







ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AUX INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX DE LA RIVIÈRE COATICOOK À COMPTON

Rapport final
Septembre 2021







ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AUX INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX DE LA RIVIÈRE COATICOOK À COMPTON

Rapport final 09/2021

DIRECTRICE DE PROJET : Ursule Boyer-Villemaire, Ouranos

ÉQUIPE DE RÉALISATION:

Ursule Boyer-Villemaire, Ouranos

Annabelle Lamy, Ouranos

Raphaël Desjardins, Ouranos

Jérémie Roques, ROBVQ

Dorothy Heinrich, Ouranos

Caroline Simard, Ouranos

Scénarios climatiques: Marco Braun, Ouranos

RÉVISION LINGUISTIQUE ET MISE EN PAGE: Marie-Anta Diop, Ouranos

CRÉDIT PHOTO PAGE COUVERTURE: Ouranos

CRÉDITS PHOTOS DÉBUTS DE SECTIONS: Ouranos et MRC de Coaticook

Titre du projet Ouranos : Analyse coûts-avantages de l'adaptation aux inondations

riveraines

Numéro du projet Ouranos: 510034

Citation suggérée : Boyer-Villemaire, U., Lamy, A., Desjardins, R., Roques, J., Heinrich, D., Simard, C. (2021a). *Analyse coûts-avantages des options d'adaptation aux inondations et aléas fluviaux de la rivière Coaticook à Compton*. Rapport présenté à Ressources naturelles Canada. Ouranos. Montréal. 119 p. + annexes.

Les résultats et opinions présentés dans cette publication sont entièrement la responsabilité des auteurs et n'engagent pas Ouranos ni ses membres. Toute utilisation ultérieure du document sera au seul risque de l'utilisateur sans la responsabilité ou la poursuite juridique des auteurs.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été rendu possible grâce au soutien du Groupe de travail sur l'économie de la Plateforme canadienne d'adaptation au changement climatique, présidé par Ressources naturelles Canada, du gouvernement du Québec dans le cadre du Plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques et de la Fédération canadienne des municipalités.

D'abord, le ROBVQ a été un partenaire privilégié pour la réalisation de cette étude, tant en matière de mobilisation que de compétences techniques sur l'évaluation des aléas. De nombreuses collaborations ont aussi soutenu la démarche, notamment celle de Mélanie Trudel et son équipe de génie civil à l'Université de Sherbrooke, qui ont partagé avec Ouranos leur expérience et leurs connaissances approfondies sur la modélisation hydrologique et hydraulique dans les bassins versants de l'Estrie.

Nous tenons également à souligner la contribution des membres des différents comités mis en place dans le cadre de ce projet. Leur participation a permis, entre autres, de mieux intégrer l'ensemble des enjeux de la zone d'étude.

Dans le comité local de suivi, nous tenons à remercier la MRC Coaticook / Marie-Claude Bernard, le COGESAF / Catherine Frizzle, la fédération de l'UPA-Estrie / Roberto Toffoli, la municipalité de Compton / Jean-Pierre Charuest pour leur soutien indéfectible. L'apport précieux de ces nombreux partenaires a permis d'avoir accès aux informations et données essentielles à la réalisation du projet. Un merci sincère aux producteurs locaux ayant participé à l'assemblée locale de priorisation, merci pour votre ouverture d'esprit et attitude de collaboration dans un contexte soulevant les préoccupations et les passions.

Nous remercions toutes les organisations et firmes qui ont fourni des données essentielles ou du temps pour ce projet, WSP, Stantec, Canards Illimités et plusieurs autres. Cet apport essentiel a grandement renforcé la crédibilité de l'estimation du coût des mesures.

Les membres du comité de suivi ont aussi été d'un précieux conseil : Pamela Kertland (Ressources Naturelles Canada), Richard Turcotte/Audrey Lavoie (MELCC-Ouranos), Sami El-Leuch (FCM), Skander Ben Abdallah (UQAM), Geneviève Cloutier (U.Laval), François Anctil (U.Laval), Antoine Verville/Marie-Hélène Gendron (ROBVQ), Claude Sauvé (CBJC), Anne Blondlot (Ouranos), Alexandrine Bisaillon (Ouranos), Pascal Marceau (MSP), Jimmy Duschesneau/Myriam Michel/Steve Hétu (MAMH).

