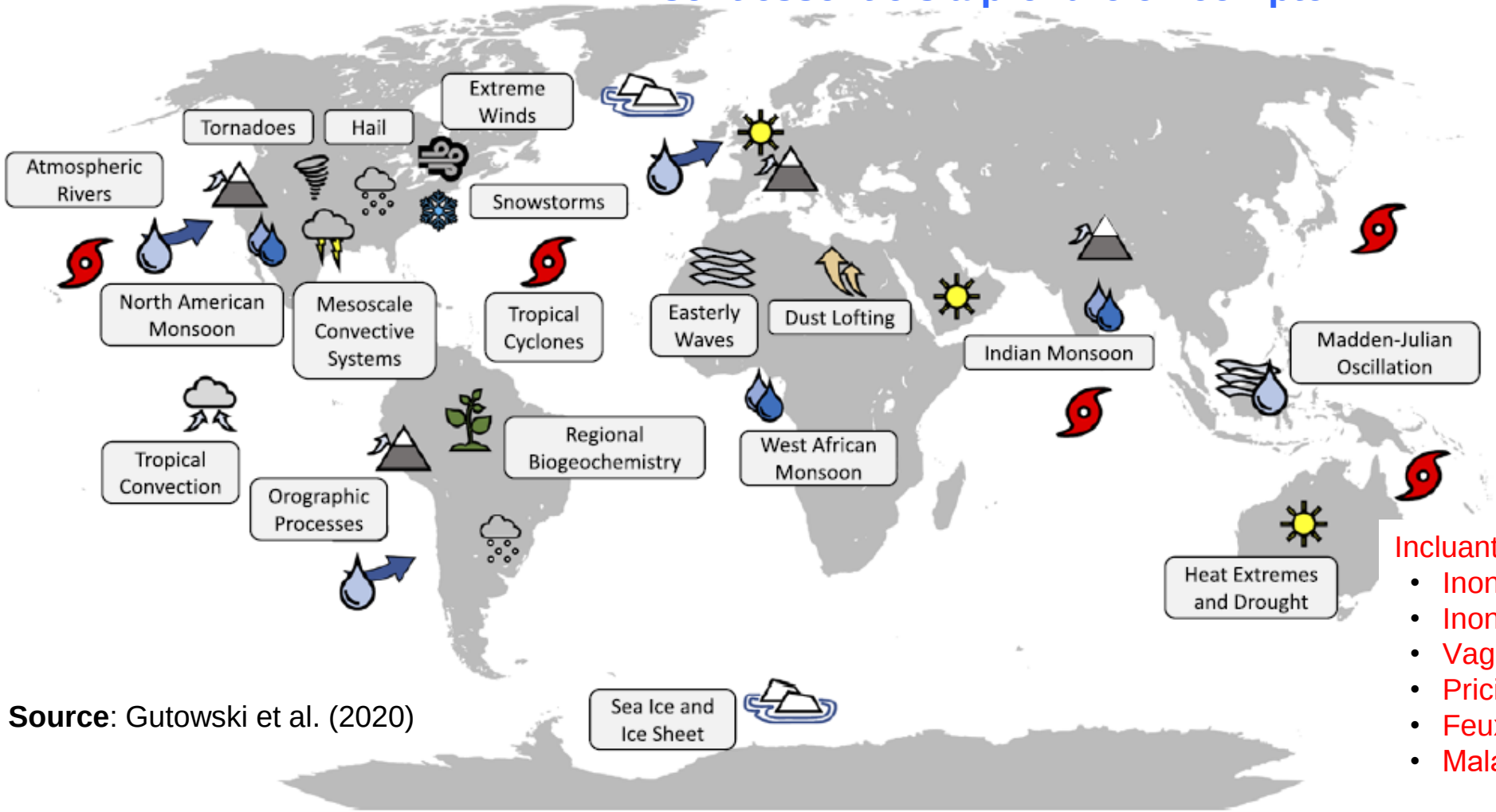
UQÀM | Université du Québec à Montréal

CENTRE ESCER POUR L'ÉTUDE ET LA SIMULATION DU CLIMAT À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

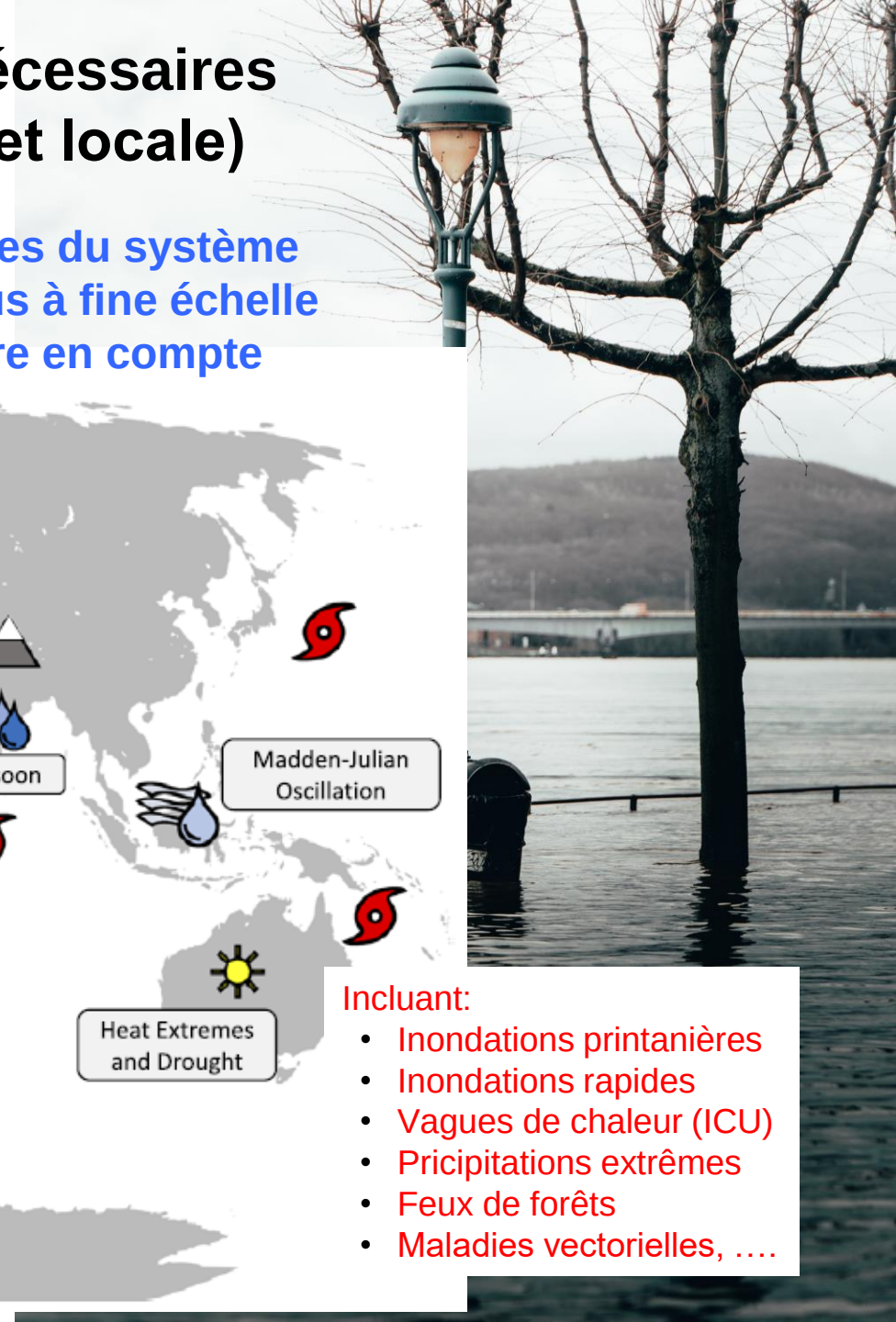
3. Nouveaux outils de modélisation nécessaires (risques/aléas à l'échelle régionale et locale)

Échelles: Aléas et extrêmes

Principales caractéristiques du système climatique où les processus à fine échelle sont essentiels à prendre en compte



Source: Gutowski et al. (2020)



Incluant:

