

Intégration de scénarios de climats futurs dans la planification de la conservation et de la restauration de milieux humides dans un but de protection de la ressource en eau de la Ville de Québec
(Projet 554030)

Rapport Final présenté à la
Ville de Québec

avec le soutien de l'Université Laval, de l'INRS,
d'Ouranos, de l'organisme de bassin versant de la Capitale,
et de MITACS

Rapport préparé par Jean-Olivier Goyette avec le support de Monique Poulin,
Stéphanie Pellerin, Audrey Paquette, Alain N. Rousseau, Stéphane Savary, Marianne
Blanchette, Camila Alejandra Nocua Gordon, Eduardo Scarpari Spolidorio Junior,
Étienne Foulon, Valérie Dupont, Jean-François Bissonnette et Denis Blouin

Québec, 20 octobre 2023

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Université Laval

Jean-Olivier Goyette^{1,2}
Monique Poulin^{1,2}
Stéphanie Pellerin^{2,3}
Audrey Paquette¹
Valérie Dupont⁴
Jean-François Bissonnette⁵
Denis Blouin⁵

INRS

Alain N. Rousseau⁶
Stéphane Savary⁶
Marianne Blanchette⁶
Étienne Foulon⁶
Camila Alejandra Nocua Gordon⁶
Eduardo Scarpari Spolidorio Junior⁶

Membres du comité de suivi

Deslandes, Julie
julie.deslandes@ville.quebec.qc.ca;
Dionne, Nancy
nancy.dionne@obvcapitale.org;
Bergeron, Marie-Claude
Marie-Claude.Bergeron@environnement.gouv.qc.ca;
Bleau, Nathalie
Bleau.Nathalie@ouranos.ca;
Courant, Sabrina
Sabrina.Courant@environnement.gouv.qc.ca;
Darveau, Marcel
m_darveau@ducks.ca;
Dy, Goulwen
goulwen.dy@environnement.gouv.qc.ca;
Lachance, Daniel
Daniel.Lachance@environnement.gouv.qc.ca;
Valois, Stéphane
Stephane.Valois@environnement.gouv.qc.ca;
Evette, André
Andre.Evette@irstea.fr

¹ Université Laval, Département de phytologie, Pavillon Paul-Comtois, 2425 rue de l'Agriculture, Québec (Québec, Canada), G1V 0A6

² Quebec Centre for Biodiversity Science, Montreal, McGill University, Stewart Biology Building, Department of Biology, 1205 Dr. Penfield Avenue, Montreal (Québec, Canada) H3A 1B1

³ Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal and Jardin botanique de Montréal, 4101 Sherbrooke est, Montréal (Québec, Canada), H1X 2B2

⁴ Université Laval, Faculté de droit, Pavillon Charles-De Koninck, 1030, avenue des Sciences-Humaines, Québec (Québec, Canada), G1V 0A6

⁵ Université Laval, Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique. Département de géographie, 2325, rue de l'Université, Québec (Québec, Canada), G1V 0A6

⁶ Centre Eau Terre Environnement, Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE), 490, rue de la Couronne, Québec (Québec, Canada), G1K 9A9

Citation recommandée :

Goyette, J-O., A. N. Rousseau, S. Savary, M. Blanchette, C. Gordon, E. Scarpari Spolidorio, V. Dupont, J-F Bissonnette, D. Blouin, A. Paquette, S. Pellerin, et M. Poulin. *Intégration de scénarios de climats futurs dans la planification de la conservation et de la restauration de milieux humides dans un but de protection de la ressource en eau de la Ville de Québec*. Rapport final présenté à la Ville de Québec. 100 pages + 388 pages en Annexes.

SOMMAIRE

Les effets des changements climatiques se font criants en milieu urbain où les conflits d'usage s'intensifient. À ce chapitre, les milieux humides représentent des infrastructures naturelles assurant entre autres un rôle dans la régulation des débits en rivières. Les plaines de débordement de ces cours d'eau ont également un rôle majeur dans notre capacité d'adaptation aux changements climatiques. Le présent projet visait à évaluer le rôle des milieux humides dans la régulation des crues et étiages en fonction de différentes projections climatiques et d'occupation du territoire. Des scénarios théoriques et prospectifs ont été investigués afin d'évaluer des opportunités de restauration ou de création de milieux humides en : 1) produisant une délimitation de première approximation des limites des plaines de débordement qui représentent des espaces stratégiques pour accueillir de tels projets (de restauration/création), 2) en estimant le niveau de restauration ou création de milieux humides requis pour contrer l'effet des changements climatiques sur les débits de rivière, et 3) en sondant des intervenants locaux pour identifier des sites potentiels de restauration ou de création de milieux humides et hydriques. Aussi, afin d'appuyer la Ville directement dans ses décisions, des analyses de préfaisabilité ont été menées pour proposer des plans de restauration du ruisseau Savard et de la tourbière de la base de plein air de Sainte-Foy. Les seuils de conservation et restauration établis dans d'autres juridictions ont aussi été étudiés sous un angle juridique pour guider l'élaboration du projet de Plan régional des milieux humides et hydriques de la ville de Québec. Enfin, les incidences de la nouvelle législation concernant la protection des milieux humides et hydriques sur la gouvernance et les enjeux de la conciliation avec les pratiques forestières ont été étudiés.

Nos modélisations hydro-climatiques montrent qu'il y aura une baisse de la fréquence et de l'amplitude des crues aux horizons 2060 et 2100 (sauf dans la rivière Jaune), mais aussi une augmentation généralisée de la fréquence et de la sévérité des étiages, menant à des risques de sécheresse accrus. Actuellement, l'ensemble des milieux humides du territoire atténuent les crues de l'ordre de ~8% à 30% (par rapport à un territoire sans milieux humides) et soutiennent les débits en période d'étiage de 6% à 28%, selon les bassins versants et les indicateurs considérés. Pour les crues, cette contribution relative des milieux humides devrait être maintenue sous les climats futurs projetés tandis que pour les étiages, leur contribution pourrait être jusqu'à deux fois plus importante à l'horizon 2100. Par ailleurs, nos analyses montrent un effet limité de l'urbanisation sur les débits à l'échelle des bassins versants, mais perceptible sur les tronçons situés à proximité des secteurs visés par les développements.

Sous un angle plus technique, l'usage en intrant du modèle de données fines concernant le réseau de conduite pluviale, lorsque combiné à une meilleure résolution spatiale du modèle numérique d'altitude, permet un gain de performance du modèle hydrologique dans la représentation des débits observés. Finalement, notre étude de sensibilité des paramètres du modèle hydrologique montre que la géométrie des milieux humides (superficie, hauteur d'eau normale et maximale) a un effet prépondérant sur la modélisation des débits à l'échelle du bassin versant et que ceci varie grandement selon la période de l'année et la position du milieu humide dans le bassin versant.

Dans ce contexte futur d'étiages plus sévères et de crues parfois plus importantes, nous avons exploré des scénarios théoriques afin d'évaluer quelle quantité de milieux humides devrait être restaurée ou créée afin de compenser l'effet des changements climatiques sur les cycles hydrologiques. Notre analyse montre que ces quantités (ou cibles) varient grandement entre bassins versants, particulièrement en ce qui a trait aux crues. Par exemple, une augmentation de 20% de la superficie de milieux humides serait nécessaire dans le bassin de la rivière du Berger pour maintenir les débits de crue sous leurs seuils actuels malgré les changements climatiques à l'horizon 2060, tandis que cette cible atteindrait 75 % dans la Lorette. Bien entendu, cela ne considère pas les autres

interventions pouvant être mises en place telles que des approches de gestion optimale des eaux. Toutefois, les résultats montrent que les besoins de restauration seraient plus élevés pour le maintien des débits d'étiage que pour celui des débits de crue dans tous les bassins versants, allant jusqu'à une augmentation nécessaire des superficies de 100-150% dans certains bassins versants. Nos résultats mettent en lumière que la politique de zéro-perte-nette ne sera pas suffisante au maintien des cycles hydrologiques face aux changements climatiques, et qu'un « gain net » en superficie (ou en fonctions) de milieux humides sera plutôt nécessaire. En ce sens, afin d'identifier des sites prioritaires pour la restauration de milieux humides sur le territoire d'étude, nous avons sondé des parties prenantes ciblées qui interviennent notamment dans la gestion de l'eau, et avons effectué des validations terrain de la pertinence des sites suggérés.

