

Quel a été le rôle des cyclones extratropicaux dans les inondations au Québec entre 1990-2020?

Résultats préliminaires

Clarence Gagnon,
Étudiante à la maîtrise en génie des eaux, Université Laval

Co-Auteurs:

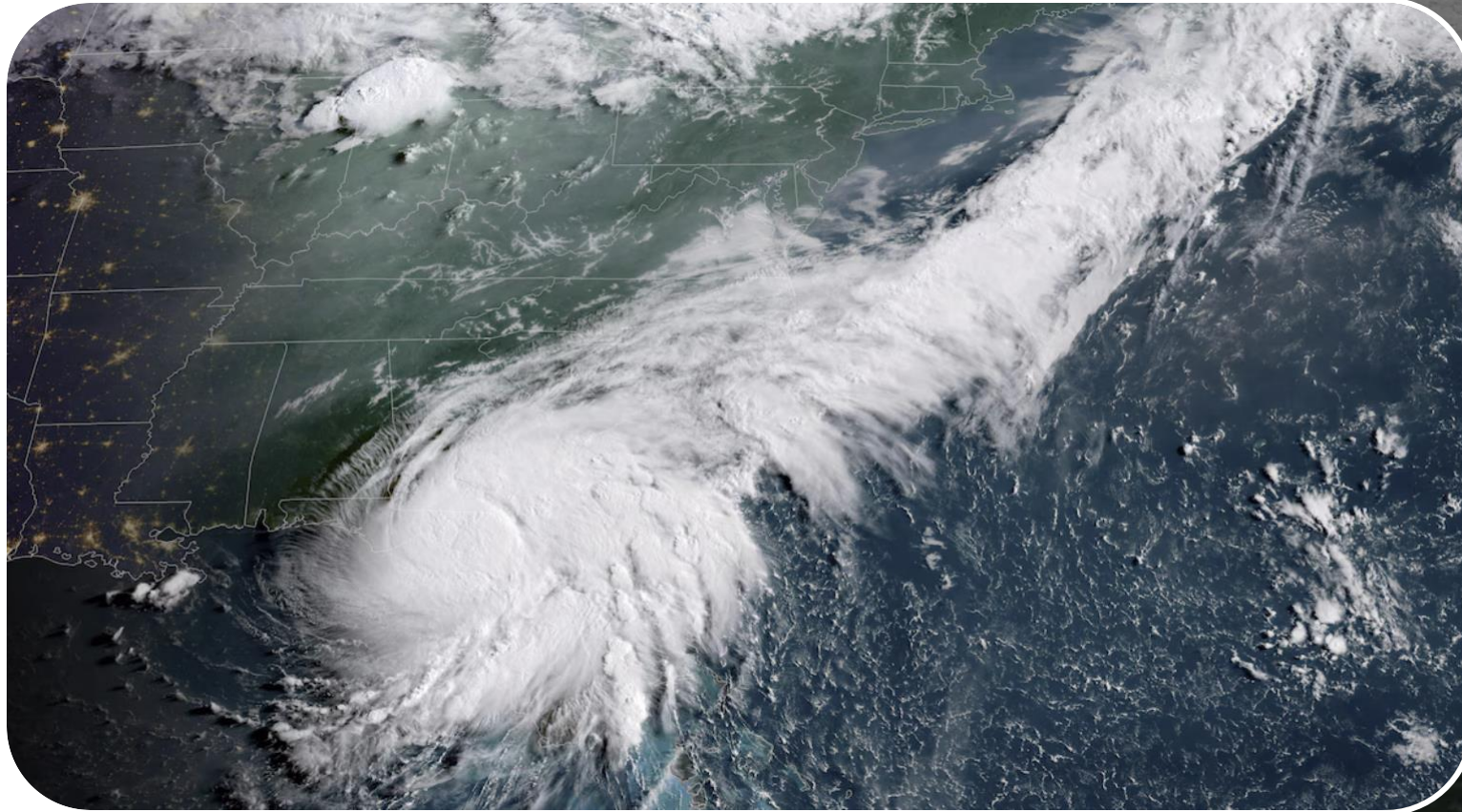
Daniel Nadeau, Professeur, Université Laval, département de génie civil et génie des eaux

Alejandro Di Luca, Professeur, UQAM, département des sciences de la Terre et de l'atmosphère

François Ancil, Professeur, Directeur du département de génie civil et génie des eaux, Université Laval

« L'évènement climatique le plus coûteux de l'histoire du Québec » (BAC, 2024)

Tempête *Debby*, août 2024



Contexte du projet de recherche

Le lien entre les cyclones extratropicaux (tempêtes) & précipitation est bien établi dans les moyennes latitudes

- Principaux vecteurs de transport d'humidité des tropiques vers le Nord
- Attribution entre 60-80% de la précipitation (Pfahl & Wernli, 2012; Poan et al., 2018)

Au Québec, il est connu que les inondations surviennent souvent au printemps

- La fonte du couvert de neige joue un rôle important
- Un apport de pluie est nécessaire pour avoir une inondation
- Ce sont majoritairement les cyclones extratropicaux qui vont amener cette précipitation

Plusieurs d'études de ce genre on été faites aux États-Unis

- Sur la côte ouest, incluant le lien avec les rivières atmosphériques (Ralph et al. 2006, 2011; Neiman et al., 2008, 2013)
- Sur la côte est, surtout sur le lien entre tempêtes et événements extrêmes d'hiver (Bentley et al., 2019; Su et al., 2023)

Objectifs

1. Décrire les cyclones extratropicaux qui ont été impliqués dans les inondations au Québec entre 1990-2020
 - 1.1. Identifier les inondations d'importance
 - 1.2. Associer les inondations à leurs cyclones extratropicaux contributeurs
 - 1.3. Analyser les caractéristiques de ces cyclones extratropicaux contributeurs afin d'identifier ce qui les distingue

Particularité du projet:

- Aucune d'étude de ce genre n'a encore été faite au Québec
- Étude systématique de toutes les inondations connues entre 1990-2020

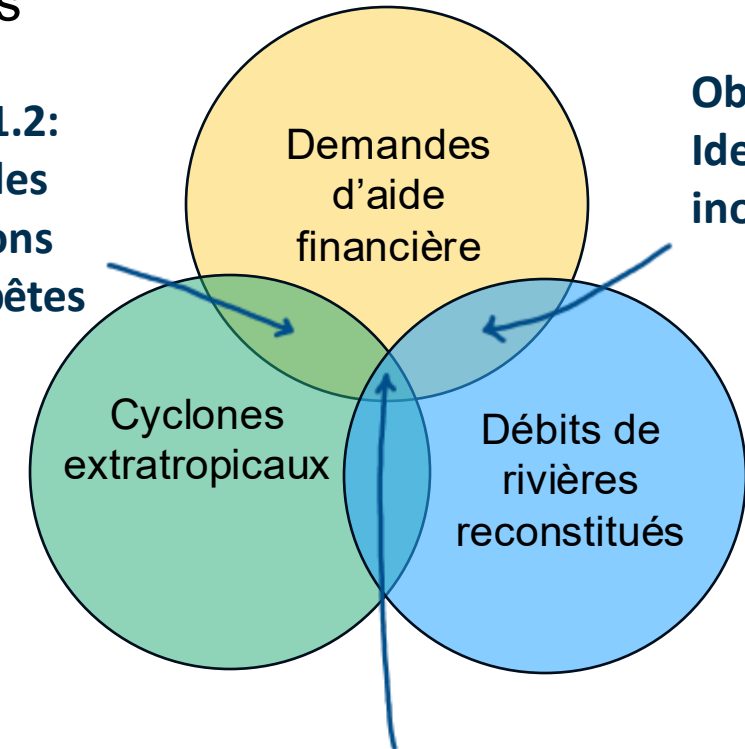
Méthodologie; bases de données utilisées