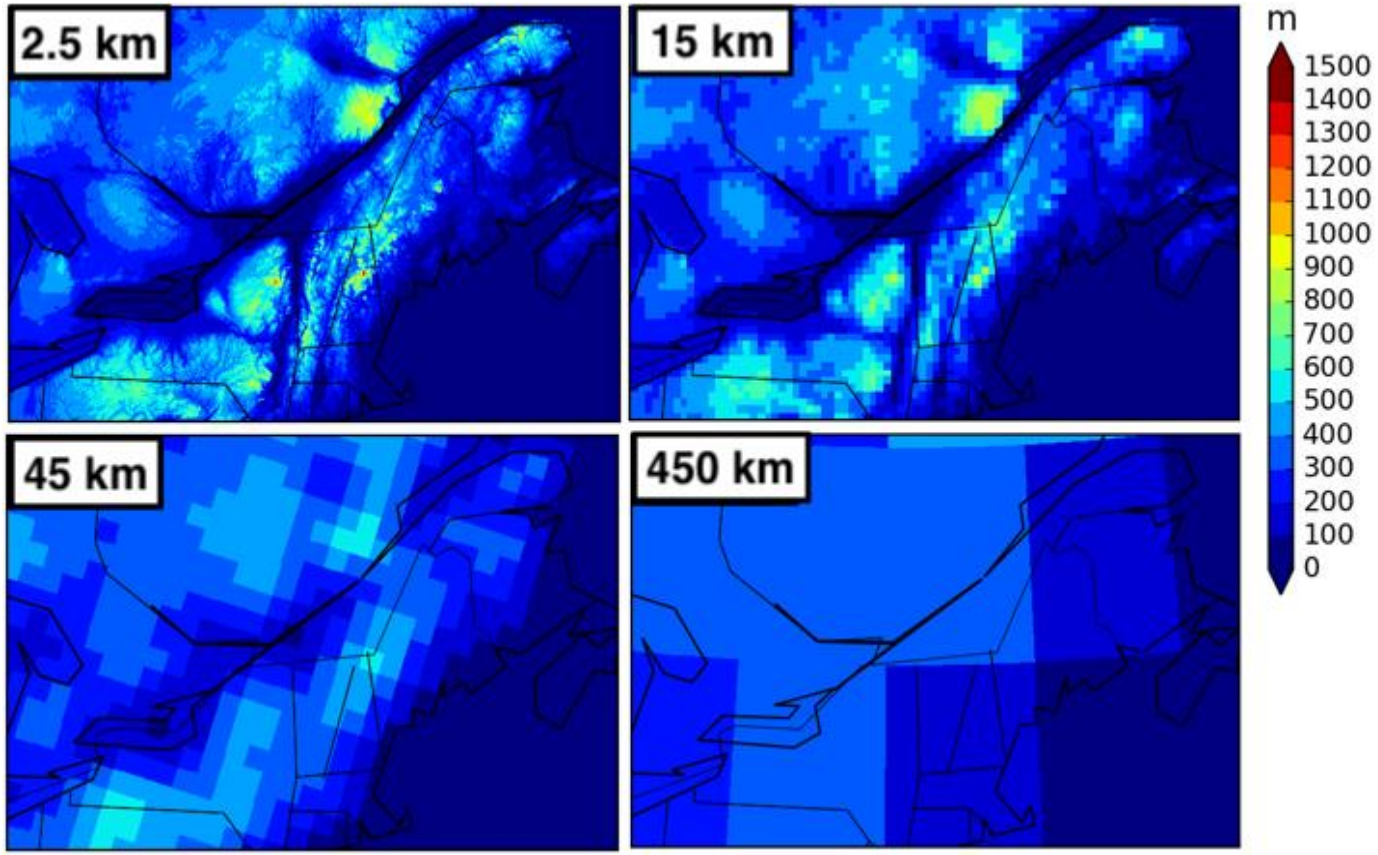
- Inondations printanières
- Inondations rapides
- Vagues de chaleur (ICU)
- Pricipitations extrêmes
- Feux de forêts
- Maladies vectorielles, ….

UQÀM | Université du Québec à Montréal

CENTRE ESCER
POUR L'ÉTUDE ET LA SIMULATION DU CLIMAT À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

3. Nouveaux outils de modélisation nécessaires (risques/aléas à l'échelle régionale et locale) - suite

Effets topographiques mieux résolus à fine résolution



Hauteur de topographie sur le sud du Québec, telle que représentée dans les modèles climatiques à différentes résolutions : 2,5 km (nouveau modèle), 15 km et 45 km (modèles régionaux récents et anciens), 450 km (modèle global).
Source: René Laprise (ESCER, UQAM).