Nous avons aussi mené deux projets pilotes qui ont permis d'émettre des recommandations pour l'élaboration de plans de restauration spécifiques. Pour la base de plein air de Sainte-Foy, la tourbière ouverte a été identifiée comme une priorité de restauration due à son unicité, au fort recouvrement d'espèces indigènes de milieux humides ainsi qu'à l'absence d'espèces exotiques. Notre analyse recommande aussi le maintien des mares vernaies au sein des marécages en tant que points chauds de biodiversité, ainsi que le maintien de parcelles forestières en tant que barrières visuelles et sonores entre la base de plein air et la zone urbaine. Les outils d'analyses statistiques utilisés pour identifier la valeur d'unicité des sites et leur tolérance aux perturbations pourront être utilisés par les gestionnaires pour identifier des sites potentiels pour de l'aménagement de sentiers ou des sites prioritaires pour la conservation. Pour le ruisseau Savard, nous avons identifié un scénario d'aménagement d'un lit d'écoulement à ciel ouvert permettant un écoulement continu limitant les coups d'eau. La conduite pluviale existante pourra être mobilisée pour évacuer les surplus d'eau de façon exceptionnelle, en crue, et ce moins de 10% du temps selon la modélisation.

Afin d'appuyer la Ville sur la question des cibles de conservation sous un angle juridique, nous avons mené une analyse comparative de différentes juridictions. Celle-ci nous a permis de constater que l'établissement de cibles est rarement basé sur une évaluation scientifique, mais plutôt négocié à partir d'objectifs établis au niveau international. Par exemple, en Europe, le réseau d'aires protégées « Natura 2000 » repose sur une approche multicritère et le pourcentage de zones protégées diffère entre chaque pays membre (de 12.7% en Belgique à 27.3% en Espagne). L'expérience européenne montre la difficulté d'établir des objectifs de conservation chiffrés et la nécessité d'avoir une bonne connaissance des écosystèmes afin d'établir des cibles rigoureuses. De plus, l'analyse souligne l'importance de l'implication des parties prenantes dès l'identification de sites à inclure dans un réseau de conservation ainsi que l'importance d'une évaluation des sites proposés par une institution indépendante et/ou un organisme de supervision.

Sur le plan social, le contenu des documents officiels liés à la démarche de conservation des milieux humides et hydriques a été analysé. Nous avons constaté l'absence d'orientation concernant l'évaluation de la compatibilité des schémas d'aménagement et de développement (et des règlements de contrôle intérimaire) avec les plans régionaux de milieux humides et hydriques. Aussi, il apparaît que le fait de confier cette évaluation aux municipalités régionales, qui sont juges et parties, rend problématique l'évaluation uniforme et cohérente des plans. De plus, l'absence des autres types de milieux naturels dans la réflexion régionale semble défavoriser la prise de décision éclairée pour une approche de conservation intégrée. L'analyse souligne qu'un renforcement dans la mise en œuvre de la notion d'évitement et de meilleures connaissances en lien avec la restauration et la création de milieux humides seraient nécessaires pour mener des actions efficaces.

Finalement, concernant la conciliation des pratiques forestières avec la conservation des milieux humides et hydriques, nous observons que le cadre réglementaire municipal en vigueur semble

manquer de cohérence dans l'encadrement des pratiques forestières en terres privées. Plusieurs normes en vigueur ne s'appuient pas sur les connaissances scientifiques et les bonnes pratiques reconnues. Toutefois, compte tenu du contexte socioéconomique et réglementaire les impacts des coupes forestières sur les fonctions écologiques des milieux humides et hydriques seraient plutôt faibles. Le nouveau cadre réglementaire devrait principalement insister sur les impacts à long terme potentiels associés à la densification du réseau routier forestier et aux ponceaux.

Ce rapport de projet est structuré sous forme de résumés. Le lecteur est dirigé vers des fiches synthèses spécifiques à chaque objectif et à des annexes pour les détails méthodologiques, les bibliographies complètes et autres informations complémentaires.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire.....	iv
Table des matières.....	v
MISE EN CONTEXTE	7
STRUCTURE DU PROJET	8
RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTS TRAVAUX	11
Axe 1 : Modélisation hydrologique.....	11
Axe 2 : Planification de la conservation.....	14
Axe 3 : Projets pilotes	16
Axe 4 : Volets juridique et social	18
ACCOMPLISSEMENTS	21
PUBLICATIONS ET PRÉSENTATIONS	25
BIBLIOGRAPHIE	29

MISE EN CONTEXTE

En 2017, le gouvernement du Québec se dotait d'une Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques (Projet de loi no 132). Les milieux humides ont un rôle majeur à jouer dans la gestion des eaux d'un bassin versant et dans notre capacité à s'adapter aux changements climatiques. Par exemple, une étude récente réalisée dans le bassin versant de la rivière Bécancour au Québec a montré que ces milieux pouvaient réduire de 18% les débits de crue des rivières grâce à leur fonction de stockage de l'eau et qu'en période d'étiage, ils pouvaient augmenter les débits de 43% dû à leur capacité de décharge lente (Fossey et al. 2016). D'autres études ont statué qu'il faudrait que la superficie d'un bassin versant soit couverte de 5 à 15% de milieux humides pour assurer une saine gestion des régimes hydriques des rivières et le maintien de la qualité de l'eau (Detenbeck et al. 1999, Mitsch and Gosselink 2000, Zedler and Kercher 2005). Toutefois, ces milieux ne peuvent être concentrés en un seul endroit pour être en mesure de jouer pleinement leur rôle (Fossey and Rousseau 2016, Fossey et al. 2016). De plus, les changements climatiques pourraient perturber la dynamique hydrologique des milieux humides et affecter les services hydrologiques rendus par ces derniers. Une planification du territoire identifiant les milieux humides à conserver, mais aussi les occupations du sol où des actions de création ou de restauration seraient bénéfiques, est donc nécessaire pour s'assurer que ces infrastructures naturelles rendent le maximum de services à la collectivité.

Les milieux riverains et les plaines de débordement sont également des milieux naturels rendant d'importants services écologiques, notamment en permettant aux cours d'eau de dissiper leur énergie librement, réduisant ainsi les risques d'inondations en aval. Cependant, les plaines de débordement ont été largement perturbées par l'expansion des surfaces cultivées et l'étalement urbain. On estime par exemple que seulement 2% des forêts riveraines originelles persistent de nos jours dans l'ouest des États-Unis (Jones et al. 2010). À ce titre, une inertie persiste à l'échelle internationale pour mettre en place des projets d'envergure assurant le retour des fonctions hydro-géomorphologiques des rivières (Beechie et al. 2010, Kline and Cahoon 2010, González et al. 2015). Très peu de projets de restauration intégrant une vision holistique des rivières et de leur fonctionnement ont vu le jour au Québec, qui accuse un retard frappant par rapport à plusieurs pays Européens, à l'Australie et à certains états américains (Verkerk and van Buuren 2013).

En contexte urbain, les coûts associés aux inondations et à la filtration de l'eau sont importants. La protection et la restauration d'infrastructures vertes comme les milieux humides et les plaines de débordement pourraient : (i) contribuer à réduire des coûts de filtration de l'eau associés à la construction d'usines d'épuration d'eau potable, (ii) réduire les risques et les coûts liés à la gestion des inondations et de leurs conséquences et (iii) assurer une alimentation en eau lors de période d'étiage. Avec plus de 6 058 hectares de milieux humides (8% du territoire) et un grand nombre de rivières sur son territoire, la Ville de Québec jouit d'une situation enviable et présente de nombreuses opportunités en matière de conservation. Cependant, à l'instar des autres municipalités du Québec, l'étalement urbain est en hausse sur son territoire (Nazarnia 2013). On constate aussi une dégradation accélérée de la qualité de l'eau du Lac Saint-Charles, le réservoir fournissant 50% de l'eau potable de la Ville, soit à près de 300 000 habitants. Cette source d'eau essentielle pour les citoyens de Québec subit en effet des pressions, notamment liées à l'entretien hivernal du réseau routier (sels de déglçage) et au lessivage de nutriments provenant des installations septiques localisées dans ce bassin versant. Aussi, les étiages de plus en plus fréquents et sévères dans un contexte de changements climatiques génèrent des défis importants au niveau de l'approvisionnement en eau. En période de crues, des inondations peuvent survenir en marge de certaines rivières de Québec notamment les rivières Saint-Charles, Montmorency, Nelson, Jaune et

Lorette. Cela peut survenir dans diverses circonstances telles qu'à l'occasion d'averses hivernales, de fonte printanière, ou encore lors d'orages violents.