Pour étudier cette relation, 3 bases de données sont utilisées

1. Base de données d'évènements d'inondation survenus au Québec entre 1990 et 2023 (Roy, Hamon, & Anctil, 2024)
2. Base de données de débits recalculés de l'Atlas hydroclimatique du Québec (Lachance-Cloutier, Turcotte, & Cyr, 2017)
3. North America Extratropical Cyclone (NAEC) Catalogue (Chen, Di Luca, & Winger, 2022)

Objectif 1.2:
Associer les
inondations
aux tempêtes

Objectif 1.1:
Identifier les
inondations



Objectif 1.3: Identifier ce qui distingue
les tempêtes qui ont contribué aux
inondations

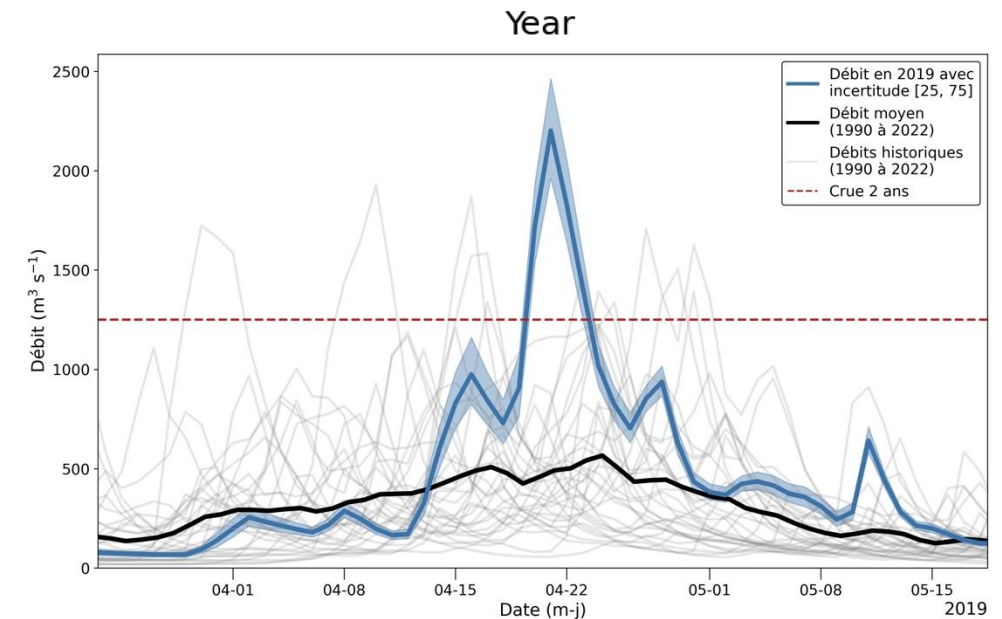
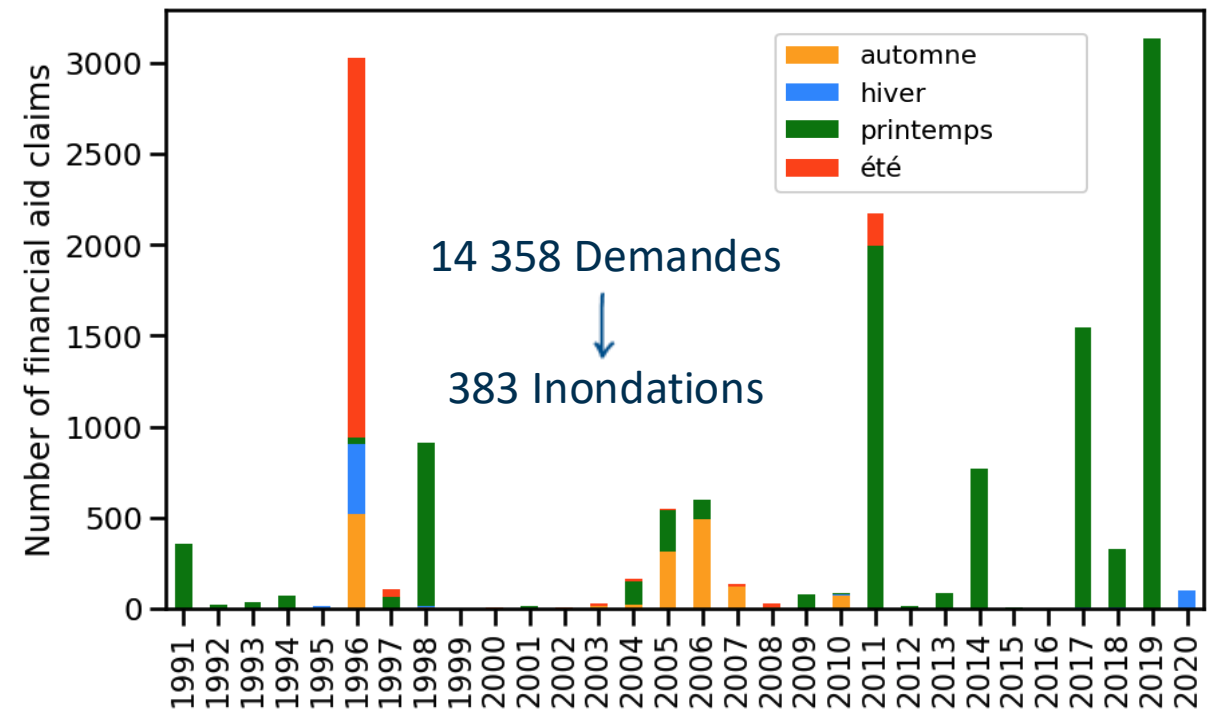
Objectif 1.1: Identification des inondations

1. *Base de données d'évènements d'inondation survenus au Québec entre 1990-2023* (Roy, Hamon, & Anctil, 2024)

- Emplacement, bassin versant associé, et tronçon de rivière le plus proche.
- Sur le tronçon de rivière, débits recalculés* au moment de l'inondation

2*. *Débits recalculés de l'Atlas hydroclimatique du Québec* (Lachance-Cloutier, Turcotte, & Cyr, 2017)

- Quantiles de débits de rivières journaliers provenant de multiples simulations. Crue 2 ans calculée sur la médiane des débits maximaux annuels entre 1990-2020.



(Brault, 2024)

