

STRATÉGIES FONDÉES SUR LA NATURE POUR L'ATTÉNUATION DES RISQUES D'INONDATION EN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE

ÉTUDE DE CAS DU BASSIN VERSANT RIVIÈRE-À-LA-TRUITE

RÉSUMÉ À L'INTENTION DES DÉCIDEURS

DÉCEMBRE 2022



Stratégies fondées sur la nature pour l'atténuation des risques d'inondation en contexte de changement climatique : Étude de cas du bassin versant Rivière-à-la-truite

Document préparé et rédigé par Stéphanie Paradis-Léger

Sous la direction de Dodick Gasser

Avec la collaboration de :

- Laurie Vidal
- Gordon Fairchild
- Fares Dhane
- Alexandra Lang-Lavoie
- Thomas Labelle

RESPONSABLE



PARTENAIRES



This project was undertaken with the financial support of:
Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :



Environment and
Climate Change Canada

Environnement et
Changement climatique Canada





RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Les projections des modèles climatiques pour l'est du Canada prévoient une amplification de la fréquence et de la magnitude des inondations sous l'effet d'averses torrentielles, de fonte des neiges rapide et de la formation d'embâcles de glace. Les infrastructures d'ingénierie conventionnelles, telles que les barrages et les murs de retenue, offrent peu de flexibilité d'adaptation à ces nouvelles réalités climatiques. De plus, elles procurent des bénéfices limités en matière d'avantages environnementaux et sociaux.

Compte tenu de ces faits, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer les stratégies d'aménagement fondées sur la nature les plus appropriées pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite afin d'atténuer les risques d'inondation en contexte de changements climatiques.

La caractérisation du risque démontre que les principaux types d'inondations dans le bassin sont les débordements en eau libre, ainsi que les refoulements de la rivière Madawaska et des égouts pluviaux municipaux.

Les facteurs contribuant à ces risques dérivent principalement des conditions climatiques dans le bassin et sont exacerbés par les activités humaines liées à l'aménagement des cours d'eau, aux changements du couvert végétal et à l'utilisation du territoire.

L'analyse du concept de solutions fondées sur la nature, et plus spécifiquement des techniques liées aux aménagements naturels et fondées sur la nature, démontre que celles-ci représentent une alternative viable aux infrastructures conventionnelles. Sur cette base, l'élaboration de stratégies d'aménagement pour l'atténuation des risques d'inondation à l'échelle du bassin versant se fonde sur deux méthodologies. Tout d'abord, l'élaboration d'une analyse multicritère selon des indicateurs de performance technique, environnementale, sociale et économique a permis d'effectuer une sélection d'aménagements maximisant les bénéfices et adaptée au contexte local. Dans un deuxième temps, la réalisation de cartes d'aptitude pour chaque aménagement a contribué à l'identification de zones prioritaires pour l'établissement de ceux-ci selon les principales opportunités et contraintes du territoire.

En fonction de ces résultats, les stratégies d'aménagement proposées constituent des outils d'aide à la décision pour les intervenants locaux afin d'élaborer un plan d'action avisé pour l'atténuation des risques d'inondation dans le bassin versant. Afin d'assurer la réussite de sa mise en œuvre et maximiser les bénéfices des aménagements, la gestion du projet devra intégrer des initiatives d'atténuation des risques ainsi qu'une approche adaptative et systémique.

FAITS SAILLANTS DE L'ÉTUDE

- Les caractéristiques physiques et la forte proportion de couvert naturel dans le bassin versant modèrent les risques d'inondation et facilitent la mise en œuvre d'une approche préventive.
- Les solutions fondées sur la nature offrent une alternative résiliente et rentable pour la gestion des risques d'inondation, en plus de générer des co-bénéfices environnementaux et sociaux.
- L'utilisation d'outils d'aide à la décision, tels que l'analyse multicritère et les cartes d'aptitude, fournit des données pertinentes afin d'élaborer des stratégies d'aménagement fondées sur la nature pour l'atténuation des risques d'inondation en fonction du contexte local et des caractéristiques physiques du territoire.

TABLE DES MATIÈRES

01

INTRODUCTION 01

02

MISE EN CONTEXTE 03

03

ANALYSE DES
RISQUES 06

04

SOLUTIONS FONDÉES
SUR LA NATURE 16

05

RÉSULTATS 20

06

RECOMMANDATIONS 33

07

CONCLUSION 39

08

ANNEXES 41

INTRODUCTION

Les inondations constituent les aléas naturels les plus dommageables et les plus fréquents au Canada. Chaque année, elles engendrent en moyenne plus d'un milliard de dollars en dommages directs aux biens, aux infrastructures et aux résidences, en plus de causer d'importants impacts pour la santé physique et psychosociale des citoyens^[1]. Par ailleurs, les projections climatiques indiquent que la fréquence et la magnitude de ces aléas seront grandement amplifiées par les phénomènes de changements climatiques^[2].

Le bassin versant Rivière-à-la-Truite, situé à cheval sur les provinces du Québec et du Nouveau-Brunswick, a récemment connu une succession d'importantes inondations printanières, occasionnant de nombreux frais pour les résidents et la municipalité. Devant les risques accrus d'inondation, il s'avère crucial de développer des stratégies d'adaptation afin d'accroître la résilience des communautés dans un processus de gestion intégrée de l'aménagement du territoire et de ses ressources hydrologiques.

Dans cette visée, ce projet d'étude vise à élaborer des stratégies d'aménagement fondées sur la nature pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite afin d'atténuer les risques d'inondation en contexte de changements climatiques.

OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- Caractériser le risque d'inondation pour le bassin versant.
- Définir et encadrer le concept de solutions fondées sur la nature.
- Sélectionner et évaluer des solutions fondées sur la nature selon les principes du développement durable et les priorités locales.
- Développer des stratégies prioritaires d'aménagement du territoire fondées sur la nature en fonction des caractéristiques du bassin versant.
- Émettre des recommandations.

[1] Gouvernement du Canada. (2022). [Cartographie des inondations](#).

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). [Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability](#).

MISE EN CONTEXTE

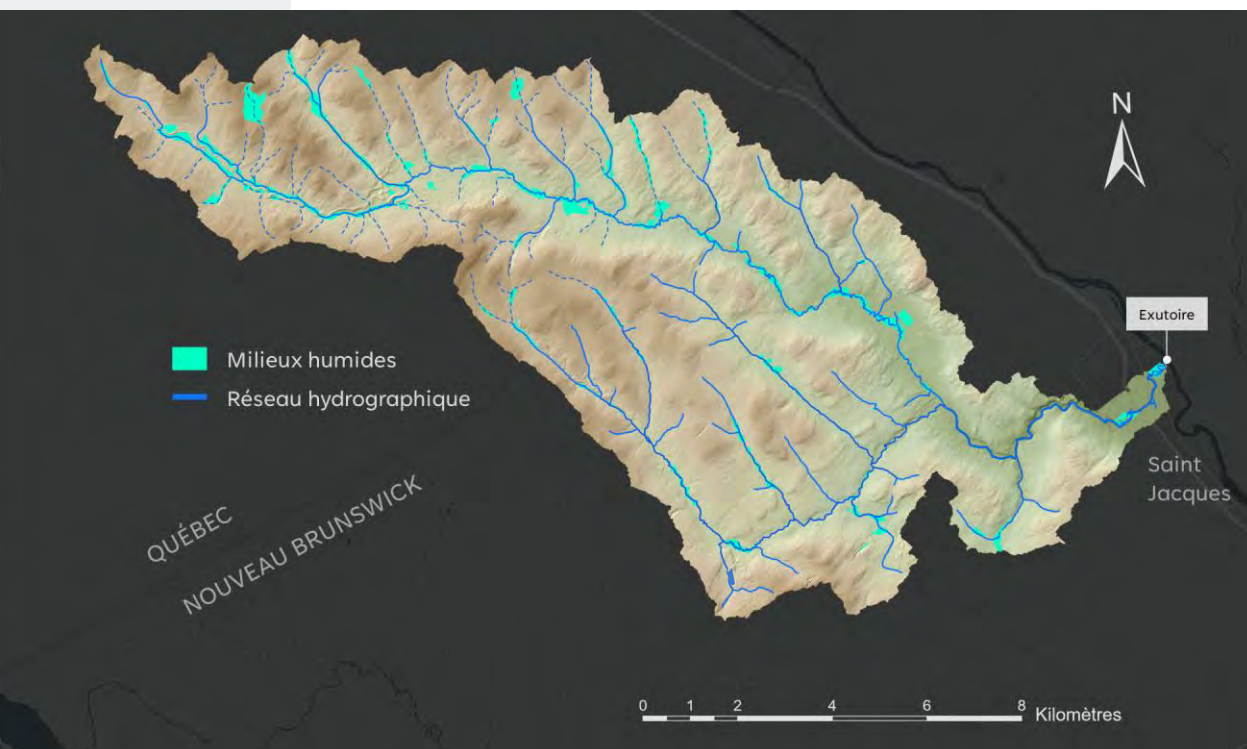
CARACTÉRISTIQUES NATURELLES

Le bassin versant Rivière-à-la-Truite couvre une superficie de 117 km² délimitée par un périmètre de 115 km. Son principal cours d'eau est la rivière à la Truite qui s'écoule selon un axe sud-est sur 34,3 km vers l'exutoire, la rivière Madawaska. La longueur cumulée de son réseau hydrographique est de 116 km.

Les milieux humides représentent une superficie de 4,45 km², soit 3,8 % du territoire. Les principaux types observés sont les milieux humides forestiers et arbustifs. Deux étangs permanents se trouvent au sud du territoire, le plus grand étant connu sous le nom de Petit Lac-Saint-Jean.

FIGURE 1

Carte du bassin versant Rivière-à-la-Truite



Le territoire présente une topographie plutôt accidentée avec des altitudes maximales et minimales de 477 et 143 mètres. Son relief est caractérisé par des vallées et une pente moyenne modérée de 14,7%. La pente moyenne du plus long cours d'eau, soit la rivière à la Truite, est considérée comme faible à 7,6 m/km. Le temps de concentration pour le bassin versant est estimé à 5,79 heures.

Les principaux sols observés sur le territoire sont de type loameux et la majorité des sols présentent un drainage de modéré à rapide.

Le territoire du bassin versant se situe au sein de l'écodistrict Madawaska et de la région écologique Collines des moyennes Appalaches. Les essences d'arbres caractéristiques de cette région sont les feuillus tolérants, ainsi qu'une plus faible proportion de peuplements résineux^{[3][4]}. Deux espèces de plantes vasculaires reconnues comme étant en péril ont été identifiées dans la région du Nord-Ouest, dont l'espèce endémique de la pédiculaire de furbish^[7]. Le bassin présente également plusieurs habitats favorables pour l'omble de fontaine, désignée comme espèce en voie de disparition en vertu de la Loi sur les espèces en péril du Canada^[5].

Le climat du territoire est de type continental froid, caractérisé par des hivers très froids et des étés tempérés, et affichant une moyenne de température annuelle de 3,8 °C. Les fonds de vallées disposent de microclimats en raison du relief prononcé du territoire, ce qui accentue les périodes de gel, étant plus hâtives à l'automne et plus tardives au printemps^[6]. Les précipitations sont abondantes, tant sous forme solide que liquide, et sont réparties sur tous les mois de l'année. La moyenne du total des précipitations annuelles atteint 1 195 mm.

TEMPS DE CONCENTRATION

La durée entre le début d'une précipitation et l'atteinte du débit maximal à l'exutoire du bassin versant.

[3] Ministère des Ressources Naturelles du Nouveau-Brunswick. (2007). Notre patrimoine du paysage : l'histoire de la classification écologique des terres du Nouveau-Brunswick.

[4] Gouvernement du Québec. (2022). Forêt Ouverte.

[5] Comité de l'aménagement rural du Nord-Ouest (CARNO). (s. d.). Portrait régional du Nord-Ouest du Nouveau-Brunswick. [Document interne, fichier PDF].

[6] Organisme de bassin versant du fleuve Saint-Jean (OBV Saint-Jean). (2018). Cahier de planification intégrée pour l'omble de fontaine dans le bassin versant à la Truite.

Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent l'intensité et la durée des crues, soit l'augmentation prononcée du débit et de la hauteur d'un cours d'eau à la suite de la fonte des neiges ou de pluies abondantes.

IMPACTS DES CARACTÉRISTIQUES NATURELLES SUR LES CRUES POUR LE BASSIN VERSANT RIVIÈRE-À-LA-TRUITE.

FACTEURS MODÉRATEURS

- Forme allongée du bassin
- Pente moyenne faible de la rivière à la Truite
- Nombreux milieux humides
- Faible densité de drainage
- Drainage des sols majoritairement bon

FACTEURS AMPLIFICATEURS

- Forte pluviométrie
- Accumulation de neige importante
- Relief accidenté

OCCUPATION DU TERRITOIRE

Le territoire du bassin versant est caractérisé par la prépondérance du couvert forestier. Les opérations forestières représentent ainsi la principale utilisation du territoire en matière de superficie. Les terres agricoles, principalement dédiées au pâturage et à la culture fourragère de foin et de céréales, couvrent seulement 0,9 km² du bassin.

TYPE D'OCCUPATION		% DE LA SUPERFICIE
Forêt	Couvert 75 à 100 %	53 %
	Couvert 25 à 75 %	21 %
	Plantations	12 %
	Coupes totales	6 %
Réseau hydrographique		4 %
Infrastructures routières		2 %
Agriculture		1 %
Zones urbaines		1 %

Les infrastructures répertoriées sur le territoire sont les réseaux de transport, incluant les axes routiers, les chemins forestiers et les sentiers pédestres et motorisés. Le secteur industriel est composé de carrières actives, d'une usine de traitement des eaux usées située à proximité, de lagunes d'eau potable non utilisées, de bâtiments industriels, d'entrepôts et de stationnements. La majorité de la zone résidentielle se trouve en aval de la rivière à la Truite près de son exutoire, à l'embouchure sur la rivière Madawaska.

La tenure des terres boisées est entièrement publique dans la portion québécoise du bassin versant. Au Nouveau-Brunswick, la majorité des terres sont des lots boisés d'affectation privée. En 2021, la population de la municipalité d'Edmundston était recensée à 16 437 habitants, selon une densité de 153,8 par km² [7]. Un sommaire de la gestion des ressources en eau et de l'aménagement du territoire dans la région, ainsi que l'identification des principales parties prenantes concernées par le projet, peut être consulté à l'annexe 1.

ANALYSE DES RISQUES

Les inondations constituent un processus naturel des rivières. Ce phénomène favorise l'apport d'éléments nutritifs sur les plaines et réduit l'accumulation de sédiments dans les cours d'eau. Cependant, plusieurs problématiques peuvent survenir lorsque les cours d'eau inondent les territoires dédiés à l'occupation et aux activités humaines.

La modélisation des risques d'inondation démontre d'importantes superficies inondées en aval du bassin versant selon une récurrence de 20 et 100 ans. Il est estimé que pour ces événements, les surfaces inondées totaliseront respectivement 0,6 et 0,8 km², représentant près de 1,1 et 1,4 million de m³ en volume d'eau [8].

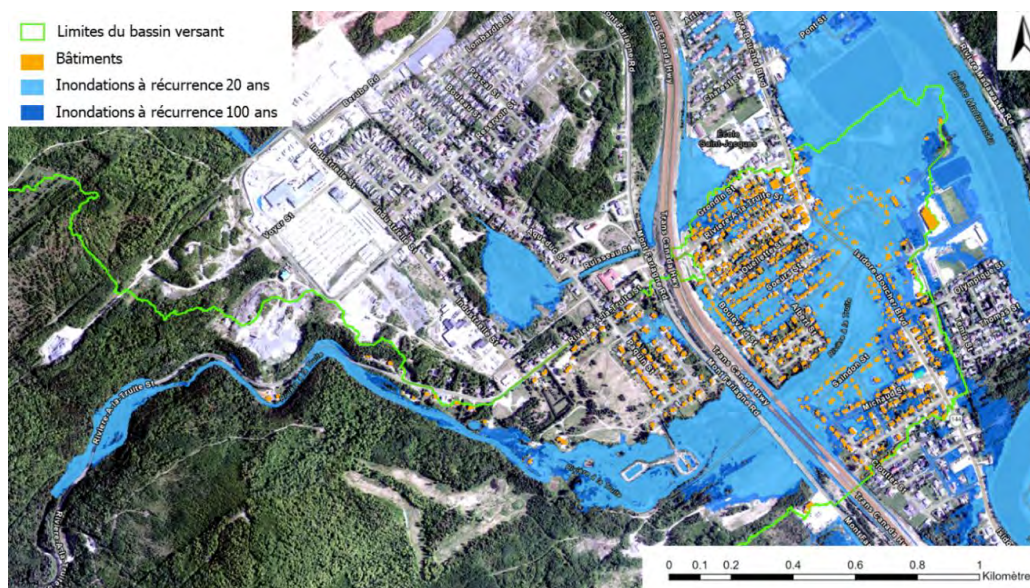
Les infrastructures à risque incluent des propriétés privées, commerciales, et municipales, ainsi que plusieurs routes principales et secondaires, dont un tronçon de l'autoroute Transcanadienne. Cette dernière représente la principale voie d'évacuation du district et d'accès aux services d'urgence tels que les hôpitaux, les postes de police et les casernes de pompier.

[7] Statistique Canada. (2016). [Profil du recensement, Recensement de 2021, Edmundston](#).

[8] Service Nouveau Brunswick (SNB). (2022). [Carte des zones inondables du Nouveau-Brunswick](#).

FIGURE 2

Zones inondables du bassin versant Rivière-à-la-Truite



De plus, 6 ponts se situent en zone inondable dont trois évalués comme ayant une capacité hydraulique insuffisante pour supporter les hautes eaux de la rivière^[9]. Représentant 28 % de la population, les personnes âgées de 65 ans et plus sont considérées comme étant davantage vulnérables^[10]. Notamment, deux foyers de personnes âgées sont recensés dans la zone inondable.

L'usine de traitement des eaux usées et sa lagune se trouvent en plaine inondable, posant le risque de contamination des eaux en aval. Plusieurs embouchures d'égouts sanitaires sont à risque d'être submergées sur le territoire, ayant précédemment occasionné des déversements d'eau contaminée dans les cours d'eau.

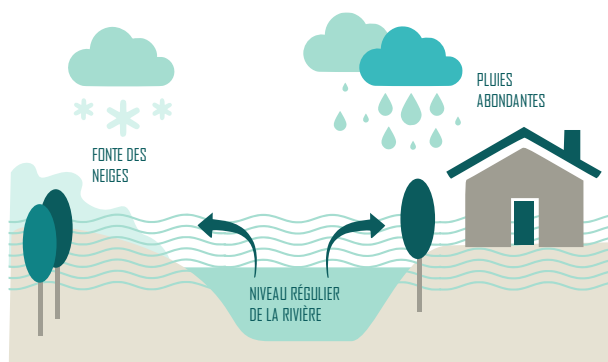
Un système de surveillance des hauteurs d'eau est positionné à la hauteur du pont du boulevard Isidore-Boucher, ainsi qu'un signal SCADA situé dans un trou d'homme. Ces installations permettent de réduire partiellement la vulnérabilité en avertissant les autorités lors de crues afin qu'elles puissent installer des pompes à diesel. Cependant, cette solution est dispendieuse d'un point de vue monétaire et énergétique, entraînant des frais jusqu'à 45 000 \$ par année pour la municipalité. De plus, il existe des risques considérables associés à la défaillance du système ou la l'indisponibilité des pompes lors d'une situation d'urgence.

[9] Groupe Aster. (2020). Plan d'adaptation aux changements climatiques pour la Ville d'Edmundston.

[10] Statistique Canada. (2016). *Profil du recensement, Recensement de 2016*, Edmundston.