Notre projet s'inscrit dans ce contexte de gestion des événements extrêmes qui s'accroîtront avec les changements climatiques, et vise à identifier les milieux humides et hydriques les plus susceptibles de fournir un apport en services hydrologiques pour la Ville de Québec, d'identifier des sites à restaurer et de proposer des approches de restauration pour deux études de cas.

STRUCTURE DU PROJET

La figure 1 présente les interactions entre les 11 objectifs issus des quatre axes du projet, ainsi que les flux d'information générée (flèches) afin d'appuyer la ville de Québec dans l'élaboration et la mise en œuvre du plan régional des milieux humides et hydriques (PRMHH).

Si certains travaux avaient pour objectif immédiat une bonification de la modélisation hydrologique, ils auront également permis de mieux soutenir les décideurs. C'est le cas des travaux d'intégration de scénarios de changements climatiques et d'occupation du territoire dans la modélisation hydrologique (*Objectif 1*), des travaux d'intégration de données à haute résolution et du réseau pluvial dans la modélisation (*Objectif 2*), et des travaux d'étude de sensibilité et de validation terrain (*Objectif 3*). C'est aussi le cas des travaux de cartographie des plaines de débordement via le développement d'approches de modélisation (*Objectif 4*).

Les travaux de projets pilotes pour la restauration du ruisseau Savard (*Objectif 7*) et de la base de plein air Sainte-Foy (*Objectif 8*) auront permis d'émettre des recommandations et de fournir des connaissances pour la mise en œuvre de projets de restauration. Aussi, l'intégration des pressions anthropiques (fossés de drainage et coupes forestières) pour l'ensemble des milieux humides de l'agglomération, ainsi qu'un sondage auprès d'organismes et parties prenantes ciblées, aura permis d'identifier des sites d'intérêt pour la restauration (*Objectif 6*). La pertinence de certains sites pour la restauration fut validée sur le terrain lors d'une campagne d'échantillonnage afin d'émettre des recommandations à la Ville de Québec. Ces objectifs alimentent la réflexion des professionnels pour sélectionner des projets de restauration à soumettre au programme de restauration et de création de milieux humides et hydriques du ministère de l'environnement.

De plus, afin de soutenir les décideurs au sujet de la restauration de milieux humides, la plate-forme de modélisation fut utilisée pour évaluer des cibles permettant le maintien des débits de crues et d'étiages dans des conditions de climats futurs simulés aux horizons 2059 et 2099 (*Objectif 5*). Les scénarios théoriques de restauration furent testés dans le modèle hydrologique, bénéficiant ainsi de tous les travaux ci-dessus mentionnés. Des cibles critiques de restauration propres à chaque sous-bassin-versant de la zone d'étude ont ainsi été identifiées pour appuyer la Ville dans ses décisions.

Finalement, les travaux portant sur les aspects juridiques auront fourni un portrait des outils municipaux pour appliquer la loi 132, et un portrait des approches de conservation établies dans d'autres juridictions à des fins d'identification et de comparaison des seuils de conservation potentiellement applicables pour la Ville de Québec (*Objectif 9*). Sur le plan social, une analyse des documents officiels liés à la démarche de conservation des milieux humides et hydriques aura permis de mettre en lumière les incidences de la nouvelle législation sur la gouvernance et le jeu des acteurs en aménagement du territoire au Québec (*Objectif 10*). De plus, des constats et recommandations ont été établis au sujet de la conciliation des pratiques forestières avec la protection des milieux humides et hydriques (*Objectif 11*).

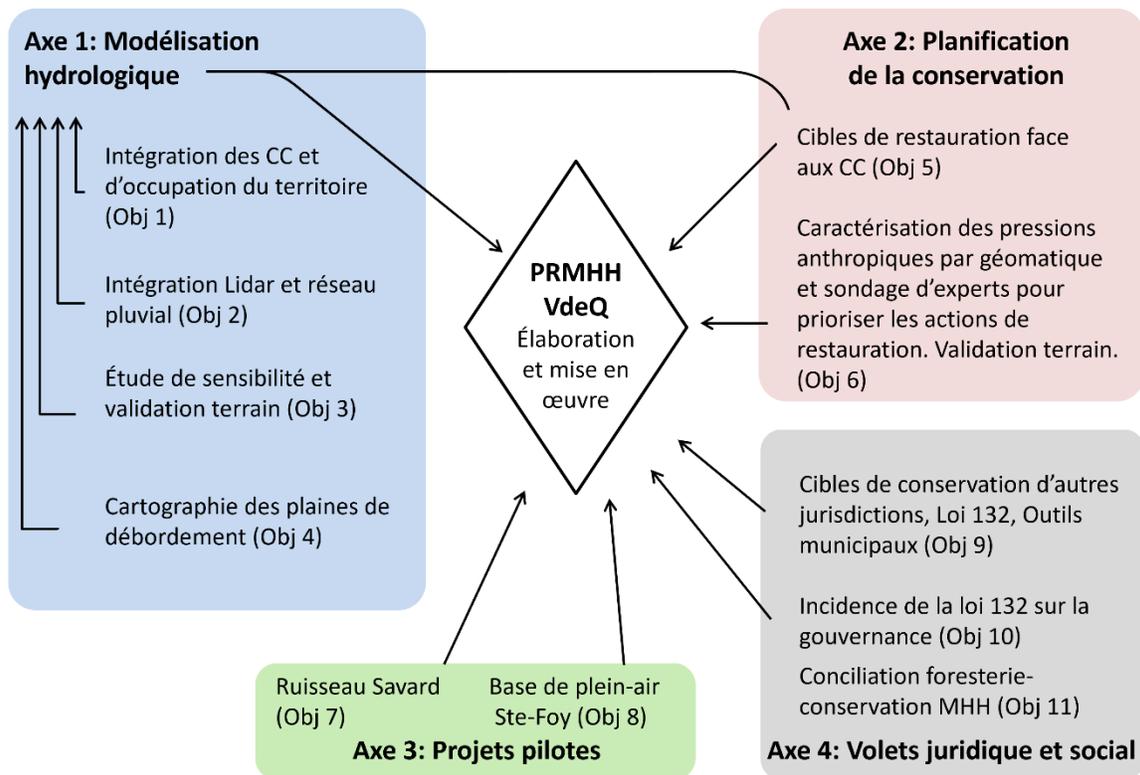


Figure 1. Représentation des interactions entre les 11 sous-objectifs du projet et les flux d'information générée afin d'appuyer Ville de Québec dans l'élaboration et la mise en œuvre du plan régional des milieux humides et hydriques (PRMHH). Obj : Objectif; MHH : milieux humides et hydriques; CC : Changements climatiques.

Tableau 1. Liste des étudiants, stagiaires postdoctoraux et agents de recherche impliqués dans le projet.