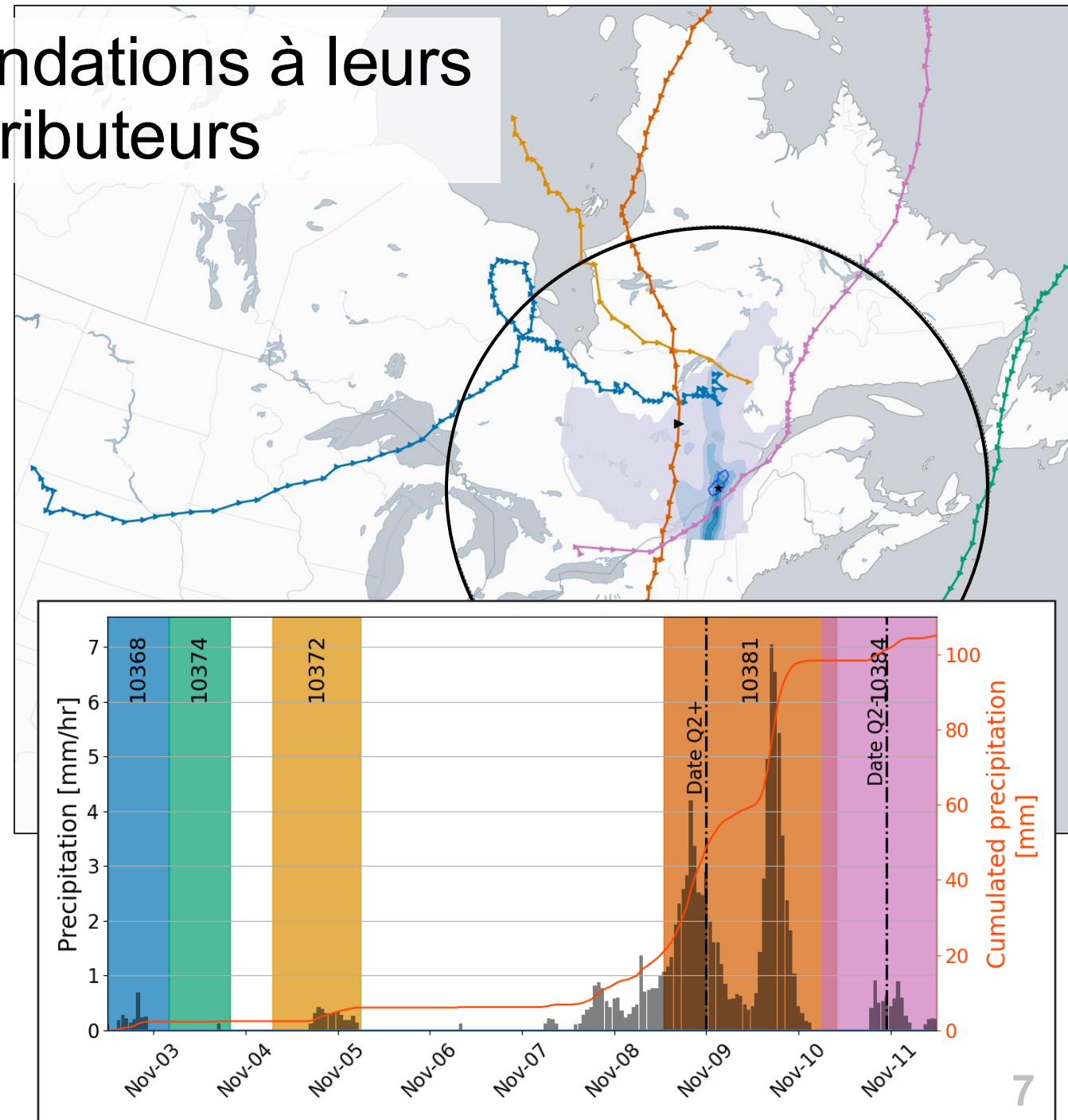
Objectif 1.2: Associer les inondations à leurs cyclones extratropicaux contributeurs

3. North America Extratropical Cyclones (NAEC) Catalogue (Chen, Di Luca, & Winger, 2022) [20-80°N, 0-180°W]

- Tempêtes identifiées par minimums locaux de MSLP + max vorticity $> 10^{-5}/s$

Éléments clé de la méthodologie:

1. Point central des demandes d'aide financière reliées à l'inondation
2. Recherche de tempêtes dans un rayon de 1000km autour du point central
3. Association de la précipitation ERA5 sur la région touchée aux tempêtes retenues
4. Classement des tempêtes en fonction du pourcentage de pluie cumulée associée
 - Tempêtes mineures (N = 432)
 - Tempêtes majeures (N = 118)



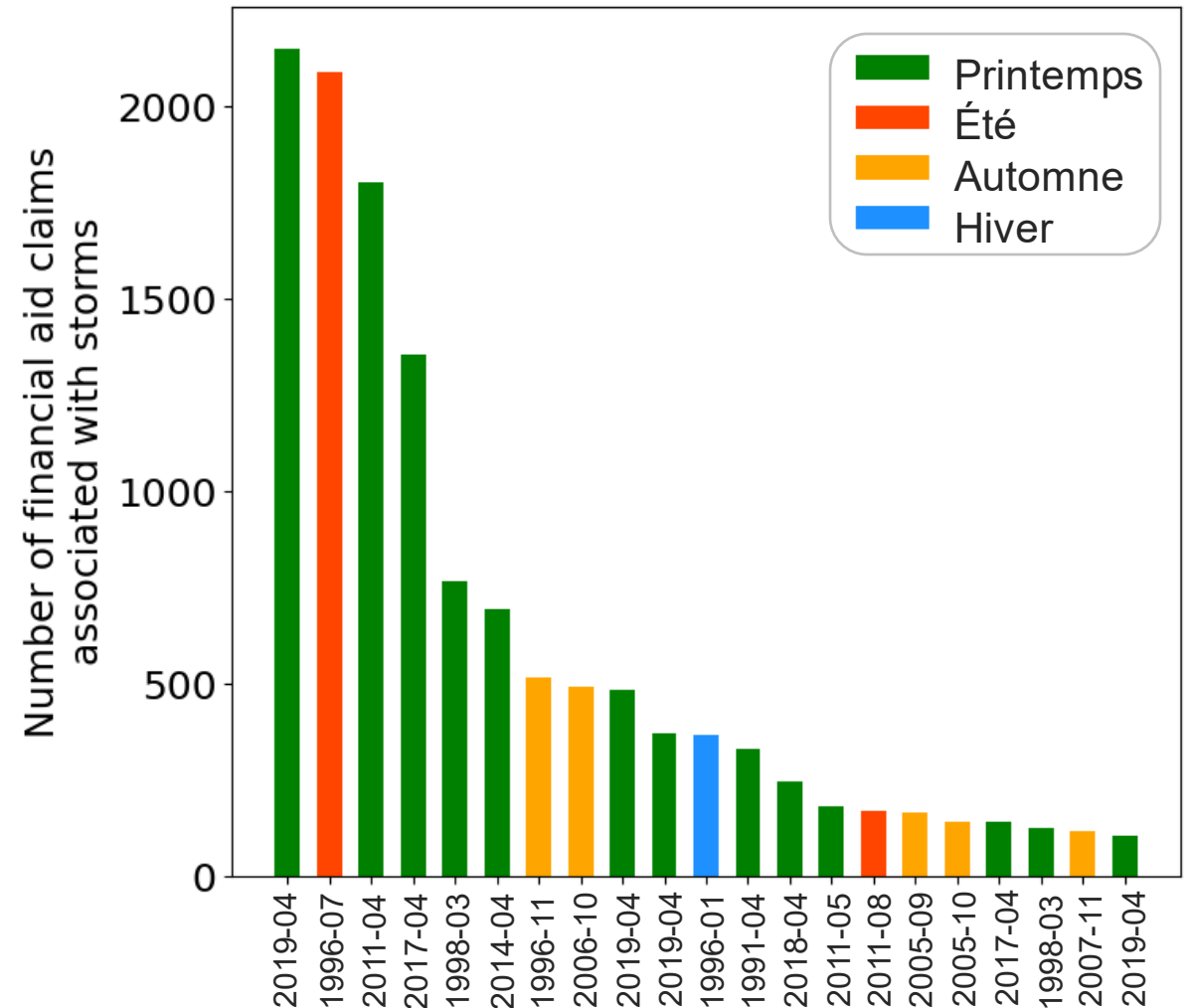
Résultats: Analyse des cyclones extratropicaux contributeurs (objectif 1.3)

- Les tempêtes contributrices avaient en moyenne 120 demandes d'aide financière associées
- Le top 21 des tempêtes les plus importantes cumulent 90% des demandes!
- Le top 4 des tempêtes les plus importantes cumulent 52% des demandes!



Est-ce que toutes les tempêtes contributrices ont causé autant de dommages?

Non!