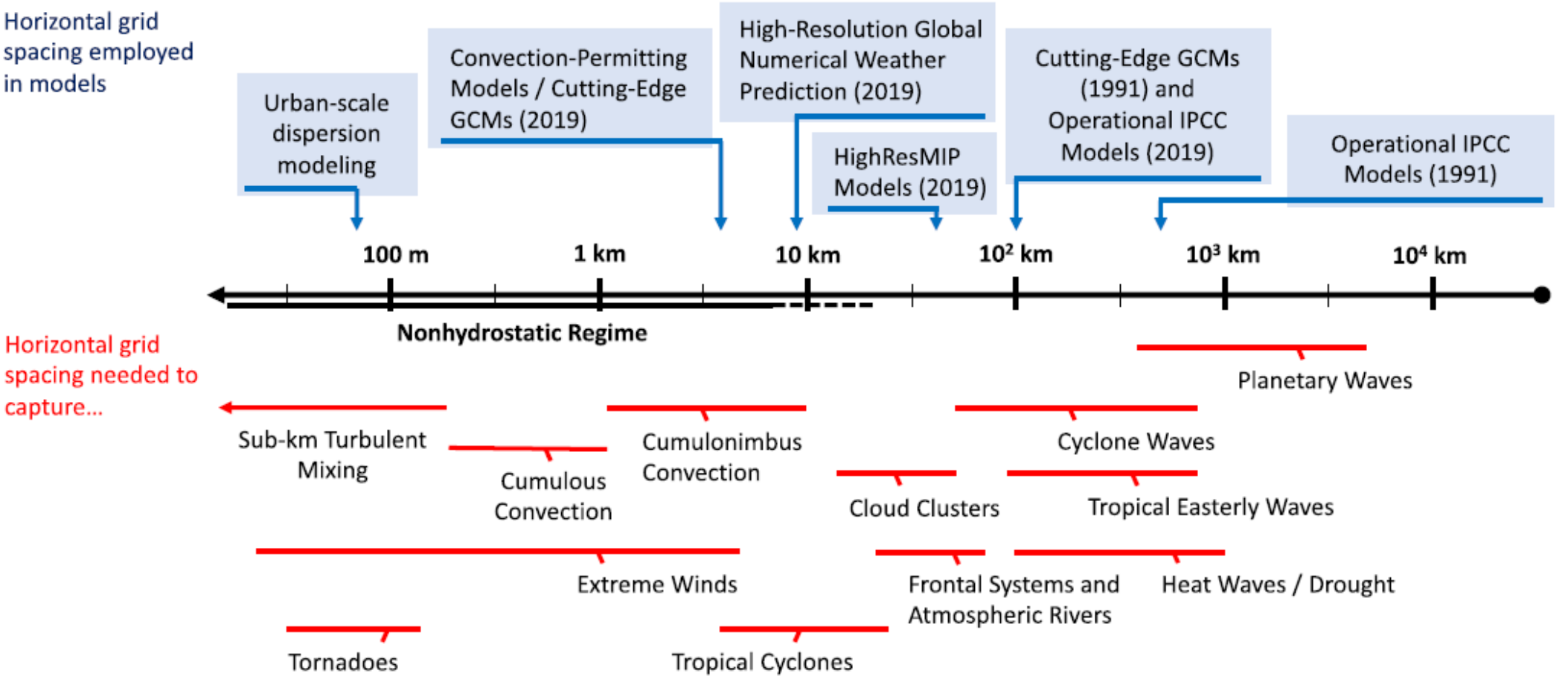
2 configurations en cours d'utilisation:

- 12 km sur tout le Canada
- 2,5 km sur l'est du pays (ou ailleurs)

