

## RAPPORT FINAL DU DEUXIÈME PROGRAMME DE BOURSES DU RIISQ

### IDENTIFICATION DU/DE LA CANDIDAT.E

---

#### Étudiant.e

Étudiant.e	Isabelle Demers
Université	Université du Québec à Montréal
Programme d'étude	Sciences de l'atmosphère
Adresse courriel	demers.isabelle.6@courrier.uqam.ca

#### Superviseur.e

Superviseur.e	Philippe Gachon
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	René Laprise
Université	Université du Québec à Montréal (UQAM)
Co-superviseur.e	
Université	
Superviseur.e (stage)	
Établissement	
Division	

## RÉSUMÉ DU PROJET

---

### Titre du projet

Les causes des inondations du printemps 2019 dans le bassin versant de l'Outaouais : évaluation et comparaison des données hydrométéorologiques simulées avec les observations disponibles

### Résumé du projet (300 mots)

Cette étude a pour objectif de déterminer les principaux facteurs hydrométéorologiques responsables de l'inondation survenue au printemps 2019 dans le bassin versant de la rivière des Outaouais (BVRO). Pour ce faire, plusieurs champs météorologiques sont étudiés : la température, les précipitations liquides et solides, l'équivalence en eau de la neige, la fonte de la neige, l'évaporation et le ruissellement. Cette étude permet également d'évaluer la capacité du modèle régional de climat à très haute résolution, MRCC6/GEM4, développé au centre ESCER (UQAM), à reproduire les principales caractéristiques de cet événement en comparant les sorties de modèle aux produits disponibles (ERA5, Daymet, et CaPA-HRDPA).

Plusieurs facteurs ont mené à l'inondation du printemps 2019 sur le BVRO dont certains se sont combinés pour engendrer des apports d'eau exceptionnels durant les mois d'avril et mai. Des températures plus froides que la normale de novembre à mai ont allongé la saison hivernale et permis de conserver un important manteau neigeux au printemps alors que les accumulations de neige ont été en général supérieures à la normale. La hausse rapide des températures en avril a déclenché une fonte massive de la neige, ce qui a favorisé un ruissellement important en surface. Finalement, plusieurs semaines de pluie abondante en avril et en mai ont contribué à l'intensité et à la durée de l'inondation.

Également, il s'avère que le modèle simule bien les régimes de température et de précipitations sur le BVRO et est capable de reproduire les principales caractéristiques de l'inondation du printemps 2019. Toutefois, le schéma de surface affecte grandement la saisonnalité et l'ampleur du ruissellement de surface simulées par le MRCC6, avec une valeur ajoutée nette du schéma plus complexe CLASS vs ISBA, ce dernier ayant tendance à favoriser une fonte trop rapide de la neige et un déficit de ruissellement au printemps par rapport aux observations. Pour conclure, la combinaison des facteurs météorologiques responsables de cet événement sera donc à surveiller dans l'avenir, car de telles inondations sont appelées à se reproduire dans le contexte des changements climatiques.

### 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.

Selon les projections du GIEC, le Québec subira un des plus forts réchauffements du globe d'ici la fin du siècle. Ceci est de nature non seulement à modifier les aléas et les extrêmes climatiques dans nos régions, mais également à modifier la durée, l'intensité, et l'occurrence des précipitations (de tous types) et du régime de températures. En outre, les risques hydrométéorologiques et climatiques sont le plus souvent le résultat de la combinaison de variables météorologiques, et de l'exposition, de la sensibilité ou de la vulnérabilité du milieu.

Par conséquent, afin de bien prévoir l'occurrence des inondations, pour mieux s'en protéger, il est essentiel de bien identifier les facteurs de risques, en particulier comment la combinaison des variables hydrométéorologiques affecte la montée des eaux. Effectivement, les inondations printanières sont le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs hydrométéorologiques, tels que la température, la précipitation (accumulation et type), la fonte de la neige, la saturation en eau du sol, le ruissellement et les événements de gel-dégel. Autant l'intensité que l'occurrence lors de la phase de dégel des événements de pluie sur neige, ainsi que les caractéristiques des variables météorologiques et hydrologiques clés, sont à prendre en considération. Par exemple, un épais couvert de neige n'engendre pas nécessairement de fortes inondations au printemps. Cela dépend de l'échelle temporelle ou de la vitesse à laquelle se réalise la phase de dégel printanier (fonte rapide ou non) et de d'autres facteurs, comme la précipitation liquide, qui doivent être analysés en quantité et en intensité (caractéristiques spatio-temporelles des événements de pluie modérée ou de pluies intenses sur neige qui accélèrent rapidement le taux de fonte). C'est la combinaison de ces facteurs hydrométéorologiques qui joue un rôle déterminant quant à l'occurrence, l'intensité et la durée des inondations. Par conséquent, cette étude s'intéressera à cette combinaison de facteurs afin d'analyser les conditions météorologiques dans le temps et dans l'espace qui ont causé les importantes inondations du printemps 2019 dans le BVRO.

