



Changements projetés des cyclones extratropicaux dans l'ensemble MRCC5-CMIP6 d'Ouranos

Christopher McCray¹, Marie-Pier Labonté¹, Dominique Paquin¹ et Martin Leduc²

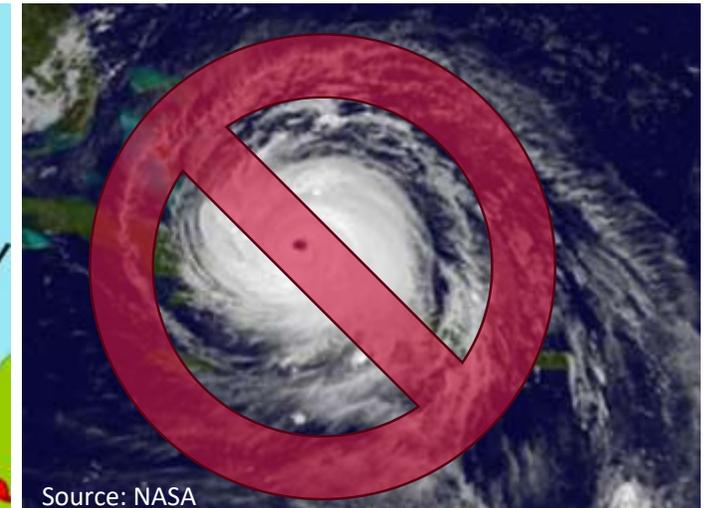
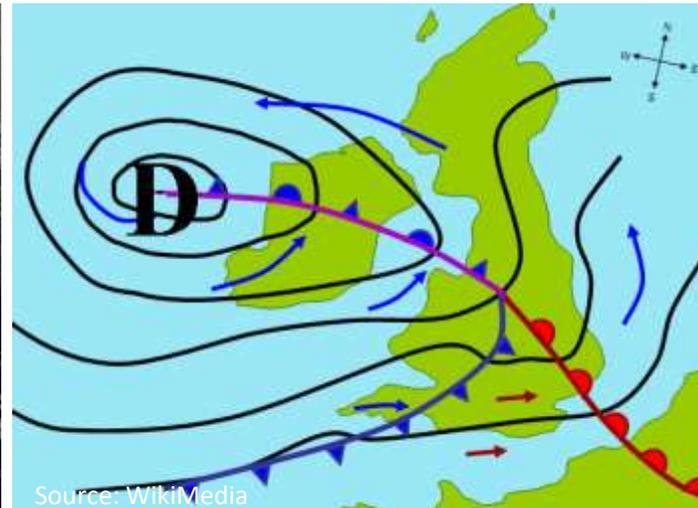
Ouranos

1. Simulations et analyses climatiques (SAC)
2. Recherche et soutien à l'innovation (RSI)

Cyclone extratropical, dépression, « tempête » ?

« Un cyclone extratropical est un système météorologique à grande échelle de **basse pression** qui se forme **en dehors des tropiques**, généralement entre les latitudes de 30° et 60°. Contrairement aux cyclones tropicaux, qui tirent leur énergie des eaux chaudes des océans, les **cyclones extratropicaux tirent leur énergie des contrastes de température entre différentes masses d'air**... Ces systèmes sont **souvent associés à des fronts météorologiques**... »

– Glossaire de la *American Meteorological Society*



Pourquoi s'intéresser aux cyclones extratropicaux ?

- Ils sont responsables d'environ **75% de la précipitation annuelle** au Québec (Hawcroft et coll., 2012)
- Ils peuvent amener des précipitations importantes (pluie, neige, verglas, etc.), des vents forts, une onde de tempête...
- Exemple: la tempête du 6 décembre 2010
 - Vents forts, marée haute, vagues → érosion côtière dans le Bas-Saint-Laurent, en Gaspésie et sur la Côte-Nord
 - 500 personnes évacuées, portions de la route 132 détruites, 72 maisons démolies



Source: Pierre Michaud/Journal Le Soir



Source: Pierre Michaud/Journal Le Soir



Source: Pierre Michaud/Journal Le Soir

Comment les cyclones (et leurs aléas) pourraient-ils évoluer dans un climat futur?

L'ensemble MRCC5 – CMIP6

Modèles globaux pilotes du
*Coupled Model Intercomparison
Project (CMIP6)*

Résolution: 1°-2.8° (~100-300 km)
SSP 1-2.6, 2-4.5, **3-7.0**, 5-8.5

CanESM5

CNRM-ESM2-1

MPI-ESM1-2-LR

NorESM2-MM

Modèle régional

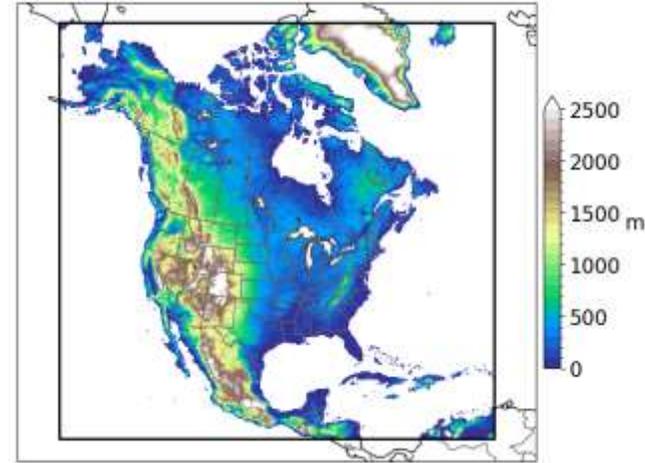
Résolution: 0.11°
(~12 km)

MRCC5 – Ouranos

Modèle régional
canadien du climat
version 5

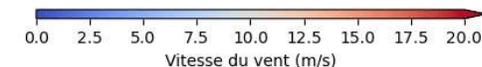
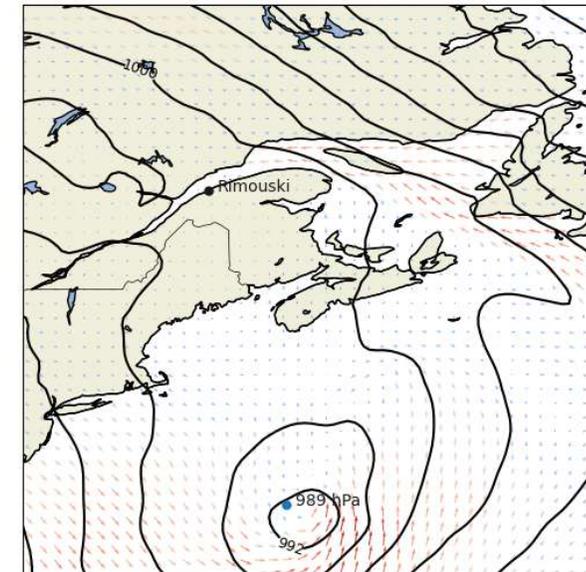
Développée en
collaboration avec le
Centre ESCER (UQAM)