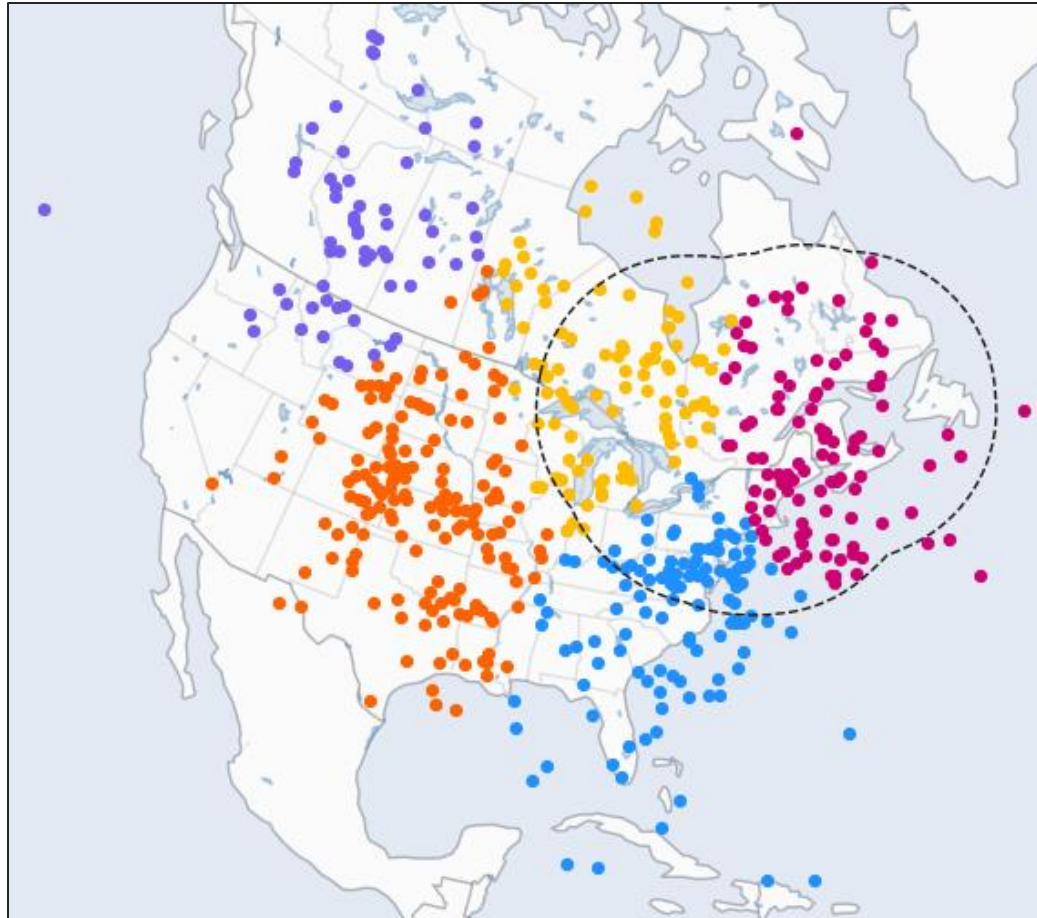


Résultats; provenance des tempêtes

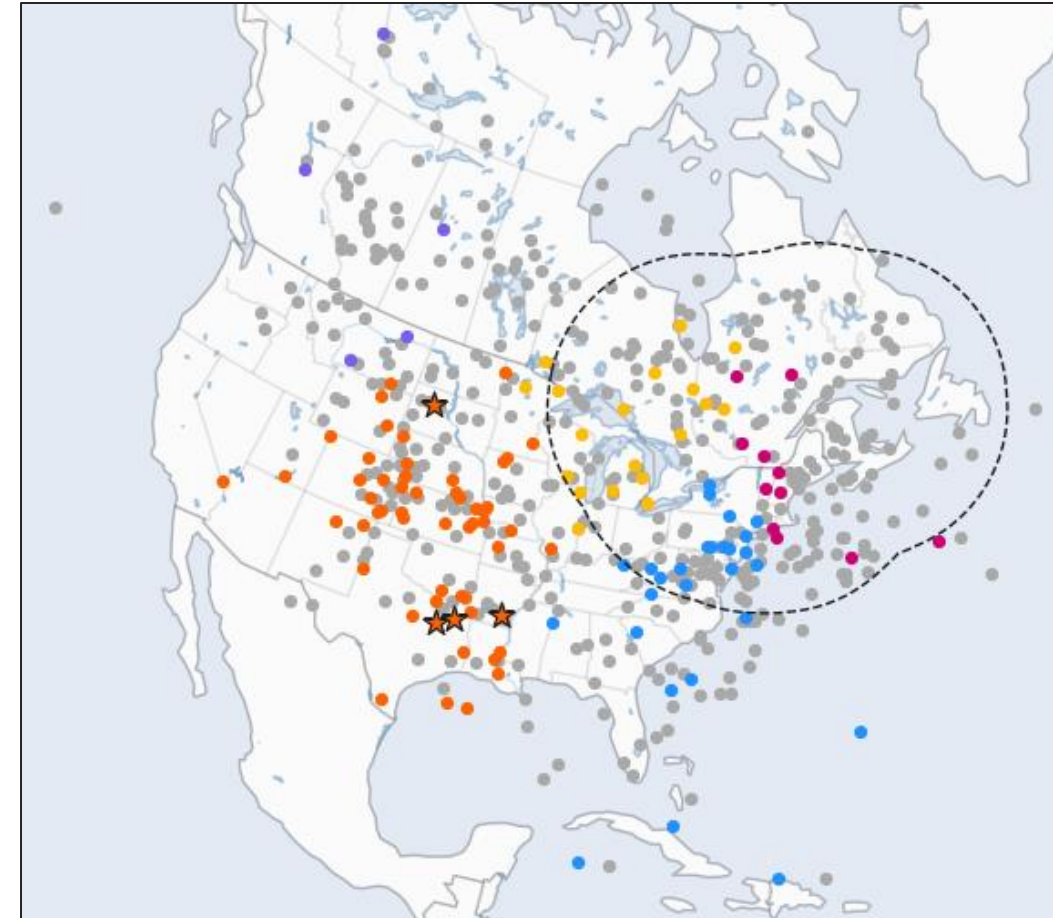
Est-ce que les tempêtes qui ont joué un rôle dans les inondations au Québec tendent à provenir du même endroit?

?

Great Lakes and Ontario
US East Coast
Western Canada
Central US
US Northern East coast and Quebec



Union of all 1000km radius domains used in analysis of 383 floods



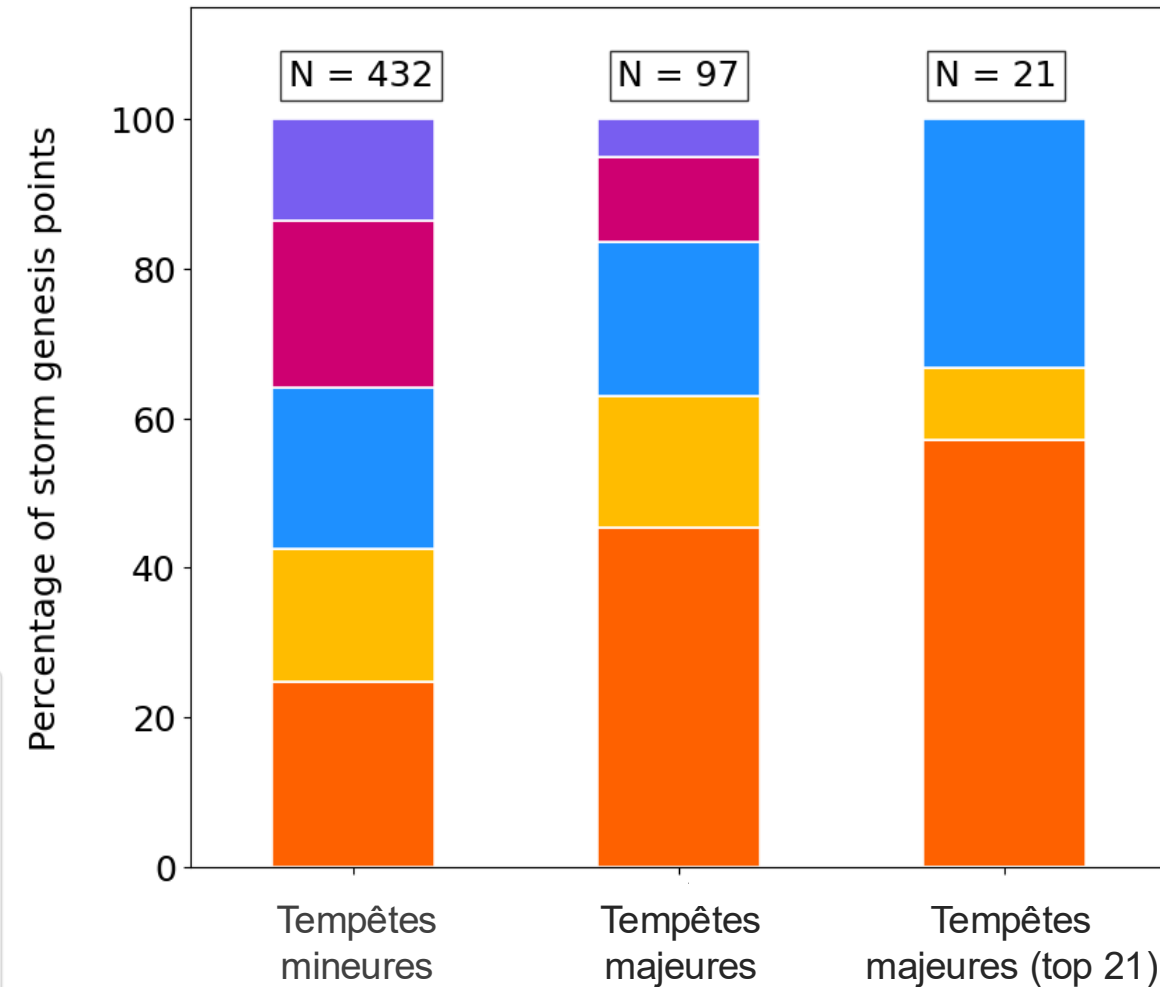
● Points de genèse, tempêtes mineures (non contributrices)
★ Points de genèse, tempêtes majeures top 4