De plus, les conditions de surface et proches de la surface, par exemple le contenu en eau de la neige, le degré de saturation en eau des sols, la profondeur de gel du sol, et les températures de la surface et de l'air sus-jacent ou encore la pluie sur neige, affectent le processus de fonte, la quantité d'eau et la vitesse à laquelle celle-ci est libérée en direction des rivières. La représentation adéquate de tous ces processus dans les modèles dépend en partie des schémas de surface utilisés, et des capacités des modèles à bien reproduire les régimes de précipitation et de températures, notamment dans la couche limite ou dans les couches atmosphériques proches de la surface. De ce fait, la présente étude vise à évaluer la capacité du modèle régional de climat à très haute résolution, MRCC6/GEM4, à reproduire les régimes de précipitations et de températures du printemps 2019 sur le BVRO.

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

Les objectifs de cette étude sont, dans un premier temps, de déterminer les principaux facteurs hydrométéorologiques responsables de l'occurrence, de l'intensité et de la durée de l'inondation du printemps 2019 dans le bassin versant de la rivière des Outaouais (BVRO). Dans un deuxième temps, la recherche vise à évaluer et à comparer les données hydrométéorologiques issues d'un modèle climatique à très haute résolution, le MRCC6/GEM4, avec les observations disponibles. Cela permettra d'évaluer la justesse et la qualité de ces produits de simulation et de conclure s'ils

reproduisent bien les principaux processus à l'origine des inondations survenues dans le BVRO lors du printemps 2019.

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

Le modèle régional de climat à très haute résolution, MRCC6/GEM45, développé au centre ESCER (UQAM), est utilisé afin de simuler les régimes de précipitations et de températures du printemps 2019 dans le bassin versant de la rivière des Outaouais (BVRO). La simulation allant de septembre 2018 à août 2019 permet d'évaluer la capacité du MRCC6 à reproduire les principales caractéristiques de l'inondation du printemps 2019 sur le BVRO, en comparant les sorties de modèle aux observations disponibles sous forme de grille (Daymet) et aux produits de réanalyses (CaPA-HRDPA, ERA5 et ERA5-Land). Plusieurs champs météorologiques simulés par le modèle MRCC6/GEM4 sont analysés, notamment la température, les précipitations, l'équivalent en eau de la neige au sol, la fonte de la neige et l'évaporation. Le modèle utilise un maillage à très haute résolution (0,0225° ou ~2,5 km), sur un domaine centré sur le BVRO. Comme la simulation est effectuée en mode rétrospectif, les données de pilotage fournissant les conditions aux frontières proviennent des réanalyses ERA5, obtenues par assimilation de diverses sources d'observations disponibles à une résolution spatiale de 0,25° (~31 km) et temporelle de 1 heure.

Deux schémas de surface terrestre seront comparés : le schéma ISBA et le schéma CLASS 3.6. Lorsque des simulations sont faites sur de courtes périodes (de l'ordre de quelques jours), ISBA (un schéma de type force-restore avec deux couches de sol jusqu'à la profondeur des racines) répond aux besoins d'un modèle de prévision. Cependant, lorsque des simulations sont réalisées sur de plus longues périodes (de l'ordre de quelques mois à plusieurs années), CLASS (un schéma avec bilan hydrologique et thermique plus complet avec 16 couches de sol jusqu'à 10 m de profondeur) est à privilégier, car ce dernier permet de tenir compte du cycle annuel et saisonnier de la température, de l'apparition et de la fonte de la neige, du ruissellement et des contenus en eau dans le sol. À noter que tant pour ISBA que CLASS, il n'y a pas de « routage » du ruissellement, c'est-à-dire que le bilan hydrique est effectué pour chaque point de grille, sans transfert d'eau à l'horizontal d'un point de grille à l'autre.

Finalement, les débits moyens mensuels à l'exutoire du BVRO sont estimés à partir du ruissellement total directement issu des sorties de modèle, multiplié par la superficie du BVRO, et comparés aux débits enregistrés à la centrale de Carillon.

**Principaux résultats obtenus** (300 mots)

Les principales causes de l'inondation du printemps 2019 sur le BVRO sont, dans un premier temps, des températures plus froides que la normale de novembre 2018 à mai 2019, ce qui a allongé la saison hivernale et permis de conserver un couvert de neige au sol plus important que la normale. Dans un deuxième temps, une hausse rapide des températures vers la mi-avril a déclenché une fonte rapide et massive de la neige sur un sol encore gelé, menant ainsi à un ruissellement de surface important. Cette phase de dégel rapide s'est combinée à une série d'événements de pluies abondantes en avril et en mai qui ont favorisé des ruissellements très importants, et exacerbé l'intensité et la durée de la crue à l'exutoire.

Par ailleurs, cette étude a permis d'évaluer la capacité du modèle MRCC6/GEM4 à reproduire les principales caractéristiques de l'inondation du printemps 2019 sur le BVRO en comparant les

sorties du modèle aux observations disponibles. Les résultats de cette étude permettent de conclure que le modèle simule bien les régimes de température et de précipitations sur le BVRO et reproduit bien les caractéristiques de l'inondation.