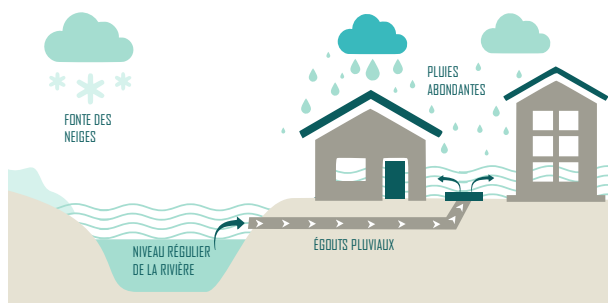
PRINCIPAUX TYPES D'INONDATION DANS LE BASSIN

Les inondations sur le territoire sont principalement associées aux conditions printanières, lorsque se produisent des averses abondantes, des fontes des neiges rapides, ou une combinaison des deux événements. Lors de cette période, les sols sont habituellement saturés en eau et potentiellement gelés, entravant ainsi l'infiltration et provoquant un ruissellement important et rapide des pluies vers les rivières dont les niveaux augmentent rapidement.



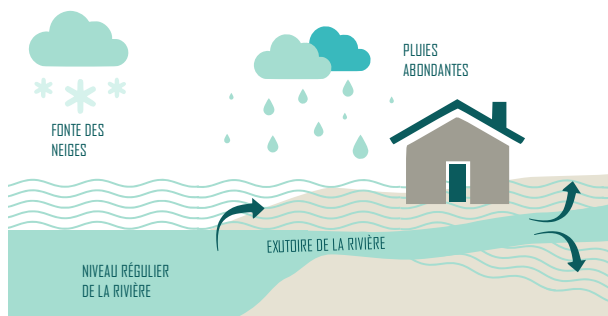
INONDATIONS EN EAU LIBRE

Augmentation significative des hauteurs d'eau de la rivière, causant des débordements sur les terres adjacentes.



REFOULEMENT DES ÉGOUTS

Retour d'eau dans les canaux d'égouts pluviaux lorsque la hauteur de la rivière dépasse le niveau de l'embouchure du canal, causant des inondations en zone urbaine.



REFOULEMENT DE LA RIVIÈRE

Retour d'eau dans la rivière à la Truite lorsque le niveau de la rivière Madawaska augmente rapidement, causant des débordements sur les terres adjacentes.

MODIFICATIONS DU TERRITOIRE

Lorsqu'un bassin versant est à l'état naturel, sa morphologie et ses composantes naturelles absorbent et ralentissent les écoulements causés par les pluies abondantes et la fonte des neiges rapides. Toutefois, des changements de l'occupation du territoire, de l'utilisation des terres et du couvert végétal peuvent dégrader ces fonctions. Ainsi, les modifications du territoire peuvent réduire sa capacité à absorber les hautes eaux, en plus d'augmenter les quantités d'eau vers les milieux récepteurs.

MODIFICATIONS DES RIVIÈRES

Le tracé naturel de la rivière résulte d'une recherche constante d'équilibre entre l'énergie de l'eau et la charge en sédiments. Ainsi, les rivières créent des méandres où s'alternent les rives d'érosion et de sédimentation. Des altérations à la dynamique naturelle des rivières entraînent donc des déséquilibres, pouvant aggraver les risques d'inondation.^[11]

PONTS ET PONCEAUX

Niveau d'impact estimé : Très élevé



Principaux effets :

- Effet d'entonnoir accélérant la vitesse d'écoulement et augmentant l'érosion en aval
- Retenue d'eau en amont causant des débordements
- Surcharge hydraulique importante lors d'effondrements

Sur le territoire du bassin versant Rivière-à-la-Truite, 80 ponts et ponceaux ont été recensés, dont 55 au Québec et 25 au Nouveau-Brunswick^[12]. Toutefois, plusieurs de ces infrastructures ont été conçues et installées il y a de nombreuses années et ne sont plus adéquates pour accommoder les débits d'eau lors des crues actuelles. De ce fait, une étude a démontré que près de 75 % des ponceaux de la région du Nord-Ouest au Nouveau-Brunswick sont sous-dimensionnés^[13].

[11] Fort, M., Bétard, F. et Fassetta, G. A. (2015). Géomorphologie dynamique et environnement. Éditions Armand Colin. France.

[12] Organisme de bassin versant du fleuve Saint-Jean (OBV Saint-Jean). (2018). [Cahier de planification intégrée pour l'omble de fontaine dans le bassin versant à la Truite.](#)

[13] Groupe Aster. (2020). Plan d'adaptation aux changements climatiques pour la Ville d'Edmundston.

MODIFICATIONS DU LIT DE LA RIVIÈRE

Niveau d'impact estimé : Élevé



Principaux effets :

- Incision du lit de la rivière
- Dépôt excessif de sédiments dans le cours d'eau
- Amplification de l'érosion en aval
- Augmentation du débit et des niveaux d'eau

L'analyse de photographies aériennes historiques démontre que la zone aval de la rivière à la Truite a subi plusieurs modifications anthropiques durant les dernières décennies (voir annexe 2). Ainsi, la sinuosité du cours d'eau a été réduite par la linéarisation et le comblement de bras secondaires sur plusieurs endroits. De plus, d'importantes superficies autrefois occupées par des milieux humides ont été remblayées afin d'accommoder le développement résidentiel et la construction de l'autoroute

Transcanadienne. Plusieurs rives en milieux urbains ont été rehaussées et stabilisées par des murs de retenue de gabions. Par ailleurs, la rivière fut réaménagée en amont de l'autoroute pour l'installation de lagunes, causant une perte de la complexité morphologique.

ALTÉRATIONS DES DYNAMIQUES SÉDIMENTAIRES

La présence de sédiments dans les cours d'eau est essentielle pour la diversification des habitats et l'apport d'éléments nutritifs^[14]. Cependant, leur excès peut causer des problèmes pour l'écosystème et augmenter les risques d'inondation. Le rehaussement du fond de la rivière par accumulation de sédiments est un problème récurrent en aval du bassin versant Rivière-à-la-Truite. Afin de résoudre la problématique, un dragage fut effectué par la ville en 2018, mais les niveaux sédimentaires se sont reconstitués en 2019. Pourtant, une étude réalisée en 2017 démontre que le bassin présente un risque très faible d'érosion en raison de ses caractéristiques physiques^[15]. L'accumulation excessive de sédiments dans la rivière résulte ainsi vraisemblablement de l'occupation et de l'utilisation du territoire.

[14] Hauer, C., Leitner, P., Unfer, G., Pulg, U., Habersack, H. et Graf, W. (2018). The Role of Sediment and Sediment Dynamics in the Aquatic Environment. *Riverine Ecosystem Management*, 8, 151-169.

[15] Comité de l'aménagement rural du Nord-Ouest (CARNO). (2017). Plan de gestion visant des bassins hydrographiques désignés. [Document interne, fichier PDF].

CHEMINS FORESTIERS ET PASSAGES À GUÉ

Niveau d'impact estimé : Très élevé



Principaux effets :

- Augmentation de l'érosion de surface
- Augmentation de la charge en sédiments dans les cours d'eau
- Réduction de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol
- Intensification du ruissellement de surface vers les rivières

Le territoire du bassin versant est parsemé d'un vaste réseau de routes et chemins forestiers, totalisant près de 406 km linéaires. Ces chemins sont principalement voués à l'industrie forestière, mais sont également utilisés pour les activités récréotouristiques telles que la pratique du véhicule tout-terrain (VTT). De plus, malgré une réglementation stricte interdisant les traversées dans les cours d'eau par les véhicules et la machinerie, plusieurs passages à gué ont été recensés sur le territoire lors d'une visite sur le terrain.

AMÉNAGEMENTS DES FOSSÉS

Niveau d'impact estimé : Modéré



Principaux effets :

- Augmentation de la charge en sédiments dans les cours d'eau
- Intensification du ruissellement de surface vers les rivières

La mise en place d'un réseau de drainage en milieu forestier permet d'évacuer rapidement les eaux de pluie et d'assurer le drainage des sols, notamment afin de protéger la stabilité structurelle des chemins. Lors d'une visite sur le terrain, plusieurs kilomètres de fossés dénudés ont été observés sur le territoire. De nombreux cas d'affaissement et d'obstruction de ponceaux ont également été recensés

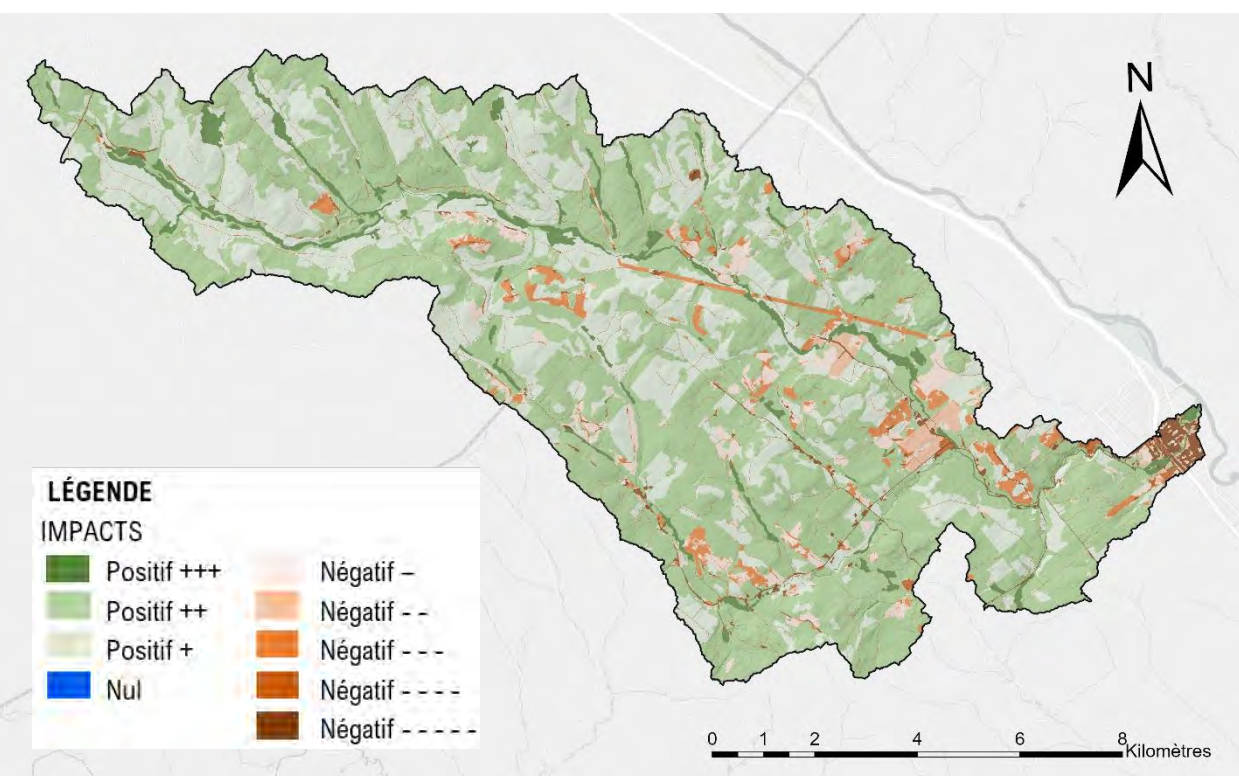
en raison de l'accumulation de sédiments dans les fossés, causant l'inondation localisée des chemins.

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Les différents usages du territoire exercent une influence considérable sur les paramètres physiques et biochimiques des milieux naturels. L'anthropisation des écosystèmes a un impact important sur le cycle de l'eau, notamment sur la capacité du territoire à réguler les niveaux d'eau. Des modifications des types de couverture du sol affectent les conditions de ruissellement, d'écoulement et d'infiltration, ainsi que les capacités de rétention de l'eau sur la surface et dans les sols. Les degrés d'impact estimés des modifications de la couverture du sol sur le cycle hydrologique dans le bassin versant sont présentés à la figure 3.

FIGURE 3

Couverture du sol et impacts sur la capacité de régulation des inondations



COUPES FORESTIÈRES

Niveau d'impact estimé : Élevé



Principaux effets :

- Réduction de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol
- Augmentation de l'érosion de surface et formation de rigoles
- Intensification du ruissellement de surface vers les rivières
- Fonte des neiges plus rapide
- Réduction de l'évapotranspiration

Sur le territoire du bassin versant, environ 29 % de la superficie totale a été sujette à des interventions forestières dans les 15 dernières années, incluant les coupes totales et partielles, et les plantations de stades semis et gaulis. Dans la portion québécoise, nous observons principalement des coupes forestières partielles et des plantations jeunes et immatures. Sur le territoire situé au Nouveau-Brunswick, nous constatons une exploitation forestière plus intensive, notamment sur les terres dédiées aux lots boisés privés. Nous y observons ainsi davantage de coupes totales,

une plus faible proportion de plantations et un couvert végétal plus clairsemé (entre 25 et 75% de canopée). Selon la Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick, l'intensité des pratiques d'exploitation forestière résulterait notamment des pressions économiques sur les petits producteurs, causées par la faible marge de profit et la réglementation favorisant les grandes industries commerciales^[16].

DÉVÉGÉTALISATION DES BANDES RIVERAINES

Niveau d'impact estimé : Modéré



Lors d'une caractérisation effectuée en 2015, la Société d'aménagement de la rivière Madawaska (SARM) a démontré que plus de 64 % des bandes riveraines sur les terrains

privés du bassin présentaient une faible capacité à remplir leurs fonctions écosystémiques à la suite du retrait de la végétation indigène et de l'enrochement des rives.

[16] Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick. (2021). *Missed Opportunities and Misplaced Priorities*.

Principaux effets :

- Augmentation de l'érosion et des risques d'effondrement des rives
- Augmentation de la charge en sédiments et en polluants dans les cours d'eau.
- Perte de la fonction de régulation des débits

De plus, une étude de la portion du territoire situé au Nouveau-Brunswick a recensé près de 5,6 km de bandes riveraines sans aucune végétation ^[17]. Par ailleurs, certains tronçons de la route longeant les cours d'eau ont également été enrochés afin de réduire les dépenses associées à la reconstruction des routes.

URBANISATION

Niveau d'impact estimé : Très élevé



Principaux effets :

- Réduction de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol
- Intensification du ruissellement de surface vers les rivières
- Diminution du temps de montée de la crue
- Refoulement des égouts

Malgré la faible proportion de superficie bâtie dans le bassin versant, la problématique est accrue en raison de son emplacement en plaine inondable. De ce fait, par méconnaissance du risque ou de la situation, plusieurs bâtiments résidentiels et commerciaux ont été construits sur des terrains riverains naturellement sujets aux débordements des cours d'eau. Par ailleurs, afin d'évacuer rapidement les eaux pluviales des zones urbaines, un système de drainage parcourt les rues et se déverse directement dans

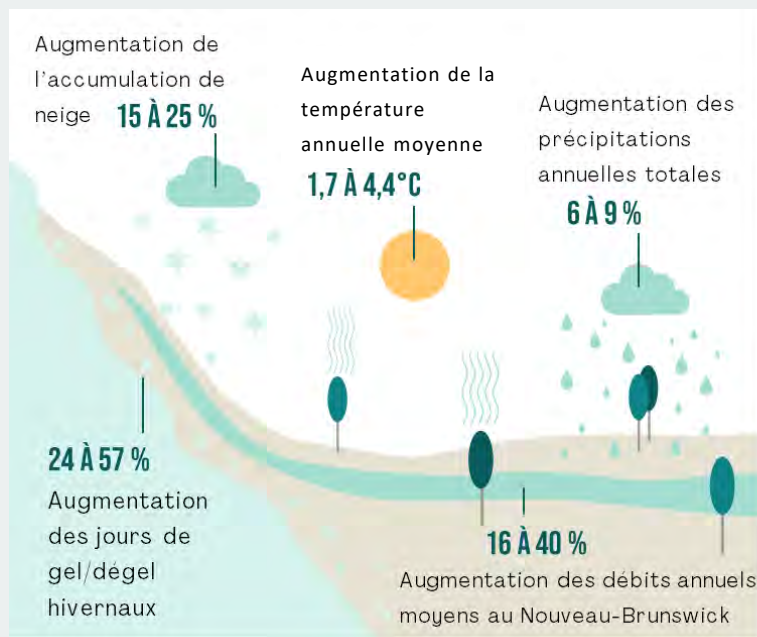
la portion aval de la rivière à la Truite. Lorsque le niveau de la rivière augmente au-dessus de l'embouchure du canal, nous observons un refoulement des égouts pluviaux en amont du pont à la hauteur du boulevard Isidore-Boucher, inondant les terres adjacentes et les résidences situées à proximité.

[17] Commission de l'aménagement rural du Nord-Ouest. (2018). Gestion durable des bassins hydrographiques désignés. [Document interne,].

IMPACTS ANTICIPÉS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques provoqueront l'intensification du cycle hydrologique à l'échelle du globe. Ces bouleversements auront nécessairement des impacts sur l'équilibre hydrodynamique de la région, et conséquemment sur les risques d'inondation. Les changements suivants sont à anticiper pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite selon les scénarios d'émission^[18].

**D'ICI
2080**



La combinaison de ces effets provoquera de nombreuses perturbations des conditions d'écoulement des rivières. Ainsi, les débits et niveaux des cours d'eau augmenteraient significativement durant les périodes hivernales et printanières. Ces modifications entraîneront notamment la désuétude de plusieurs ouvrages qui ne pourront plus supporter les charges hydrauliques. Les éléments les plus vulnérables seront les ponts, les ponceaux, les infrastructures en plaine inondable et les réseaux de drainage de surface.

D'ici 2100, le volume d'inondation pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite sont prévus d'augmenter de 34 % pour les événements de récurrence 20 ans, pour un total de 1,4 million m³ d'eau.

[18] Commission des services régionaux Nord-Ouest (CSRNO). (2019). *Prévisions climatiques municipales - Nord-Ouest*.

SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE

Le concept de solutions fondées sur la nature (SFN) fut introduit officiellement en 2009 par l'Union internationale de la conservation de la nature^[19]. Cette nouvelle approche mise sur la contribution des processus naturels afin de résoudre certains enjeux sociétaux, tels que l'atténuation des risques d'inondation. Le concept de SFN est un terme générique large qui englobe plusieurs approches écosystémiques visant le renforcement de la résilience des territoires via la conservation, la restauration et l'ingénierie de systèmes naturels^[20].

Aux fins de la présente étude, le concept de *Natural and Nature-Based Features (NNBF)* proposé par l'organisation U.S. Army Corps of Engineers a été retenu, traduit sous le terme d'« aménagements naturels et fondés sur la nature » (ANFN). Ceux-ci réfèrent à l'utilisation de caractéristiques naturelles du territoire à des fins fonctionnelles, soit dans le cas présent pour la réduction des risques d'inondation, tout en générant des bénéfices pour

l'environnement, l'économie et la société^[21]. Cette définition exclut ainsi les SFN non structurelles, telles que les initiatives de conservation, les processus de gouvernance et les changements de pratiques agricoles, industrielles et sociales. De plus, à des fins logistiques, les interventions sont

Les aménagements naturels et fondés sur la nature (ANFN) incluent les techniques de renforcement, de restauration et de création d'éléments naturels exerçant des fonctions d'ingénierie.

circonscrites à l'échelle de compétence municipale et du bassin versant, excluant les aménagements à l'échelle des résidences personnelles, tels que les toits verts ou les jardins de pluie. Enfin, l'étude intègre également des considérations conceptuelles et techniques associées à la permaculture en matière d'aménagement du territoire, telles que la rétention de l'eau en amont et la considération des lignes de contour topographique.

[19] Union International pour la Conservation de la Nature (UICN). (2020). [Standard mondial de l'UICN pour les solutions fondées sur la nature.](#)

[20] Nesshover, C. et al. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: an interdisciplinary perspective. *Science of the Total Environment*, 579, 1215-1227.

[21] Bridges, T. S. et al. (2021). International Guidelines on Natural and Nature Based Features for Flood Risk Management. U.S. Army Corps of Engineers.

PRINCIPES DIRECTEURS

1 Retenir l'eau à l'échelle paysagère

En augmentant l'infiltration dans les sols, en réduisant le ruissellement de surface, en gérant l'écoulement des eaux et en renforçant la connectivité hydrologique.

2 Créer un espace de liberté pour l'eau

En renforçant la connectivité et les interactions entre les cours d'eau et la plaine inondable, en préservant ou en restaurant l'équilibre sédimentaire et en ajustant la capacité hydraulique du chenal.

