

RAPPORT FINAL DU QUATRIÈME PROGRAMME DE BOURSES DU RIISQ

IDENTIFICATION CANDIDAT.E / SUPERVISEUR.E / COSUPERVISEUR.E

Étudiant.e

Étudiant.e	Yalyinka Strach
Université	Université Laval
Programme d'étude	Maîtrise en sciences géographiques - avec mémoire
Adresse courriel	yalyinka.strach.1 @ulaval.ca

Superviseur.e

Superviseur.e	Marc-André Bourgault
Université	Laval
Département	Géographie

Cosuperviseur.e | Superviseur.e (si bourse de stage)

Cosuperviseur.e	François Anctil
Université	Laval
Cosuperviseur.e	
Université	
Superviseur.e (stage)	
Établissement	
Division	

RÉSUMÉ DU PROJET

Titre du projet

Modélisation et analyses empiriques de la capacité d'un milieu humide riverain à diminuer les crues en contexte de changements climatiques à la forêt Montmorency

Résumé du projet (300 mots)

Constituant le principal aléa occasionnant des impacts sociaux, environnementaux et économiques pour lequel les coûts et conséquences sont assumés par l'État et la société, les inondations représentent un enjeu majeur au Québec (Ouranos 2018). Les milieux humides (MH) peuvent être en mesure d'agir comme des infrastructures vertes à l'échelle du bassin-versant en diminuant les débits lors des périodes de crues (Bullock et Acreman, 2003). Toutefois, les rôles de ces milieux ne sont pas encore tout à fait clairs (Jutras et Plamondon, 2021).

L'objectif principal de l'étude est donc d'expliquer l'influence d'un MH riverain situé dans le bassin expérimental du ruisseau des Eaux-Volées sur les crues du ruisseau des Aulnaies. Le projet consiste tout d'abord à l'analyse de la dynamique d'interaction entre le MH et le ruisseau en réalisant une corrélation et une analyse de sensibilité entre les débits de crues et la hauteur de la nappe phréatique. Par la suite, une analyse statistique des débits a été réalisée pour quantifier l'influence du milieu humide sur le maximum des crues et sur le laminage. Le projet comprend finalement un volet modélisation qui consiste en l'élaboration d'un modèle hydrologique à l'aide de MIKE SHE.

À l'aide l'analyse empirique et de l'analyse de modélisation, il a été possible de statuer que le milieu humide est en mesure de diminuer majoritairement les débits du ruisseau des Aulnaies. Le MH diminue effectivement les débits de pointe avec une médiane de 26.62% et retarde le maximum des crues avec médiane de 135 minutes, et ce tout au long de l'année. Le modèle hydrologique démontre également que la hauteur de la nappe phréatique au puits d'observation augmente considérablement en l'absence de milieu humide puisque plus d'eau s'infiltré dans la zone saturée et dans le ruisseau. De plus, la complexité de l'analyse de l'interaction entre le milieu humide et le ruisseau soulève une nécessité davantage d'approfondir les connaissances

sur les milieux humides riverains. En effet, d'autres études empiriques sont nécessaires pour comprendre les échanges hydrologiques entre un milieu humide riverain et le cours d'eau.

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.

La province possède des dizaines de milliers de rivières et plus de trois millions de plans d'eau, ce qui fait du Québec un endroit exposé à de nombreux débordements de rivières et de lacs (Ouranos 2020). Lors de ces crues importantes, des milliers de personnes doivent être évacués de leur résidence ce qui engendre des coûts phénoménaux pour le gouvernement et les municipalités concernées (MAMH 2020).

Parmi les nombreuses solutions qui peuvent être mises en place pour lutter contre les inondations, on note l'importance de cartographier le risque et d'aménager le territoire pour que ce dernier soit résilient à ce type d'événement (MAMH 2020; Ouranos 2018). Les milieux humides (MH) peuvent également être utilisés en tant qu'infrastructures naturelles pour la gestion des inondations. La compréhension des fonctions hydrologiques des différents MH doit donc être à point. Toutefois, leur influence sur les débits des cours d'eau n'est pas encore évidente (Jutras et Plamondon 2021). Ils peuvent être en mesure de diminuer les débits lors des périodes de crues (Acreman et Holden 2013), et également de soutenir les débits de base pendant les périodes d'étiage (Bourgault et al. 2014). D'autres études concluent que les MH peuvent augmenter les débits de pointe en période humide. Le milieu étant saturé, l'espace de stockage est pratiquement nul (Acreman et Holden 2013; Bullock et Acreman 2003).