Résultats; provenance des tempêtes

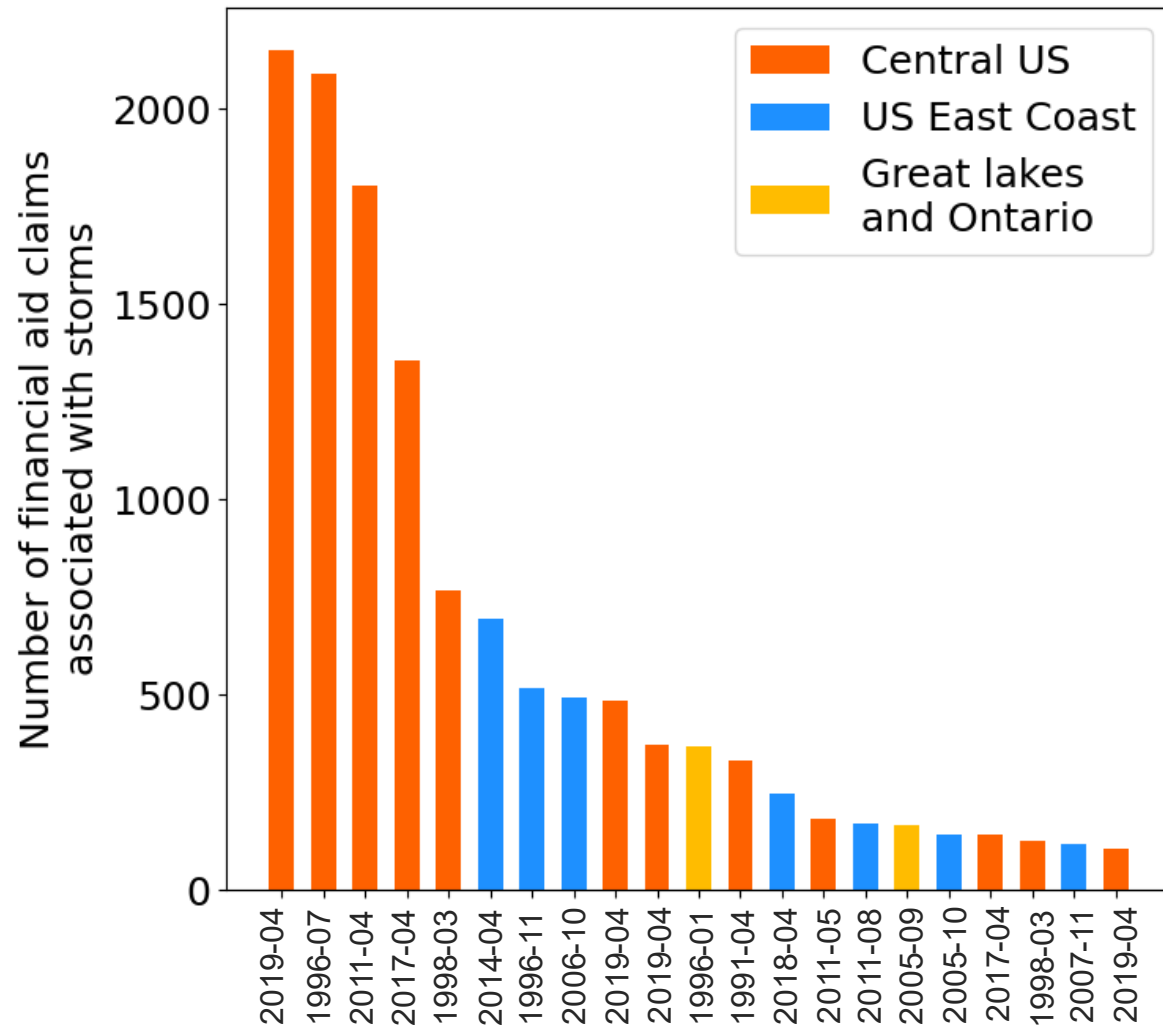
- La distribution des provenances pour les tempêtes mineures est uniforme, ce n'est pas le cas pour les tempêtes majeures
- Dans le top 21, les provenances *Western Canada* et *US Northern East Coast and Quebec* disparaissent
- Les tempêtes les plus dommageables provenaient en plus grand nombre des clusters *Central US* et *US East coast*



Est-ce que les tempêtes qui ont joué un rôle dans les inondations au Québec tendent à provenir du même endroit?



Résultats; provenance des tempêtes



Est-ce que les tempêtes qui ont joué un rôle dans les inondations au Québec tendent à provenir du même endroit?

Oui!

- Les 5 tempêtes majeures les plus dommageables (maximum de demandes d'aide financière associées) proviennent de la zone de genèse *Central US*

Résultats; trajectoires types (*Central US*)

?

Pour une même zone de genèse, est-ce que les trajectoires types des tempêtes majeures sont différentes de celles des tempêtes mineures?

Tempêtes mineures (non contributrices) (N = 107)

Les tempêtes majeures semblent diverger moins rapidement, et favoriser un passage sur les Grands Lacs

Tempêtes majeures (contributrices) (N = 56)

Ce type de trajectoire permet la recharge en humidité

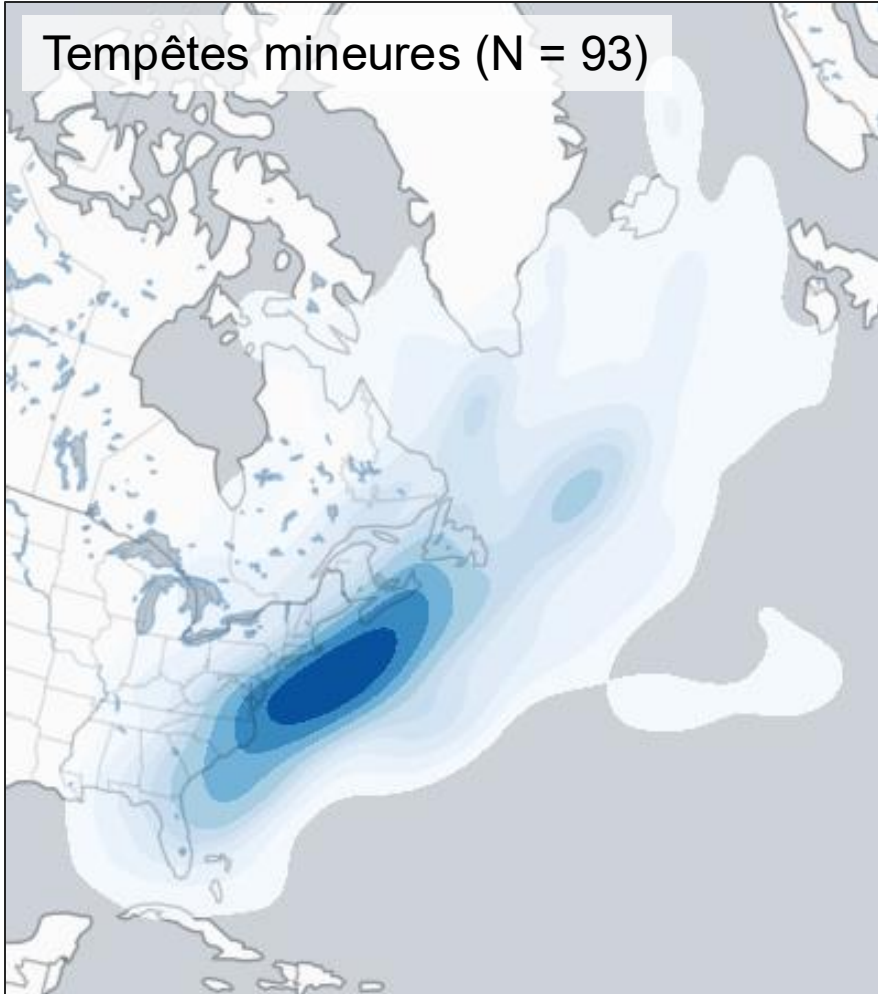
Résultats; trajectoires types (*US East Coast*)