Domaine et topographie du MRCC5



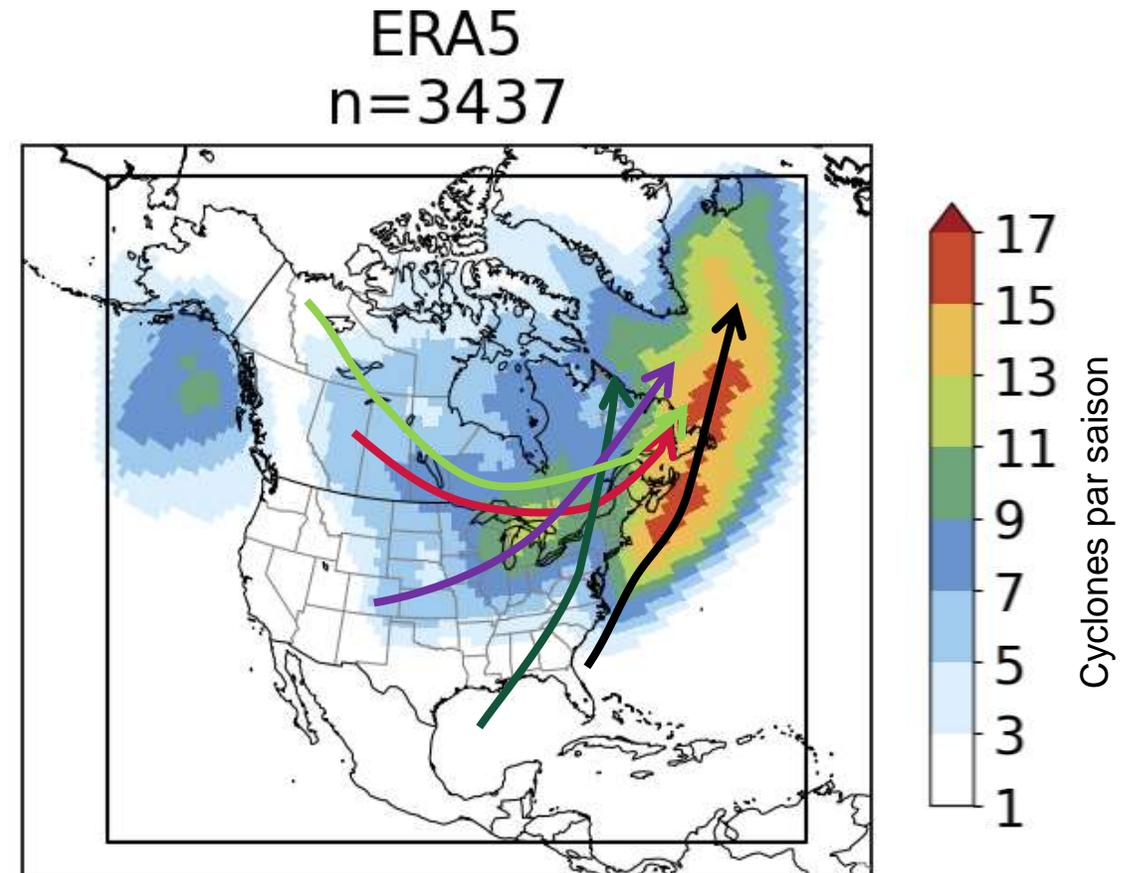
Identification et suivi des cyclones à l'aide de
TempestExtremes (Ullrich and Zarzycki 2017; Ullrich et al. 2021)

Pression au niveau de la mer (psl) (hPa) et vents (m/s)
2010-12-05 18:00:00 UTC



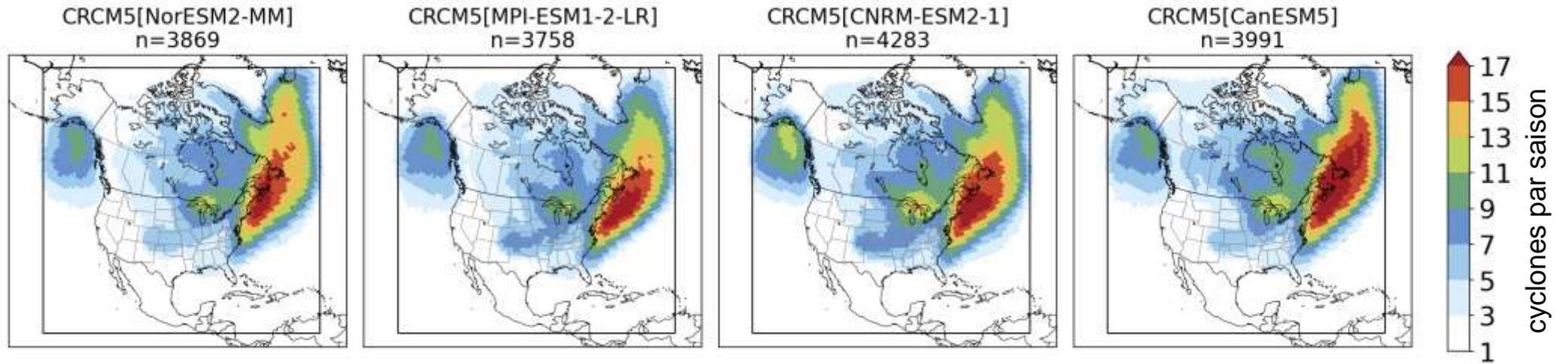
Où observe-t-on le plus grand nombre de cyclones dans le climat actuel ?

- Climat historique : **1985-2014**
- Saison froide (novembre à mars, **NDJFM**)
- Cartes
 - Nombre moyen de cyclones par saison passant dans un rayon de 350 km de chaque point de grille



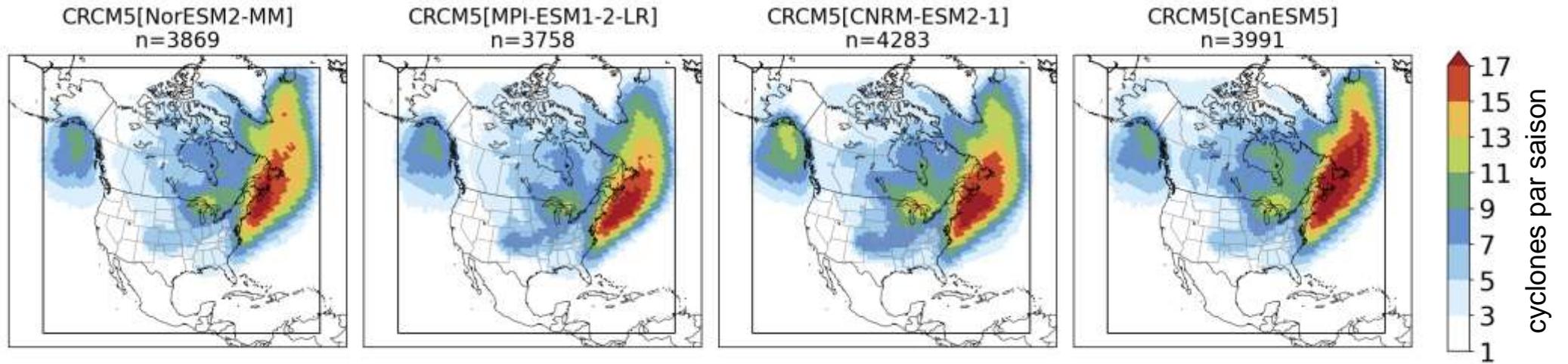
Où observe-t-on le plus grand nombre de cyclones dans le climat actuel ?

