

RAPPORT FINAL DU TROISIÈME PROGRAMME DE BOURSES DU RIISQ

IDENTIFICATION DU/DE LA CANDIDAT.E

Étudiant.e

Étudiant.e	Margaux Girouard
Université	Université du Québec à Montréal (UQAM)
Programme d'étude	Baccalauréat en sciences de la Terre et de l'atmosphère, concentration sciences de l'atmosphère : météo et climat
Adresse courriel	girouard.margaux@courrier.uqam.ca

Superviseur.e

Superviseur.e	Francesco S.R. Pausata
Université	Université du Québec à Montréal (UQAM)
Département	Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère

Co-superviseur.e | Superviseur.e de stage

Co-superviseur.e	
Université	
Co-superviseur.e	
Université	
Superviseur.e (stage)	
Établissement	
Division	

RÉSUMÉ DU PROJET

Titre du projet

Impact de l'utilisation future des terres et du couvert végétal sur les événements extrêmes et les inondations, au Canada

Résumé du projet (300 mots)

Les changements climatiques d'origine anthropique affecteront sans aucun doute la répartition des écosystèmes terrestres. Cependant, l'inverse est aussi vrai : des modifications dans les écosystèmes peuvent avoir des conséquences sur le climat. Ainsi, dans un contexte de changements climatiques dans lequel les événements extrêmes météorologiques, climatiques et hydrologiques pourraient devenir de plus en plus fréquents et intenses, il est important de bien comprendre quels sont les liens qui unissent les écosystèmes au climat.

C'est donc pourquoi, dans cette étude, trois simulations ont été faites dans le but d'étudier quels seront les impacts de l'expansion vers le nord de la forêt boréale, causé par le réchauffement climatique, sur la température, l'albédo, les précipitations et l'intensité des précipitations extrêmes au Canada. L'objectif étant de mieux quantifier les risques d'inondation au Canada, causés par l'expansion vers le nord de la forêt boréale. Les résultats obtenus témoignent d'une augmentation des températures moyennes saisonnières, des précipitations et de l'intensité des précipitations extrêmes ainsi qu'une diminution de l'albédo. Les changements de précipitations extrêmes sont les plus importants dans les provinces des Prairies canadiennes et au centre du Québec. L'intensité des précipitations extrêmes et le nombre de jour de précipitations augmentent dans les Prairies au printemps et en été, mais diminuent au Québec pendant cette même période de l'année.

Axes(s) dans lesquels s'inscrit ce projet

Axe 1 Axe 2 Axe 3 Axe 4
Axe 5

Secteurs impliqués dans le projet

Sciences naturelles et génie Santé Sciences sociales et humaines, arts et lettres

DESCRIPTION DU PROJET

Introduction (500 mots) - Cette section doit aborder le contexte de la recherche, l'état des lieux, les questions de recherche et l'importance de l'étude.

Depuis 1850, les concentrations de gaz à effet de serre (GES) sont en hausse et la température moyenne de la planète pourrait augmenter de 1,5 à 4,5 °C (Trenberth et al., 2003) d'ici 2100. Les conséquences de ce réchauffement peuvent mener à des phénomènes météorologiques, climatiques et hydrologiques extrêmes plus fréquents et plus intenses (ONU Info, 2021). Les inondations, plus particulièrement, correspondent à l'un des désastres naturels les plus communs et parmi les plus coûteux pour la société. La façon dont elles sont générées dépend de la région dans laquelle elles ont lieu. Elles peuvent, par exemple, être issues du ruissellement dû à la fonte des neiges, des crues subites causées par des pluies intenses, des embâcles de glace, des raz de marée ou des tsunamis (Buttle et al., 2016).

Outre l'augmentation de ces catastrophes naturelles, le réchauffement est plus rapide dans les hautes latitudes en raison du phénomène d'amplification arctique (AA). Les causes de celui-ci sont multiples et opèrent sur de nombreuses échelles spatiales et temporelles. Ces anomalies positives des températures sont plus importantes au courant de l'automne et de l'hiver puisqu'elles engendrent des modifications de la boucle de rétroaction de la glace-albédo. La glace de mer contrôle les températures dans l'Arctique parce qu'elle réfléchit une importante partie de l'irradiance solaire vers l'espace. Lorsque la glace fond, l'océan Arctique absorbe plus d'énergie et se réchauffe. Ainsi, lorsque l'hiver arrive et que les températures de l'atmosphère sont inférieures à celles de l'eau, l'océan libère l'excès de chaleur accumulé durant l'été dans l'atmosphère sous forme de flux radiatif. La chaleur résiduelle dans l'océan ralentit la formation de glace de mer, amplifiant le phénomène d'AA l'année suivante (Cohen et al., 2014). Cette amplification devrait donc s'intensifier au courant des prochaines décennies et aura des impacts sur, notamment, la circulation atmosphérique, le cycle du carbone et la végétation (Serreze et Barry, 2011).