?

Pour une même zone de genèse, est-ce que les trajectoires types des tempêtes majeures sont différentes de celles des tempêtes mineures?

Oui!

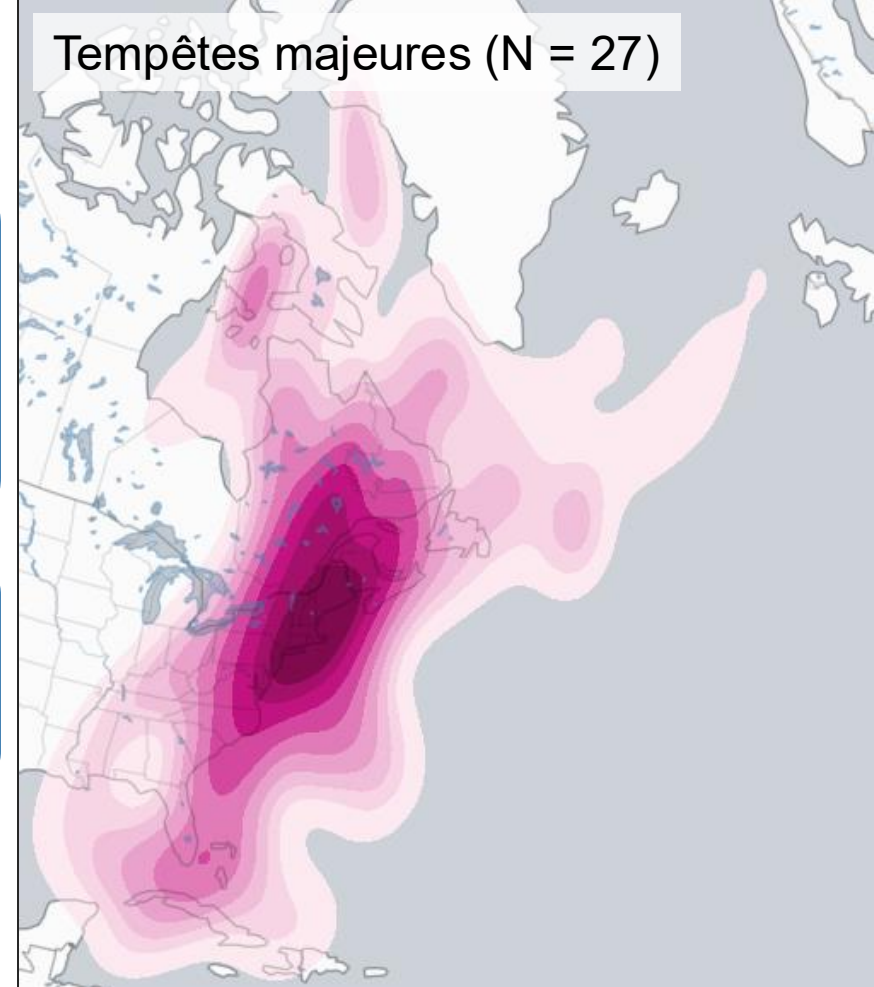
Tempêtes mineures (N = 93)



Les tempêtes majeures semblent favoriser une trajectoire NNE sur les terres au lieu de l'Océan Atlantique

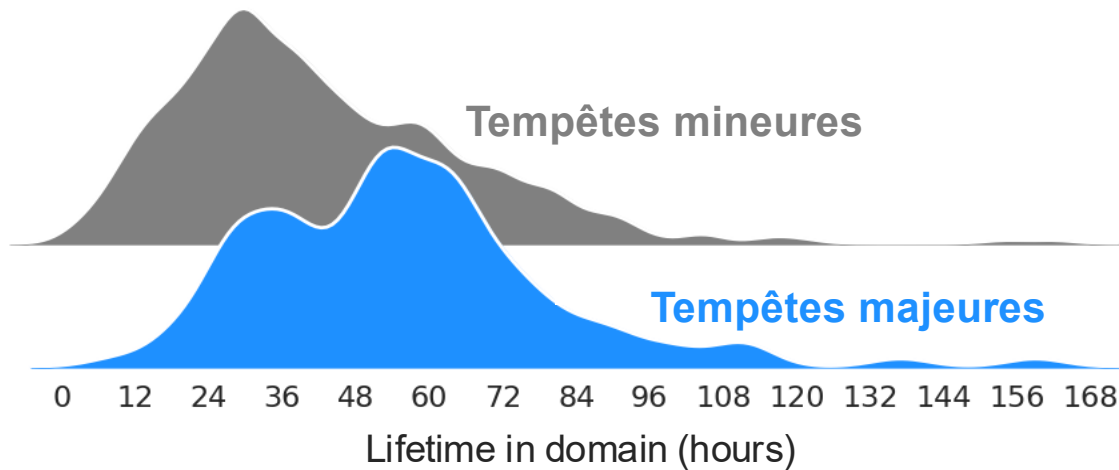
Ce type de trajectoire fait passer la tempête à travers le Québec

Tempêtes majeures (N = 27)