Type de ressource	Axe d'intervention et objectifs (voir figure 1)	Université	Période	Nb d'heures par mois	Nom du superviseur
Agent/Associé de recherche					
<i>Stéphane Savary</i>	Axe1 – Obj. 1	INRS	22 janvier 2019-28 fév 2022	Environ 15	Alain Rousseau
<i>Étienne Foulon</i>	Axes 1 – Obj. 4 Axe 3 – Obj. 7	INRS	22 janvier 2021-28-fév 2022	Environ 5	Alain Rousseau
Post-doctorant					
<i>Jean-Olivier Goyette</i>	Axe 2 – Obj. 5 et 6	U. Laval	22 janvier 2019-21 janvier 2022	Temps plein	Monique Poulin
<i>Valérie Dupont</i>	Axe 4 – Obj. 9	U. Laval	22 sept. 2019-21 janv. 2020	Temps plein	Sophie Lavallée et Monique Poulin
<i>Denis Blouin</i>	Axe 4 – Obj. 10 et 11	U. Laval	Février 2022-mars 2023	Temps plein	Monique Poulin
PhD					
<i>Ariane Blais</i>	Axe 4	U. Laval	Abandon	-	Monique Poulin
<i>Anthony Constantin</i>	Axe 1	INRS	Abandon	-	Alain Rousseau
<i>Marianne Blanchette</i>	Axe 1 – Obj. 3	INRS	5 janvier 2022-16 décembre 2022	Temps plein	Alain Rousseau
Maîtrise					
<i>Audrey Paquette</i>	Axe 3 – Obj. 8	U. Laval	6 mai 2020-mai 2022	Temps plein	Monique Poulin
<i>Eduardo Spolidorio</i>	Axe 1 – Obj. 2	INRS	22-janv.-2019 – 21-mai-2019	Temps plein	Alain Rousseau
<i>Alexandre Borduas</i>	Axe 1	INRS	Abandon	Temps plein	Alain Rousseau
<i>Camila Alejandra Nocua Gordon</i>	Axe 1 – Obj. 4	INRS	31-déc.-2020 – 30-avr.-2022	Temps plein	Alain Rousseau

RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTS TRAVAUX

Axe 1 : Modélisation hydrologique

Si les travaux de cet axe ont pour objectif immédiat une bonification de la modélisation hydrologique, ils ont, par le fait même, l'objectif de simuler plus adéquatement les processus hydrologiques sur le territoire et ainsi produire des informations plus représentatives par le biais de scénarios prospectifs. C'est le cas des travaux d'intégration de scénarios de changements climatiques et d'occupation du territoire dans la modélisation hydrologique (objectif 1), des travaux d'intégration de données à haute résolution et du réseau pluvial dans la modélisation (objectif 2), des travaux d'étude de sensibilité et de validation terrain (objectif 3), et des travaux de cartographie des plaines de débordement via le développement d'approches de modélisation (objectif 4).

Objectif 1 : Adaptation de la plate-forme de modélisation hydrologique PHYSITEL/HYDROTEL afin de considérer la connectivité et les types de milieux humides, les scénarios de changements climatiques transmis par Ouranos (horizon 2020-2099), ainsi que les scénarios théoriques de développement du territoire.

Personne(s) impliquée(s) : Stéphane Savary, Marianne Blanchette, Alain Rousseau

Approches :

- Nous avons mis à jour la plate-forme de modélisation hydrologique PHYSITEL/HYDROTEL et l'avons calibrée au bassin versant de la rivière Saint-Charles.
- Nous avons considéré les tendances climatiques jusqu'à l'horizon 2100 en termes d'augmentation des températures et des précipitations.
- Nous avons évalué l'impact des scénarios de changements climatiques, de changement d'utilisation dans des espaces potentiels de développement et de la présence de milieux humides sur les crues et étiages à l'échelle du bassin versant de la rivière Saint-Charles et de ses sous-bassins versants.

Résultats :

- Les résultats montrent des tendances à la baisse pour les débits de crues et les étiages, sauf pour la rivière Jaune. Le rôle d'atténuation des crues par les milieux humides actuels serait maintenu dans le futur tandis que le rôle de supports aux étiages serait accru.
- Les scénarios d'urbanisation montrent un effet limité sur les débits à l'échelle des bassins versants, mais un effet significatif sur les tronçons de rivières situés à proximité des secteurs visés par les développements.
- L'intégration de données météorologiques intra-journalières au sein de la plate-forme de modélisation indique que les scénarios potentiels de développement ont un impact plus élevé à un pas de temps de 6h qu'à un pas de temps de 24h.

Voir [fiche synthèse 1a](#) - Calibration de la plate-forme de modélisation.

Voir [fiche synthèse 1b](#) - Scénarios de changements climatiques et l'influence des milieux humides sur les débits.

Objectif 2 : Évaluation du gain d'efficacité dans la modélisation hydrologique de l'utilisation de données à haute résolution : trois modèles numériques d'altitude testés (MNA à des résolutions spatiales de 20, 10 et 5 mètres), ainsi que deux cartes pédologiques et deux réseaux hydrographiques, avec ou sans le réseau pluvial (conduites et ouvrages).

Personne (s) impliquée (s) : Eduardo Scarpari Spolidorio Junior, Stéphane Savary, Alain Rousseau

Approches et Résultats :

- La résolution des MNA a un impact significatif sur le découpage du bassin hydrographique, particulièrement pour les sous-bassins partiellement urbanisés. Une plus grande précision ou résolution horizontale (5 m) contribue de facto à une meilleure représentation spatiale du bassin de la rivière Saint-Charles dans la modélisation hydrologique.
- L'intégration du système de réseau d'égouts et d'ouvrages pluviaux, lorsque combiné à une meilleure résolution spatiale du MNA permet un gain de performance du modèle hydrologique dans la représentation des débits observés dans certains sous-bassins de la rivière Saint-Charles avec l'obtention de meilleurs indicateurs de performance statistique utilisés en hydrologie.
- Les paramètres de texture de sol, ne semblent pas avoir d'impact significatif sur les processus hydrologiques modélisés, sur la base des deux cartes pédologiques testées. Ceci est probablement dû à la présence d'un territoire urbanisé dans les zones où il y a les plus grandes différences entre les deux cartes pédologiques.

Voir fiche synthèse 2.

Objectif 3 : Étude de sensibilité du modèle et validation terrain des facteurs influençant la variabilité hydrologique des milieux humides

Personne (s) impliquée (s) : Marianne Blanchette, Alain Rousseau, Etienne Foulon, Stéphane Savary

Approches et Résultats :

- Nous avons réalisé une analyse de sensibilité globale des paramètres associés aux modules des milieux humides dans HYDROTEL.
- Nous avons adapté le modèle hydrologique et les outils de calage et d'analyse de sensibilité pour leur utilisation sur les serveurs de calcul de l'Alliance de recherche numérique du Canada.
- Les paramètres décrivant la géométrie des milieux humides (superficie, hauteur d'eau normale et maximale) ont le plus d'effet sur les débits à la sortie des milieux humides et sur les débits à l'échelle du bassin versant. La sensibilité des paramètres varie grandement selon la position dans le bassin versant et la période de l'année.
- Nous avons également effectué une campagne de suivi des fluctuations de niveaux d'eau dans six milieux humides forestiers. Cette étude nous a permis d'identifier des différences notables entre les patrons de fluctuations des milieux humides isolés et riverains.

Voir fiche synthèse 3.

Objectif 4 : Cartographier les plaines de débordement des cours d'eau afin de cibler les enjeux de conservation et sécurité sur le territoire

Personne (s) impliquée (s) : Camila Alejandra Nocua Gordon, Alain Rousseau, Etienne Foulon

Approches et Résultats :

- Nous avons utilisé la méthode HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) pour obtenir les propriétés géométriques des canaux (volume, périmètre mouillé, rayon hydraulique, largeur) à partir d'un modèle numérique d'altitude (MNA) dérivé du LiDAR.
- Nous avons utilisé l'équation de Manning pour établir une courbe de tarage synthétique (CTS) reliant le débit et la hauteur d'eau, permettant de produire rapidement des cartes de plaine de débordement avec des données accessibles.
- Une analyse globale de sensibilité à partir du *Variogram Analysis of Response Surfaces* (VARS) a été effectuée afin d'évaluer l'impact des paramètres d'entrée du modèle.
- L'étude a permis d'explorer les différentes sources d'incertitude liées à la dérivation des CTS, telles que la résolution du MNA et les facteurs topographiques. Afin de quantifier ces incertitudes, différentes analyses ont été réalisées dans le but d'élaborer des modèles simplifiés pour les petits bassins versants.
- Finalement, une comparaison entre les cartes de plaine de débordement produites à partir de HAND-CTS et la cartographie réglementée des zones inondables de récurrences 100 ans pour le bassin versant de la rivière Saint-Charles a été réalisée. Cette comparaison a permis de démontrer le potentiel de la méthodologie en comparaison avec les méthodes plus complexes.

Voir fiche synthèse 4.