Merci à tous ceux et celles y ayant apporté une contribution pour faire de ce projet collectif une réussite.















Introduction: Les inondations des dernières années au Québec et l'événement torrentiel de juin 2015 en Estrie remettent en cause les usages anthropiques en zone à risque et mettent en évidence la vulnérabilité de plusieurs communautés. Appuyée par Ressources naturelles Canada, le Gouvernement du Québec et la Fédération Canadienne des municipalités, Ouranos a entrepris le projet de recherche Analyse des coûts-avantages des options d'adaptation aux inondations et aléas fluviaux en contexte de changements climatiques, afin d'outiller les communautés pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques d'inondations et liés aux rivières. Ce projet comporte un rapport méthodologique et deux études de cas d'analyses coûts-avantages: 1) la rivière Coaticook à Compton et 2) l'ensemble du bassin versant de la rivière Chaudière. Le présent rapport visait à quantifier les coûts et les avantages de différents scénarios d'adaptation visant à réduire et gérer les risques reliés aux inondations et aléas fluviaux de la rivière Coaticook sur le territoire de la municipalité de Compton.

Méthodologie: Cette étude fait converger les méthodologies d'analyses coûts-avantages (ACA) réalisées auparavant au Québec et ailleurs, et l'analyse de risque (basée sur ISO 31000), soutenue par un cadre participatif, dans une perspective multialéa. Pour appuyer la prise de décisions complexes, elle s'appuie sur une chaîne de modélisation multidisciplinaire: scénarios climatiques, modélisation hydrologique, hydraulique et hydrogéomorphologique, une évaluation des impacts socio-économiques et une modélisation des services écosystémiques. La zone d'étude s'étend sur tout le territoire de la municipalité de Compton compris dans le bassin versant de la rivière Coaticook.

Résultats: L'analyse de risque montre une valeur totale de terrains et bâtiments exposés aux aléas fluviaux de 12,2 M\$, dont 18 bâtiments résidentiels potentiellement exposés à au moins un aléa fluvial. Cet état des enjeux justifie l'acquisition de connaissances sur certains aléas (avulsion, cônes alluviaux, embâcles). La priorité de réduction de risque se situe dans un corridor riverain, exposé à de multiples aléas (inondation, érosion des berges, avulsion), d'une superficie de 185 ha située majoritairement en zone agricole. Les pratiques actuelles consistent en des indemnisations des dommages d'inondation et de l'enrochement subventionné pour stabiliser les berges.

Les résultats de l'ACA indiquent clairement que pour la société, le scénario le plus avantageux économiquement lors des 50 prochaines années est l'approche de mobilité de la rivière, dans un étroit corridor multialéa, avec adaptation des usages dans les secteurs à risque moindre. Les avantages excèdent les coûts : les dommages évités en agriculture et l'amélioration des services écosystémiques dépassent la valeur de la perte d'usages dans le corridor multialéa. Il s'agit d'une option sans regret, c'est-à-dire, rentable face à l'incertitude des risques climatiques.

Par contre, la mise en œuvre de l'adaptation suscite des questions collectives de distribution des coûts et avantages entre les acteurs et de réglementation (ex. relocalisation agricole, coûts concentrés sur les producteurs, prix des terres). La résilience des usages et pratiques agricoles face aux risques fluviaux pourraient ainsi se greffer aux problématiques émergentes à prendre en compte dans les politiques publiques, tel que le Plan d'agriculture durable 2020-2030.

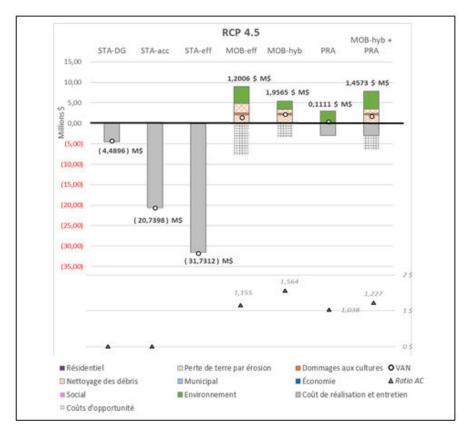


Figure.