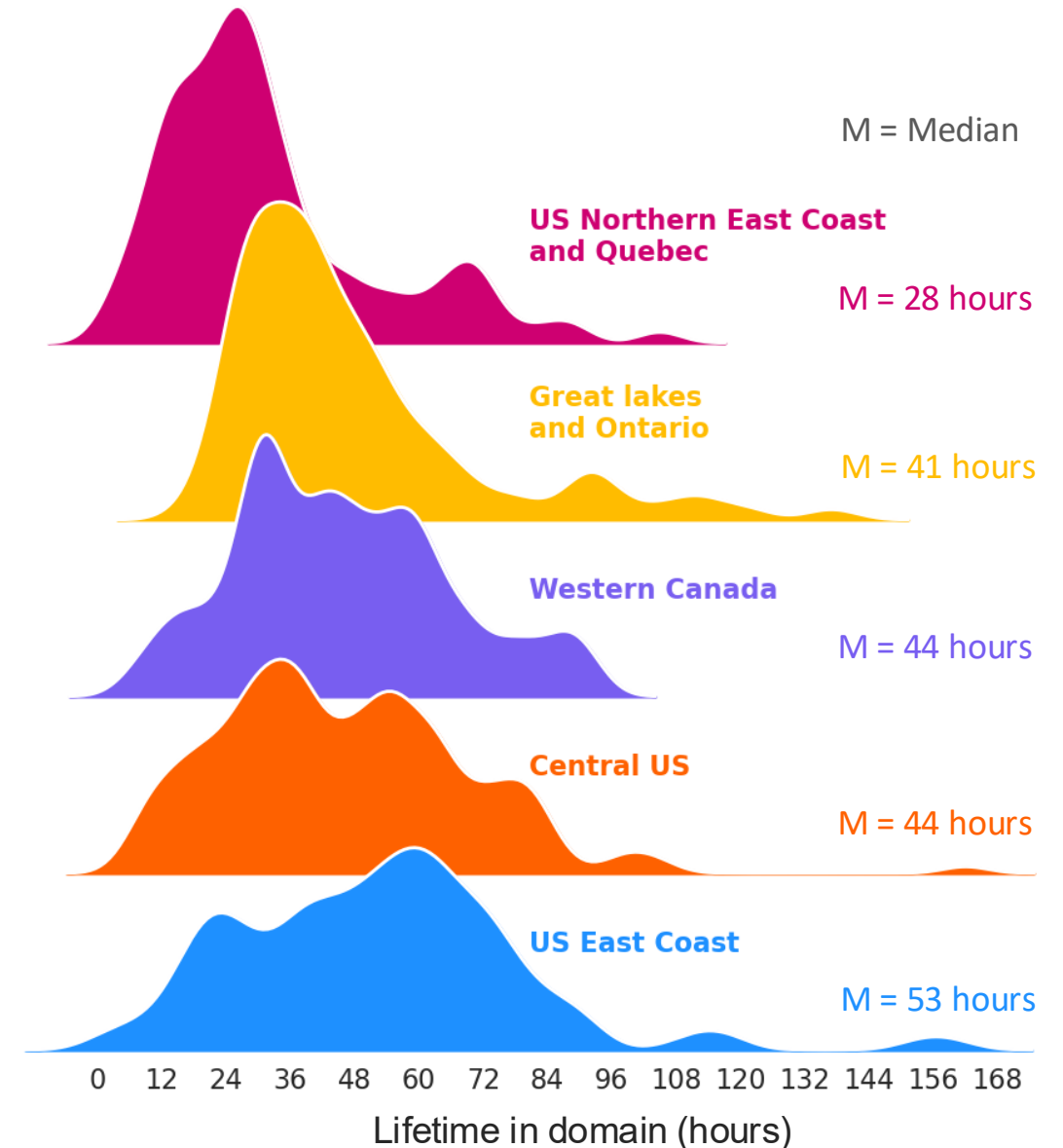


Résultats; durée de vie des tempêtes dans le domaine

- Les tempêtes majeures passent en moyenne 13.5 heures de plus dans le domaine



- Les cyclones extratropicaux provenant des clusters *US East Coast* et *Central US* ont naturellement tendance à passer plus de temps dans le domaine de par leurs trajectoires types

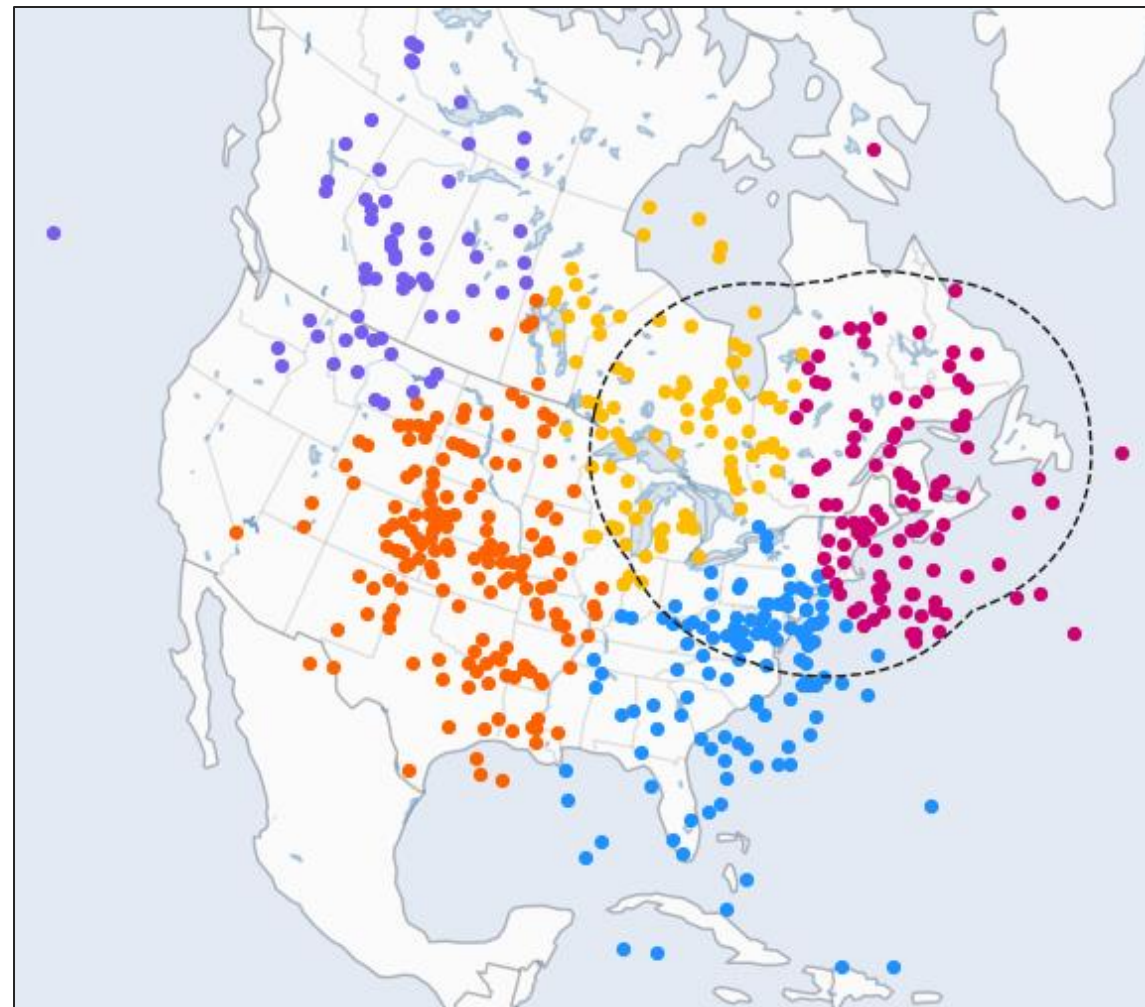


Discussion



Qu'ont en commun les tempêtes majeures qui ont été les plus dommageables pour le Québec depuis les 30 dernières années?