De plus, la plupart des études qui se concentrent sur les fonctions hydrologiques des MH utilisent la modélisation. « Cependant, un modèle reste un compromis entre généralité, réalisme et précision » (Fossey 2016, 18). Ainsi, les études de modélisation peuvent estimer en moyenne des services de régularisation des débits plus élevés que les études empiriques (Kadykalo et Findlay 2016). À notre connaissance, très peu d'études empiriques se concentrent sur les rôles hydrologiques des MH et aucune recherche n'utilise la modélisation couplée à une étude empirique pour déterminer l'influence hydrologique d'un MH riverain. La question de recherche est donc la suivante : **comment les MH riverains influencent-ils l'hydrologie des cours d'eau, plus précisément les débits de crues, selon une étude intégrant une approche numérique et empirique?**

Le bassin expérimental du ruisseau des eaux volées a été créé en 1965 lors de la décennie hydrologique internationale dans le but de comprendre entre autres, les processus hydrologiques et l'effet des pratiques forestières sur ceux-ci. Ainsi, de nombreuses données météorologiques et hydrologiques ont été collectées sur le territoire de la forêt Montmorency et du BEREV au sein des dernières décennies (CentrEau Québec 2021a). Aucune étude n'a encore été réalisée dans le but d'évaluer les fonctions hydrologiques du MH qui se trouvent au sein du BEREV. Le choix de ce milieu d'étude permet donc de réaliser une étude à l'aide d'un large éventail de données récoltées depuis plusieurs décennies. En combinant deux méthodologies différentes, soit une analyse empirique des débits de crues et hydrologique, cette étude permet également d'avoir un certain regard critique sur les résultats découlant des études de modélisation.

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

L'objectif général du projet de recherche est de comprendre l'influence du MH dans le BEREV sur l'hydrologie du ruisseau des Aulnaies. Pour ce faire, l'étude visera à :

- 1) analyser la dynamique d'interaction entre le MH et le ruisseau en contexte de crue ;
- 2) quantifier empiriquement l'influence du MH sur les crues du ruisseau des Aulnaies ;
- 3) modéliser le bassin-versant dans le but de mieux comprendre l'influence du MH sur le cycle de l'eau.

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

Analyses empiriques

Pour comprendre l'interaction entre le MH et le cours d'eau, une régression linéaire a été effectuée entre les données de nappe phréatique et les données de débits. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour déterminer un seuil de débit qui donne le meilleur coefficient de corrélation. Seules les crues supérieures à ce seuil ont été utilisées pour décrire la fonction hydrologique du MH.

Par la suite, les débits mesurés aux 15 minutes en amont et en aval du MH ont été comparés. Un bassin-versant de contrôle a également été utilisé. Les séries de débit ont été converties de m³/s en mm/jour en utilisant leurs aires de drainage respectives pour faciliter la comparaison des 3 bassins-versants. Les crues ont été identifiées visuellement en sélectionnant les débits en haut de

10 mm/j . Deux indicateurs ont été utilisés pour la comparaison des crues, soit le maximum de chaque crue et le laminage. Le laminage est considéré comme étant le retardement du moment où le maximum de la crue se produit.

Pour finir, la valeur moyenne du débit du cours d'eau pendant l'heure précédant une inondation qui se trouve en haut du seuil identifié, le volume des précipitations, le volume de la crue et la température moyenne pendant l' inondation ont été utilisés pour décrire la fonction hydrologique du MH.

Modélisation

Un modèle hydrologique a été créé à l'aide de MIKE SHE en intégrant tous les processus à l'exception des rivières et des lacs qui eux ont été représentés à l'aide de conditions aux limites internes du modèle. Le modèle couvre l'aire du BEREV, soit 8,84 km² , avec une résolution de 100 m en estimant initialement les valeurs des différents paramètres. La calibration manuelle a été réalisée en comparant visuellement la hauteur de la nappe phréatique simulée par le modèle avec les valeurs d'un piézomètre permanent. Une validation a par la suite été réalisée en prolongeant la période de simulation.

Une deuxième calibration et une deuxième validation manuelle ont été réalisées, mais cette fois-ci uniquement pour le MH. La hauteur de la nappe phréatique au sein du MH simulé par le modèle a été comparée visuellement à celle du puits d'observation qui a été installé dans le MH dans le cadre de ce projet.

Pour être en mesure de voir l'influence hydrologique du milieu au sein du bassin-versant, ce dernier a été retiré de la simulation. Une comparaison a été réalisée entre la hauteur du puits d'observation simulé avec la présence du MH au sein du bassin-versant et la hauteur du puits d'observation simulé sans la présence du MH. Un bilan hydrologique a également été calculé et comparé au bilan hydrique de la simulation avec MH.

Principaux résultats obtenus (300 mots)

Analyses empiriques

Le coefficient de corrélation entre le débit une heure avant la crue et la nappe phréatique est de 0,52 lorsque toutes les données disponibles sont utilisées . Un seuil a ensuite été sélectionné, soit

2 mm/j, pour ne conserver que les événements dont les débits sont corrélés au niveau de la nappe phréatique. On constate que pour un nombre significatif de points, le niveau d'eau est plus bas que ce que la ligne de régression linéaire indique.

Les indicateurs démontrent que le MH de la forêt Montmorency diminue les débits de pointe avec une médiane de 26.62% et lamine les crues avec une médiane de 135 minutes. L'effet du MH sur le maximum des crues est soutenu tout au long de l'année malgré le fait que quelques crues voient leurs débits de pointe augmentés. Le débit avant la crue, qui est utilisé pour représenter les conditions hydrologiques antérieures, n'a pas permis d'expliquer pourquoi certaines crues voient leurs débits augmentés. De plus, le volume des crues, les précipitations et la température moyenne pendant les crues ne montrent pas de tendance liée à l'effet du MH sur le débit de pointe des crues.