NDJFM
1985-2014

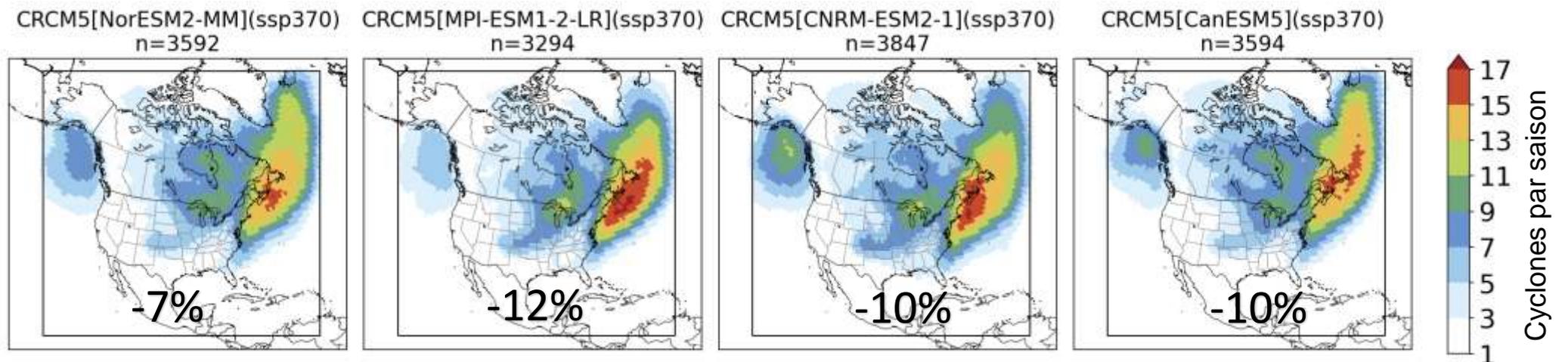


Y aura-t-il davantage ou moins de cyclones hivernaux dans un climat futur?

NDJFM
1985-2014

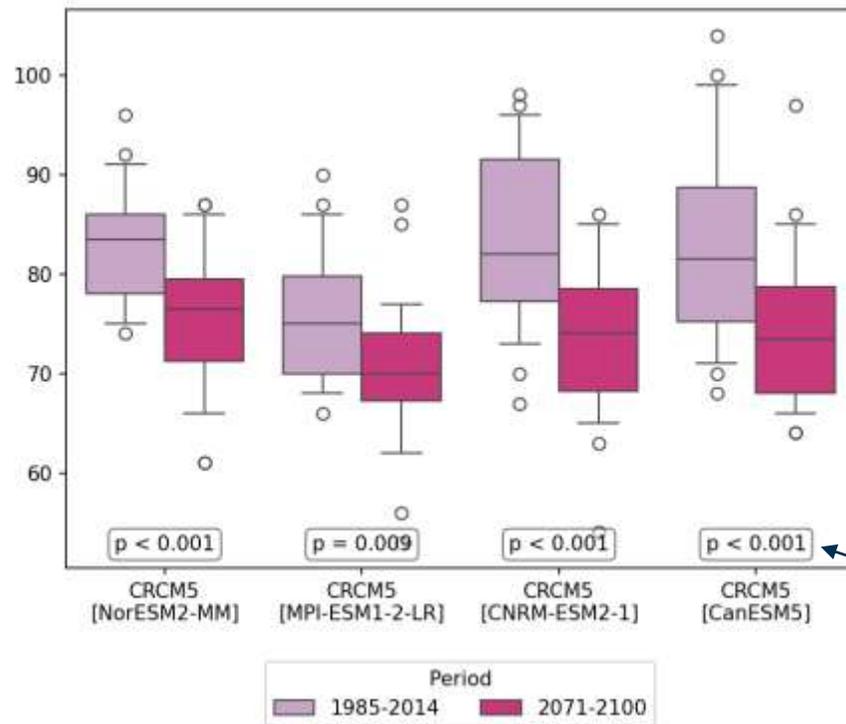


NDJFM
2071-2100

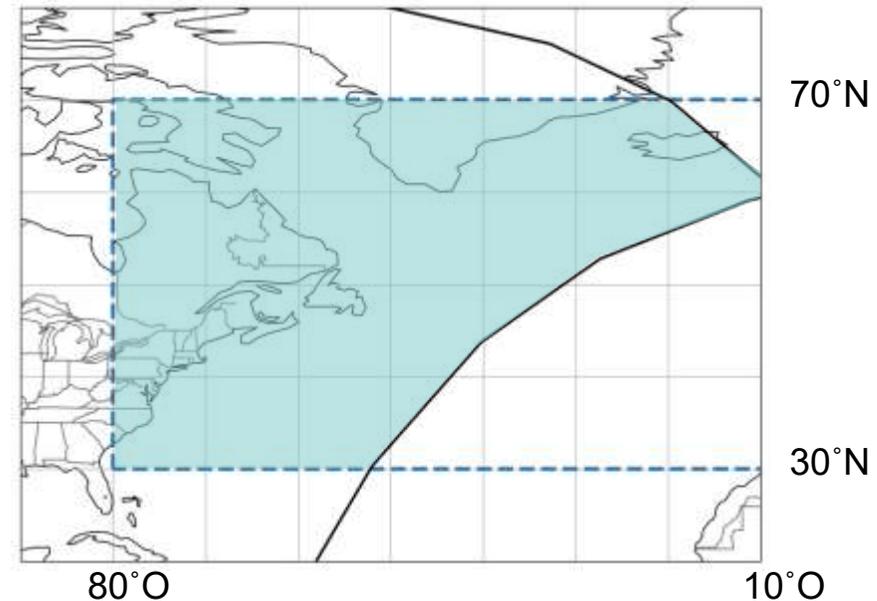


Y aura-t-il davantage ou moins de cyclones hivernaux dans un climat futur?

Cyclones par saison froide dans la région bleue (nord-est du domaine)



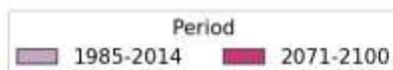
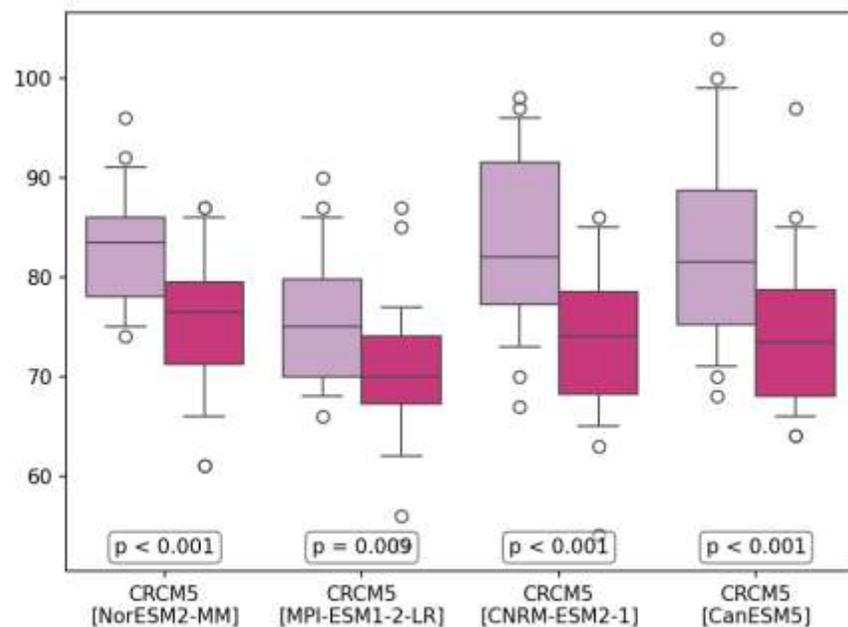
Moyennes
1985-2014: 81
2071-2100: 73