Ce réchauffement rapide des hautes latitudes permet le déplacement de la forêt boréale vers le nord, au rythme de 100m/an (Aitkens et al., 2008). Ce changement dans la végétation engendre d'autres boucles de rétroactions positives amplifiant le réchauffement arctique. L'arrivée de la forêt boréale sur un sol auparavant nu change l'albédo de cette surface et affecte le bilan radiatif de la planète. La végétation joue aussi un rôle dans le cycle hydrologique d'une région grâce à l'évapotranspiration qui permet un transfert de l'eau du sol vers l'atmosphère. Ainsi, des anomalies positives de l'humidité dans l'atmosphère sont attendues, augmentant la quantité de GES et menant à une amplification plus importante du réchauffement. Comme de l'air chaud peut contenir plus d'humidité, la quantité d'eau dans l'atmosphère augmentera et les précipitations aussi (Swann et al. 2009). Des précipitations extrêmes, plus intenses et plus fréquentes, peuvent mener à des potentiels d'inondations plus élevés (Kundzewicz et al., 2013).

Ainsi, dans un contexte de changements climatiques dans lequel les catastrophes hydrométéorologiques sont plus fréquentes et plus intenses, il est important d'étudier quels

seront les impacts de l'expansion vers le nord de la forêt boréale. Le but étant d'améliorer la résilience et la préparation des populations aux inondations causées par des précipitations extrêmes d'ici à la fin du siècle.

ONU. (3 septembre 2021). Climat : le nombre de catastrophes a été multiplié par cinq en 50 ans. ONU Info. Consulté le 17 avril 2022, <https://news.un.org/fr/story/2021/09/1102862>

James M. Buttle, Diana M. Allen, Daniel Caissie, Bruce Davison, Masaki Hayashi, Daniel L. Peters, John W. Pomeroy, Slobodan Simonovic, André St-Hilaire & Paul H. Whitfield (2016) Flood processes in Canada: Regional and special aspects, Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques, 41:1-2, 7-30, DOI: 10.1080/07011784.2015.1131629

Serreze, M. C., & Barry, R. G. (2011). Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. Global and Planetary Change, 77(1-2), 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.03.004>

Cohen, J., Screen, J., Furtado, J. et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. Nature Geoscience 7, 627-637 (2014). <https://doi.org/10.1038/ngeo2234>

Zbigniew W. Kundzewicz, Shinjiro Kanae, Sonia I. Seneviratne, John Handmer, Neville Nicholls, Pascal Peduzzi, Reinhard Mechler, Laurens M. Bouwer, Nigel Arnell, Katharine Mach, Robert Muir-Wood, G. Robert Brakenridge, Wolfgang Kron, Gerardo Benito, Yasushi Honda, Kiyoshi Takahashi & Boris Sherstyukov (2014) Flood risk and climate change: global and regional perspectives, Hydrological Sciences Journal, 59:1, 1-28, DOI: 10.1080/02626667.2013.857411

Objectifs du projet - Indiquer les objectifs généraux et spécifiques de la recherche.

Ce projet a comme objectif d'étudier l'incidence de changements potentiels de la végétation au Canada et au Québec – dus au réchauffement climatique – sur les événements extrêmes, tels que les précipitations pouvant engendrer des inondations.

Méthodologie (400 mots) - Présenter un bref résumé des procédures et méthodes utilisées et du montage des expériences.

Pour réaliser ce projet, les données en provenance de trois simulations ont été analysées. La première simulation utilisée a pour objectif d'établir les climatologies saisonnières de la période allant de 1990 à 2019. Les deux autres projettent plutôt les moyennes saisonnières climatiques futures pour la période s'étalant de 2071 à 2100. La simulation future fait fi de l'expansion vers le nord de la forêt boréale, alors que la simulation appelée boréale en tient compte.