AVANTAGES ET BARRIÈRES DES ANFN

De nombreuses organisations, telles que le Cadre de Sendai et le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements, reconnaissent la nécessité d'utiliser des solutions fondées sur la nature pour l'atténuation des risques naturels^[22]. En effet, ces techniques offrent de nombreux avantages par rapport aux approches d'ingénierie conventionnelles.

MULTIFONCTIONNELS

Procurent de multiples bénéfices complémentaires pour l'environnement, la société et l'économie.

RÉSILIENTS

L'aménagement de structures vivantes et naturelles, de par leurs caractères évolutifs et dynamiques, s'adapte beaucoup plus facilement aux changements environnementaux.

PRÉVENTIFS

Visent la résolution des causes de la problématique plutôt que des conséquences, réduisant ainsi la vulnérabilité des communautés et renforçant ses capacités d'adaptation à long terme.

[22] Insurance Bureau of Canada (IBC). (2018). [Combatting Canada's Flood Risks: Natural Infrastructure Is an Underutilized Option](#).

DURABLES

Offrent un cycle de vie potentiellement illimité en s'appuyant sur les fonctions régénératrices des écosystèmes, contrairement aux structures conventionnelles de défense contre les inondations qui sont conçues selon un cycle de vie de 30 à 50 ans.

RENTABLES

Développent des mécanismes autorégulateurs qui réduisent les coûts d'entretien, ce qui augmente leur rentabilité à long terme.

Malgré les nombreux avantages de la mise en œuvre d'ANFN pour la réduction des risques d'inondation, certaines contraintes restreignent leur application et acceptabilité sociale, notamment en raison de la nouveauté relative du concept.

- **Manque de connaissances** : Incertitudes quant à la performance à long terme des aménagements en raison du manque de données par rapport au suivi et à l'évaluation des projets. Très peu de littérature conceptuelle et technique disponible traitant des spécificités pour leur mise en œuvre dans les conditions climatiques particulières canadiennes.
- **Déficit d'experts** : Manque de professionnels qualifiés pour la planification, la conception, la construction et le suivi des aménagements.
- **Méfiance** : Réticence de certains acteurs en raison de la méconnaissance du concept, pouvant complexifier le dialogue et l'engagement des principales parties prenantes.
- **Fragmentation sectorielle de la gouvernance** : Exige une collaboration multidisciplinaire, souvent sur plusieurs frontières administratives, complexifiant la gestion de projet.
- **Horizon temporel** : Dépend de l'évolution de composantes naturelles qui exige parfois plusieurs années avant de démontrer un retour sur l'investissement.
- **Contexte spécifique** : Exige la connaissance spécifique des paramètres locaux propres au site d'étude, parfois non disponibles en raison d'un manque de ressources ou d'intérêt politique.

À la suite de la consultation de nombreux guides de références et d'études de cas, une présélection de 15 ANFN a été effectuée en fonction de leurs compatibilités avec le projet à l'étude selon les critères suivants :

Type de mesure	L'aménagement correspond aux principes directeurs d'un ANFN.
Type d'inondation	L'aménagement vise à réduire les risques d'inondation en eau libre et par refoulement du réseau de drainage urbain.
Réduction du risque	L'aménagement vise à réduire un ou plusieurs facteurs contribuant au risque d'inondation identifiés dans l'analyse.
Échelle d'application	L'aménagement est applicable à l'échelle paysagère du bassin versant et/ou de la municipalité.
Occupation du territoire	L'aménagement est pertinent pour les types de couvert de la végétation, d'occupation du territoire et d'utilisation des terres identifiés pour le bassin versant.

POUR EN SAVOIR PLUS

RESSOURCES CANADIENNES

Brooke et al. (2017). Defining and Scoping Municipal Natural Assets.

CSA Group Research. (2021). Nature-Based Solutions for Coastal and Riverine Flood and Erosion Risk Management.

Insurance Bureau of Canada (IBC). (2018). Combatting Canada's Flood Risks: Natural Infrastructure Is an Underutilized Option.

RESSOURCES INTERNATIONALES

Bridges, T. S. et al. (2021). International Guidelines on Natural and Nature Based Features for Flood Risk Management.

Centre Européen de Prévention des Risques d'Inondation (CEPRI). (2022). Guide SafN - ARTISAN Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature pour prévenir les risques d'inondation.

Scottish Environment Protection Agency (SEPA). (2015). Natural Flood Management Handbook.

World Wildlife (WWF). (2017). Natural and Nature-Based Flood Management: A Green Guide.

RÉSULTATS

Afin de sélectionner les stratégies fondées sur la nature les plus adéquates pour l'atténuation des risques d'inondation dans le bassin versant Rivière-à-la-Truite, deux méthodologies ont été employées. Celles-ci visent à développer des scénarios en fonction du contexte local et des caractéristiques du bassin versant. Une présentation détaillée des méthodes suivies peut être consultée à l'annexe 3.

MÉTHODOLOGIES

ANALYSE MULTICRITÈRE

Méthode d'analyse où les différentes alternatives d'une décision sont notées selon une liste de critères prédéfinis, assortis d'indicateurs, et choisis selon les objectifs du projet. Cet outil permet de prioriser quels aménagements sont les plus appropriés pour le bassin versant en fonction de leur performance technique, de leurs co-bénéfices environnementaux et sociaux et de leur performance économique.

CARTE D'APTITUDE

Outil spatial d'aide à la décision permettant de circonscrire les emplacements opportuns pour l'aménagement des structures sur le territoire selon des conditions prédéfinies dans un système d'information géographique (SIG) tel que ArcGIS. Cette méthode permet de définir des zones prioritaires pour l'établissement des aménagements sélectionnés en identifiant les principales contraintes et opportunités du territoire. Les cartes produites pour chaque aménagement peuvent être consultées à l'annexe 4 du présent document.

Par ailleurs, un sondage distribué aux principales parties prenantes a permis de récolter les préférences locales et de hiérarchiser les critères de l'analyse. Selon ces résultats, les principaux bénéfices recherchés par les acteurs locaux sont la réduction des risques d'inondation, le contrôle de la sédimentation et de l'érosion, l'amélioration de la qualité de l'eau et la durabilité de l'aménagement.

Au regard des résultats de l'analyse multicritère et des cartes d'aptitude, trois scénarios d'aménagement ont été définis. Ceux-ci constituent la combinaison optimale pour l'atténuation des risques d'inondation dans le bassin versant selon trois objectifs distincts, soit la performance globale, technique et économique.

Les tableaux suivants décrivent brièvement chaque aménagement retenu pour les trois scénarios. Ils présentent également les scores obtenus des principaux bénéfices et co-bénéfices évalués dans l'analyse multicritère.

AMÉNAGEMENT DES PLAINES INONDABLES

Vise à restaurer et optimiser la connectivité hydrologique entre les rivières et les plaines inondables afin qu'elles puissent absorber et stocker les eaux durant les crues de façon temporaire.

Peut inclure le démantèlement des contraintes latérales, telles que les barrages ou les gabions, l'abaissement de la plaine ou le reprofilage de la plaine afin d'augmenter sa capacité de stockage.

Principaux bénéfices

Réduction du débit de pointe

4.8

Augmentation de la capacité de rétention

4.2

Renforcement de la connectivité écologique

4.6

Performance économique

3.4

REBOISEMENT DES ZONES AMONT ET MOYENNES

Les forêts augmentent l'infiltration et l'interception des précipitations, réduisent le ruissellement de surface et protègent et renforcent les sols contre l'érosion. Elles modèrent également la

vitesse de fonte de neige par leur couvert ombragé, réduisant la charge hydraulique durant les périodes de dégel. Les activités de reboisement doivent être planifiées de façon stratégique selon la position dans le bassin versant, puisqu'elles y exercent différentes fonctions.

Principaux bénéfices

Réduction du ruissellement

4.0

Capacité de stockage du carbone

4.

Création d'habitats fauniques et floristiques

4.4

Performance économique

2.8



RESTAURATION / CRÉATION DE MILIEUX HUMIDES

Agissent comme « effet tampon » en retenant les eaux lors des crues et en les relâchant progressivement dans les rivières. Leur restauration se base sur la remise en fonction de milieux dégradés.

Selon les considérations hydrologiques et réglementaires, de nouveaux milieux humides peuvent également être créés en amont des zones à risque d'inondation.

Principaux bénéfices

Augmentation de la capacité de rétention

4.2

Réduction des risques de sécheresse

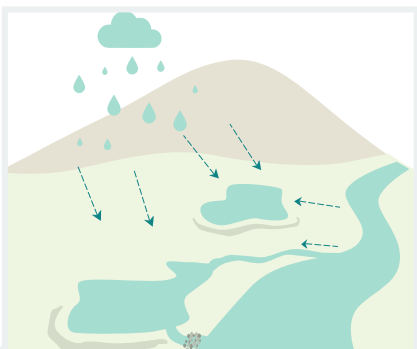
4.5

Opportunité éducative

4.5

Performance économique

3.4



BASSINS DE RÉTENTION

Visent à intercepter le ruissellement et stocker les eaux durant les événements d'averses ou de fonte des neiges. Peuvent être connectés hydrauliquement de façon permanente au cours d'eau à l'aide de structures de diversion, ou être

partiellement déconnectés de celui-ci. Afin de maximiser l'acheminement et la rétention des eaux, les bassins peuvent inclure des bancs de diversion et des digues de rétention.

Principaux bénéfices

Augmentation de la capacité de rétention

4.5

Réduction des risques de sécheresse

4.2

Opportunité éducative

4.1

Performance économique

2.8



RESTAURATION / CRÉATION D'ANNEXES HYDRAULIQUES

Permet de diverger et retenir la charge hydraulique de la rivière de façon permanente ou temporaire lors des périodes de crues. Consiste à restaurer ou construire des aménagements

hydrauliques tels que des bras secondaires, des bras morts ou des lacs d'oxbow, connectés hydrauliquement au cours d'eau principal. Le choix des annexes peut s'appuyer sur la remise en fonction d'anciens éléments hydrauliques.

Principaux bénéfices

Réduction du débit de pointe

4.8

Augmentation de la capacité de rétention

4.

Création d'habitats fauniques et floristiques

4.

Performance économique

2.9



REBOISEMENT EN ZONE AVALE

En zone aval, les fonctions principales des forêts sont l'assèchement des sols, l'absorption des débordements des rivières et l'interception du ruissellement. Compte tenu des restrictions associées à l'urbanisation, cet aménagement doit

miser sur plusieurs petits blocs de reboisement stratégiquement positionnés en fonction de la pente, de la proximité des cours d'eau et de l'emplacement par rapport au réseau de drainage urbain.

Principaux bénéfices

Contrôle des sédiments et de l'érosion

4.2

Création d'habitats fauniques et floristiques

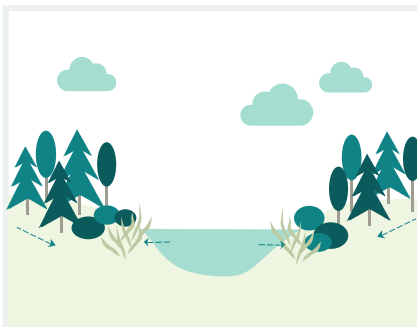
4.

Augmentation de la valeur foncière

4.5

Performance économique

3.8



BANDES TAMPONS

La végétation riveraine des cours d'eau forme une barrière aux débordements et au ruissellement, absorbe l'énergie de la rivière et réduit l'érosion. La largeur optimale des bandes tampons est de 30 mètres de chaque côté du cours d'eau.

Elles doivent être composées de trois strates de végétation indigène, soit d'herbacées, d'arbustes et d'arbres, afin de maximiser les services écosystémiques de l'aménagement.

Principaux bénéfices

Contrôle des sédiments et de l'érosion

4.7

Renforcement de la connectivité écologique

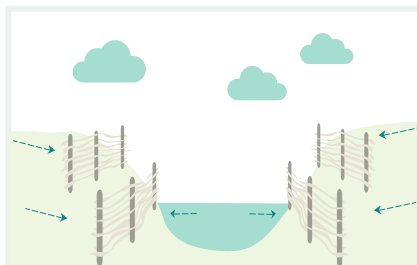
4.9

Amélioration de la qualité de l'eau

4.1

Performance économique

3.9



FASCINES

Lorsque les rives nécessitent un renforcement structurel accru, soit en raison de la proximité d'infrastructures, de la haute vitesse du courant, ou de l'instabilité des sols, la technique de bio-ingénierie de fascine vivante permet

d'absorber l'énergie cinétique de la rivière. Cet ouvrage consiste à enchevêtrer et assembler des branches vivantes et non vivantes de façon à former une structure ligneuse stabilisant les rives.

Principaux bénéfices

Contrôle des sédiments et de l'érosion

3.7

Réduction du ruissellement

2.9

Opportunité éducative

3.5

Performance économique

3.6



FOSSÉS VÉGÉTALISÉS

La présence de végétation dans les fossés stabilise les sols, augmente le taux et la quantité d'infiltration de l'eau et ralentit le ruissellement. Cette mesure se décline en deux options, soit la revégétalisation des fossés dénudés

existants dans le système de drainage routier (1), ou la création de fossés perpendiculaires aux lignes d'écoulement des eaux sur les terres présentant un couvert végétal insuffisant pour l'interception du ruissellement (2).

Principaux bénéfices

Contrôle des sédiments et de l'érosion

3.3

Augmentation de l'infiltration

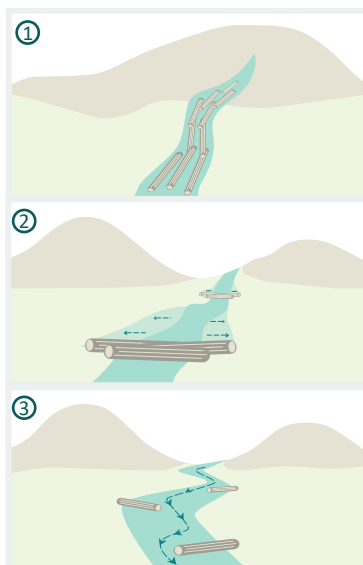
3.0

Amélioration de la qualité de l'eau

2.2

Performance économique

3.7



AMÉNAGEMENT DE DÉBRIS LIGNEUX

Vise à dissiper l'énergie de la rivière et diversifier le courant en disposant des branches ou des troncs d'arbre dans les cours d'eau de façon stratégique. Le type d'aménagement dépend de sa position dans le réseau hydrographique, soit les fagots de bois parallèles au sens de l'écoulement de l'eau dans les petits cours d'eau pentus (1), les barrières perméables bloquant partiellement les écoulements lors de la montée des eaux dans les cours d'eau moyens (2) et les déflecteurs installés en

alternance aux abords des cours d'eau en aval (3).

Principaux bénéfices

Contrôle des sédiments et de l'érosion

3.5

Réduction du débit de pointe

3.0

Opportunité éducative

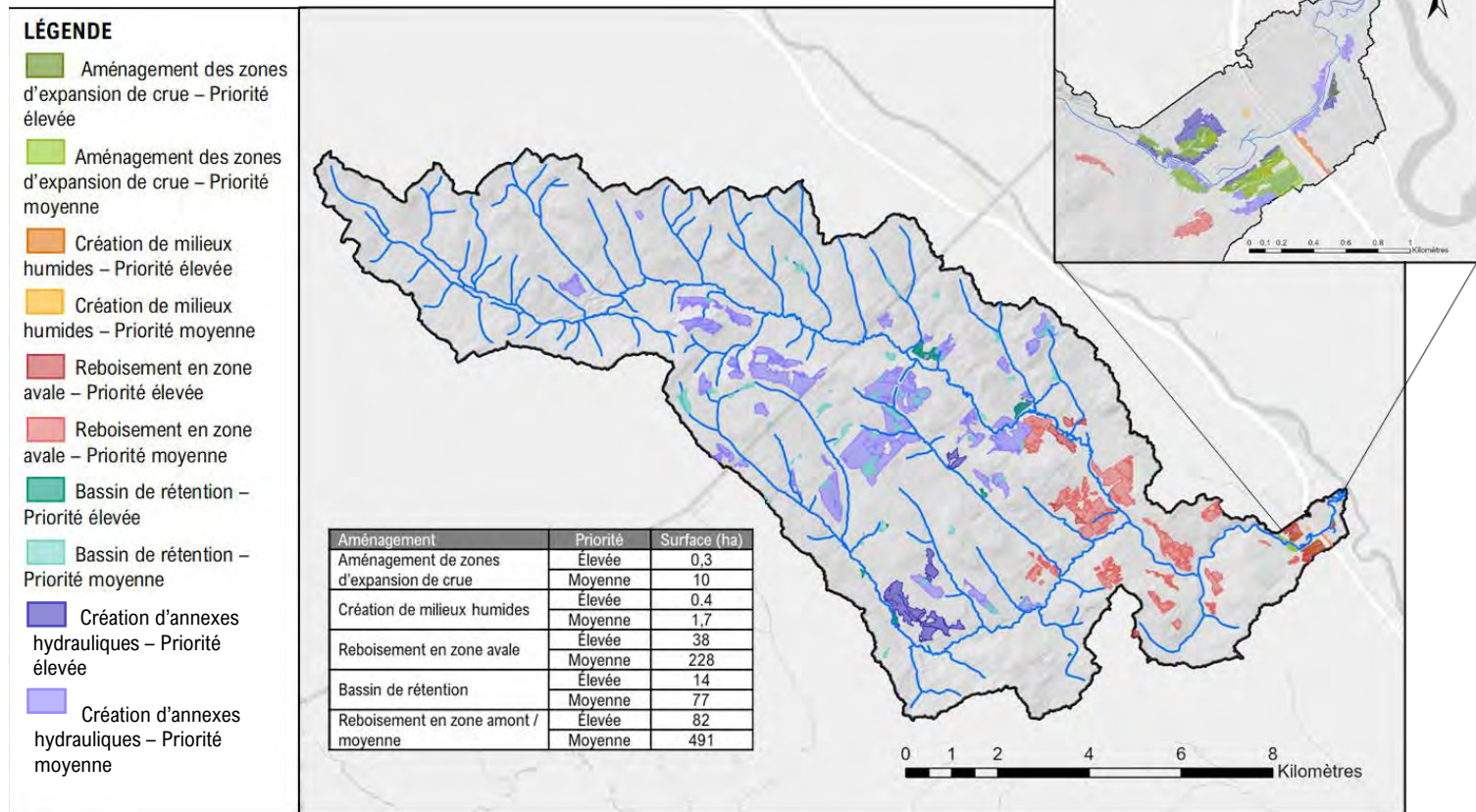
4.1

Performance économique

3.3

FIGURE 4

Scénario de performance globale recommandé



Le premier scénario proposé pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite représente la sélection d'aménagements pour l'optimisation simultanée des bénéfices directs, des co-bénéfices et de la performance économique selon les spécificités du contexte local. Basé sur le score total des quatre dimensions de l'analyse, il constitue le scénario à privilégier pour l'atteinte d'objectifs de développement durable.

ORDRE DE PRIORITÉ	AMÉNAGEMENTS
1	Aménagement des plaines inondables
2	Restauration / Création de milieux humides
3	Reboisement en zone aval
4	Bassin de rétention
5	Reboisement en zone amont / moyenne

L'aménagement des plaines inondables est recommandé en priorité pour la zone aval. Les principaux obstacles restreignant la mobilité et l'expansion du cours d'eau répertoriés dans le bassin versant sont les gabions et l'enrochement. Leur retrait doit donc être considéré. Cet ANFN doit être planifié en fonction de l'occupation du territoire. Afin d'augmenter la capacité de stockage des plaines, le reprofilage du territoire en cellules de rétention stratégiques est également recommandé. Celles-ci correspondent à des dépressions qui seront rapidement drainées suivant la descente des niveaux d'eau.

La deuxième priorité est accordée à la restauration et la création de milieux humides. Celle-ci doit être planifiée de façon conjointe avec l'aménagement de la plaine inondable. La restauration de ces milieux exige une caractérisation détaillée sur le terrain afin de planifier et déterminer le degré d'intervention requis. La restauration efficace des zones humides doit tenir compte des conditions locales et encourager la prolifération de nouvelle végétation indigène. En parallèle, la création de milieux humides est favorisée dans les zones ayant subi des remblais complets en raison du développement anthropique du territoire. Sur la carte du scénario, six sites ont été identifiés comme étant optimaux pour la construction de milieux humides. De ceux-ci, cinq se superposent aux superficies identifiées comme prioritaires pour le reboisement. La combinaison de ces deux aménagements est recommandée afin de renforcer leurs fonctions de régulation des niveaux d'eau.