Axe 2 : Planification de la conservation

Les travaux présentés ci-dessus, concernant d'adaptation de la plate-forme de modélisation HYDROTEL, ont été mis en valeur dans un projet cherchant à identifier des cibles de restauration de milieux humides sur le territoire de l'agglomération de Québec (objectif 5). De plus, afin de pouvoir concrétiser certains projets de restauration de milieux humides au sein des bassins versants de la zone d'étude, des sites permettant des gains potentiels en services écologiques ont été identifiés sur la base de connaissances locales (objectif 6). Ces sites ont été identifiés par différentes parties prenantes sur le territoire et certains ont été caractérisés lors de visites sur le terrain. Ces analyses permettront d'appuyer la priorisation des sites qui seront ciblés pour des études de préfaisabilité et des projets de restauration ou de création de milieux humides.

Objectif 5 : Identifier des cibles de conservation et restauration de milieux humides permettant le maintien des débits de crues et d'étiages dans des conditions de climats futurs, à l'aide des outils de modélisation hydrologique.

Personne (s) impliquée (s) : Jean-Olivier Goyette, Monique Poulin, Stéphanie Pellerin, Marianne Blanchette, Alain Rousseau, Stéphane Savary

Approches:

- Nous avons développé une approche pour établir des cibles de restauration de milieux humides centrées sur leurs fonctions hydrologiques. Cette approche pose la prémisse qu'une cible minimale de restauration devrait tenter de maintenir les cycles hydrologiques actuels, en compensant la hausse des crues printanières et la baisse des étiages estivaux dues aux changements climatiques.
- Nous avons utilisé le modèle hydrologique semi-distribué HYDROTEL, combiné à 47 scénarios de changements climatiques faisant états de l'amplitude des débits possibles aux horizons 2059 et 2099 dans le bassin de la rivière Saint-Charles. Nous avons ensuite testé quatre scénarios de restauration, soient des ajouts de 20%, 50%, 100% et 150% de milieux humides et de leur aire d'alimentation, dans chaque sous-bassin versant, et en avons étudié les impacts sur les indicateurs de crues et d'étiages.

Résultats :

- Les gains de superficie en MH (et de leur aire d'alimentation) nécessaires au maintien des régimes hydrologiques dans le futur varient grandement entre bassins versants. Par exemple, une augmentation de 20 % des superficies de MH serait nécessaire dans le bassin de la rivière du Berger, tandis que cette cible atteindrait 75 % dans la Lorette sous l'horizon 2020-2060.
- Les cibles sont toujours plus élevées pour le maintien des débits d'étiage que pour celui des débits de crue.
- Ces modélisations ne considèrent pas les autres interventions pouvant être réalisées pour atténuer les étiages et les crues tels que l'implantation de pratiques de gestion optimale des eaux, le retrait de restrictions hydrauliques, etc.
- Toutefois, nos résultats mettent en lumière que la politique de zéro-perte-nette ne sera pas suffisante au maintien des cycles hydrologiques face au changements climatiques, et qu'un « gain net » en superficie de milieux humides (ou en fonctions) serait plutôt nécessaire.

Voir fiche synthèse 5.

Objectif 6 : Identification de sites potentiels pour des projets de restauration de milieux humides et hydriques permettant des gains en services écologiques via la caractérisation géomatique des fossés de drainage et des coupes forestières, des sondages auprès des acteurs du milieu, et d'une validation terrain.

Personne (s) impliquée (s) : Jean-Olivier Goyette, Julie Deslandes, Péroline Lescot, Andréanne Desormeaux, Nancy Dionne, Stéphanie Pellerin et Monique Poulin

Approches et Résultats :

- Pour supporter le principe d'aucune perte nette de milieux humides et hydriques, les pertes devront être compensées par des actions de restauration ou de création.. Ce volet du projet visait donc à identifier, avec la participation des parties prenantes locales, les milieux humides à restaurer les plus susceptibles d'offrir des gains en services écologiques dans l'agglomération de la Ville de Québec.
- Un sondage en ligne et une activité de brassage d'idées avec les différentes parties prenantes et intervenants municipaux a permis d'identifier 56 sites potentiels.
- 21 sites ont été sélectionnés pour une validation sur le terrain, selon leur intérêt en termes de positionnement dans le territoire (i.e. localisés dans des bassins versants faisant face à des pressions ou une rareté de milieux humides et hydriques) et selon des critères de faisabilité (terrains privés vs. municipaux) et de contraintes logistiques (accès aux sites).
- Les services d'ordre hydrologique (régulation des débits et épuration de l'eau) furent identifiés comme étant prioritaires aux objectifs de restauration via les sondages.
- Nous avons identifié 6-7 sites comme étant particulièrement intéressants en considérant les retombées potentielles pour les citoyens et la faisabilité des actions nécessaires à leur restauration.

Voir fiche synthèse 6.

Axe 3 : Projets pilotes

Les travaux de projets pilotes pour la restauration du ruisseau Savard (objectif 7) et de la Base de plein-air Sainte-Foy (objectif 8) ont permis de documenter les sites, évaluer les potentiels de restauration et de formuler des recommandations pour orienter les actions à entreprendre.

Objectif 7 : Proposer une ébauche de restauration écologique cohérente pour un tributaire du ruisseau Savard actuellement canalisé.

Personne (s) impliquée (s) : Stéphane Savary, Étienne Foulon, Alain Rousseau

Approche :

- La proposition de restauration se base sur deux outils principaux : la détermination de la distribution des débits plausibles aux 6 heures (hydrogramme) en amont du tronçon à restaurer par modélisation hydrologique, ainsi que la construction d'un modèle représentatif de la physique de l'écoulement qui permet de vérifier si le design sommaire proposé est réaliste et s'il permet d'évacuer l'eau par la rivière plutôt que par la conduite d'évacuation pluviale existante.

Résultats :

- Un tracé fictif du cours d'eau restauré a été proposé. Ce tracé inclut une localisation précise, une emprise au sol de 7 m et un lit mineur recreusé de forme triangulaire de largeur 4 m et une profondeur variant de 1.5 à 1.2 m de l'amont vers l'aval.
- La restauration du cours d'eau nécessite le dimensionnement de deux structures hydrauliques : (1) un ponceau sous la route du Grand Bourg et (2) un ouvrage de contrôle permettant la mobilisation de la conduite pluviale en cas de coup d'eau.
- Le modèle hydraulique a été construit de manière à être adaptable aux étapes successives de dimensionnement nécessaire à la mise en place des travaux sur le terrain.
- Pour le ruisseau Savard, nous avons identifié un scénario d'aménagement de la végétation permettant un écoulement continu limitant les coups d'eau. La conduite pluviale existante pourra être mobilisée pour évacuer les surplus d'eau de façon exceptionnelle, en crue, et ce moins de 10% du temps selon la modélisation.

Voir fiche synthèse 7.

Objectif 8 : Identification des besoins de conservation et de restauration pour les milieux humides et les milieux forestiers à la base de plein air de Sainte-Foy (BPASF).

Personne (s) impliquée (s) : Audrey Paquette, Stéphanie Pellerin, et Monique Poulin

Méthodologie :

- Des relevés de végétation ont été réalisés dans 70 parcelles (400 m²) de forêt, marécage, tourbière forestière, tourbière ouverte et marais à la BPASF. Des analyses de richesse spécifique et d'unicité ainsi qu'un indice de qualité floristique ont été utilisés pour déterminer les zones de conservation accrue.

Résultats :

- La tourbière ouverte au sein de la BPASF a été identifiée comme la priorité de conservation due à son unicité, au fort recouvrement d'espèces indigènes de milieux humides ainsi qu'à l'absence d'espèces exotiques.
- Les points chauds de diversité ont été retrouvés dans les marécages au niveau des mares vernoales. Des points chauds de diversité ont aussi été retrouvés dans la forêt, mais la richesse était associée à la présence d'espèces exotiques et rudérales rendant ces parcelles moins intéressantes pour la conservation, quoiqu'importantes en tant que barrières visuelles et sonores entre la BPASF et la zone urbaine.
- Les outils d'analyses statistiques que nous avons utilisés pour identifier la valeur d'unicité des sites et leur tolérance aux perturbations peuvent être utilisés par les gestionnaires de la BPASF. Par exemple, deux parcelles dans la tourbière boisée avec une canopée dominée par les feuillus ont été identifiées comme des sites potentiels pour du développement futur dû à leur faible unicité et leur tolérance élevée aux perturbations.