Les trois simulations ont été faites à partir du Canadian Global Environment Multiscale Model (GEM version 4.8) afin de modéliser les moyennes saisonnières de la température, de l'albédo, des précipitations et des indices de précipitations extrêmes suivant : R95p, R1mm et RX5day. Ce modèle a une résolution horizontale de 0,55° et possède 73 niveaux verticaux. Le niveau supérieur se trouve à une altitude de 2hPa. Il utilise une grille Yin-Yang, sur lequel le domaine est décomposé entre deux modèles à aire limitée (LAMs). Ceux-ci sont discrétisés sur les deux panneaux de la grille et utilisent le même pas de temps (Qaddouri et Lee 2011).

Les deux simulations faites pour les projections futures utilisent le scénario d'émission RCP 8.5, produit par le Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat (GIEC). Il s'agit du scénario le plus pessimiste, dans lequel les forçages radiatifs atteignent des niveaux supérieurs à 8,5 W/m² et continuent d'augmenter sur une certaine période de temps (Riahi et al., 2011).

Finalement, l'indice R95p a été utilisé afin d'étudier les anomalies de l'accumulation journalière totale lorsque celle-ci est supérieure à la valeur du 95ème centile des accumulations quotidiennes. L'indice R1mm correspond au nombre de jours moyen saisonnier ayant reçu un minimum de 1 mm de précipitation et finalement, celui RX5day correspond au maximum saisonnier moyen de précipitation sur cinq jours consécutifs (Indices s. d.). Le test de Student (T-test) a été utilisé pour ces indices de précipitations extrêmes puisqu'il s'agit d'un échantillon de données ayant une distribution normale. Le niveau de significativité choisi est celui de 95%. Cela signifie que les résultats calculés grâce à ce test statistique ont un niveau de confiance de 95%.

Indices (s. d.). url : <https://www.climdex.org/learn/indices/#index-R95p>.

Qaddouri, Abdessamad et Vivian Lee (2011). "The Canadian global environmental multiscale model on the Yin-Yang grid system". In : Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 137.660, p. 1913-1926

Indices (s. d.). url : <https://www.climdex.org/learn/indices/#index-R95p>.

Qaddouri, Abdessamad et Vivian Lee (2011). "The Canadian global environmental multiscale model on the Yin-Yang grid system". Dans : Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 137.660, p. 1913-1926

Principaux résultats obtenus (300 mots)

Les résultats obtenus, en ne considérant que la hausse des GES dans l'atmosphère, montrent une hausse des températures sur l'ensemble du domaine et une diminution de l'albédo au nord du Canada. Les précipitations sont, en général, plus fréquentes et plus intenses au nord, pendant l'hiver. Pendant l'été, elles sont plus faibles dans les Prairies, mais plus élevées dans les autres provinces, particulièrement au sud du Québec et de l'Ontario.

Les résultats associés à l'expansion vers le nord de la forêt boréale sont peu concluants pour la majorité du domaine étudié. Les anomalies sont faibles, aléatoires et dispersées. Toutefois, deux secteurs obtiennent des variations statistiquement significatives : le centre du Québec et le sud-est des prairies canadiennes.

Au Québec, les accumulations moyennes journalières diminuent, au printemps de 0,4 mm/jour et le nombre de jours de précipitations moyens diminuent de 3 à 6 jours, par rapport à la simulation Future. Dans les Prairies, le contraire se produit pendant l'été. Les accumulations quotidiennes moyennes augmentent de 0,7 mm/jour par endroits, et le nombre de jours de précipitations augmente, quant à lui, de 3 à 6 jours. Les anomalies de l'indice R95p montrent d'ailleurs, une augmentation 10 à 15 mm de la somme des accumulations supérieures à la valeur du 95ème centile. Les précipitations sont donc plus fréquentes et plus intenses dans ces provinces.

Ainsi, le risque d'inondation causé par les précipitations sera amplifié dans les Prairies canadiennes en raison de précipitations extrêmes plus fréquentes et plus intenses en été et en automne. Présentement, les inondations y sont principalement issues du ruissellement engendré par la fonte des neiges (Pomeroy et al., 2015). Au Québec, les précipitations seront moins intenses et moins fréquentes en raison de cette expansion et sur le reste du Canada, le risque n'est pas modifié.