La troisième priorité est accordée au reboisement en zone aval pour le scénario de performance globale. La sélection d'espèces doit inclure une variété de groupes hétérogènes, incluant également des herbacées et des arbustes. De plus, en raison de l'inondation régulière des plaines, les espèces sélectionnées pour le reboisement doivent être résistantes aux conditions de sols saturés. Les terres de tenure municipale et provinciale pourront être sélectionnées en priorité afin d'amorcer la mise en œuvre de cet aménagement en raison des contraintes administratives réduites de celles-ci.

Afin de maximiser les co-bénéfices, les aménagements en zone urbaine pourront être combinés au développement d'espaces récréatifs, tel que le projet proposé du parc Rivière-à-la-Truite en amont du pont à la hauteur du boulevard Isidore-Boucher (voir annexe 5). L'espace affecté pour ce projet, situé sur des terres municipales, représente un site de priorité élevée pour l'aménagement de la plaine inondable, la création de milieux humides et le reboisement. Ces ANFN présentent des fonctions complémentaires pour l'atténuation des risques d'inondation. Ainsi, il est recommandé de combiner ces trois aménagements afin d'optimiser leur efficacité à l'échelle du site. De plus, afin de remédier au problème de refoulement des égouts pluviaux dans cette zone, il est proposé de déconnecter l'embouchure du canal vers des zones de biorétention appropriées qui pourront stocker temporairement ces eaux. Par ailleurs, sur le territoire situé en amont de l'autoroute Transcanadienne, nous observons également plusieurs sites où se superposent deux ou trois de ces aménagements. Ces terres correspondent notamment à une zone de coupe totale et un terrain de golf abandonné. Elles représentent ainsi des sites favorables à l'aménagement d'ANFN en raison des faibles contraintes physiques, d'occupation du sol et d'utilisation des terres.

De plus, il est recommandé que la planification d'ANFN dans la zone aval s'appuie sur les principes de mise en œuvre d'une trame bleue. Cet outil d'aménagement du territoire vise à créer des flux d'écoulement préférentiels afin de rediriger les eaux en région urbaine vers des zones moins à risque en prenant en compte le déplacement des espèces. Cette technique permet ainsi de maximiser la connectivité hydrologique du territoire, tout en favorisant la continuité écologique pour la biodiversité^[23].

[23] Belmont, L., Étienne, R. et Bordas, C. (2010). [Guide méthodologique de prise en compte de la trame verte et bleue.](#)

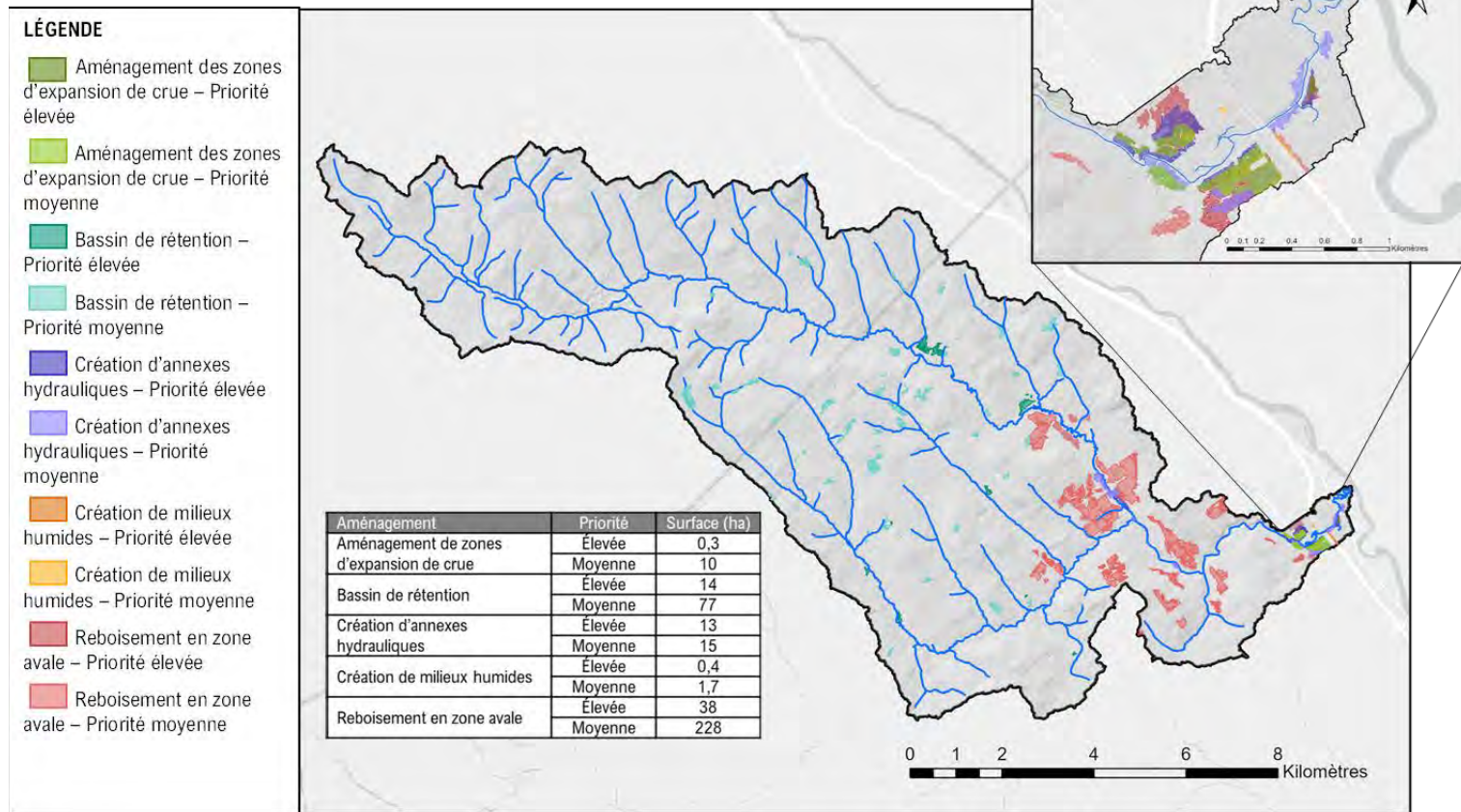
La distribution stratégique de bassins de rétention de petite et moyenne taille est à privilégier en quatrième position. Lors de la conception, l'aire et le volume de stockage de ces bassins doivent augmenter de façon progressive suivant la diminution de l'altitude et de la pente. La capacité volumique des bassins doit prendre en compte les prévisions climatiques futures pour la région. Afin d'augmenter les bénéfices pour la biodiversité, la conception des bassins doit privilégier des formes naturelles et une diversité de profondeurs afin de créer plusieurs niches écologiques. D'un point de vue logistique, la construction d'un réseau de bassins de rétention pourra considérer l'ordre suivant : débuter avec les sites de priorité élevée, suivis des sites des terres de la couronne, puis des sites chevauchant les zones identifiées comme étant également prioritaires pour le reboisement.

Afin de réduire le ruissellement et l'érosion de surface, la technique du reboisement est l'aménagement final à privilégier en zones amont et moyenne pour le scénario de performance globale. En raison des contraintes techniques potentielles pour le reboisement dans ces zones, la plantation stratégique de rangées d'arbres suivant les lignes de contour topographiques peut s'avérer davantage appropriée en amont. D'une largeur d'environ 10 mètres de large, ces bandes forestières doivent miser sur la plantation d'espèces mixtes variées placées sur des rangées décalées afin d'optimiser l'utilisation de l'espace.

En zone moyenne, la restauration d'un couvert continu doit constituer l'objectif principal afin d'assurer une performance maximale des bénéfices directs et des co-bénéfices. Lorsque l'établissement d'un couvert continu est impraticable, la mise en œuvre de corridors écologiques perpendiculaires à la pente est privilégiée afin de maximiser les bénéfices pour la gestion du ruissellement et la biodiversité. Suivant les résultats de la carte du scénario, nous observons que les efforts de reboisement devront se concentrer principalement sur le territoire situé au Nouveau-Brunswick. Ce résultat correspond au constat initial de l'occupation du territoire et de l'utilisation des terres indiquant que l'exploitation forestière était légèrement plus intensive dans cette région.

FIGURE 5

Scénario de performance technique recommandé



La sélection d'aménagements pour l'objectif de performance technique s'appuie uniquement sur les scores obtenus pour cette dimension. Ce portfolio offre également certains co-bénéfices environnementaux et sociaux. Toutefois, il priorise davantage la réduction des risques d'inondation et le contrôle des sédiments et de l'érosion comme objectif principal d'une stratégie d'aménagement du territoire.

ORDRE DE PRIORITÉ	AMÉNAGEMENTS
1	Aménagement des plaines inondables
2	Bassin de rétention
3	Restauration / Création d'annexes hydrauliques
4	Restauration / Création de milieux humides
5	Reboisement en zone aval

Ce scénario présente plusieurs similarités avec le portfolio de performance globale. En effet, quatre des cinq aménagements sont identiques, hormis la restauration et la création d'annexes hydrauliques. Toutefois, l'ordre de priorité entre les scénarios diffère. Une particularité notable de ce scénario est l'absence d'aménagement pour la zone amont. Cette singularité s'explique par la distance éloignée de cette zone de la portion urbaine du bassin. De ce fait, le temps de parcours prolongé de l'eau entre ces deux aires atténue l'impact potentiel des aménagements sur le risque global d'inondation.

De façon similaire au scénario de performance globale, l'aménagement de la plaine inondable est jugé prioritaire. Ainsi, les recommandations émises dans la section précédente conviennent également pour cette stratégie. Afin d'accroître l'efficacité de cet aménagement pour l'atténuation des risques d'inondation, il y aura lieu d'accorder une importance particulière au reprofilage du territoire en cellules de rétention.

En seconde priorité, l'établissement de bassins de rétention dispersés en zone moyenne vise plusieurs fonctions préventives pour la gestion intégrée des risques d'inondation. En plus des recommandations présentées pour le scénario de performance globale pour cet aménagement, une priorité supplémentaire devra être accordée pour les bassins connectés hydrologiquement aux cours d'eau. De ce fait, ceux-ci démontrent une performance supérieure pour la réduction des pics de crue^[24].

[24] Goff, K.M. et Gentry, R.W. (2006). The Influence of Watershed and Development Characteristics on the Cumulative Impacts of Stormwater Detention Ponds. *Water Resource Management*, 20, 829–860.

La restauration et la création d'annexes hydrauliques se positionne en troisième place pour le scénario de performance technique. La planification de cet aménagement doit d'abord prioriser les tronçons ayant subi d'importantes modifications anthropiques. Lors de la planification d'annexes hydrauliques, la conception doit privilégier une morphologie hétérogène permettant la création d'une variété de micro-habitats. Par ailleurs, la construction de ces structures doit être accompagnée par l'établissement d'une bande riveraine végétalisée appropriée en pente douce afin d'assurer la stabilité des rives et maximiser les bénéfices écologiques.

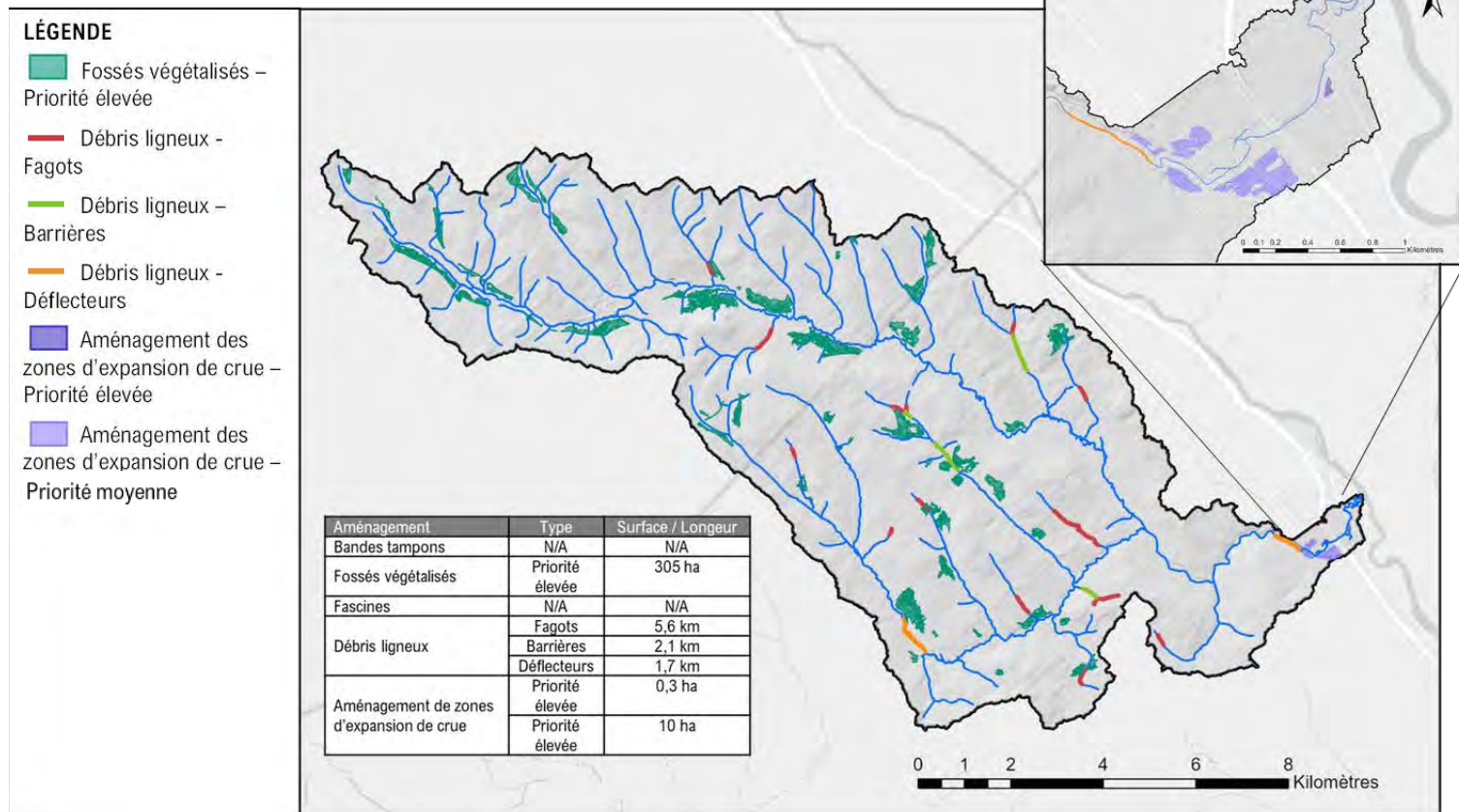
Un projet de restauration du bras secondaire et de la complexité hydromorphologique du cours d'eau en amont de l'autoroute Transcanadienne pourrait être développé afin de remplacer les lagunes d'eau potable non fonctionnelles. D'après les résultats des cartes d'aptitude, ce projet pourra être combiné à l'aménagement de la plaine inondable, la création de milieux humides et le reboisement, afin de maximiser son efficacité. Dans un même ordre d'idée, un projet de restauration pour la section en amont et en aval de la rue Demers a déjà été développé afin de réduire l'accumulation problématique de sédiments dans ce tronçon (voir annexe 6). Ce site correspond à une aire priorisée pour la restauration d'annexes hydrauliques.

Suivant la liste des priorités, la restauration et la création de milieux humides offrent plusieurs bénéfices pour la régulation des niveaux d'inondation. Cet aménagement nécessite des considérations similaires à celles présentées pour le scénario de performance globale. En raison de sa position inférieure dans l'ordre des priorités, il est recommandé de privilégier en préséance le site de priorité élevée, situé sur l'aire réservée pour le projet du parc Rivière-à-la-Truite. Nous retrouvons également sur ce site l'aménagement de la zone d'expansion de crue, la restauration d'annexes hydrauliques et le reboisement. La planification de ces quatre aménagements sur un même site permettrait d'optimiser les fonctions pour la GIRI.

Enfin, le reboisement en zone aval constitue le dernier aménagement à considérer pour le scénario de performance technique. De façon similaire aux milieux humides, sa position moindre sur la liste des priorités engendre une limitation potentielle pour la sélection des sites dans un plan d'action final. Ainsi, les zones de priorité élevée ainsi que celles chevauchant des sites prioritaires pour d'autres aménagements dans le scénario sont à privilégier.

FIGURE 5

Scénario de performance économique recommandé



Le troisième portfolio proposé évalue les scores obtenus pour la performance économique des aménagements, soit les coûts totaux requis pour leur mise en œuvre contrebalancés par la durabilité et la rapidité du retour sur l’investissement. Il représente ainsi le scénario prioritaire dans un contexte administratif où les ressources matérielles, financières et humaines sont particulièrement limitées. Cependant, ces aménagements peuvent offrir des bénéfices restreints en matière de réduction des risques d’inondation et d’érosion, et d’avantages environnementaux et sociaux.

ORDRE DE PRIORITÉ	AMÉNAGEMENTS
1	Bandes tampons riveraines
2	Fossés végétalisés
3	Fascines
4	Aménagement de débris ligneux
5	Aménagement des plaines inondables

Selon ce scénario, la restauration des bandes tampons riveraines est considérée comme prioritaire sur l’ensemble du bassin versant en raison de sa forte performance coût-bénéfice. Puisque l’identification des rives présentant des fonctions dégradées requiert des efforts de caractérisation sur le terrain, cet aménagement n’est donc pas représenté sur la carte du scénario. Dans le même sens, les sites pour l’aménagement de fascines, en troisième priorité pour cette stratégie, ne sont également pas identifiés. Le choix entre la végétalisation d’une bande tampon riveraine ou la pose de fascines dépend des caractéristiques physiques du site.

Les bénéfices associés à la mise en place de bandes tampons riveraines sont maximaux dans les zones de reconnexion avec la plaine inondable et dans les sections où la rive présente des instabilités structurelles^[25]. Par ailleurs, le choix des végétaux pour la revégétalisation doit mettre l’accent sur la reconstitution des conditions biotiques et abiotiques appropriées en privilégiant des espèces indigènes variées ayant un système racinaire robuste afin d’assurer la stabilité des sols. Le moteur de recherche sur les végétaux recommandés de Québec Vert pourrait notamment s’avérer utile pour la planification de la bande riveraine^[26].

[25] Environment Agency. (2018). *Working with Natural Processes – Evidence Directory*.

[26] Québec Vert. (s. d.). *Recherche de plantes recommandées pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec*.

En deuxième priorité, la construction stratégique de fossés végétalisés suivant les lignes de contour topographiques est recommandée en zone amont et moyenne afin de capter le ruissellement sur le territoire. La construction de fossés de rétention est particulièrement appropriée pour les zones pentues mises à nues ou présentant un couvert végétal immature ou parsemé. Les sites positionnés entre des zones d'occupation des sols et d'utilisation des terres problématiques, tels que les aires de coupes intensives, les carrières ou les chemins forestiers, et un cours d'eau, sont prioritaires afin de réduire le transport de sédiments et la charge hydraulique vers les cours d'eau. Lorsque les fossés sont construits dans des zones sans couvert végétal forestier, il est recommandé de planter une haie d'arbres ou d'arbustes d'espèces indigènes en aval du fossé afin de renforcer l'infiltration et l'interception du ruissellement et protéger la structure.

La pose de végétation dans les fossés dénudés est également primordiale afin de rétablir l'équilibre sédimentaire dans le bassin versant et diminuer la charge hydraulique vers les milieux récepteurs. En raison des efforts de caractérisation requis pour l'identification des fossés dénudés, cet aménagement n'est ainsi pas représenté dans la carte du scénario. Afin de faciliter l'entretien des fossés végétalisés, il est recommandé d'appliquer la méthode du tiers inférieur, consistant à déblayer seulement le fond et à laisser les talus végétalisés. La construction de canaux de diversion des fossés vers les milieux forestiers est également envisageable afin d'évacuer une partie de la charge hydraulique.