Bilan des coûts et avantages sur 50 ans comparativement au scénario de référence, du scénario stabilisation avec dragage (STA-DG), stabilisation acceptable (STA-acc), stabilisation efficace (STA-eff), mobilité efficace (MOB-eff), mobilité hybride (MOB-hyb), adaptation des pratiques agricoles (PRA) ainsi que mobilité hybride et adaptation des pratiques agricoles (MOB-hyb + PRA)

Retombées pour l'adaptation

Cette étude a démontré :

- qu'il était plus rentable de réduire l'exposition et la vulnérabilité des activités et personnes à risque que de réduire l'aléa (contrôle des débits ou des étendues d'eau);
- que les scénarios d'adaptation les plus rentables pour la société comportent parfois des limites liées à la distribution de leurs impacts entre acteurs, notamment pour les producteurs agricoles;
- un besoin de cohérence réglementaire dans les secteurs multialéas présentant un niveau de risque élevé;
- une valeur ajoutée à quantifier la valeur des services écosystémiques au sein d'une ACA;
- l'intérêt d'utiliser une méthode d'évaluation socioéconomique tenant compte de plusieurs types d'usages et secteurs économiques, pouvant s'appliquer autant à l'échelle municipale que du bassin versant.



Au cours des dernières années, les inondations de la rivière Richelieu en 2011, les pluies diluviennes de juin 2015 en Estrie et les inondations généralisées des printemps 2017 et 2019 ont affecté une large portion du territoire du sud du Québec. Elles remettent en question la construction en zone à risque, les modes d'aménagement du territoire et mettent en évidence la vulnérabilité de plusieurs communautés. Appuyé par Ressources naturelles Canada, le Gouvernement du Québec et la Fédération Canadienne des municipalités, Ouranos a entrepris le projet de recherche *Analyse des coûts-avantages des options d'adaptation aux inondations et aléas fluviaux en contexte de changements climatiques*, afin d'outiller les communautés pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques d'inondations et fluviaux. Les partenaires principaux furent le Regroupement des organismes de bassin versant (ROBVQ), l'Université de Sherbrooke, le Comité de gestion de la rivière Saint-François (COGESAF) et le comité de bassin versant de la rivière Chaudière (COBARIC), tous ayant développé un imposant bagage de connaissances sur le sujet.

L'objectif général du projet portait sur le développement d'une méthode d'analyse des impacts socio-économiques des changements climatiques et des solutions d'adaptation aux inondations fluviales, à l'érosion de berges et d'autres aléas liés aux rivières qui menacent les actifs, activités et personnes dans les zones riveraines du Québec. La méthode choisie fut celle de l'analyse coûts-avantages participative basée sur l'analyse de risque : les coûts et les avantages de différents scénarios d'adaptation (combinaisons de plusieurs mesures d'adaptation) ont été comparés, afin de déterminer la viabilité économique des solutions et d'identifier celles qui offrent un avantage net pour la collectivité, en s'appuyant sur plusieurs instances de mobilisation des parties prenantes. Ce projet comporte un rapport méthodologique et deux études de cas d'analyses coûts-avantages : la rivière Coaticook à Compton (échelle municipale) et la rivière Chaudière (échelle du bassin versant).

Le présent rapport d'étude de cas répond à une problématique de multiples aléas liés à la rivière Coaticook dans la municipalité de Compton, affectant un secteur principalement agricole. L'étude visait à quantifier les coûts et les avantages de différents scénarios d'adaptation visant à réduire et gérer les risques reliés aux inondations et aléas fluviaux de la rivière Coaticook sur le territoire de la municipalité de Compton.

Approche méthodologique

Cette étude fait converger les méthodologies d'analyses coûts-avantages réalisées auparavant au Québec et ailleurs, et l'analyse de risque (basée sur ISO 31000), soutenue par un cadre participatif, dans une perspective multialéa. Pour appuyer la prise de décisions complexes, elle s'appuie sur une chaîne de modélisation multidisciplinaire: des scénarios climatiques locaux (Ouranos), des projections de probabilités de dépassement annuel et de profondeurs d'eau de différents évènements d'inondation (Génie hydraulique, Université de Sherbrooke), une étude hydrogéomorphologique (UQAR-MRC Coaticook), une évaluation des impacts socioéconomiques et une modélisation des services écosystémiques (Ouranos).