Test Mann-Whitney U
(1985-2014 – 2071-2100)

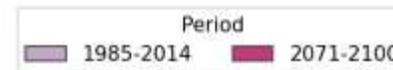
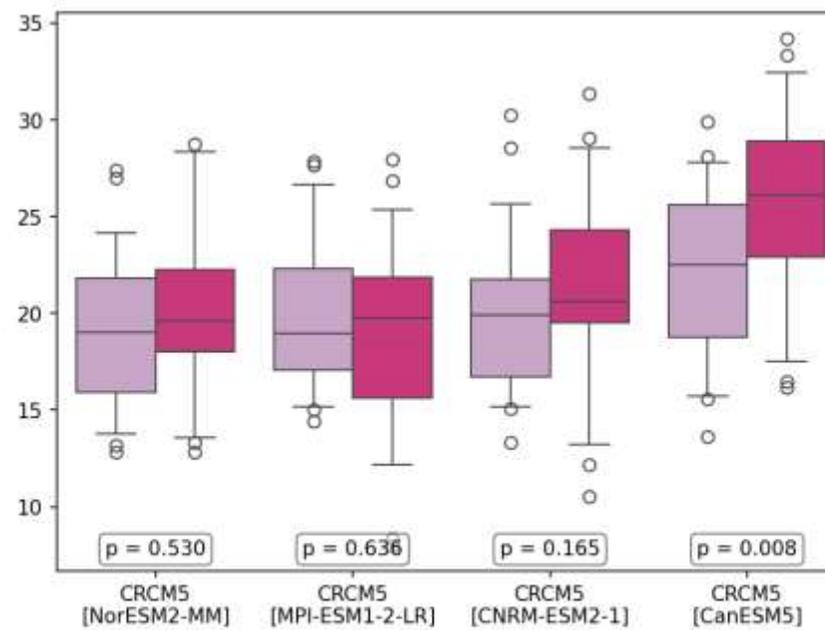
Y aura-t-il davantage ou moins de cyclones hivernaux dans un climat futur?

Cyclones par saison froide dans la région bleue (nord-est du domaine)



Moyennes
 1985-2014: 81
 2071-2100: 73

Pourcentage de cyclones intenses par saison
 (atteignant 960 hPa, le 20e centile de *psl* minimale pour 1985-2014)



Moyennes
 1985-2014: 20,4 %
 2071-2100: 21,5 %

Moins de cyclones...mais davantage de précipitations associées aux cyclones

Précipitations associées aux cyclones (NDJFM)

Changement par °C de réchauffement global (2071-2100 – 1981-2010)

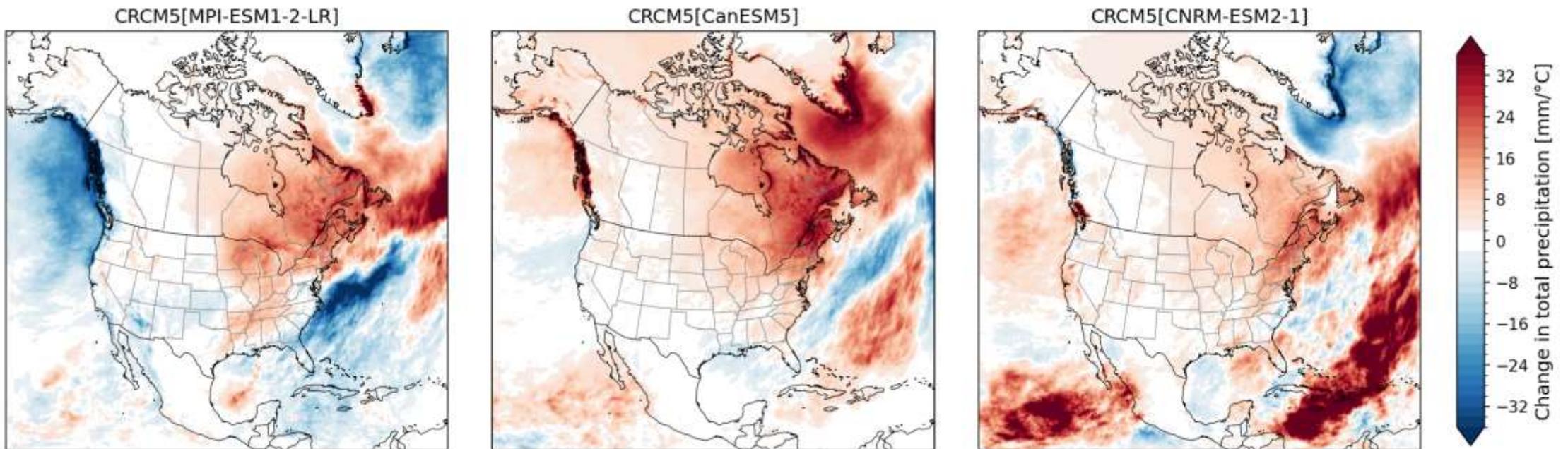
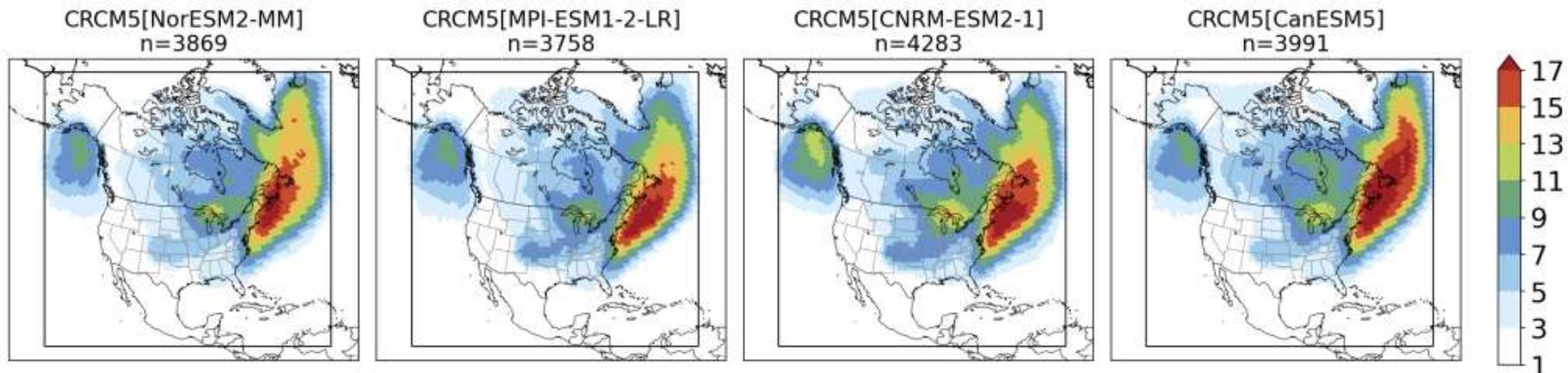


Figure: M. Labonté

Résumé: les cyclones extratropicaux dans l'ensemble MRCC5-CMIP6

- Nous avons implémenté une méthode **d'identification et de suivi des cyclones** pour les simulations du MRCC5 pilotées par des modèles globaux de l'ensemble CMIP6
- Nos simulations **reproduisent bien la climatologie** récente des cyclones en Amérique du Nord
- Dans le nord-est de l'Amérique du Nord, nos simulations projettent...
 - Une **réduction du nombre de cyclones** durant la saison froide, mais une **augmentation des quantités de précipitations**
 - Des résultats **moins certains** concernant les changements **d'intensité**
- Travaux en cours et à venir
 - Une analyse plus approfondie des changements d'intensité et des cyclones extrêmes
 - Une analyse des aléas associés aux cyclones (vents, précipitations, etc.)