Par ailleurs, la gestion des débris ligneux est privilégiée en quatrième position en raison de sa rentabilité pour l'atténuation des risques d'inondation. Les fagots de bois sont habituellement placés en série et conçus afin de couvrir entièrement la surface du canal actif. L'aménagement de « leaky dams », ou barrières perméables, est approprié pour la rétention et la diversion des écoulements dans les cours d'eau de moins de 3 mètres de large. Ces structures peuvent être installées de façon indépendante ou en série. La pose de déflecteurs est particulièrement efficace pour le réaligement naturel de tronçons linéarisés afin de restaurer naturellement la sinuosité de la rivière. Les déflecteurs peuvent être également placés de façon stratégique afin de diminuer la force érosive du courant sur les rives plus vulnérables à l'érosion.

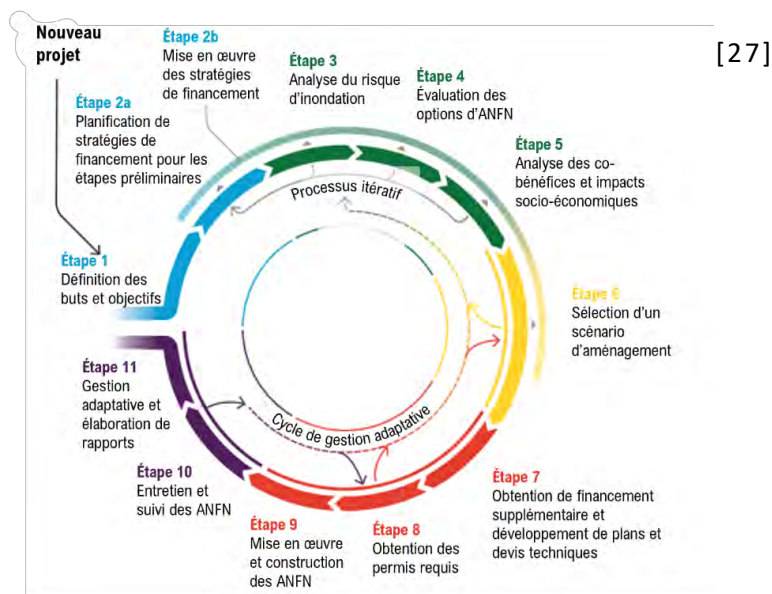
Enfin, l'aménagement de la plaine inondable représente la cinquième priorité pour le scénario de performance économique. Puisqu'il constitue la seule mesure située en zone avale, il est recommandé de maximiser le nombre de sites aménagés pour la stratégie finale, malgré sa position inférieure sur la liste des priorités.

RECOMMANDATIONS

La mise en œuvre de tout projet de modification de l'aménagement du territoire peut entraîner des répercussions négatives sur l'environnement, l'économie ou la société. Afin de réduire les effets négatifs du projet, il est ainsi important de définir des stratégies d'atténuation pour tous les risques. Un tableau résumant les principales stratégies d'atténuation pour chaque aménagement peut être consulté à l'annexe 7.

CONTINUITÉ DU PROJET

Ce rapport de recherche constitue la première étape pour la mise en œuvre d'une stratégie de gestion intégrée des risques d'inondation pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite (étapes 1 à 6 dans la figure ci-dessous). La prochaine phase du projet vise à développer un plan de gestion adaptatif pour l'établissement des ANFN dans le bassin versant. La gestion adaptative est un processus itératif dans lequel les plans d'action sont continuellement actualisés en fonction de l'atteinte d'objectifs prédéfinis.



[27] Bridges, T. S. et al. (2021). International Guidelines on Natural and Nature Based Features for Flood Risk Management. U.S. Army Corps of Engineers.

Le tableau suivant présente une série de recommandations afin d'appliquer une approche itérative et systémique pour la continuité du projet. Puisque la mise en œuvre de solutions fondées sur la nature nécessite la contribution d'une équipe multidisciplinaire, chaque recommandation est également accompagnée d'une sélection de partenaires potentiels pour leur réalisation.

RECOMMANDATIONS	PARTENAIRES
ORIENTATION 1 : CONSULTATION, ENGAGEMENT ET PARTICIPATION DES PARTIES PRENANTES	
Objectif 1.1 Favoriser l'acceptabilité sociale du projet.	
Développer une plateforme web centralisée et participative permettant de contribuer, de partager et d'accéder librement aux informations sur le projet.	Municipalité et organismes régionaux / Développeurs web
Organiser des rencontres individuelles avec les propriétaires fonciers des zones d'intérêt pour l'établissement d'aménagements.	Citoyens / Chargé de projet
Organiser des consultations publiques interactives regroupant des représentants des secteurs communautaires, environnementaux, municipaux et économiques selon une composition représentative de la nature des activités et des intérêts dans le bassin versant.	Organisateurs communautaires / Citoyens et acteurs économiques / Municipalité et organismes régionaux / Organisations environnementales / Table de concertation de l'OBV du Fleuve Saint-Jean
Développer des initiatives de conception collaborative grâce à des groupes de travail citoyens à l'échelle du quartier afin de planifier et mettre en œuvre les aménagements.	Organisateurs communautaires / Citoyens et acteurs économiques / Municipalité et organismes régionaux
Objectif 1.2 Sensibiliser et éduquer le public	
Adopter une approche de science citoyenne pour le suivi de certains indicateurs.	Organisateur communautaire / Experts scientifiques / Organismes environnementaux / Écoles locales
Inclure des infrastructures récréotouristiques permettant un accès inclusif aux aménagements ainsi que des panneaux informatifs sur le projet.	Chargé de projet / Architecte paysagiste / Ingénieur civil
Créer et promouvoir un guide de bonnes pratiques à l'intention des propriétaires de lots boisés privés et des propriétaires riverains.	Gestionnaire en environnement / Office des ventes du Madawaska / Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick / Société d'aménagement de la rivière Madawaska

RECOMMANDATIONS	PARTENAIRES
ORIENTATION 2 : GESTION ADAPTATIVE	
Objectif 2.1 Planifier adéquatement les étapes de réalisation des travaux	
Établir un calendrier des activités pour chaque étape du projet (coordination, conception, réalisation des travaux, suivis et entretien), identifiant les responsables et les délais prévus.	Chargé de projet / Maîtres d'œuvre
Estimer les montants requis pour chacune des phases du projet, incluant les salaires, les frais pour des experts, les autorisations, les déplacements, la réalisation d'une caractérisation, la conception des plans et devis, l'acquisition de terrain, la réalisation des travaux, la surveillance du chantier, les suivis, les mesures correctives, ainsi qu'un fond de contingence.	Chargé de projet / Maîtres d'œuvre
Planifier une stratégie de financement variée incluant des fonds publics et privés.	Chargé de projet / Municipalités
Planifier les matériaux et la machinerie requis pour la préparation du terrain et la construction en misant sur une politique d'approvisionnement locale de source écologique et socialement responsable.	Chargé de projet / Maître d'œuvre
Anticiper le processus règlementaire, incluant les processus d'autorisations et les permis requis, la réglementation environnementale et les lois pour l'aménagement du territoire et l'urbanisme.	Urbanistes / Firms de consultants Ministères (MFFP, MERN, MAMH, MEGL, MRNDE, MTI) / Municipalité
Élaborer des plans et devis techniques détaillés incluant les activités préparatoires au terrain et les personnes responsables.	Ingénieurs civils / Hydrologistes / Architectes paysagistes
Objectif 2.2 Assurer le suivi et l'entretien des aménagements	
Élaborer un plan à long terme, incluant la fréquence, l'échéancier et les responsables afin d'assurer l'entretien et le suivi des aménagements.	Chargé de projet
Développer des objectifs et des indicateurs SMART (spécifique, mesurable, atteignable, réaliste et temporellement défini) pour chaque aménagement.	Chargé de projet
Effectuer un suivi à l'automne et au printemps suivant l'établissement des aménagements et selon une base régulière par la suite en fonction du type d'aménagement.	Chargé de projet / Techniciens en environnement
Analyser les résultats des suivis de manière itérative et effectuer les changements nécessaires pour la gestion du projet de façon continue.	Chargé de projet

RECOMMANDATIONS	PARTENAIRES
ORIENTATION 3 : GESTION DU RISQUE	
Objectif 3.1 Minimiser les impacts environnementaux	
Selon le type d'aménagement, effectuer une étude d'impact ou une analyse environnementale afin d'évaluer et mitiger les effets sur les écosystèmes.	Gestionnaire en environnement / Bureau d'étude / Écologistes / Biologistes
Sélectionner des espèces de plantes indigènes et variées basées sur la classification écologique des terres du site.	Architectes paysagistes / Horticulteurs / Ingénieurs forestiers
Prévoir les périodes de travail sur le terrain en fonction des périodes sensibles pour certaines espèces. Privilégier les périodes hivernales pour la construction de routes.	Écologistes / Biologistes / Chargé de projet
Prendre en compte la structure, la diversité des espèces et le fonctionnement des écosystèmes dans le choix et la localisation des sites.	Écologistes / Biologistes / Gestionnaire en environnement
Mettre en œuvre un plan de contrôle des espèces envahissantes suivant la construction des ANFN, principalement pour les sites constamment chargés en eau.	Écologistes / Biologistes / Gestionnaire en environnement / Citoyens
Objectif 3.2 Minimiser les impacts socio-économiques	
Mettre en œuvre un outil d'observation foncier afin d'évaluer les impacts potentiels des ANFN sur le marché foncier.	Économistes / Municipalité
Développer des stratégies de synergies économiques avec l'industrie forestière.	Propriétaires de lots boisés privés
Objectif 3.3 Éviter le transfert du risque d'inondation	
Effectuer une modélisation hydraulique et hydrologique des aménagements afin de maximiser la désynchronisation des débits de pointe.	Hydrologistes / Géomaticiens
Anticiper les risques de refoulement des eaux dans les zones adjacentes aux ANFN durant la conception des aménagements.	Hydrologistes / Ingénieur civil

RECOMMANDATIONS	PARTENAIRES
ORIENTATION 4 : RÉSILIENCE DU PROJET	
Objectif 4.1 Adapter les travaux aux réalités du terrain	
Effectuer une modélisation hydraulique et des dynamiques morphologiques afin d'estimer les capacités de stockage du territoire et déterminer les espaces de mobilité M_{50} et M_{plaine} de la rivière ^[28] .	Hydrologistes / Géomaticiens / Géomorphologistes
Effectuer une caractérisation détaillée des conditions initiales du site du projet incluant des inventaires floristiques, des relevés topographiques, des études de sol, etc.	Techniciens en environnement / Gestionnaire en environnement
Considérer le couvert nival et de glace dans la conception des aménagements, incluant un espace de liberté afin d'éviter les embâcles de glace.	Ingénieurs civils / Hydrologistes
Objectif 4.2 Adopter une approche holistique par bassin versant	
Collaborer avec les intervenants de la gestion de l'aménagement et des ressources en eau du bassin versant du Fleuve Saint-Jean pour toutes les étapes de gestion.	OBV du Fleuve Saint-Jean / Société d'aménagement de la rivière Madawaska / Chargé de projet
Mettre en œuvre un portfolio varié d'ANFN en fonction des différentes zones du bassin versant (amont, moyenne et aval) en misant sur les caractéristiques morphologiques naturelles du territoire.	Chargé de projet / Gestionnaire en environnement / Hydrologistes / Géomorphologistes / Géomaticiens
Objectif 4.3 Intégrer les ANFN dans les stratégies territoriales à différentes échelles	
Intégrer la stratégie de gestion intégrée des risques d'inondation dans les différents documents pour l'aménagement du territoire à toutes les échelles institutionnelles.	MRC, Municipalité, CSRNO
Prévoir des stratégies de financement alternatives incluant des partenaires locaux, régionaux, provinciaux et fédéraux.	Chargé de projet / Gestionnaire en environnement
Objectif 4.4 Adapter le projet au contexte des changements climatiques	
Intégrer les prévisions climatiques et hydrométéorologiques pour 2100 dans la conception des ANFN.	Climatologues / Hydrologistes / Ingénieurs civils
Effectuer un suivi annuel des changements de l'aléa et des prévisions climatiques et hydrométéorologiques et réévaluer la stratégie de gestion intégrée des risques d'inondation en conséquence.	Chargé de projet / Gestionnaire en environnement

[28] Demers S., Massé S., Buffin-Bélanger T. (2017). [Cartographie des aléas fluviaux de la rivière Coaticook : diagnostic, méthodologie et recommandations.](#)

RECOMMANDATIONS	PARTENAIRES
ORIENTATION 5 : PLANIFICATION DE STRATÉGIES COMPLÉMENTAIRES	
Objectif 5.1 Protéger les actifs naturels exerçant des fonctions pour l'atténuation des inondations dans le bassin versant.	
Réaliser un inventaire et une caractérisation des milieux naturels d'intérêt selon leur potentiel d'atténuation sur le territoire.	Gestionnaire en environnement / Écologistes / Biologistes
Adopter des mesures règlementaires appropriées (zonage, lotissement, PAE, PIIA, etc.) restreignant la gamme des usages autorisés dans ces milieux et dans leurs bandes tampons.	Municipalité
Mettre en œuvre des plans de conservation volontaire pour les terres privées, tels que les contrats de rivière.	Organismes environnementaux / Propriétaires fonciers
Développer un programme de surveillance et de démantèlement des barrages de castor à risque, principalement pour ceux construits en série ou situés près de ponceaux.	Organismes environnementaux / Techniciens en environnement / Écologistes
Promouvoir et adopter des pratiques sylvicoles adaptées qui maximisent les services écosystémiques des peuplements forestiers sur le cycle de l'eau.	Office des ventes du Madawaska / Fédération des propriétaires de lots boisés du Nouveau-Brunswick / Organismes environnementaux
Objectif 5.2 Accroître les connaissances sur les risques d'inondation	
Installer une station pluviométrique et hydrométrique sur la rivière à la Truite afin de fournir des informations pour le suivi en temps réel des crues dans le bassin versant.	Hydrologistes / Municipalité d'Edmundston
Archiver toutes les informations relatives aux événements d'inondation sur le territoire sur une plateforme publique et centralisée.	Services d'urgence / Municipalité d'Edmundston
Objectif 5.3 Minimiser l'exposition des communautés à l'aléa d'inondation	
Mettre en œuvre une politique de priorité de rachat des territoires à forte vulnérabilité.	Municipalité
Remplacer les ponts et les ponceaux sous-dimensionnés dans le bassin versant selon un ordre prioritaire en fonction des prévisions hydrométéorologiques en contexte de changements climatiques.	Ministères des transports (Québec et Nouveau-Brunswick) / Municipalité / Compagnies forestières
Offrir des incitatifs pour la mise en œuvre d'ANFN de gestion des eaux pluviales sur les propriétés résidentielles et commerciales.	Municipalité / Citoyens / Organismes de conservation

ORIENTATION 6 : DOCUMENTATION ET PARTAGE DES APPRENTISSAGES

Objectif 6.1 Contribuer au développement des connaissances sur les solutions fondées sur la nature

Offrir un libre accès aux données afin de partager les résultats de manière transparente et interactive avec d'autres spécialistes et intervenants locaux, régionaux et internationaux.	Chercheurs / Chargé de projet
Utiliser les ANFN mis en œuvre comme sites expérimentaux afin de faire un suivi de leur performance et promouvoir les solutions fondées sur la nature.	Chercheurs / Chargé de projet

CONCLUSION

En conclusion, la combinaison appropriée d'aménagements naturels et fondés sur la nature représente une stratégie viable pour accroître la résilience du bassin versant Rivière-à-la-Truite face aux risques d'inondation. En effet, la région a connu plusieurs événements d'inondations dans les dernières années. Majoritairement associée aux conditions printanières, l'origine de ces inondations peut être liée à l'importante pluviométrie observée dans la région, en plus d'être exacerbée par de nombreux facteurs anthropiques.

Face à l'intensification prévue des phénomènes hydrologiques par les changements climatiques, les techniques de solutions fondées sur la nature ont été sélectionnées afin de mettre en œuvre une stratégie d'aménagement durable pour le bassin versant Rivière-à-la-Truite. Malgré certaines limitations conceptuelles, techniques et empiriques, la présentation d'une sélection d'ANFN a su attester le potentiel de ces aménagements pour la gestion intégrée des risques d'inondation, en plus de générer des bénéfices complémentaires sociaux et environnementaux.

Ce faisant, la combinaison des deux méthodologies proposées, soit l'analyse multicritère et la carte d'aptitude, a permis de développer trois scénarios d'aménagement du territoire pour l'atténuation des risques d'inondation. Ces outils sont particulièrement pertinents pour la planification d'ANFN à l'échelle du bassin versant en intégrant les préférences des parties prenantes, les éléments logistiques de l'occupation du territoire et les caractéristiques physiques du bassin versant comme éléments essentiels à la prise de décision.

Sur la base des résultats obtenus, le succès de la mise en œuvre de ce plan reposera tout d'abord sur la mise en œuvre de stratégies d'atténuation appropriées afin d'éviter les risques environnementaux, sociaux et économiques. Par ailleurs, l'acceptation, la pertinence et la pérennité du projet dépendront de l'intégration de celui-ci au sein d'une démarche de gestion adaptative et systémique. Ces approches itératives permettent en effet d'intégrer le projet de façon transversale dans les stratégies d'aménagement du territoire.

Ainsi, cette étude vise la création d'un système durable pour la gestion intégrée des risques climatiques. La réussite d'un tel système devra intégrer un large spectre de solutions potentielles, tout en créant des valeurs durables et diversifiées pour les communautés et l'environnement.



ANNEXE 1 – GESTION ET PARTIES PRENANTES

PRINCIPALES LOIS HABILITANTES

Québec

- Loi sur l'eau
- Loi concernant la conservation des milieux humides et hydriques
- Loi sur l'aménagement et l'urbanisme
- Loi sur les compétences municipales

Nouveau-Brunswick

- Loi sur l'assainissement de l'eau
- Loi sur l'urbanisme
- Loi sur la gouvernance locale

Au Canada, la gestion des eaux continentales relève principalement de la compétence provinciale, ainsi que la gestion des terres publiques. À l'échelle provinciale, le gouvernement met en place certaines lois habilitantes et politiques pour les municipalités en matière d'environnement, de développement durable et d'aménagement.

Au Québec, le territoire du bassin versant Rivière-à-la-

Truite s'intègre à l'unité hydrographique de l'organisme de bassin versant du Fleuve Saint-Jean, responsable de la coordination de la gestion de l'eau. Concernant la gestion des forêts publiques, le bassin est situé sur le territoire de l'unité d'aménagement forestier 011-71.

Bien qu'aucun prélèvement d'eau potable ne soit actuellement effectué sur le territoire, le bassin versant est considéré comme étant un secteur protégé en vertu du Décret de désignation du secteur protégé de bassins hydrographiques. Cette affectation règlemente trois zones tampons de protection autour des cours d'eau auxquelles sont associées des limitations sur les activités permises.

La gestion de l'aménagement du territoire et des ressources hydriques implique plusieurs acteurs aux intérêts et préoccupations variés. La figure suivante démontre les principales parties prenantes recensées sur le territoire du bassin versant.