Pomeroy, J. W., Stewart, R. E., & Whitfield, P. H. (2015). The 2013 flood event in the South Saskatchewan and Elk River basins: Causes, assessment and damages. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 41(1-2), 105-117. <https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1089190>

Conclusion et discussion (300 mots) – Préciser comment le projet a abordé les problèmes liés aux inondations et les impacts du projet sur la société dans son ensemble

Ce projet a permis d'étudier quelles seront les conséquences sur les précipitations, au Canada, engendrées par l'expansion vers le nord de la forêt boréale. Le risque d'inondation est exploré à partir d'indices de précipitations extrêmes, soit R95p et R1mm. Ceux-ci ont été sélectionnés puisqu'ils permettent de quantifier la fréquence et l'intensité des précipitations sur le domaine à l'étude. Or, les résultats obtenus sont peu concluants. Ils témoignent d'une variation de ces indices qui est aléatoire, dispersée et qui n'est pas statistiquement significative. Certaines exceptions existent tout de même, notamment dans les Prairies canadiennes, où les précipitations seront plus fréquentes et plus intenses en raison de cette expansion, et au nord du Québec, où elles le sont moins.

Les précipitations seront plus importantes pour la majorité des secteurs du Canada. Cependant, elles seront surtout causées par la hausse de GES dans l'atmosphère et non par l'expansion vers le nord de la forêt boréale. Les causes des inondations devraient elles aussi être modifiées. Ainsi, les régions ayant une saisonnalité de type unimodale des inondations – surtout causées par la fonte de la neige (Javelle et al., 2003) – pourraient obtenir une saisonnalité de type plutôt bimodale. Ainsi, les régions ne subissant auparavant que des inondations au printemps et causées par la fonte de la neige, pourraient aussi connaître des inondations causées par des précipitations extrêmes au printemps et en été (Cunderlik and Ouarda, 2009).

Ce projet a donc permis la production de meilleures projections de la quantification des précipitations futures et de mieux cibler les endroits qui seront les plus touchés par des risques d'inondations et ainsi d'être en mesure de mieux les gérer dans le futur.

Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.050>

Javelle, P., Ouarda, T.B.M.J. and Bobée, B. (2003), Spring flood analysis using the flood-duration–frequency approach: application to the provinces of Quebec and Ontario, Canada. *Hydrol. Process.*, 17: 3717-3736. <https://doi.org/10.1002/hyp.1349>

Retombées du projet pour la gestion des inondations pour les partenaires et au Québec (300 mots)

Ce projet a permis d'approfondir les connaissances portant sur la modification de la végétation canadienne sur la durée, l'intensité et la fréquence d'extrêmes hydrométéorologiques au Québec et au Canada. Il permet de mieux caractériser l'ampleur et la vitesse du changement de ces événements et de mieux cibler les régions et les populations les plus exposées et les plus vulnérables à ces derniers. Il peut maintenant informer les décideurs publics québécois et canadiens quant à la mise en place de mesures assurant la sécurité publique et la protection de l'environnement, d'une part, et améliorer la prévention et la préparation de la société aux événements hydrométéorologiques extrêmes, tels que les inondations, d'autre part.

Des projections climatiques sont nécessaires pour assurer la mise en place de plans d'intervention et de mesures préventives permettant d'assurer la préparation et la sécurité de la population. En effet, l'Organisation des Nations Unies (ONU) estime que l'amélioration des données météorologiques et climatologiques permet de réduire les dégâts matériels ainsi que les pertes économiques. Selon eux, l'accès universel à des systèmes d'alertes précoces permettrait de produire des bénéfices jusqu'à 10 fois supérieurs au coût initial de l'amélioration de la qualité de ces données. Une bonne connaissance du risque, en plus d'un suivi et de prévisions faites à la fine pointe de la science, assure la fondation d'un système d'alertes précoces favorisant une réponse rapide et appropriée pour la majorité de la population (ONU, s.d.).

Nations Unies. (n.d.). Principales constatations | Nations Unies. Consulté le 16 avril 2022, <https://www.un.org/fr/climatechange/science/key-findings#collapseThree>

Activités de mobilisation des connaissances entreprises dans le cadre de la bourse (par exemple, participation à des événements divers, tels que des conférences, des ateliers; l'élaboration (ou la participation à) des articles scientifiques, etc.).

Ce projet a été fait dans le cadre d'un cours d'introduction à la recherche scientifique du Baccalauréat en sciences de la Terre et de l'atmosphère, concentration sciences de l'atmosphère : météo et climat. Un rapport final d'une longueur de 1500 mots a été complété sur le sujet.

Le rapport final doit être envoyé à l'adresse courriel suivante pour le 30 avril 2022 :
poudrette.diane@uqam.ca