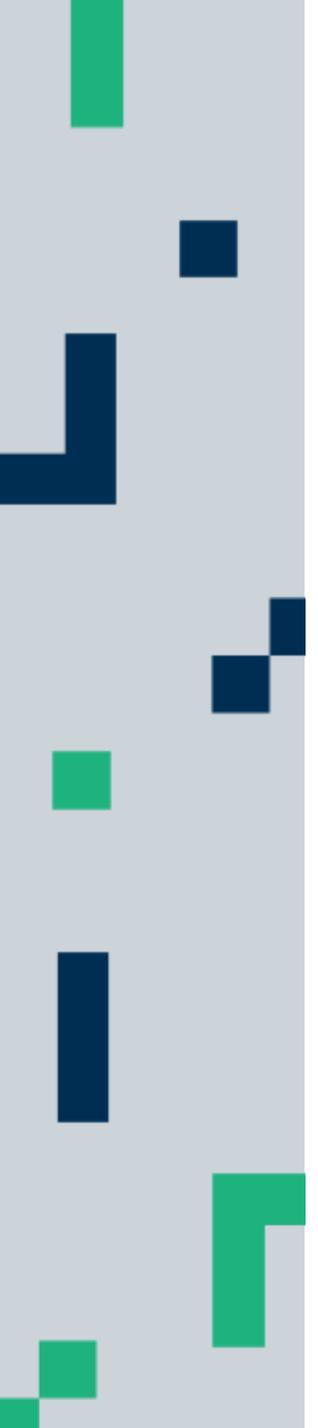


Références

Hawcroft, M. K., L. C. Shaffrey, K. I. Hodges, and H. F. Dacre, 2012: How much Northern Hemisphere precipitation is associated with extratropical cyclones? *Geophysical Research Letters*, **39**, <https://doi.org/10.1029/2012GL053866>.

Ullrich, P. A., and C. M. Zarzycki, 2017: TempestExtremes: A framework for scale-insensitive pointwise feature tracking on unstructured grids. *Geoscientific Model Development*, **10**, 1069–1090, <https://doi.org/10.5194/GMD-10-1069-2017>.

Ullrich, P. A., C. M. Zarzycki, E. E. McClenny, M. C. Pinheiro, A. M. Stansfield, and K. A. Reed, 2021: TempestExtremes v2.1: A community framework for feature detection, tracking, and analysis in large datasets. *Geoscientific Model Development*, **14**, 5023–5048, <https://doi.org/10.5194/GMD-14-5023-2021>.



 **SYMPOSIUM**
OURANOS 2025



Détails des simulations

Driving GCMs

1°-2.8° (~100-300 km)
SSP 1-2.6, 2-4.5, 3-7.0,
5-8.5 (CanESM5 only)

CanESM5

MPI-ESM1-2-LR

CNRM-ESM2-1

NorESM2-MM

RCM

0.11° (~12 km)

CRCM5-Ouranos

GEM 3.3.3.1

56 hybrid vertical levels (11 below 1 km)

5 min timestep

655x628 analysis grid (+20 point halo/sponge)

Spectral nudging applied to horizontal wind field from 500 hPa up (large scales)

Land surface scheme: CLASS 3.5

Subgrid lakes: FLake

Deep convection: Kain-Fritsch

Large-scale condensation: Sundqvist

MSLP and precip archived hourly

3D variables 3-hourly

L'identification des cyclones dans les simulations du MRCC5

Outil choisi : TempestExtremes
(Ullrich and Zarzycki 2017; Ullrich et al. 2021)

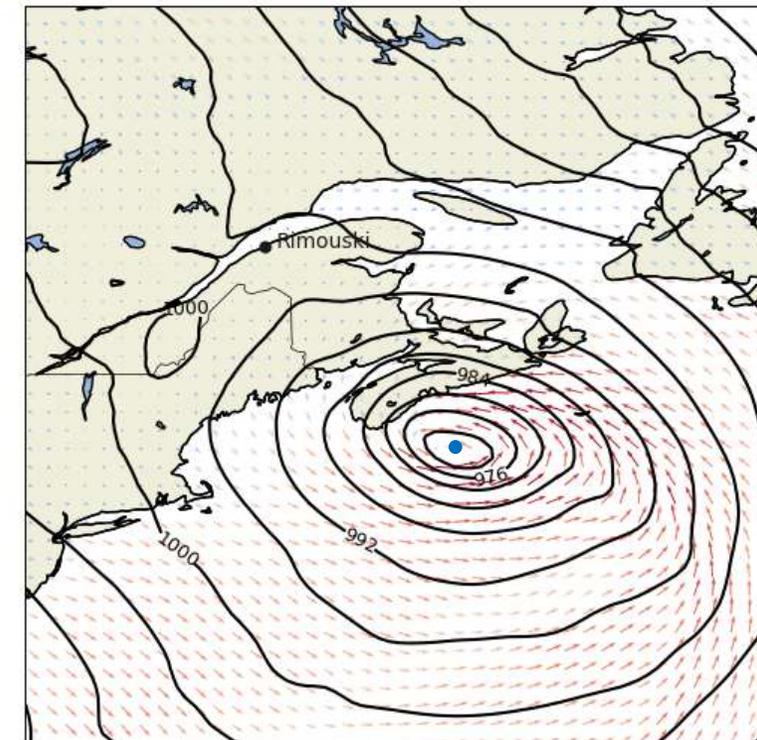
Étape 1: **identifier** les cyclones

- **Minimum** de la pression moyenne au niveau de la mer (psl)
- Minimum entouré d'un **contour fermé** de *psl*

Étape 2 : **suivre** les cyclones dans le temps

- Relier les cyclones qui se trouvent dans un rayon de 500 km au prochain pas de temps
- Retenir seulement les trajectoires qui durent au moins **24 heures** et qui se déplacent d'au moins **1 000 km**