UQÀM | Université du Québec à Montréal

CENTRE ESCER
POUR L'ÉTUDE ET LA SIMULATION DU CLIMAT À L'ÉCHELLE RÉGIONALE

3. Nouveaux outils de modélisation nécessaires (risques/aléas à l'échelle régionale et locale) - suite

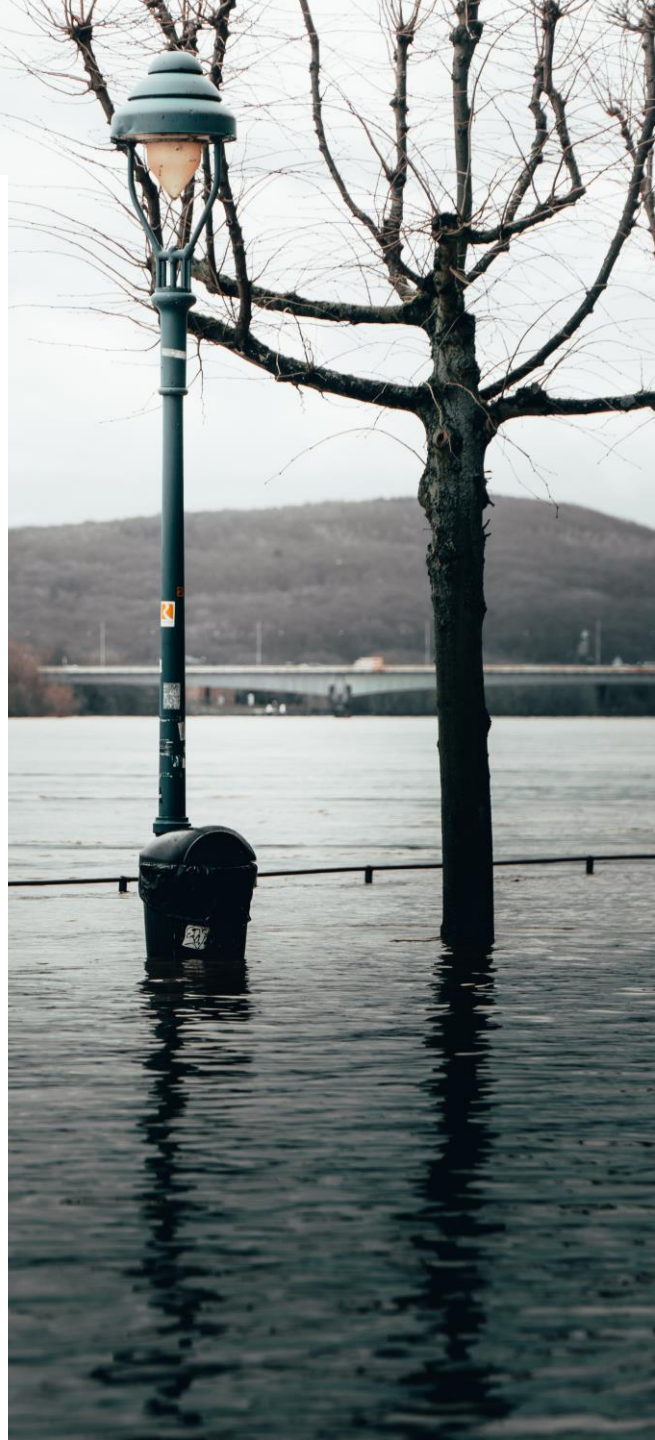


Source: Gutowski et al. (2020)