Il s'avère également que, dans un contexte de simulation climatique à long terme, le schéma de surface CLASS performe mieux que le schéma de surface ISBA qui a révélé des faiblesses majeures, notamment durant la phase de dégel avec une perte trop rapide des volumes d'eau en surface et sous la surface par rapport aux valeurs observées. Un schéma plus complexe utilisant plus de couches de sol comme CLASS permet de mieux reproduire le cycle hydrologique à la surface du sol, voire dans le sol (à confirmer avec d'autres études), à l'origine d'un aléa hydrométéorologique comme une inondation. En effet, le bilan hydrique annuel de CLASS semble à l'équilibre, c'est-à-dire qu'il y a conservation de la masse (eau), alors que ce n'est pas le cas pour ISBA.

**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

À la lumière des résultats de cette étude, il est possible de conclure que le modèle MRCC6/GEM4 reproduit bien les principaux facteurs hydrométéorologiques responsables de l'inondation du printemps 2019 sur le BVRO. Également, cette étude a permis de mettre en évidence l'influence du schéma de surface utilisé par le modèle climatique sur le ruissellement, mais aussi sur les taux de fonte de la neige ou même les précipitations. En effet, lorsque des simulations climatiques sont réalisées sur des périodes de l'ordre de quelques mois à quelques années, par exemple dans le cas d'une simulation d'une inondation printanière, le schéma de surface CLASS est à privilégier (par rapport au schéma ISBA).

Par ailleurs, cette étude montre que le ruissellement de surface moyen mensuel permet d'estimer le débit moyen mensuel à l'exutoire du BVRO, mais n'est pas suffisant pour déterminer le moment d'occurrence de la pointe de la crue à l'exutoire. Dans de prochains travaux, il serait pertinent, voire nécessaire, d'utiliser un modèle de routage afin d'estimer de façon plus précise les débits à l'exutoire et tenir compte du temps d'écoulement des eaux de surface jusqu'à l'exutoire.

Cette étude a permis d'évaluer comment le cycle hydrologique est reproduit dans le modèle et d'identifier les facteurs hydrométéorologiques responsables de l'inondation de 2019 dans le BVRO, alors que l'essentiel (plus de 70%) de l'apport d'eau à l'exutoire (barrage de Carillon géré par Hydro-Québec) est non contrôlé par des ouvrages de retenue ou de contrôle des débits. Cela permettra également à Hydro-Québec de pouvoir clarifier son rôle dans l'atténuation de la crue ainsi que les facteurs purement naturels non « contrôlables » dus à la vulnérabilité naturelle du BVRO.

Ce projet permettra également aux communautés du BVRO de mieux anticiper les risques d'inondations, et ainsi réduire possiblement leurs conséquences. Les municipalités de Rigaud et Pointe-Fortune, situées à proximité du barrage de Carillon, pourront bénéficier des résultats de ce projet en leur fournissant les critères multivariés ou la combinaison de facteurs à surveiller dans l'avenir, car de telles inondations sont appelées à se reproduire.

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

De façon générale, les résultats de cette étude permettent d'améliorer la gestion du risque relié aux inondations en contribuant principalement à la modélisation de ces événements. En effet, la modélisation numérique du système climatique à très haute résolution contribue à une meilleure gestion du risque en permettant de : 1) améliorer les outils de prévention et faciliter la préparation avant l'événement d'inondation; 2) faciliter l'intervention durant l'événement, et 3) faciliter les retours d'expérience après l'inondation (leçons apprises et évaluation du caractère exceptionnel du phénomène) afin de nous aider à mieux anticiper les événements à venir.

Plus particulièrement, cette étude permet aux communautés du BVRO de mieux anticiper les risques d'inondations. La connaissance des facteurs en cause peut contribuer à une meilleure gestion des risques d'inondations, notamment lorsque celle-ci se combine à une évaluation des conséquences sur les infrastructures et les populations.

De plus, le projet a des retombées pour Hydro-Québec. Par exemple, une meilleure connaissance des risques sur le BVRO peut amener Hydro-Québec à adapter la gestion de ses réservoirs dans le contexte des changements climatiques, en particulier dans le Nord de l'Outaouais, soit les réservoirs Baskatong, Cabonga et Dozois, afin de minimiser ou ralentir les apports en eau en direction de la rivière des Outaouais. Une gestion hydrique intégrée et adaptée à de tels événements en évolution permettra de toute façon de minimiser les dégâts matériels et la durée d'interruption des services électriques de plusieurs résidences, en plus d'assurer la sécurité des installations hydroélectriques sur la rivière des Outaouais.

## **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.).**

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'un webinaire du RIISQ qui a eu lieu le 18 juin 2021.

Les résultats de ce projet de stage font également partie d'un article qui sera publié dans l'ouvrage collectif du RIISQ à l'automne 2022. Le chapitre en question s'intitule « Les inondations des printemps 2017 et 2019 dans le bassin versant de la rivière des Outaouais (Québec, Canada) : Analyse des facteurs en cause » (Benoit et al., 2022).

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