Voir fiche synthèse 8.

Axe 4 : Volets juridique et social

Finally, the work on legal aspects provides a portrait of tools at the municipal level to apply the law 132, and a portrait of conservation approaches established in other jurisdictions for identification and comparison of conservation thresholds potentially applicable. These analyses will feed into reflections on planning conservation (objective 9). The social science part of the project aims to understand the construction of social representations concerning planning and implementation of conservation of wet and hydric environments within the framework of the approach associated with PRMHH (objective 10), and to study the compatibility of forestry practices with conservation of wet and hydric environments in connection with the adaptation of planning and regulatory tools (objective 11).

Objectif 9 : Étude juridique comparative sur l'établissement de cibles de conservation dans différentes juridictions

Personne (s) impliquée (s) : Valérie Dupont, Monique Poulin et Sophie Lavallée

- L'analyse de droit comparé a montré le peu d'approches rigoureuses dans l'établissement des cibles. Par ailleurs, les cadres juridiques établissant un système d'aires protégées mettent rarement en œuvre la planification systématique de conservation.
- Notre étude s'est dès lors focalisée sur l'Europe, car il s'agit d'un des cadres de désignation d'un réseau cohérent d'aires protégées les plus aboutis.
- L'expérience européenne à propos des valeurs de référence favorables montre la difficulté d'établir des objectifs de conservation chiffrés et la nécessité d'avoir une bonne connaissance des écosystèmes afin d'établir rigoureusement de tels objectifs.
- L'élaboration du réseau européen d'aires protégées « Natura 2000 » repose sur une approche multicritère plutôt que sur une approche de planification systématique de conservation. Vu la difficulté d'établir des objectifs de conservation eut égard aux données actuelles, l'approche multicritère permet à tout le moins d'établir un réseau écologique sur des critères scientifiques, transparents et objectifs.
- L'expérience européenne a également mis en exergue l'importance de prévoir l'implication des parties prenantes dès l'identification des sites à inclure dans le réseau écologique ainsi qu'une évaluation des sites proposés par une institution indépendante et/ou par un organisme de supervision.
- Au-delà de la création du réseau, une gestion efficace de ce dernier est primordiale à l'atteinte des objectifs.

Voir fiche synthèse 9.

Objectif 10 : Comprendre les incidences de la nouvelle législation concernant la protection des milieux humides et hydriques sur la gouvernance et le jeu des acteurs en aménagement du territoire au Québec, ainsi que le caractère opératoire de cette reconfiguration.

Personne (s) impliquée (s) : Denis Blouin, Monique Poulin et Jean-François Bissonnette

Approches et Résultats préliminaires :

- L'absence d'orientation concernant l'évaluation de la compatibilité des schémas d'aménagement et de développement et des règlements de contrôle intérimaire avec les PRMHH, ainsi que le fait de confier cette évaluation aux municipalités régionales, qui sont juge et partie, rend problématique l'évaluation uniforme et cohérente des PRMHH.
- La non-obtention du statut de milieu d'intérêt lors de l'élaboration des PRMHH entre en contradiction avec l'objectif d'aucune perte-nette et la notion d'évitement, car elle peut indirectement cautionner le développement de ces sites.
- L'absence des autres types de milieux naturels dans la réflexion régionale ne favorise pas la prise de décision éclairée pour une approche de conservation intégrée.
- L'objectif d'aucune perte nette de milieux humides demeure une cible à long terme, compte tenu des renforcements nécessaires dans la mise en œuvre de la notion d'évitement, ainsi que par le manque de connaissance en lien avec la restauration et la création de milieux humides qui freinent les actions efficaces dans la pratique.

Voir fiche synthèse 10 (volet A).

Objectif 11 : Comprendre les enjeux de la conciliation des pratiques forestières et de la protection des milieux humides et hydriques dans le cadre de la réforme du régime de protection des milieux humides et hydriques au Québec, en lien avec l'adaptation des outils de planification et de réglementation territoriales de la Ville de Québec à son PRMHH.

Personne(s) impliquée(s) : Denis Blouin, Monique Poulin et Jean-François Bissonnette

Approches et Résultats :

- Dans l'agglomération de la Ville de Québec, les milieux humides sont localisés majoritairement en territoire forestier et agroforestier (73%). Le constat est semblable pour les milieux hydriques ayant conservé un caractère naturel.
- Les forêts sont essentiellement des propriétés privées de superficies assez limitées (en moyenne de 13,5 hectares en 2006) constituées en quasi-totalité de peuplements feuillus et mixtes.
- On constate une augmentation significative du nombre de lots forestiers de plus de 4 hectares de 2006 à 2022 (hausse de 21,7%), liée à des subdivisions cadastrales.
- Les tendances en foresterie depuis une vingtaine d'années sont :
 - Une exploitation forestière de niveau faible à modérée.
 - Un emploi quasi exclusif de la coupe partielle, compte tenu des caractéristiques des peuplements (feuillus) et des lots (petits).
 - Une faible rentabilité des opérations forestières.
 - Une valeur élevée du foncier.
 - Des contraintes opérationnelles fortes (réglementations, voisinage urbain, pentes, petites tailles des lots).
 - Des propriétaires de boisés orientés vers la villégiature et le récréotourisme.
 - Un faible taux d'enregistrement des propriétaires en tant que producteur forestier (8,5% des propriétaires éligibles en 2022).
- Le cadre réglementaire en vigueur dans l'agglomération est complexe et implique plusieurs paliers de gouvernement. Il manque aussi de cohérence dans l'encadrement des pratiques forestières en terres privées. Plusieurs normes en vigueur ne s'appuient pas sur les connaissances scientifiques et les bonnes pratiques reconnues.
- Le contexte socioéconomique et réglementaire fait que les impacts des coupes forestières sont, selon toute vraisemblance, plutôt légers sur les fonctions écologiques des MHH de l'agglomération de Québec. Les impacts à long terme semblent surtout résulter de l'aménagement des chemins et des ponceaux. Le nouveau cadre réglementaire de l'agglomération devrait principalement insister sur ce point. De même, des mesures de suivi et d'évaluation de l'impact de la densification du réseau routier forestier pourrait être une option à prioriser.

Voir fiche synthèse 10 (volet B).

Gestion du comité de suivi et livrables	Identification des membres	x																				
	Tenue des rencontres	x			x			x			x									x		
	Ajustement du rapport d'étape après chaque rencontre du comité de suivi.	x						x			x											
	Fiches projets	x									x	x	x	x	x	x	x					
	Rapport d'étape				x			x			x											
	Rapport final																			x		
	Tous les autres livrables du projet																			x		
	Présentation lors de la rencontre de comité de suivi en fin de projet.										x											
	Transfert des résultats avec l'OBV et la ville de Qc				x				x		x									x	x	x

PRODUCTION ET DIFFUSION DES RÉSULTATS

Nous présentons ici un sommaire des résultats attendus en début de projet et de leurs retombées. Nous avons noté en bleu les résultats obtenus, et en jaune ceux ayant été modifiés.