PARTIES PRENANTES POUR LA GESTION DES RISQUES D'INONDATION DU BASSIN VERSANT RIVIÈRE-À-LA-TRUITE

LÉGENDE

DEGRÉ D'INFLUENCE



DIMENSIONS

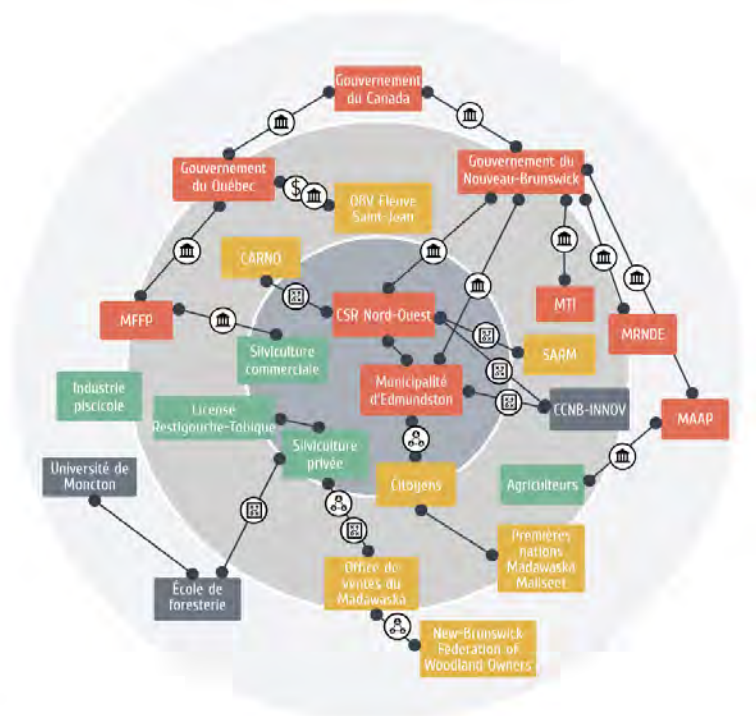


PRINCIPALES RELATIONS



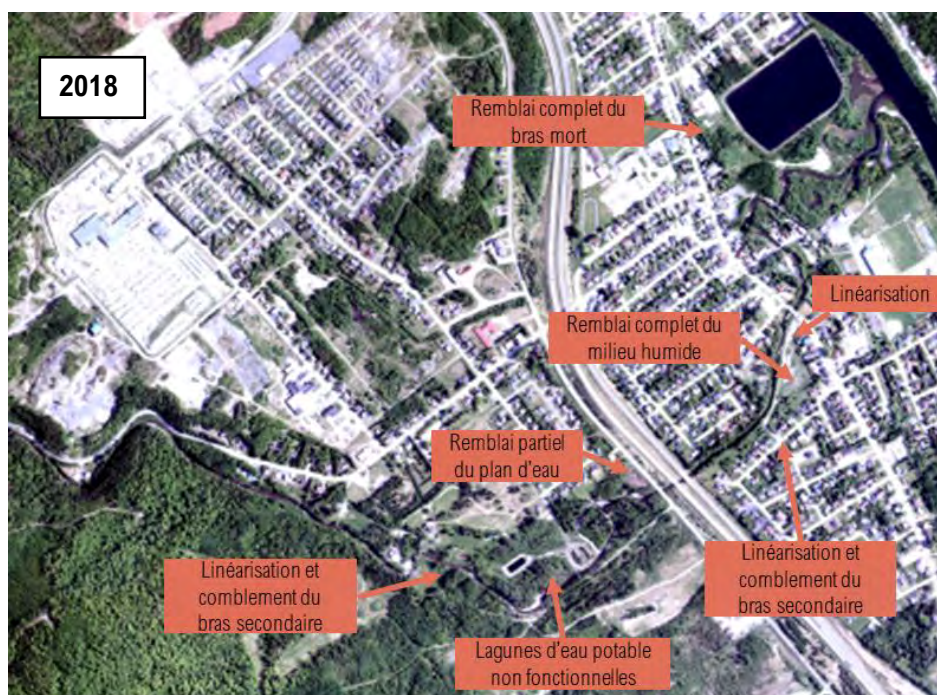
LEXIQUE

CARNO : Comité de l'aménagement rural du Nord-Ouest
 CSR : Commission des services régionaux
 MAAP : Ministère de l'Agriculture, de l'Aquaculture et des Pêches
 MFFP : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec
 MRNDE : Ministère des Ressources Naturelles et du Développement de l'énergie
 MTI : Ministère des transports et des infrastructures
 OBV : Organisme de bassin versant
 SARM : Société d'aménagement de la rivière Madawaska



ANNEXE 2 - HISTORIQUE

Évolution de la morphologie de la rivière à la Truite entre 1967 et 2018



ANNEXE 3 - MÉTHODOLOGIES

Les méthodologies choisies visent à sélectionner la stratégie fondée sur la nature la plus adéquate pour l'atténuation des risques d'inondation en fonction du contexte local et des caractéristiques du bassin versant.

ANALYSE MULTICRITÈRE

Cet outil d'aide à la décision est fréquemment utilisé pour la gestion des risques hydrométéorologiques en raison de sa flexibilité, sa transparence et sa capacité à intégrer de multiples objectifs^[29].

L'analyse multicritère élaborée dans le cadre de cette étude s'inspire principalement de la méthodologie développée par Ruangpan et al. pour la planification de solutions fondées sur la nature à l'échelle paysagère^[30]. La première étape fut ainsi d'établir une liste de critères assortie d'indicateurs pour chaque dimension du cadre d'analyse de développement durable quadruples résultats, soit la performance technique pour la réduction des risques d'inondation et d'érosion, l'environnement, la société et la performance économique.

Dans le but d'évaluer les impacts positifs et négatifs de chaque aménagement sur les critères définis, une note a été attribuée pour tous les indicateurs, basée sur la conversion des données qualitatives et quantitatives des différents ouvrages scientifiques, guides de références et études de cas consultés. L'évaluation des indicateurs se base également sur plusieurs études ayant produit des mesures qualitatives et quantitatives des bénéfices directs, des co-bénéfices et des coûts des aménagements.

Afin de hiérarchiser les critères de l'analyse selon les intérêts et les préoccupations locaux, un questionnaire a été transmis à toutes les parties prenantes ayant été identifiées comme ayant un degré d'influence modéré à direct.

[29] Langemeyer, J. et al. (2016). Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). *Environmental Science & Policy*, 62, 45-56.

[30] Ruangpan L. et al. (2020). Incorporating stakeholders' preferences into a multi-criteria framework for planning large-scale Nature-Based Solutions. *Ambio*, 50. 1514–1531.

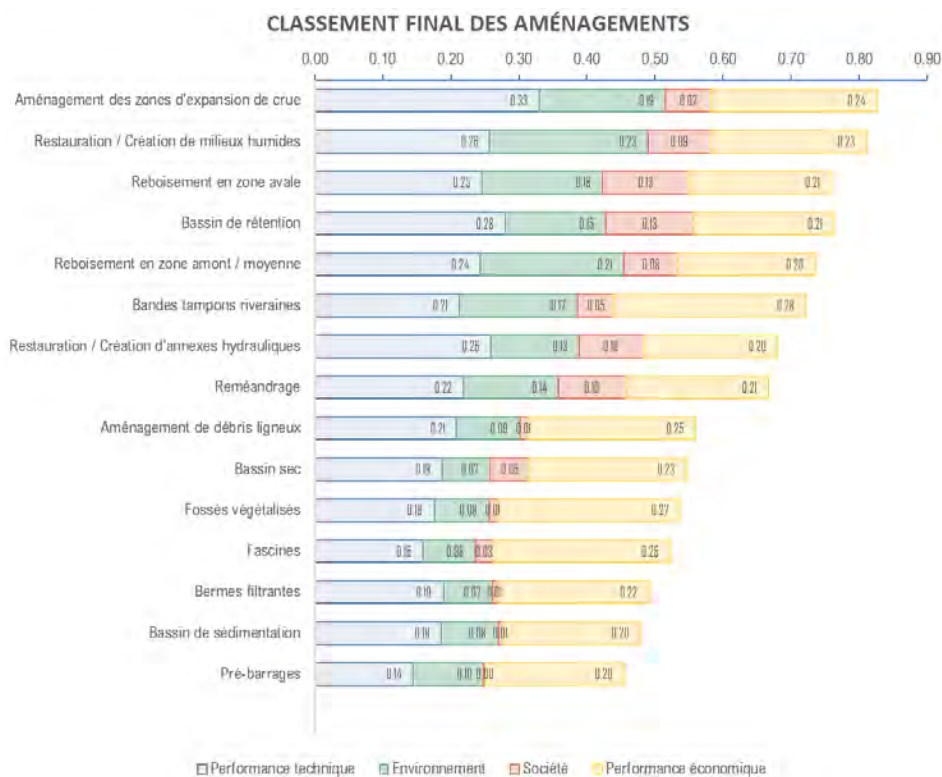
Dans celui-ci, les participants doivent assigner une valeur numérique de 0 à 3 reflétant le degré d'importance de chaque critère pour leur organisation. La moyenne des pondérations obtenues fut ensuite intégrée à l'évaluation de chacun des critères afin d'obtenir des scores finaux.

Les tableaux suivants présentent les critères retenus pour l'analyse, assortis de leurs indicateurs.

PERFORMANCE TECHNIQUE	
Réduction du ruissellement	Augmentation du coefficient de rugosité des terres
	Création d'obstacles pour la déviation du ruissellement
Réduction du débit de pointe	Augmentation de la rugosité hydraulique
	Contribution au stockage temporaire d'une partie du volume de la crue
Augmentation de l'infiltration	Augmentation de la porosité et de la perméabilité du sol
	Contribution au stockage de l'eau en surface
Augmentation de la capacité de rétention hydraulique	Création de zones de stockage de l'eau sur le territoire
	Augmentation de la connectivité hydrologique latérale
Augmentation de l'évapotranspiration	Augmentation de l'évaporation de surface
	Augmentation de la transpiration par les végétaux
Contrôle des sédiments et de l'érosion	Réduction de la quantité de sédiments dans les cours d'eau
	Réduction de l'érosion des rives
	Réduction de l'érosion des terres adjacentes au cours d'eau
ENVIRONNEMENT	
Réduction des risques de sécheresse	Augmentation du taux d'humidité des sols
	Augmentation des niveaux d'eau durant les périodes d'étiage
Amélioration de la qualité de l'eau	Réduction du taux de matières en suspension dans les cours d'eau
	Réduction du taux de pollution organique dans les cours d'eau
	Réduction du taux de métaux lourds dans les cours d'eau
	Modération des écarts de température des cours d'eau
Amélioration des nappes phréatiques	Contribution à la recharge de la nappe phréatique (quantité)
	Réduction du transfert des polluants vers la nappe phréatique (qualité)
Augmentation de la capacité de stockage du carbone	Augmentation du taux de matière organique dans la couche supérieure des sols
	Augmentation des peuplements forestiers
	Augmentation des milieux humides
Renforcement de la connectivité écologique	Création de corridors écologiques (milieux terrestres, aquatiques et/ou riverains)
	Création de zones tampons
Création d'habitats fauniques et floristiques	Création de nouveaux habitats terrestres, aquatiques et/ou riverains
	Augmentation de la superficie d'habitats terrestres, aquatiques et/ou riverains existants
	Renforcement des fonctions et/ou des composantes d'habitats terrestres, aquatiques et/ou riverains existants

SOCIÉTÉ	
Augmentation des opportunités récréotouristiques	Augmentation de la superficie des espaces récréotouristiques dans la région
	Diversification des activités récréatives disponibles dans la région
	Augmentation potentielle du nombre de touristes dans la région
Augmentation des opportunités éducatives	Création d'opportunités pour l'acquisition de connaissances scientifiques en matière de réduction du risque d'inondation, de gestion de l'eau et des dynamiques des écosystèmes dans la région.
	Création d'opportunités pour la sensibilisation des citoyens en matière de réduction du risque d'inondation, de gestion de l'eau et des dynamiques des écosystèmes dans la région
Augmentation de la quantité d'eau disponible	Augmentation des réserves d'eau potable dans la région (quantité)
	Augmentation de l'eau disponible pour l'irrigation des cultures dans la région (quantité)
	Augmentation de l'eau disponible pour les besoins industriels et énergétiques dans la région (quantité)
Réduction des îlots de chaleur urbains	Réduction de l'effet albédo dans la région urbaine
	Augmentation de l'indice d'humidité de l'air dans la région urbaine.
Amélioration de la santé humaine et du bien-être	Création d'opportunités pour la pratique d'activités physiques dans la région
	Amélioration de la qualité de l'air
	Réduction de la pollution auditive près des zones résidentielles
Augmentation de la valeur foncière des terres et propriétés	Augmentation des espaces verts urbains
	Amélioration de l'esthétique paysagère
PERFORMANCE ÉCONOMIQUE	
Minimisation des coûts initiaux	Degré d'expertise requis pour la conception de l'aménagement
	Niveau de collecte de données requis pour la conception de l'aménagement
	Quantité et complexité des permis requis pour l'implantation de l'aménagement
Minimisation des coûts de construction	Niveau des besoins en machinerie spécialisée requis pour la construction de l'aménagement
	Niveau des besoins en main-d'œuvre requis pour la construction de l'aménagement
	Dimension de la superficie requise pour la construction de l'aménagement
Minimisation des coûts d'exploitation	Fréquence et complexité de l'entretien de l'aménagement
	Fréquence et complexité du suivi de l'aménagement
	Montant des frais administratifs annuels requis pour l'exploitation de l'aménagement
Minimisation des coûts d'opportunité	Estimation des pertes pour l'industrie forestière
	Estimation des pertes pour le développement immobilier
	Estimation des pertes pour les entreprises industrielles
Durabilité	0 à 5 ans
	5 à 10 ans
	10 à 30 ans
	30 à 50 ans
	50 ans et plus
Rapidité du retour sur l'investissement	15 ans et plus
	10 ans à 15 ans
	5 à 10 ans
	0 à 5 ans
	Immédiat

À la suite de l'évaluation des critères et indicateurs pour chacun des 15 aménagements, les résultats furent pondérés selon les préférences des parties prenantes. Le classement final des aménagements selon les quatre dimensions présenté à la figure suivante représente les scores normalisés sur une échelle de 0 à 1.



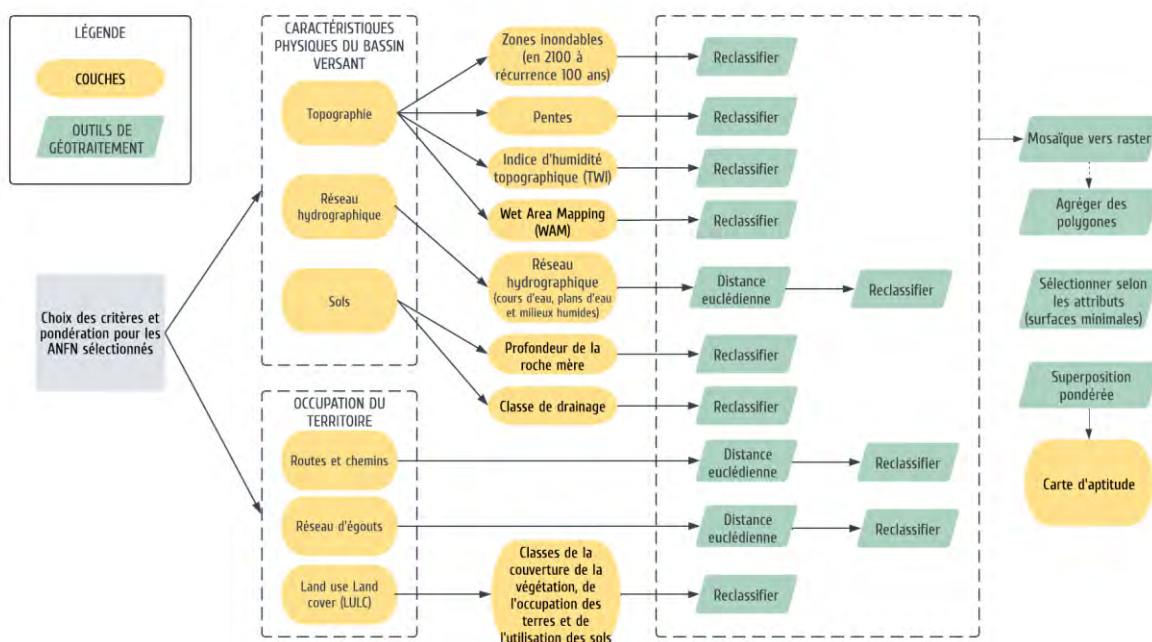
CARTE D'APTITUDE

Afin de définir des zones prioritaires pour l'établissement des aménagements sélectionnés, la méthode de la carte d'aptitude a été sélectionnée. Cet outil spatial d'aide à la décision permet d'identifier les emplacements opportuns pour l'aménagement des structures sur le territoire selon des conditions prédéfinies dans un système d'information géographique (SIG) tel que ArcGIS. La principale utilité de la carte d'aptitude est de circonscrire la zone d'étude selon certaines contraintes et opportunités pour la gestion intégrée des risques d'inondation. Ces emplacements pourront par la suite faire l'objet d'une évaluation plus détaillée pour la mise en œuvre concrète des aménagements.

Le bassin versant peut être divisé en trois zones distinctes selon les caractéristiques topographiques et morphologiques du territoire. L'emplacement des aménagements doit ainsi tenir compte de celles-ci en raison des conditions de dynamiques hydrologiques et sédimentaires particulières associées à chaque zone. Cette considération permet de réaliser une première classification pour la distribution des aménagements sur le territoire.

ZONE	AMÉNAGEMENT
Zone amont	Reboisement, Fossés végétalisés, Bandes tampons riveraines, Fascines, Aménagement de débris ligneux
Zone moyenne	Reboisement, Fossés végétalisés, Bandes tampons riveraines, Fascines, Aménagement de débris ligneux, Restauration / création de milieux humides, Bassins de rétention
Zone aval	Reboisement, Bandes tampons riveraines, Fascines Restauration / création de milieux humides, Restauration / création d'annexes hydrauliques, Aménagement des zones d'expansion des crues

L'identification des critères d'analyse spatiale pour chaque aménagement se base sur les paramètres définis dans plusieurs guides techniques et la consultation d'articles scientifiques. Un diagramme des processus résumant les principales étapes méthodologiques de la carte d'aptitude est présenté à la figure suivante.



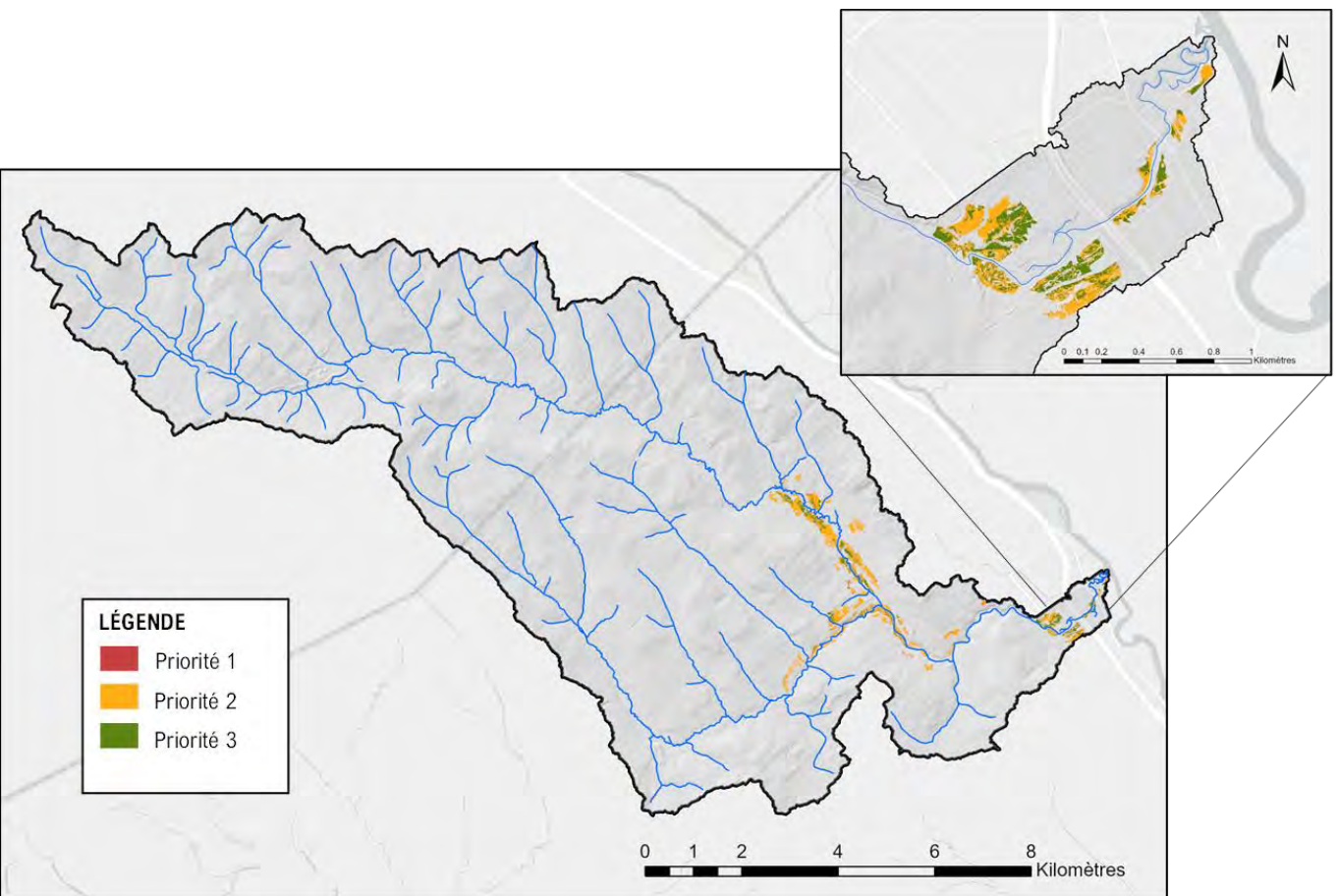
Dans un premier temps, les principales contraintes du territoire ont été identifiées, soit les emplacements où la mise en œuvre des aménagements est impossible ou peu probable. Ainsi, diverses classes de couvert de la végétation, d'occupation du territoire et d'utilisation des terres ainsi que des distances minimales des cours d'eau et des infrastructures routières ont été retirées selon les exigences des aménagements. De plus, des contraintes liées aux caractéristiques physiques du territoire, telles que la pente et la classe de drainage ont été définies comme paramètres contraignants pour l'emplacement de certains aménagements.