Modélisation

Lors de la calibration et la validation, le modèle a su représenter de manière satisfaisante la dynamique de variation de la nappe phréatique au sein du bassin-versant et au sein du MH. En enlevant le MH et en remplaçant ainsi les propriétés hydrologiques du MH par les mêmes valeurs que l'ensemble du bassin-versant, la hauteur de la nappe phréatique au puits d'observation augmente considérablement. En effet, l'eau se retrouve dorénavant en tout temps au-dessus de la surface du sol. Le bilan hydrique du MH est aussi quelque peu différent. En effet, plus d'eau s'infiltré dans la zone saturée en absence du MH. Également, une quantité plus importante est pompée par le ruisseau. De cette manière, plus d'eau se rend directement dans le ruisseau avant d'atteindre la zone saturée.

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

L'impact du MH dans le bassin-versant se fait sentir dans l'étude empirique et dans l'étude numérique réalisée. En effet, dans les deux volets du projet, le MH est en mesure de diminuer les débits du ruisseau des Aulnaies. L'étude empirique démontre également une influence du MH sur les débits de crue plus importante que les études de modélisation présente dans la littérature. En effet, le MH diminue en médiane les débits de crue de 26,62% entre 1996 et 2022 pour une faible occupation du territoire du bassin-versant de 2,7 %.

De plus, l'analyse statistique démontre que certaines crues voient leurs débits augmentés suite au passage au sein du MH. Les conditions initiales influencent la réponse des débits et de la

nappe phréatique (Acreman & Holden, 2013 ; Bourgault et al., 2019). Toutefois, l'analyse de l'interaction entre le MH et le ruisseau ne permet pas de bien expliquer ce changement de fonction du MH puisque les débits ne sont pas nécessairement toujours reliés à la nappe phréatique au sein du MH. En effet, la variation de la nappe phréatique à la suite d'une précipitation peut être plus lente que la variation du débit de la rivière en raison de la faible conductivité hydraulique du MH (Jutras & Plamondon, 2021). Le MH retient également l'eau plus longtemps que le cours d'eau. Pendant les périodes de sécheresse, l'effet se fait sentir plus rapidement sur le débit du cours d'eau que sur la nappe phréatique. Cela explique pourquoi la nappe phréatique est souvent plus élevée que les débits.

Même si les MH ont clairement une influence hydrologique dans le bassin-versant, il existe de nombreuses incertitudes quant aux rôles hydrologiques des MH, en particulier les MH riverains (Acreman et Holden 2013). D'autres études sont donc nécessaires pour mieux comprendre les processus hydrologiques qui se produisent dans les MH et établir différents scénarios pour expliquer les interactions possibles entre les MH riverains et les cours d'eau.

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

Le projet a permis d'améliorer les connaissances sur la capacité des MH riverains localisés sur le territoire du Québec à laminier les crues. En effet, l'étude empirique et l'étude de modélisation ont permis de statuer que le MH sélectionné diminue et retarde majoritairement les crues. Le projet permet ainsi de mieux comprendre les fonctions hydrologiques des autres MH riverains semblables au Québec. Le modèle a permis de comprendre qu'en l'absence du MH plus d'eau se rend au ruisseau et à la zone saturée ainsi cette étude a permis d'améliorer les connaissances en ce qui a trait les processus hydrologiques au sein des MH riverains. Les ministères peuvent bénéficier de ce projet en étant mieux renseignés sur les comportements hydrologiques des MH riverains. Cela peut ainsi contribuer à une meilleure planification en matière d'aménagement et de prise de décision en lien avec la gestion des inondations et la protection de ces milieux.

Pour finir, le projet a également permis d'identifier un manquement au sein des recherches sur les MH riverains. Effectivement, en s'attardant à l'analyse de l'interaction hydrologique entre le MH riverain et le cours d'eau, ce projet a permis de conclure qu'il est nécessaire de réaliser

d'autres études empiriques dans les MH riverains pour mieux comprendre comment les débits et la nappe phréatique au sein de ces milieux sont reliés et quelles sont les interactions entre ces deux dernières. Des hypothèses ont été énoncées dans ce projet pour tenter d'expliquer en partie l'interaction, mais d'autres études sont nécessaires pour mieux comprendre les différents cas de figure hydrologiques que l'on peut observer au sein des MH riverains.

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.).

- Affiche scientifique lors du congrès RHQ22
- Présentation de l'étude empirique lors de la Journée Québécoise étudiante CentrEau en 2023
- Webinaire du CentrEau dans le cadre de la journée internationale des milieux humides
- Présentation de mon projet le 16 juin 2023 dans le cadre d'un webinaire du RIISQ

Le rapport final doit être envoyé à l'adresse courriel suivante pour le 31 mai 2023 :
poudrette.diane@uqam.ca