	RÉSULTATS	INDICATEURS DE RETOMBÉES
Tangibles	Cartes des aires de drainage des milieux humides construites à partir des données LiDAR 2017 en tenant compte de la présence des canalisations principales.	Meilleure modélisation hydrologique du rôle des milieux humides dans la régulation des débits de rivières.
	Cartes représentant le rôle des milieux humides pour la régulation des débits de rivières.	Meilleure capacité à construire les plans régionaux.
	Cartes de réseaux de conservation des milieux humides maximisant les services hydrologiques	Utilisation des données dans les PRMHH
	Cet objectif a été discuté avec Julie Deslandes et nous procéderons différemment pour y parvenir (Sondage et validation terrain) : voir ci-haut dans le rapport.	Identification des milieux humides prioritaires pour la restauration. Validation terrain et priorisation pour identifier des projets à soumettre au programme de restauration des MHH, pour étude de faisabilité ou projet restauration.
	Carte des limites des plaines de débordement des cours d'eau et des enjeux d'utilisation du territoire (incluant une carte des infrastructures à risque)	Baisse des conflits d'usage sur le territoire à long terme et des dommages aux infrastructures
	Diagnostic et plan de restauration du ruisseau Savard. MODIFICATION : Diagnostique via un exercice de modélisation	Modélisation hydrologique visant à concrétiser les travaux de restauration du ruisseau Savard
	Cartographie des aires potentielles de restauration des milieux humides et hydriques	Intégration des objectifs de restauration dans les plans régionaux
	Cartographie des perturbations dans les milieux humides (fossés de drainage et coupes forestière) et identification de sites potentiels pour la restauration.	Des plans régionaux adaptés à la réalité terrain
	Diagnostic et plan de restauration des milieux humides de la Base de plein-air de Sainte-Foy	Élaboration d'un projet pilote phase II visant à concrétiser les travaux de restauration des milieux humides de la base de plein air de Sainte-Foy
	Synthèse des seuils de conservation des milieux humides tels qu'établis dans la les documents légaux d'autres juridictions	L'établissement d'objectifs de conservation des milieux humides dans les PRMHH appuyé par la littérature et une analyse spécifique au territoire d'intérêt.
Synthèse des seuils de conservation des milieux humides tels qu'établis dans la littérature scientifique. MODIFICATION : Analyse spécifique au territoire d'intérêt et	Analyse spécifique au territoire d'intérêt pour établir des seuils de restauration afin de compenser l'effet des changements climatiques sur les débits.	

	aux enjeux de gestion des débits face aux CC.	
	Liste des outils légaux à favoriser pour la protection des milieux humides en terres privées	Appuie à la mise en œuvre du PRMHH
Intangibles	Noyau d'expertise en matière de CC dans le domaine de la conservation des milieux humides et hydriques	Co-supervision de plusieurs étudiants
	Formation des gestionnaires de la ville et du MDDELCC en regard du rôle des milieux humides pour la gestion de l'eau en milieu urbain	Présentations/formation à ces usagers
	Éveil de la population au rôle des milieux humides	Document synthèse de la prise en compte des services écologiques des milieux humides lors de l'élaboration du PRMHH

PUBLICATIONS ET PRÉSENTATIONS

(Ordre chronologique inverse)

Publications

Blanchette, M., Foulon, É., & Rousseau, A. N. 2023. Spatio-temporal sensitivity analysis of the wetland modules of a semi-distributed hydrological model. *Journal of Hydrology*, 129783.

Gordon, C., E. Foulon, A.N. Rousseau. 2023. Deriving synthetic rating curves from a digital elevation model to delineate the inundated areas of small watersheds. Soumis 2023-07-10, version corrigée soumise 2023-09-30 to *Journal of Hydrology: Regional Studies*.

Paquette, A.*, Pellerin, S., Poulin, M. 2023. Using plant community uniqueness and floristic quality assessment in management decision-making in an urban park setting. *Urban Forestry & Urban Greening*. 84: 127925

Blanchette, M., Rousseau, A. N., Savary, S., & Foulon, É. 2022. Are spatial distribution and aggregation of wetlands reliable indicators of stream flow mitigation? *Journal of Hydrology*, 608, 127646.

Dupont, V. 2022. La planification régionale de la conservation des milieux humides et hydriques au Québec : un rôle accru des municipalités au bénéfice de la transition écologique ? *Annales de droit de Louvain*, n°84/1, pp. 195-215.

Goyette, J.O., Savary, S., Blanchette, M., Rousseau, A., Pellerin, S., Poulin, M. (2022). Setting Targets for Wetland Restoration to Mitigate Climate Change Effects on Watershed Hydrology. *Environmental Management*. 71(2): 365-378.

Dupont, V. Racicot, M.-A., Drevar, T. 2021. Les outils fonciers, fiscaux et financiers à disposition des pouvoirs locaux pour concrétiser les plans régionaux des milieux humides et hydriques », *Cahiers de droit*, vol. 62(4), special issue on wetlands conservation, p. 1133.

Dupont, V. Lavallée, S., Racicot, M.-A. 2021. La Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques : vers l'atteinte de l'objectif d'aucune perte nette au Québec ? *Liaison Énergie-Francophonie*, n° 116, 'Écosystèmes et zones humides en Francophonie'.

Mémoires et thèses

Blanchette, Marianne. Thèse en phase terminale de rédaction.

Gordon, Camila Alejandra 2022. Dérivation de courbes de tarage synthétiques à partir d'un modèle numérique d'altitude pour délimiter les surfaces inondables de petits bassins versants. Mémoire. Québec, Maîtrise en sciences de l'eau, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 94 p.

Paquette, A. 2022. Identification des besoins de conservation et de restauration pour les milieux humides et les milieux forestiers à la base de plein air de Sainte-Foy. Mémoire présenté à la Faculté des Études Supérieures de Postdoctorales de l'Université Laval. 109 pages.

Scarpari Spolidorio Junior, Eduardo 2019. Évaluation de la valeur ajoutée des données physiographiques à haute résolution dans la modélisation hydrologique distribuée: cas d'application de la plateforme physitel-hydrotel sur le bassin de la rivière St-Charles, Québec, Canada. Mémoire. Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de l'eau, 152 p.

Conférences nationales et internationales

Goyette, J-O, Mendes P, Cimon-Morin J, Dupras J, Pellerin S., Poulin M. 2023. An application of the Ecosystem ServiceShed concept to systematic conservation planning considering equity. Conférence conjointe entre la Society for Ecological Restoration – section de l'Est du Canada (SER-EC) et l'Association canadienne de réhabilitation des sites dégradés (ACRSD/CLRA) : De la réhabilitation à la restauration à l'ensauvagement, Ville de Québec. 11-15 juin

El Batti, Z., C. Gordon, É. Foulon, A.N. Rousseau. 2022. Development of a loosely coupled geomatic-hydrological modeling approach for flood inundation mapping in small watersheds. Session NH1.2 - Advances in Pluvial and Fluvial Flood Forecasting, Assessment and Flood Risk Management. EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria & Online, May 23-27.

Gordon, C.A., Z. El Batti, E. Foulon, A.N. Rousseau. 2022. First Instance Inundated Area Mapping Using a Zero-Dimensional Model over Small Watersheds. Lake Champlain Research Conference, May 23-24, 2022, Hilton Burlington Lake Champlain, 60 Battery Street Burlington, VT 05401

Blanchette, M., Rousseau, A.N., Foulon E. 2021. Identification des facteurs affectant la variabilité des fluctuations de niveau d'eau dans les milieux humides forestiers. 74^{ème} Congrès national annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques, Québec, Visio-conférence

Gordon C, Foulon E, Rousseau, A.N. 2021. Deriving synthetic rating curves to link simulated streamflows to inundated areas: A global sensitivity analysis. 74^{ème} Congrès national annuel de l'Association canadienne des ressources hydriques, Québec, Visio-conférence

Goyette, J-O., Cimon-Morin, J., Mendes, P., Thériault, M., Pellerin, S., & Poulin, M. 2021. Multi-objective conservation and restoration planning in urban landscapes. The Society for Ecological Restoration (SER), 9th World Conference on Ecological Restoration.

Paquette A, Pellerin S, Poulin M. 2021. Oral presentation. Identification of restoration and conservation needs and opportunities for wetland and forest ecosystems in a municipal park. 9th World Conference on Ecological Restoration, Québec, Canada. June 21-24.

Paquette A, Pellerin S, Poulin M. 2021. Oral presentation. Identification of restoration and conservation needs and opportunities for wetland and forest ecosystems in a municipal park. Joint

conference organised by the Society for Ecological Restoration, the Canadian Land Reclamation Association, and the Society of Wetland Scientists, Québec, Canada. June 21-24, 2021

Foulon, E., A.N. Rousseau, E. Jr. Scarpari Spolidorio, K. Abbasnezhadi. 2020. High resolution data for semi-distributed hydrological modeling: where should we draw the line? EGU2020-12045 | Displays | HS2.2.1, Mon, 04 May, 10:45–12:30 | D193.