Pression au niveau de la mer (psl) (hPa) et vents (m/s)
2010-12-06 06:00:00 UTC



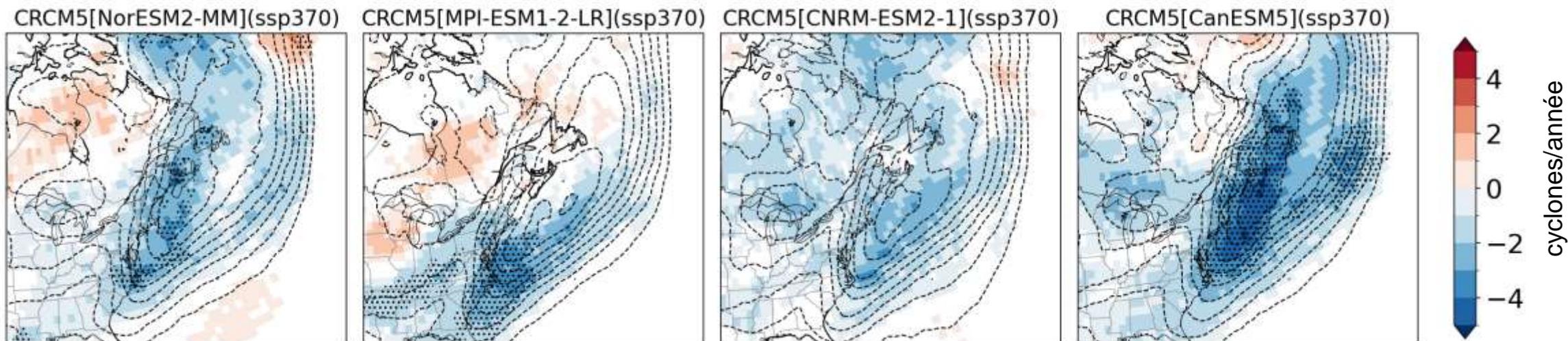
Données: réanalyse ERA5

Procédure détaillée

1. Appliquer un lissage gaussien aux sorties de PSL toutes les 3 heures
2. Identifier les minima locaux de MSLP entourés par un contour fermé avec TempestExtremes (Ullrich et Zarzycki 2017 ; Ullrich et al. 2021)
3. PSL doit augmenter de 2 hPa dans un rayon de 6° autour du minimum
4. Les cyclones situés à moins de 400 km les uns des autres sont fusionnés
5. Suivre les cyclones dans le temps et l'espace : approche par le plus proche voisin
6. Un cyclone à t_1 doit être situé à moins de 500 km d'un candidat à t_0 pour que les deux soient reliés
7. Les cyclones doivent durer au moins 24 heures et parcourir une distance d'au moins 1000 km

Y aura-t-il plus ou moins de cyclones hivernaux dans un climat futur?

Changement du nombre moyen de trajectoires par saison NDJFM
2071-2100 – 1985-2014 (SSP 3-7.0 - émissions élevées)

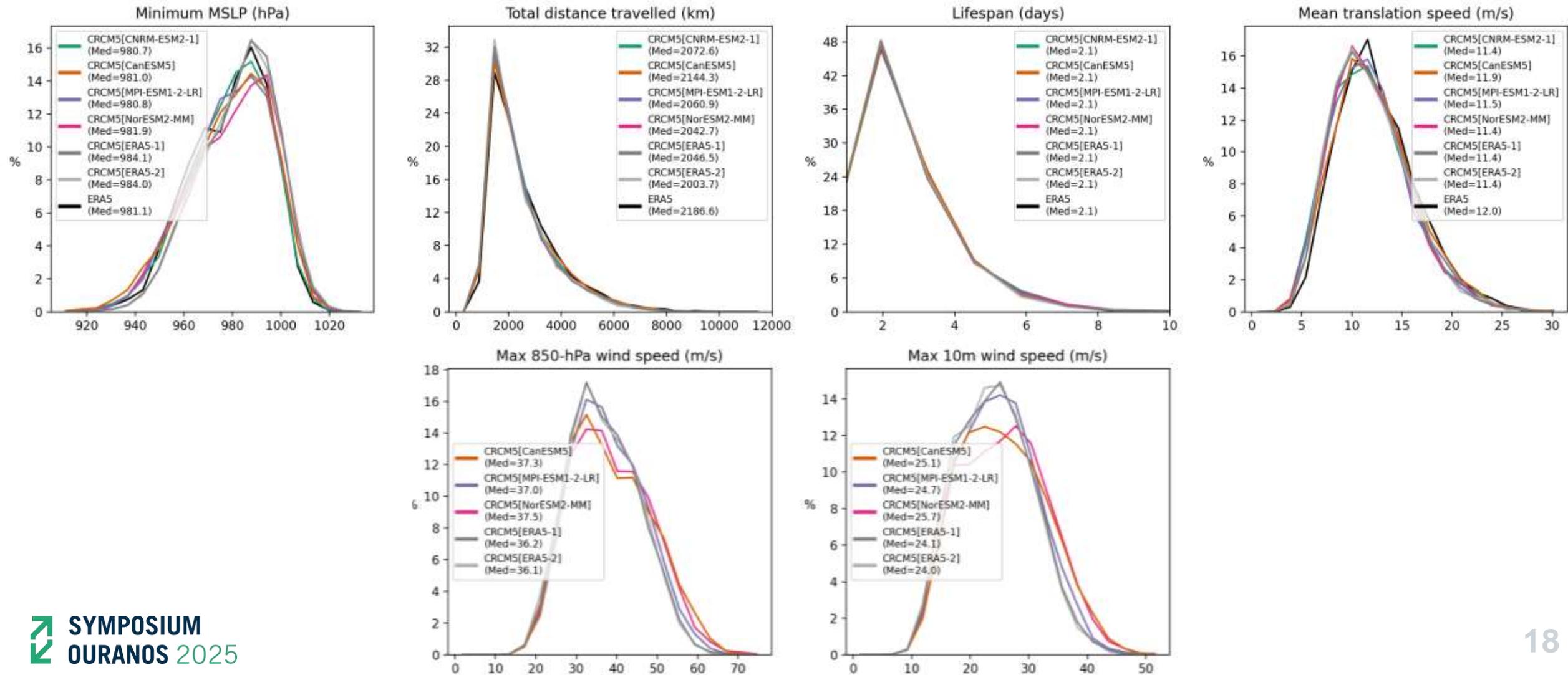


Zones pointillées : $p < 0.05$ (test Mann-Whitney U)

Contours: densités 1985-2014

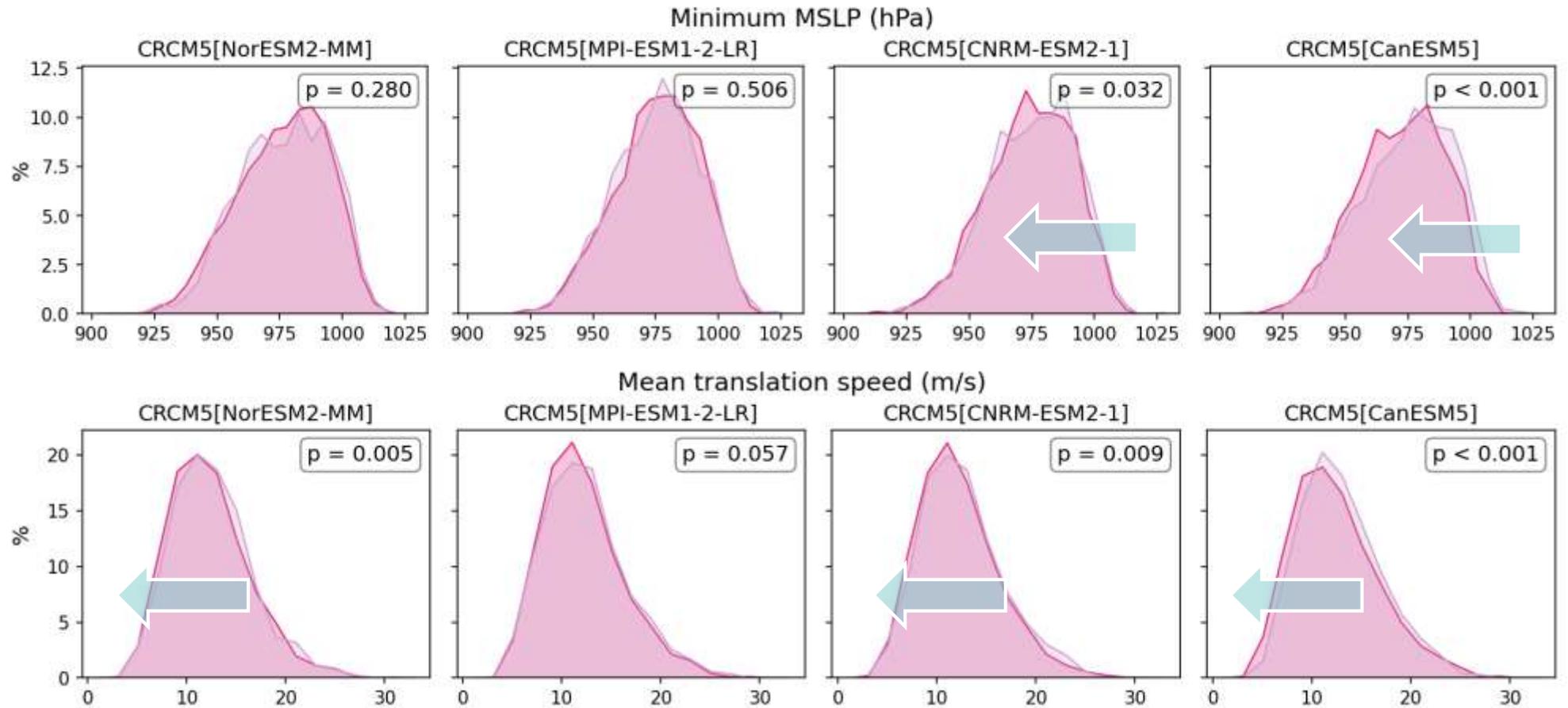
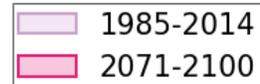
Caractéristiques des cyclones