Dans un deuxième temps, les opportunités du territoire ont été déterminées, soit les zones présentant le plus grand potentiel pour la réduction des risques d'inondation. Trois principes directeurs ont guidé la sélection, soit la taille, la connectivité et la proximité. Ainsi, des superficies minimales ont été établies pour la plupart des aménagements. Le principe de connectivité hydrologique, soit le degré de relation entre les différentes composantes du cycle hydrologique, est également pris en compte à l'aide de données d'indice d'humidité topographique (TWI). L'intégration de cette couche fournie de l'information sur le potentiel d'accumulation d'eau sur le territoire et les zones d'écoulement préférentielles. Enfin, le principe de proximité considère la distance maximale de certains éléments du territoire, tels que le réseau hydrographique et les chemins, comme paramètre délimitant les zones prioritaires pour l'établissement des aménagements.

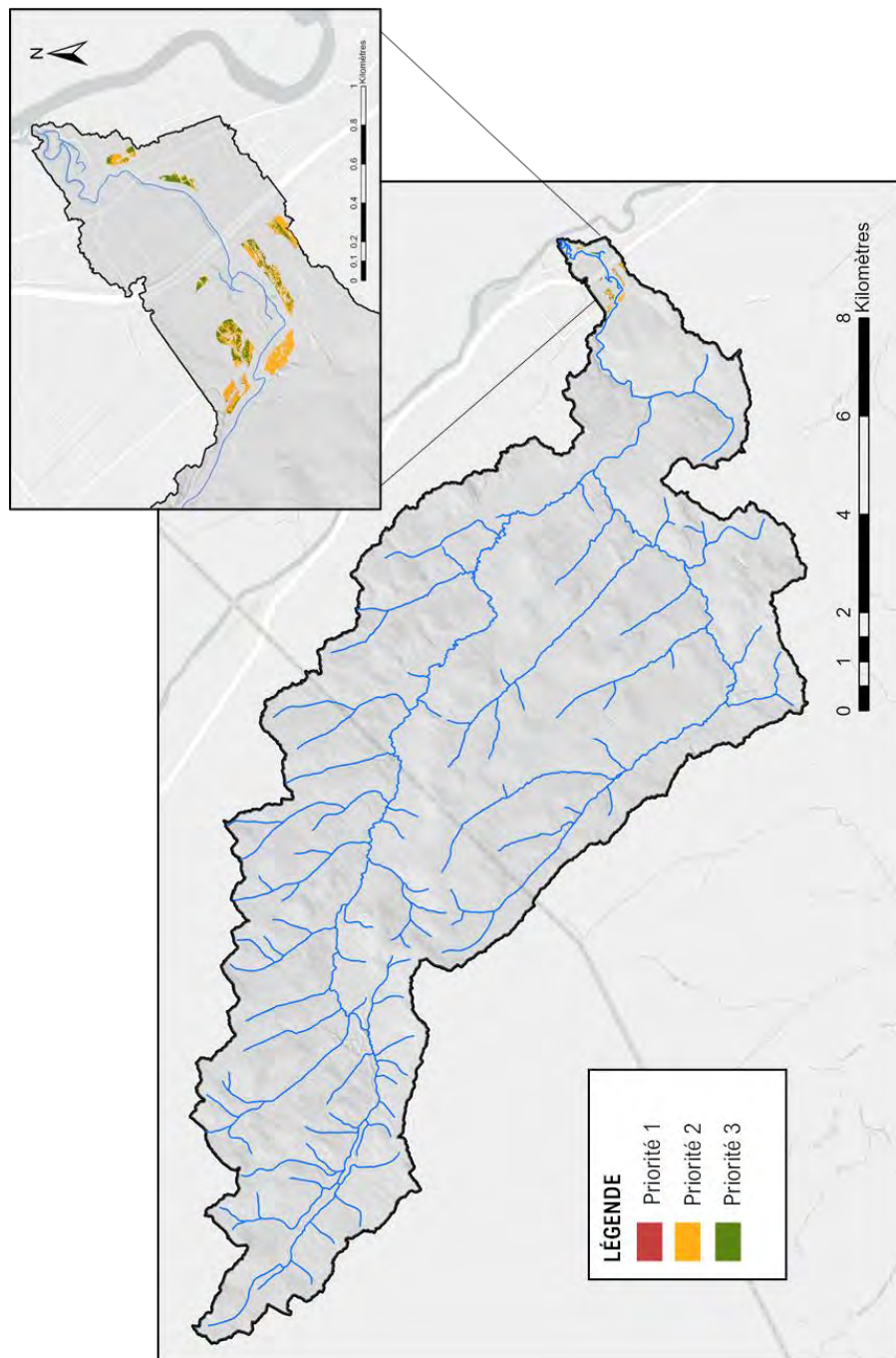
Par la suite, les critères d'analyse spatiale ont été intégrés au système d'information géographique ArcGIS pour chaque aménagement afin de produire des cartes démontrant les zones où chaque condition est respectée. Pour ce faire, les différentes couches ont été reclassifiées afin de définir les zones aptes ou non au changement d'occupation des sols selon les valeurs respectives de 1 et NODATA. L'outil de distance euclidienne a également été utilisé pour les critères de distances par rapport à certains emplacements identifiés. À la suite de la production de toutes les couches, celles-ci ont ensuite été combinées à l'aide de l'outil superposition pondérée afin de produire une carte d'aptitude générale identifiant les zones prioritaires remplissant tous les critères et les conditions identifiés pour chaque aménagement en tenant compte de la pondération.