Paquette, A.*; Pellerin, S.; Poulin, M. 2019. Dynamique des milieux humides de la base de plein-air de Sainte-Foy : causes des changements floristiques et perspectives de restauration - Affiche. 10e Colloque annuel du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec, Montréal, Canada

Conférences locales

Gordon, C.A., E. Foulon, A.N. Rousseau. 2022. Cartographie de l'étendue d'inondation à l'aide de courbes de tarage synthétiques et d'un modèle numérique d'altitude. Colloque RHQ22 – La recherche hydrologique au Québec - 4e édition - Imaginer l'hydrologie de demain. Amphithéâtre de l'École nationale d'administration publique (ENAP) 550 boul. Charest est, Québec (Canada) 5-6 mai 2022.

Goyette J-O, Savary S, Rousseau A N, Pellerin S, Poulin M. 2022. Établissement des cibles de restauration de milieux humides pour compenser l'effet des changements climatiques sur les débits en rivières. Colloque EDS. March 30, 2022. Université Laval. Québec, Canada

Paquette, A., S. Pellerin & M. Poulin. 2021. Oral. Identification des besoins de restauration pour les milieux humides et zones forestières à la base de plein air de Sainte-Foy. Journée québécoise des étudiants du Centr'Eau. En ligne.

Paquette A, Pellerin S, Poulin M. 2020. Identification des besoins de restauration pour les milieux humides et zones forestières à la base de plein air de Sainte-Foy. 11e Colloque du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec, Online, Montréal, Canada. Décembre 15-16.

Paquette A, Pellerin S, Poulin M. 2020. Identification des besoins de restauration pour les milieux humides et zones forestières à la base de plein air de Sainte-Foy. Journée québécoise des étudiants du CentrEau, École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada. Mars 20.

Paquette A, Pellerin S, Poulin M. 2019. Dynamique des milieux humides de la base de plein-air de Sainte-Foy : causes des changements floristiques et perspectives de restauration. 10e Colloque annuel du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec, McGill, Montréal, Canada. December 18-20.

Goyette J-O, Mendes P, Cimon-Morin J, Thériault M, Pellerin S, Poulin M. 2019. Speed talk. Planning wetland conservation, restauration and creation for the safeguard of ecosystem services to local beneficiaries. 10e Colloque annuel du Centre de la Science de la Biodiversité du Québec, Montréal, Canada. Décembre 19.

Savary S, Rousseau A, Poulin M. 2019. Évaluation des services hydrologiques des milieux humides - cas du bassin versant de la rivière Saint-Charles, Ville de Québec. La télédétection et l'eau dans tous leurs états. Conférence de l'Association québécoise de télédétection. Université Bishops, Montréal, Canada. Mai 15-19.

Conférences invitées

Goyette J-O, Deslandes J., Poulin M. 2023. La planification de la restauration des milieux humides appuyée par la science. Forum national sur les plans régionaux des milieux humides et hydriques. Québec. 21-22 février.

Poulin M., J-O Goyette, Rousseau AN, Savary S, Deslandes J, Pellerin S. 2022. Allier la science au travail des gestionnaires pour assurer le maintien des milieux humides et de leur rôle pour notre société. Conférence donnée dans le cadre de la Journée mondiale des zones humides : agir pour les zones humides, c'est agir pour l'humanité et la nature, organisée par le Groupe de recherche en Écologie des Tourbières et l'Assemblée Nationale. 2 Février, Québec, Canada.

Deslandes J, J-O Goyette, M Poulin. 2021. Retours d'expériences - partenariat Collectivité / Recherche : accompagnement grâce à l'application d'outils de planification. Ville perméable, webinaire France-Québec. Déploiement des techniques de gestion à la source des eaux pluviales : retours d'expériences standardisation et accompagnement. November 3rd, 2021.

Poulin M. 2020. Ville perméable. Mobiliser l'ensemble des acteurs pour une gestion intégrée et une ville résiliente. Webinaire sous forme de table ronde : 'Animer une dynamique territoriale en faveur de villes plus perméables en associant les acteurs. November 3rd, 2020.

Poulin M, Rousseau AN, Savary S, Goyette J-O, Pellerin S, Cimon-Morin J, Deslandes J. 2020. La création d'un réseau de milieux humides à protéger et à restaurer pour maintenir leur rôle dans la régulation des cours d'eau. 8e Symposium d'Ouranos. Session no 25 : 's'adapter pour concilier les usages de l'eau'. En visio-conférence. November, 6, 2020.

Poulin M, Goyette J-O, Pellerin S, Cimon-Morin J, Deslandes J. 2019. La protection des milieux humides et de leurs services écologiques en paysage urbain. Colloque annuel de l'Association des biologistes du Québec. Biologie urbaine : un travail d'Équipe, un enjeu de société. Hotel Travelodge, Québec, Québec, Canada. November 14-15.

Poulin M, Goyette J-O, Cimon-Morin J, Pellerin S. 2019. Prévoir la conservation et la restauration des milieux humides dans le contexte des plans régionaux. Colloque annuel de l'Institut EDS, Université Laval, Québec, Québec, Canada. February 27, 2019

Affiches

Blanchette, M., A.N. Rousseau, E. Foulon. 2022. Identification des facteurs affectant le comportement hydrologique des milieux humides via une analyse de sensibilité globale et spatio-temporelle appliquée au modèle HYDROTEL. Affiche no29. Symposium Ouranos, Centre des congrès de Québec (Canada) 1-2 décembre.

Gordon C, Foulon E, Rousseau, A.N. 2022. Floodplain mapping based on derived synthetic rating curves linked to simulated streamflows. American Geophysical Union, Nouvelle-Orleans, Affiche

Gordon, C., E. Foulon, A.N. Rousseau. 2022. Application d'un cadre simplifié pour la délimitation de l'étendue des inondations et la dérivation de courbes de tarage synthétiques dans de petits bassins versants. Affiche no25. Symposium Ouranos, Centre des congrès de Québec (Canada) 1-2 décembre.

Savary S, JO Goyette, AN Rousseau, S Pellerin, M Poulin. 2022. Poster. Établissement de cibles de restauration de milieux humides pour compenser les effets des changements climatiques sur les débits. Cas de la rivière Saint-Charles. Symposium Ouranos. Centre des congrès de Québec (Canada) 1-2 décembre.

BIBLIOGRAPHIE

(voir fiches synthèses et annexes pour une bibliographie complète de chaque projet)

- Beechie, T. J., D. A. Sear, J. D. Olden, G. R. Pess, J. M. Buffington, H. Moir, P. Roni, and M. M. Pollock. 2010. Process-based principles for restoring river ecosystems. *Bioscience* 60:209-222.
- Detenbeck, N. E., S. M. Galatowitsch, J. Atkinson, and H. Ball. 1999. Evaluating perturbations and developing restoration strategies for inland wetlands in the Great Lakes basin. *Wetlands* 19:789-820.
- Fossey, M., and A. N. Rousseau. 2016. Can isolated and riparian wetlands mitigate the impact of climate change on watershed hydrology? A case study approach. *Journal of Environmental Management* 184:327-339.
- Fossey, M., A. N. Rousseau, and S. Savary. 2016. Assessment of the impact of spatio-temporal attributes of wetlands on stream flows using a hydrological modelling framework: a theoretical case study of a watershed under temperate climatic conditions. *Hydrological Processes* 30:1768-1781.
- González, E., A. A. Sher, E. Tabacchi, A. Masip, and M. Poulin. 2015. Restoration of riparian vegetation: a global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer-reviewed literature. *Journal of Environmental Management* 158:85-94.
- Jones, K. B., E. T. Slonecker, M. S. Nash, A. C. Neale, T. G. Wade, and S. Hamann. 2010. Riparian habitat changes across the continental United States (1972–2003) and potential implications for sustaining ecosystem services. *Landscape Ecology* 25:1261-1275.
- Kline, M., and B. Cahoon. 2010. Protecting river corridors in Vermont 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 46:227-236.
- Mitsch, W. J., and J. G. Gosselink. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics* 35:25-33.
- Nazarnia, N. 2013. Measurement of urban sprawl in the metropolitan areas of Montreal and Quebec over 60 years. Concordia University.
- Verkerk, J., and A. van Buuren. 2013. Integrated water resources management in the Netherlands. Historical trends and current practices in the governance of integration. *International Journal of Water Governance* 1:427-452.
- Zedler, J. B., and S. Kercher. 2005. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30:39-74.