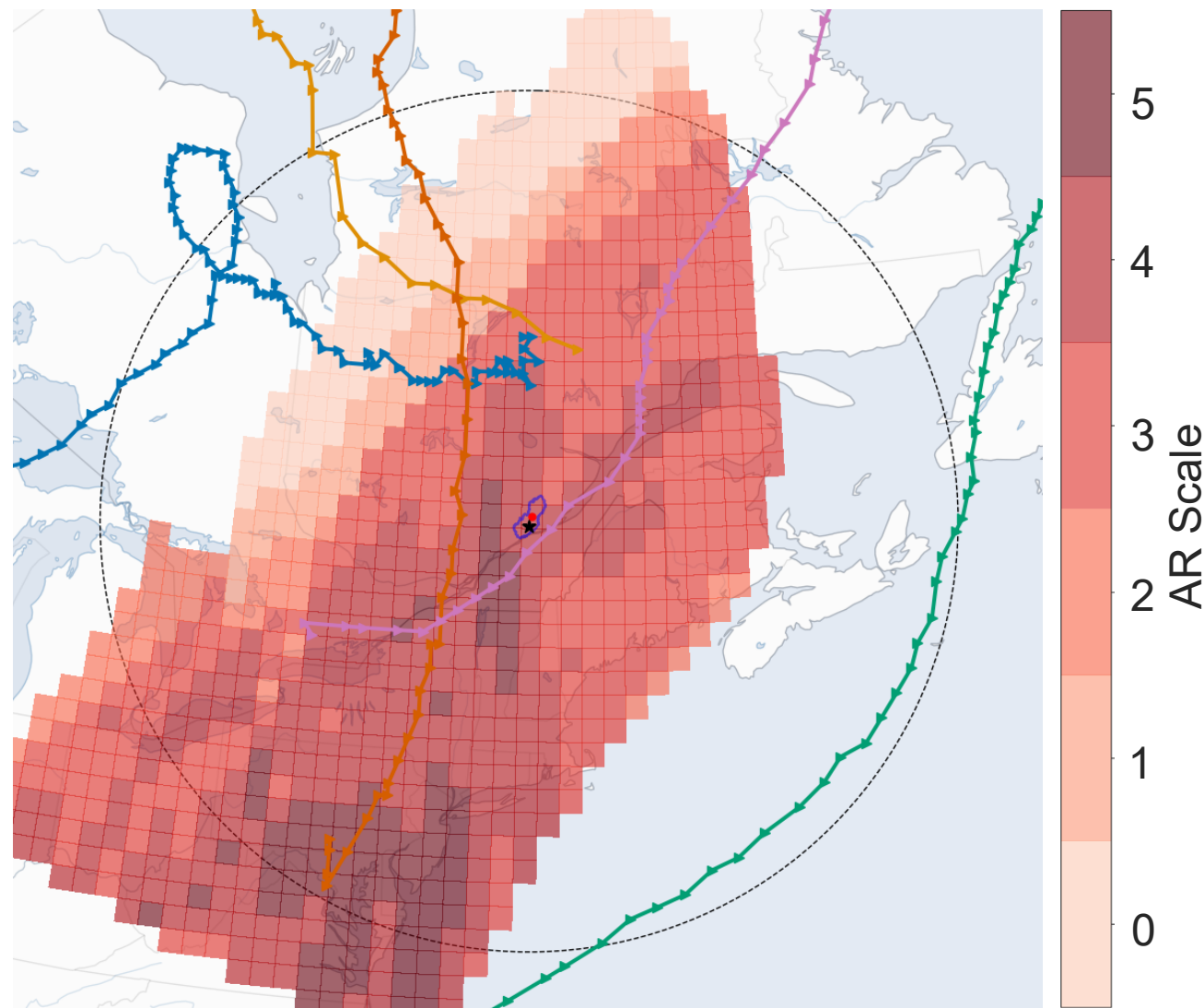
- Elles proviennent majoritairement des clusters *Central US* et *US East Coast*
- Elles passent en moyenne plus de temps dans le domaine
- Elles ont des trajectoires qui favorisent la recharge en humidité ou une proximité au Sud du Québec



**Merci pour
votre attention!**



Clarence Gagnon
clarence.gagnon.1@ulaval.ca



 **SYMPOSIUM**
OURANOS 2025

Bibliographie

- Bentley, A. M., Bosart, L. F., & Keyser, D. (2019). A Climatology of Extratropical Cyclones Leading to Extreme Weather Events over Central and Eastern North America. *Monthly Weather Review*, 147(5), 1471–1490. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0453.1>
- Boulianne, M. (2024, August 10th). Au Québec, Debby laisse sur son passage des records de pluie... et beaucoup de dégâts. *Radio-Canada Info*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2095785/debby-inondations-quebec-montreal-pluie>
- Braut, Benoît. (2024). *Portrait hydroclimatique avec le cas d'inondation de la rivière Chaudière au printemps 2019*. [Projet REX-PHY, Université Laval].
- Bureau d'assurance du Canada. (2024, September 13th). Événement météorologique le plus couteux de l'histoire du Québec: les inondations d'août causent près de 2,5 milliards de dollars de dommages assurés. *Bureau d'assurance du Canada (BAC)*. <https://fr.abc.ca/news-insights/news/the-costliest-severe-weather-event-in-quebec-s-history-august-flooding-caused-nearly-2-5-billion-in-insured-damage>
- Castadère, M. (2024, August 8th). La tempête Debby va apporter beaucoup de pluie en Atlantique. *Radio-Canada, ICI Nouveau-Brunswick*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2095030/tempete-debby-pluie-climat-maritime>
- Chen, Ting-Chen; Di Luca, Alejandro; Winger, Katja, (2022). "North America Extratropical Cyclone (NAEC) Catalogue", <https://doi.org/10.5683/SP3/LH8OBV>, Borealis, V3
- Lachance-Cloutier, S., Turcotte, R., & Cyr, J.-F. (2017). Combining streamflow observations and hydrologic simulations for the retrospective estimation of daily streamflow for ungauged rivers in southern Quebec (Canada). *Journal of Hydrology*, 550, 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.011>
- Le Devoir. (2024, August 12th). Le Québec se remet tranquillement de la tempête «Debby». *Le Devoir – Environnement*. <https://www.ledevoir.com/environnement/818038/quebec-remet-progressivement-tempete-debby?>
- Neiman, P. J., Ralph, F. M., Moore, B. J., Hughes, M., Mahoney, K. M., Cordeira, J. M., & Dettinger, M. D. (2013). The Landfall and Inland Penetration of a Flood-Producing Atmospheric River in Arizona. Part I: Observed Synoptic-Scale, Orographic, and Hydrometeorological Characteristics. *Journal of Hydrometeorology*, 14(2), 460–484. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0101.1>

Bibliographie

- Neiman, P. J., Ralph, F. M., Wick, G. A., Lundquist, J. D., & Dettinger, M. D. (2008). Meteorological Characteristics and Overland Precipitation Impacts of Atmospheric Rivers Affecting the West Coast of North America Based on Eight Years of SSM/I Satellite Observations. *Journal of Hydrometeorology*, 9(1), 22–47. <https://doi.org/10.1175/2007JHM855.1>
- Pfahl, S., & Wernli, H. (2012). Quantifying the Relevance of Cyclones for Precipitation Extremes. *Journal of Climate*, 25(19), 6770–6780. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00705.1>
- Poan, E. D., Gachon, P., Laprise, R., Aider, R., & Dueymes, G. (2018). Investigating added value of regional climate modeling in North American winter storm track simulations. *Climate Dynamics*, 50(5–6), 1799–1818. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3723-9>
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., Kiladis, G. N., Weickmann, K., & Reynolds, D. W. (2011). A Multiscale Observational Case Study of a Pacific Atmospheric River Exhibiting Tropical–Extratropical Connections and a Mesoscale Frontal Wave. *Monthly Weather Review*, 139(4), 1169–1189. <https://doi.org/10.1175/2010MWR3596.1>
- Ralph, F. M., Neiman, P. J., Wick, G. A., Gutman, S. I., Dettinger, M. D., Cayan, D. R., & White, A. B. (2006). Flooding on California's Russian River: Role of atmospheric rivers. *Geophysical Research Letters*, 33(13), 2006GL026689. <https://doi.org/10.1029/2006GL026689>
- Roy, Nicolas; Hamon, Romane; Anctil, François (2024). *Base de données d'évènements d'inondation survenus au Québec entre 1990 et 2023 (EVE)*. [Projet REX-PHY, Université Laval].
- Su, Y., Smith, J. A., & Villarini, G. (2023). Extreme Convective Rainfall and Flooding from Winter Season Extratropical Cyclones in the Mid-Atlantic Region of the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 24(3), 497–520. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-22-0069.1>
- Teufel, B., Sushama, L., Huziy, O., Diro, G. T., Jeong, D. I., Winger, K., Garnaoud, C., De Elia, R., Zwiers, F. W., Matthews, H. D., & Nguyen, V.-T.-V. (2019). Investigation of the mechanisms leading to the 2017 Montreal flood. *Climate Dynamics*, 52(7–8), 4193–4206. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4375-0>
- Tremblay, M., & Guillaud, C. (2019). The 1996 Saguenay Flood event and its impacts. *Natural Hazards*, 98(1), 79–89. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3494-6>

Résultats; distance parcourue dans le domaine

- Les tempêtes les plus dommageables (top 21) ont toutes parcourues un minimum de 1000km dans le domaine
- En moyenne le top 21 parcourt 2000km dans le domaine, en comparaison avec 1500km pour les tempêtes normales