ANNEXE 4 - CARTES D'APTITUDE POUR CHAQUE AMÉNAGEMENT

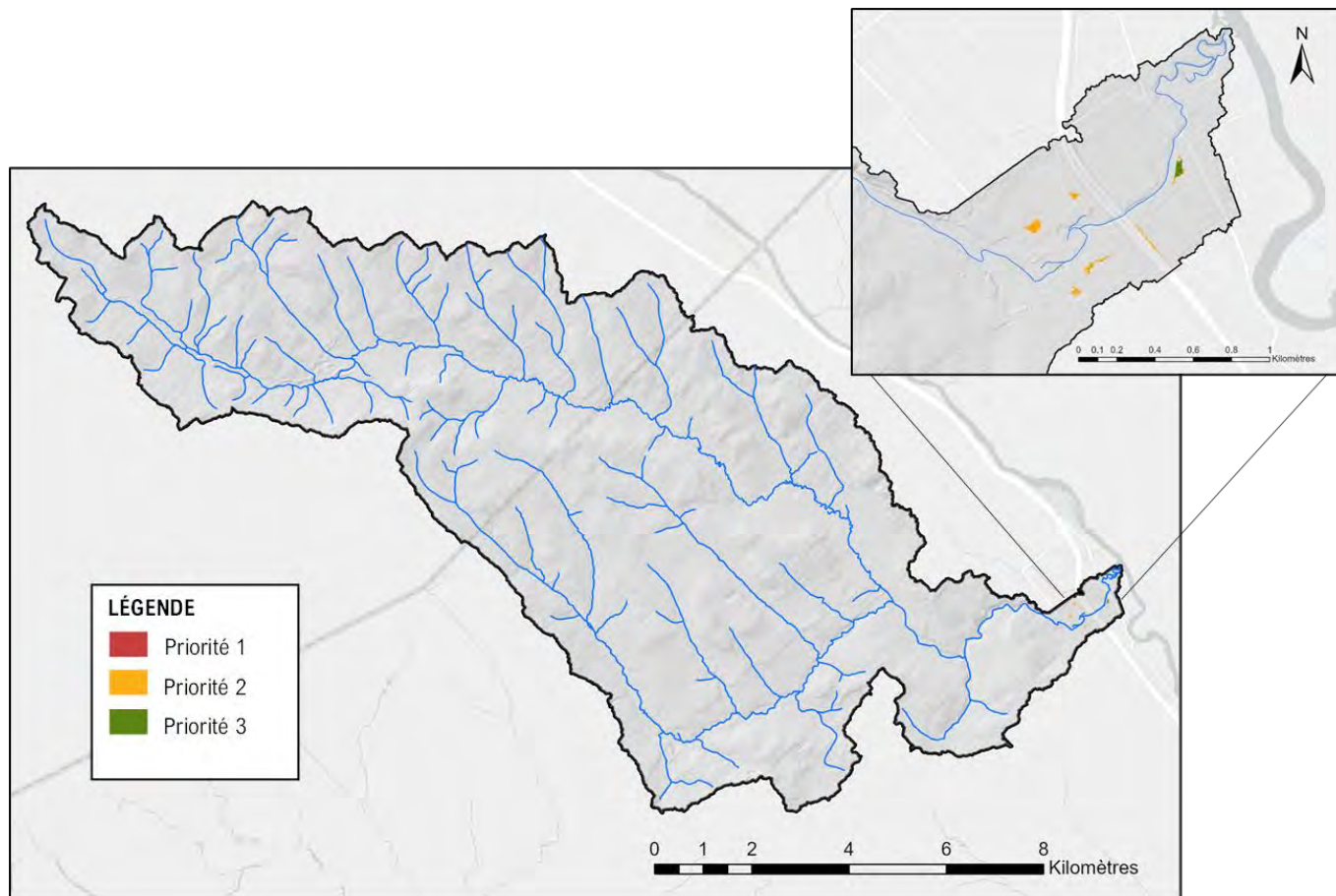
CARTE D'APTITUDE POUR LA CRÉATION D'ANNEXES HYDRAULIQUES



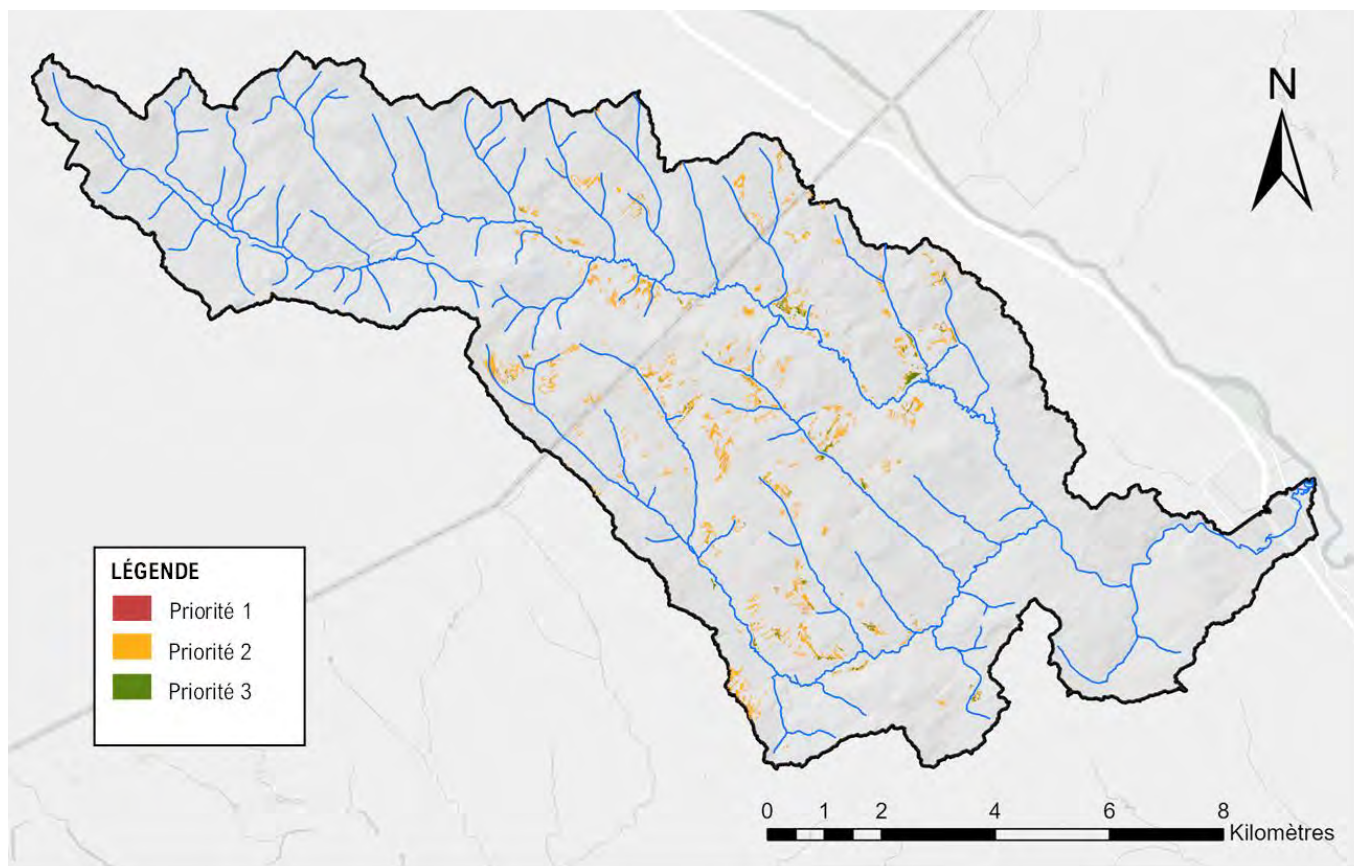
CARTE D'APTITUDE POUR L'AMÉNAGEMENT DES PLAINES INONDABLES



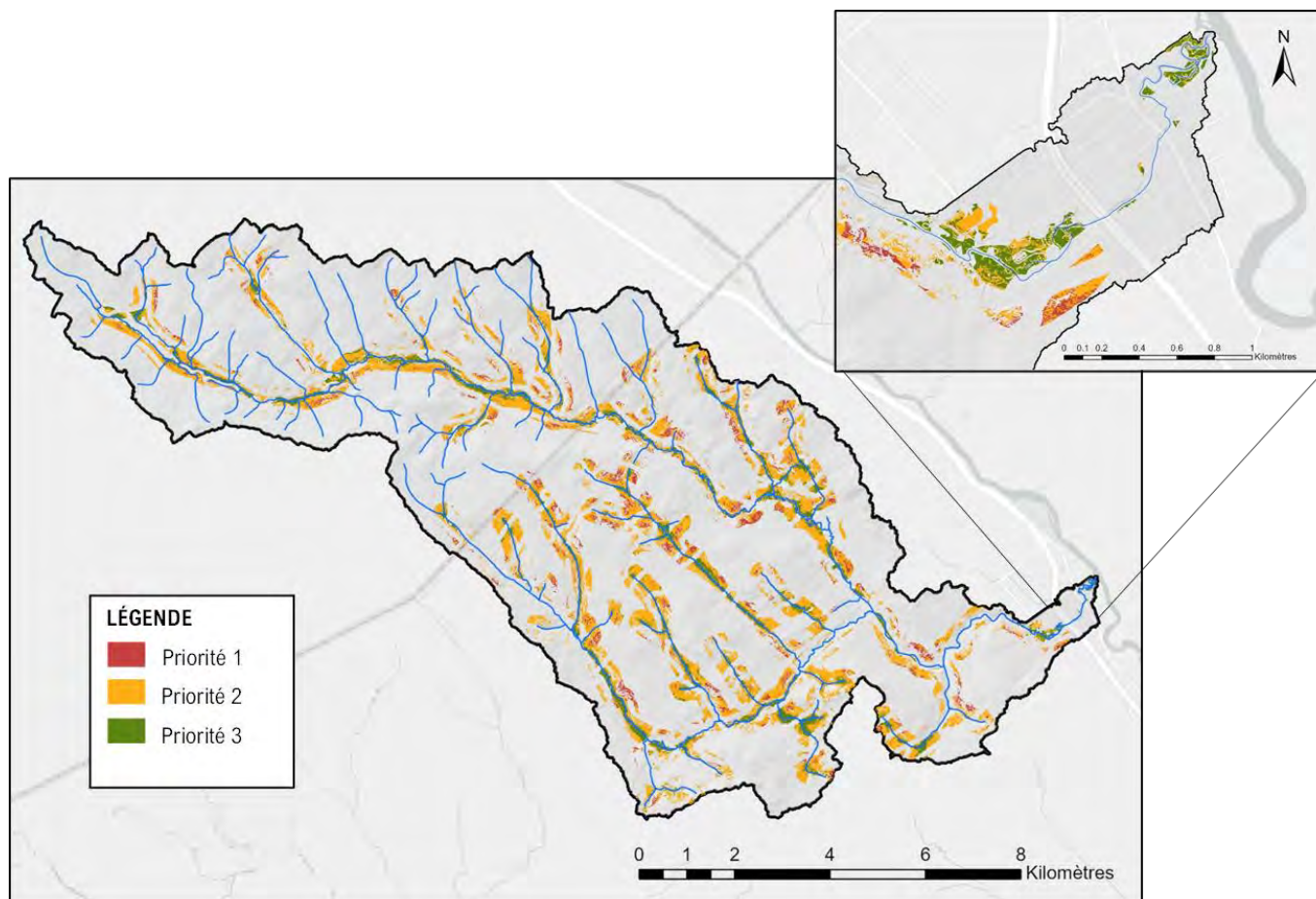
CARTE D'APTITUDE POUR LA CRÉATION DE MILIEUX HUMIDES



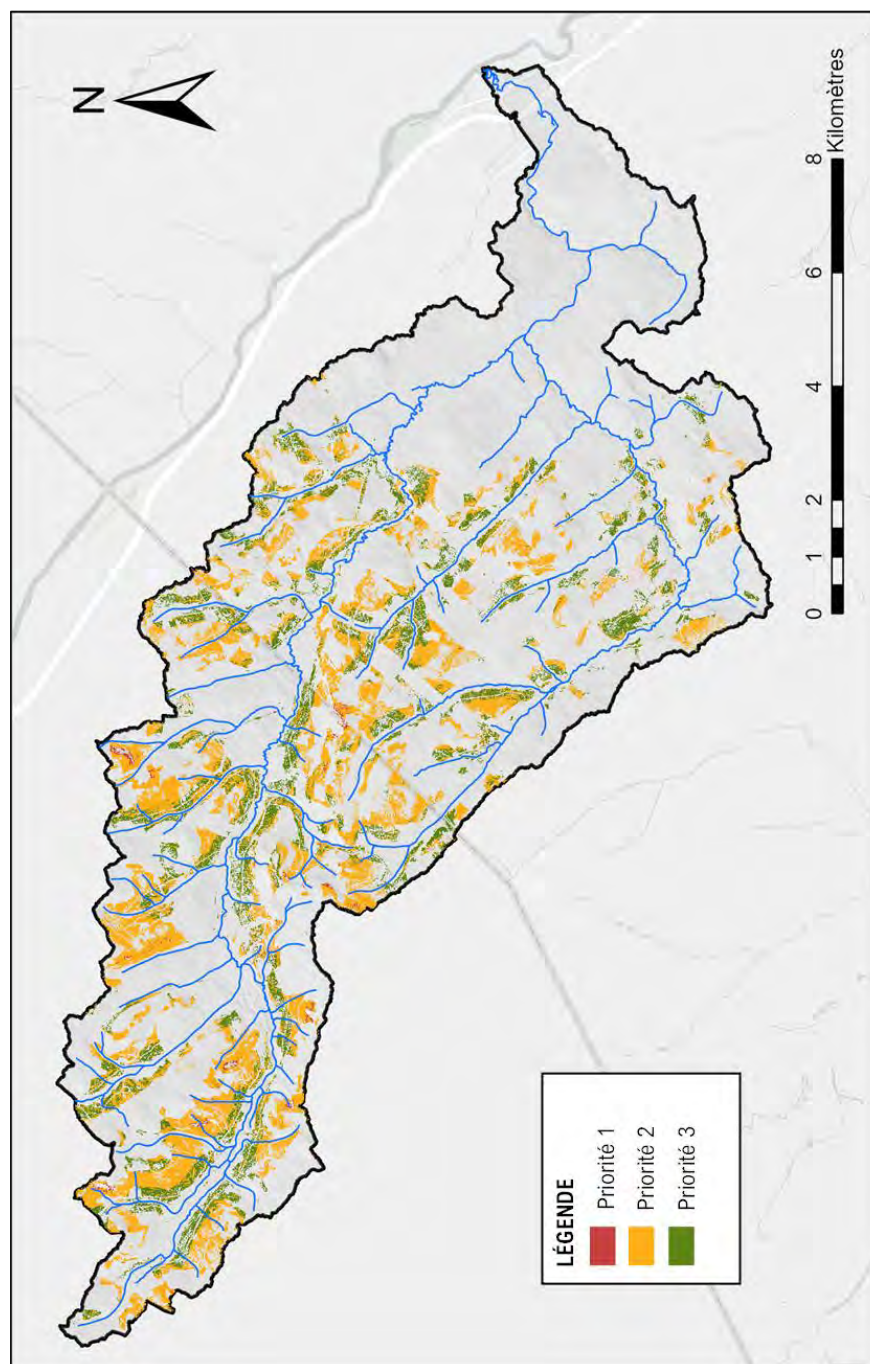
CARTE D'APTITUDE POUR LA CRÉATION DE BASSINS DE RÉTENTION



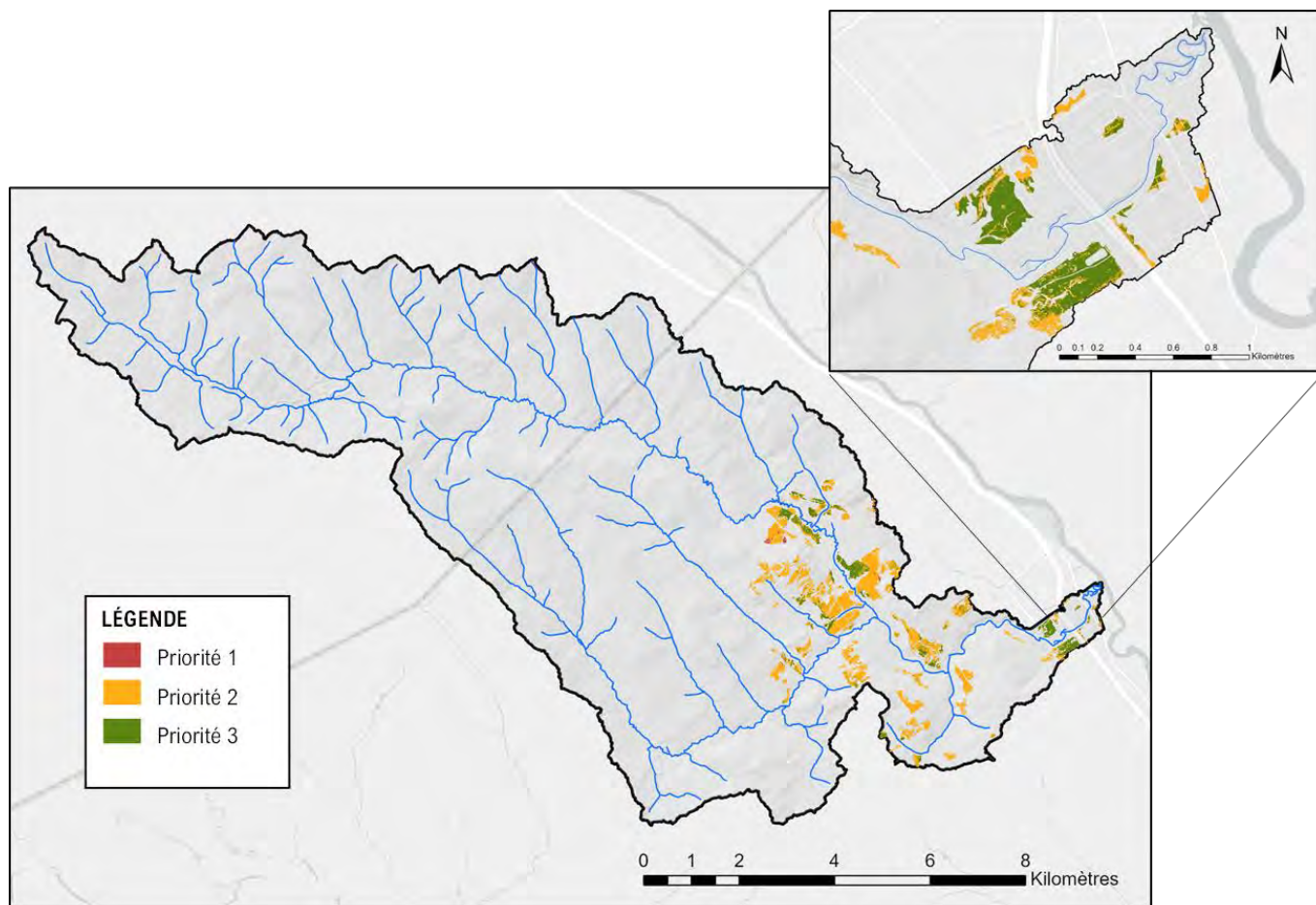
CARTE D'APTITUDE POUR L'AMÉNAGEMENT DE DÉBRIS LIGNEUX



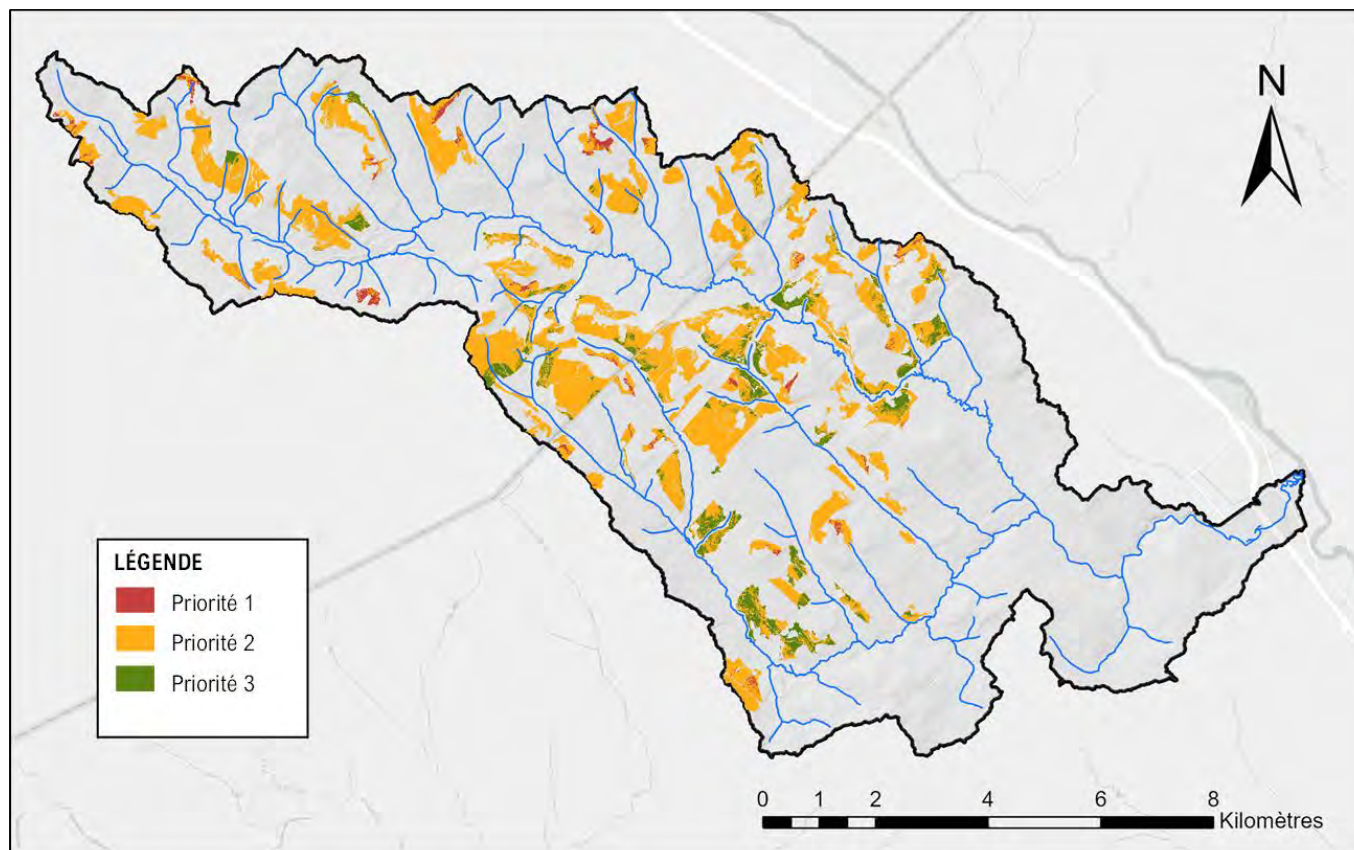
CARTE D'APTITUDE POUR LA CRÉATION DE FOSSÉS VÉGÉTALISÉS



CARTE D'APTITUDE POUR LE REBOISEMENT EN ZONE AVALE



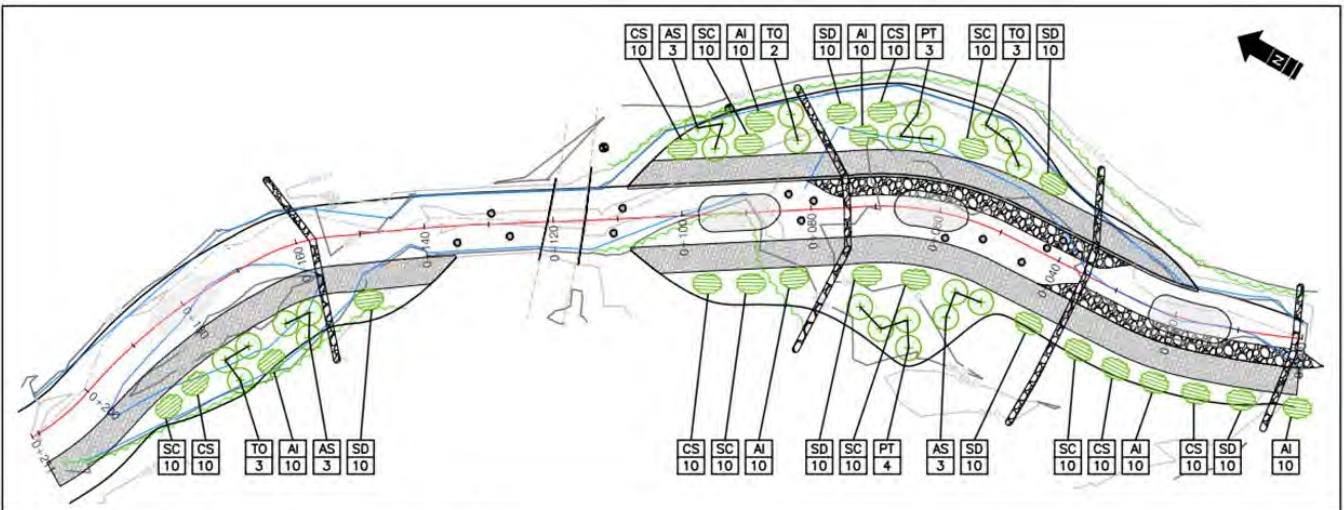
CARTE D'APTITUDE POUR LE REBOISEMENT EN ZONE AVALE ET MOYENNE



ANNEXE 5 - PROJET DU PARC RIVIÈRE RIVIÈRE À LA TRUITE



ANNEXE 6 - PROPOSITION DE RESTAURATION



RESTORATION SEED MIX		
SCIENTIFIC NAME	COMMON NAME	% MIX
GLYCERIA STRIATA	FOWL MANNA GRASS	2
POA PALUSTRIS	FOWL BLUEGRASS	30
CAREX VULPINOIDEA	FOX SEDGE	30
JUNCUS TENUIS	PATH RUSH	8
ELYMUS VIRGINICUS	VIRGINIA WILD RYE	30

RESTORATION PLANTINGS				
IDENTIFICATION	SCIENTIFIC NAME	COMMON NAME	SPECIFICATION	QUANTITY
CS	CORNUS SERICEA	RED OSIER DOGWOOD	1 GALLON POTTED	60
SD	SALIX DISCOLOR	PUSSY WILLOW	1 GALLON POTTED	60
SC	SAMBUCUS CANADENSIS	AMERICAN ELDERBERRY	1 GALLON POTTED	60
AI	ALNUS INCANA	SPECKLED ALDER	1 GALLON POTTED	60
TO	THUJA OCCIDENTALIS	WHITE CEDAR	B&B OR POTTED STOCK, MIN. 250cm TALL	8
AS	ACER SACCHARUM	SUGAR MAPLE	B&B OR POTTED STOCK, MIN. 250cm TALL	9
PT	POPULUS TREMULOIDES	TREMBLING ASPEN	B&B OR POTTED STOCK, MIN. 250cm TALL	7

SEED MIX NOTES:

- ALL SEED MIXES TO BE APPLIED AT A RATE OF 22-25 KG/HA
- A COVER CROP OF ANNUAL RYE (LOLIUM MULTIFLORUM) SHOULD BE APPLIED AT A RATE OF 22 KG/HA ON ALL AREAS OF DISTURBED/EXPOSED SOIL WITHIN THE PROJECT AREA FOLLOWING COMPLETION OF GRADING, DO NOT SUBSTITUTE PERENNIAL RYEGRASS AS A COVER CROP.
- SEED WILL NOT BE APPLIED ON FROZEN SOIL OR IN INUNDATED AREAS.
- SEED SHOULD BE APPLIED IN EARLY FALL OR EARLY SPRING.
- MULCH USING STRAW IN AREAS OF ONGOING EROSION TO PROMOTE ESTABLISHMENT OF COVER CROP AND RESTORATION SEED MIX.

ANNEXE 7 – STRATÉGIES DE D'ATTÉNUATION

AMÉNAGEMENT	RISQUE	ATTÉNUATION
Multiples	Perte de terres vouées à d'autres usages.	Effectuer une consultation publique rassemblant des représentants de tous les secteurs potentiellement impactés par la mise en œuvre de l'aménagement. Mettre en œuvre un outil d'observation foncier afin d'évaluer les impacts potentiels des ANFN sur le marché foncier.
	Création de rives d'érosion et de dépôts sédimentaires problématiques.	Effectuer une modélisation morphologique en amont du projet afin de déterminer l'emplacement optimal pour l'établissement de l'aménagement, incluant des considérations pour l'espace de liberté de la rivière et du libre mouvement des glaces.
Restauration/ création d'annexes hydrauliques	Formation de tronçons propices aux embâcles de glace et aux débris ligneux.	
Aménagement des zones d'expansion de crues	Échouement des poissons après une période de hautes eaux	Créer un design conciliant la maximisation des bénéfices pour l'atténuation des inondations et le drainage rapide du territoire après une période de crue.
Restauration / Création de milieux humides	Émissions de méthane.	Adopter des stratégies de conservation des milieux humides ainsi qu'une zone tampon de 30 mètres afin de protéger leurs fonctions pour un minimum de 50 ans.
Fossés végétalisés	Risques d'inondation localisée si la végétation est mal entretenue.	Effectuer un entretien régulier des fossés par temps sec en suivant la méthode du tiers inférieur.
	Transfert de polluants vers la nappe phréatique.	Planifier adéquatement le choix d'espèces indigènes pour la revégétalisation des fossés en misant sur le maintien de la biodiversité.

AMÉNAGEMENT	RISQUE	ATTÉNUATION
Bassins de rétention	Impacts négatifs potentiels sur la température de l'eau en aval.	Planter des arbres sur le pourtour et à la sortie du bassin afin de procurer de l'ombre et réguler la température de l'eau. Combiner le bassin de rétention avec d'autres ANFN ayant un fort potentiel d'infiltration et d'évapotranspiration tels que les fossés végétalisés à la sortie du bassin versant.
	Réduction de l'oxygène dissout disponible et risque d'eutrophisation.	Appliquer des stratégies de phytoremédiation afin de maximiser l'élimination de l'excès d'éléments nutritifs dans l'eau et augmenter la quantité d'oxygène dissout.
Aménagement de débris ligneux	Risque d'inondation localisée en amont.	S'assurer qu'aucun milieu sensible ou activité socio-économique non compatibles ne soit présents dans la zone d'inondabilité.
	Création d'embâcles et enjeu de sécurité lié au détachement de débris.	Éviter toute installation de débris ligneux directement en amont de structures telles que les ponts et les ponceaux. Fixer solidement les débris ligneux en place afin de réduire les risques de détachement.
	Sédimentation en amont de l'aménagement pouvant réduire l'efficacité.	Combiner la technique de débris ligneux avec d'autres ANFN ayant un fort potentiel de rétention des sédiments.
Reboisement en zone amont et moyenne	Réduction de la quantité d'eau de surface disponible.	Combiner le reboisement en amont avec d'autres ANFN en aval ayant un fort potentiel de stockage de l'eau dans des zones stratégiques pour les activités socio-économiques utilisant l'eau de surface.
	Création d'embâcles ligneux dangereux.	Éviter la plantation d'arbres dans un rayon de 15 mètres des cours d'eau.
	Introduction d'espèces envahissantes.	Planifier adéquatement le choix d'espèces indigènes variées les plus adaptées pour la plantation d'arbres selon le secteur en considérant les effets des changements climatiques sur la composition future des forêts.
	Réduction des revenus pour l'industrie forestière.	Élaborer une stratégie d'aménagement du territoire collaborative avec les acteurs de l'industrie forestière afin de concilier les usages.

AMÉNAGEMENT	RISQUE	ATTÉNUATION
Reboisement en plaine inondable	Dommages des infrastructures urbaines sous terrains par le système racinaire.	Éviter la plantation d'arbres dans un rayon de 2 mètres des réseaux d'égout souterrains.
	Refoulement des eaux en amont.	Combiner la plantation d'arbres avec d'autres ANFN ayant un fort potentiel de stockage de l'eau dans les zones à risque.
Bandes tampons riveraines	Introduction d'espèces envahissantes.	Planifier adéquatement le choix d'espèces indigènes les plus adaptées pour la revégétalisation selon le secteur, en utilisant par exemple l'outil de Québec Vert ^[31] .
	Création d'embâcles ligneux dangereux.	Planifier adéquatement la composition de plantation selon les trois strates de végétation en évitant la plantation d'arbres dans un rayon de 15 mètres des cours d'eau.
Fascines	Risque de défaillance entraînant l'érosion de la rive.	Effectuer un suivi régulier en début de projet afin de vérifier le développement du système racinaire et remplacer les végétaux défaillants.

[31] Québec Vert. (s. d.). Recherche de plantes recommandées pour la végétalisation des bandes riveraines du Québec.



Stratégie fondée sur la nature pour l'atténuation des risques d'inondation en contexte de changement climatique : Étude de cas du bassin versant Rivière-à-la-truite

Document préparé et rédigé par Stéphanie Paradis-Léger

Sous la direction de Dodick Gasser

Décembre 2022