Simulations historiques (1985-2014) et ERA5



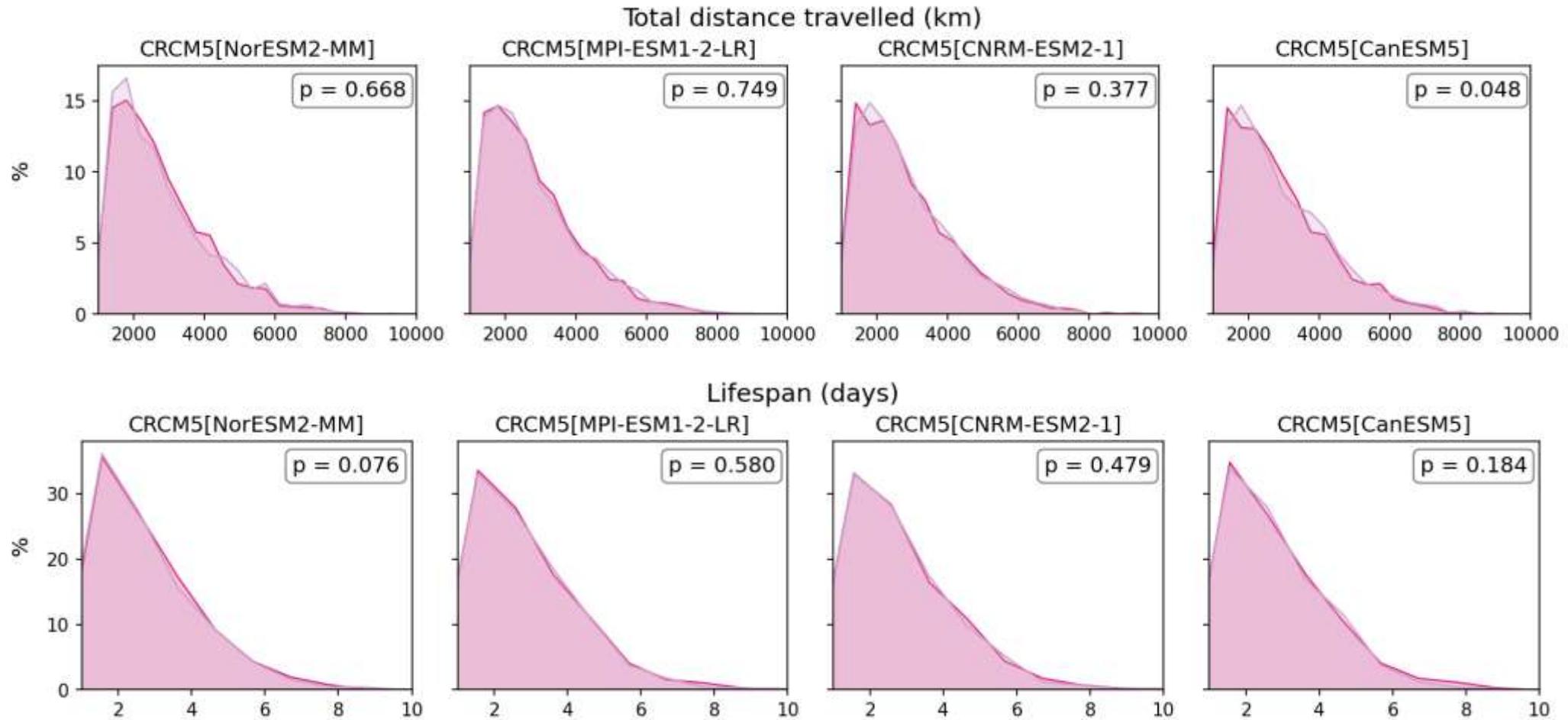
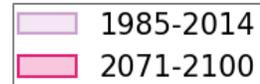
Caractéristiques des cyclones