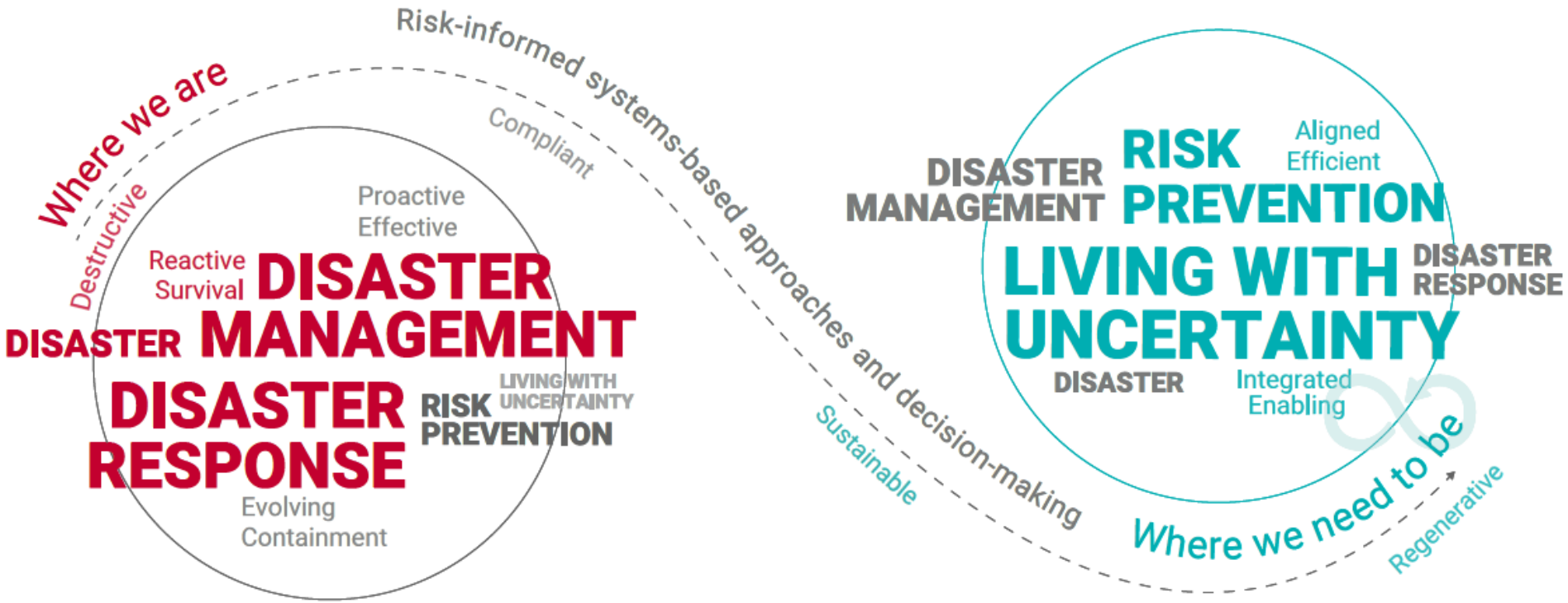
Conclusion et perspectives

1. **Climat et risques associés (Québec):**
   - Le taux de réchauffement s'est accéléré (2 à 3 fois au Canada par rapport à l'échelle mondiale)
   - Augmentation des conditions de vulnérabilité et d'exposition (développement socio-économique)
   - **Des effets combinés et en cascade** sont en cours et à venir : ex. feux de forêt (vagues de chaleur et sécheresses), maladies à transmission vectorielle, inondations, etc.
   - Nécessité **d'améliorer la connaissance des risques climatiques à l'échelle régionale et locale** (ex. bassin versant), ... **identifier et évaluer les conséquences** sur les systèmes naturels et humains.

2. **Solutions et stratégies possibles**:
   - Mettre en place un suivi et surveillance efficace des risques (basés sur les impacts des aléas hydrométéorologiques)
   - Développer des infrastructures et communautés plus résilientes
   - **Améliorer la prévention**
   - Mobiliser et valoriser les connaissances (théoriques et pratiques) pour trouver des solutions innovantes
   - **Développer une approche basée sur les systèmes complexes et la gestion des risques systémiques**, ...



)



Approche réactive (gestion de crise)

(Source: UNDRR 2019)

Approche préventive
(gestion anticipative des risques)

Approche innovante: Défaire les silos ...

Le RIISQ est un réseau de recherche **intersectorielle** sur la gestion des **risques d'inondations** dans un contexte de **changements climatiques**
https://riisq.ca/

Une programmation, une stratégie scientifique avec 5 axes intersectoriels

AXE 1

Identification des facteurs de risque d'inondations et de désastres: aléas, vulnérabilité et exposition

AXE 2

Gestion et aménagement des territoires à risque d'exposition, enjeux de gouvernance et législation

AXE 3

Évaluation des impacts biopsychosociaux, sanitaires et économiques, et partage des coûts associés

AXE 4

Transformation et réduction des vulnérabilités des individus, des organisations et des collectivités

AXE 5

Gestion et communication des risques, outils d'aide à la décision, à l'adaptation et à la résilience

RIISQ
Réseau Inondations InterSectoriel du Québec

18 universités et 2 CCTT

163 chercheuses et chercheurs réguliers

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