Changements 1985-2014 – 2071-2100



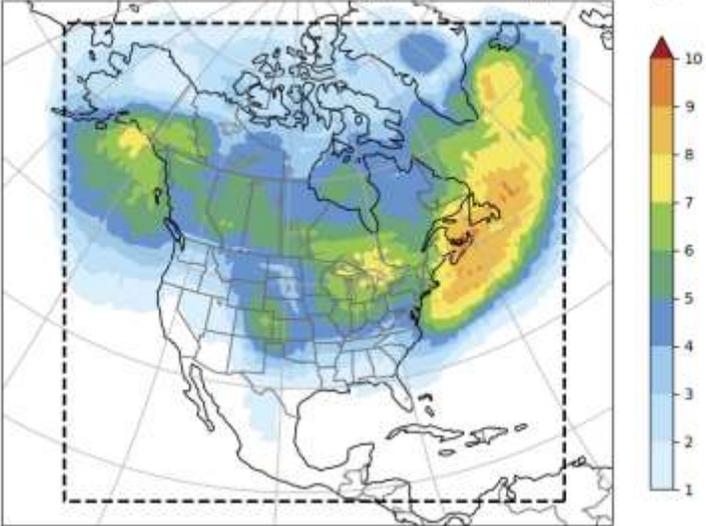
Caractéristiques des cyclones

Changements 1985-2014 – 2071-2100

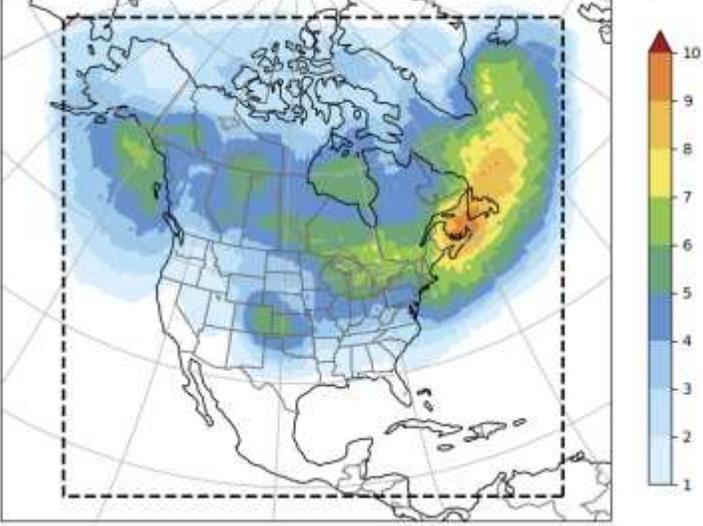


Résultats d'un modèle pilote

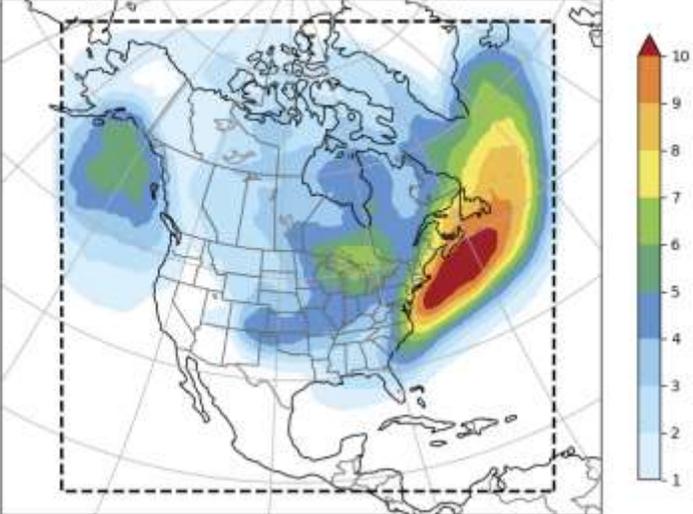
MPI-ESM1-2-LR NDJFM track density (1985-2014)(N = 3758)



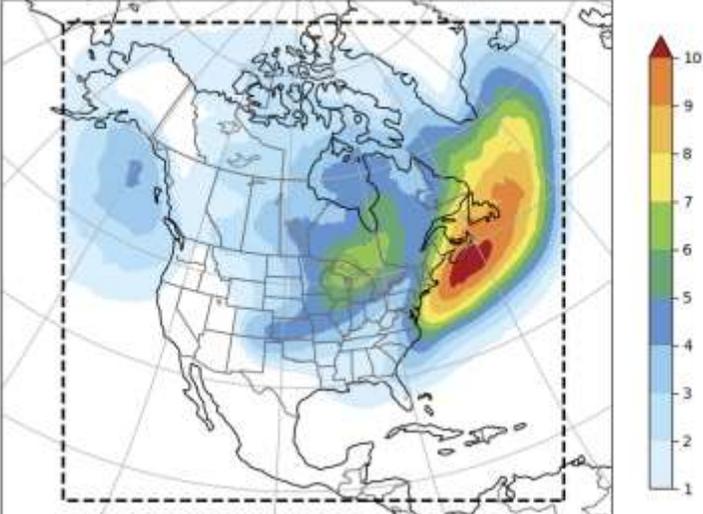
MPI-ESM1-2-LR NDJFM track density (2071-2100)(N = 3469)



car NDJFM track density (1985-2014)(N = 3758)



cau NDJFM track density (2071-2100)(N = 3294)

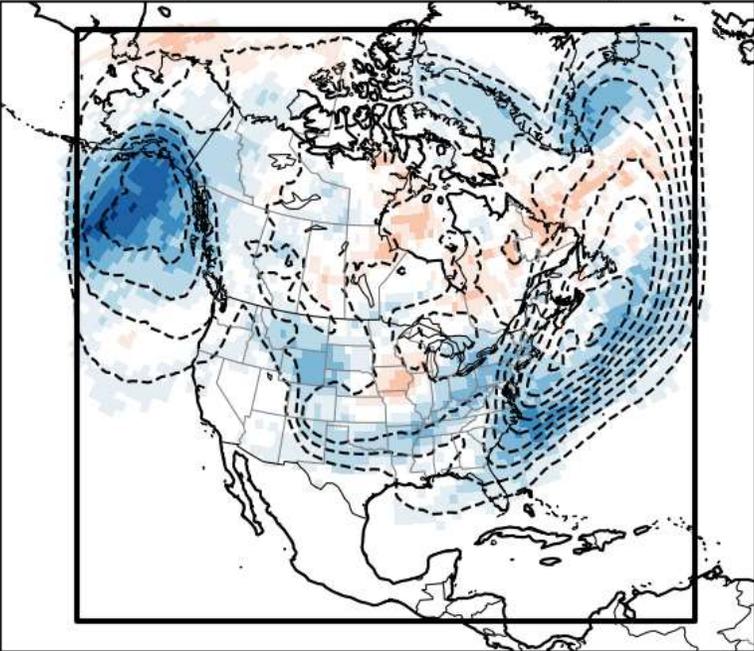


Remerciements à Rachel McCrary (NCAR)

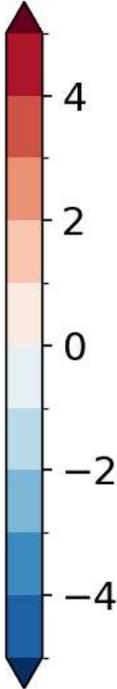
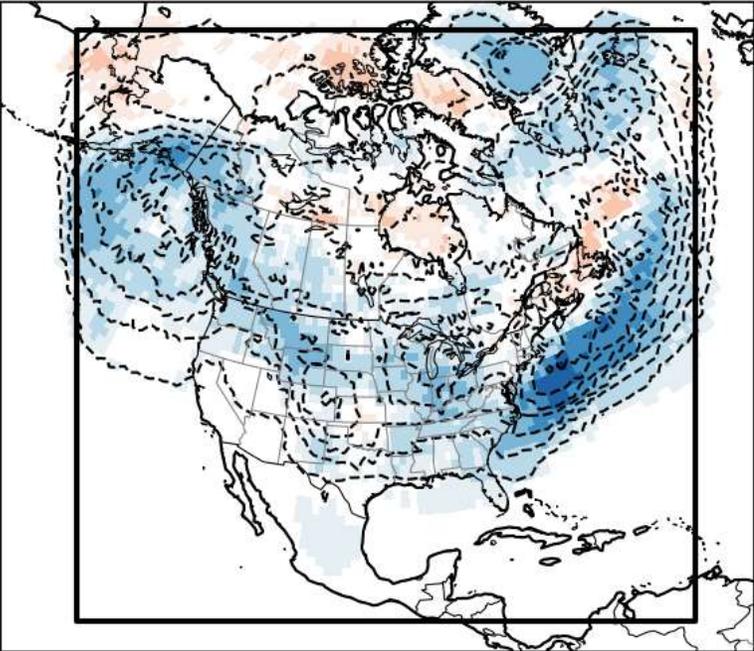
Résultats d'un modèle pilote

Changement
2071-2100 – 1985-2014

CRCM5[MPI-ESM1-2-LR](ssp370)



MPI-ESM1-2-LR (ssp370)



Remerciements à
Rachel McCrary (NCAR)