- Cadre participatif: La mobilisation des parties prenantes à l'échelle de la municipalité, la région et de ministères ou organismes permet de cerner des mesures d'adaptations acceptables par le milieu.
- Analyse de risque: Un dénombrement des actifs, des activités et des personnes selon des niveaux de risque permet de prioriser les coûts à éviter. Les aléas fluviaux considérés sont les inondations en eau libre, l'érosion des berges, le déplacement soudain du chenal (avulsion), et les cônes alluviaux (accumulations de sédiments en forme de cône en pied de talus).
- Co-construction des scénarios d'adaptation: Les scénarios d'adaptation évalués constituent une combinaison de mesures réparties sur le territoire et pouvant évoluer dans le temps. Ils reflètent plusieurs stratégies d'adaptation (infrastructure grise et verte, gestion des actifs, réglementation, mesures comportementales). Le choix des scénarios a été réalisé en co-construction avec deux instances participatives, soit le comité local de suivi (multidisciplinaire, reflétant une diversité d'acteurs du milieu) et l'assemblée consultative de priorisation (des producteurs agricoles).
- Analyse économique: La phase d'analyse économique compare du point de vue monétaire l'ensemble des avantages et des coûts de différentes options d'adaptation réalisables avec le scénario de références (statu quo) sur une période de 50 ans (2020 à 2070), dans la perspective collective de la municipalité de Compton. Pour cette analyse, les deux indicateurs économiques retenus sont la valeur actualisée nette (VAN) et le ratio avantages-coûts. Cette base économique commune est exprimée en \$ constants 2019, et un taux d'actualisation décroissant s'applique, de 4 % (2020-2050) puis de 2 % (2050-2070). Cette analyse est ensuite

soumise à des tests de robustesse (analyse de sensibilité, analyse de distribution entre acteurs et analyses complémentaires).

Cette démarche dégage le scénario le plus avantageux économiquement pour la collectivité, afin d'éventuellement nourrir des discussions sur l'acceptabilité et la mise en œuvre de l'adaptation.

Zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur tout le territoire de la municipalité de Compton compris dans le bassin versant de la rivière Coaticook (env. 60 km²) (Figure A).

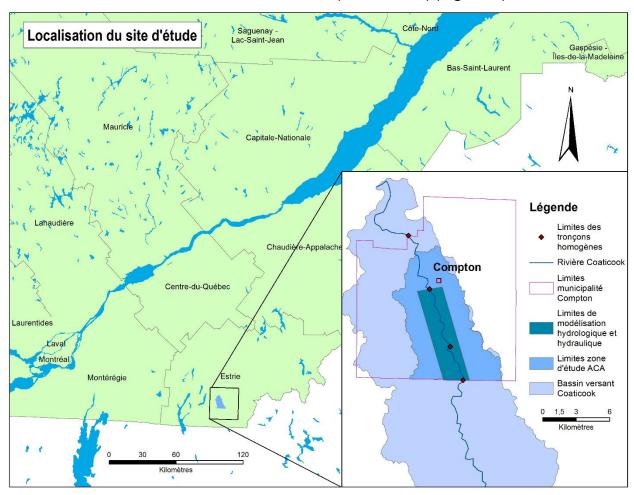


Figure A. Localisation de la zone d'étude

Le débit moyen sur la rivière (entre 1970-2018) à la station de Waterville du réseau québécois de jaugeage se situe entre 2 et 20 m³/s, avec des pointes de crues pouvant dépasser les 200 m³/s (MELCC, 2021). En 2016, la municipalité de Compton recensait 3 131 habitants ou 1260 ménages, soit 2,4 personnes/ménage (Statistiques Canada, 2016). L'utilisation agricole domine la zone d'étude à plus de 60 % et une majorité d'emploi est liée à ce secteur.

L'analyse de risque porte sur trois segments ayant chacun une dynamique fluviale homogène. Pour l'analyse des coûts et avantages, seuls les deux segments amont (les 16 km vers Coaticook) ont été modélisés par l'Université de Sherbrooke; le troisième a été exclu en raison de la dynamique liée au barrage de Waterville.

Mobilisation des parties prenantes

Les activités suivantes ont soutenu la mobilisation tout au long du projet :

- CT Comité technique composé d'experts d'Ouranos, du ROBVQ, du COGESAF et de l'Université Sherbrooke, pour assurer la coordination du projet, mais aussi offrir du soutien technique et analytique pour la réalisation de l'étude (7 réunions)
- CLS Comité local de suivi : impliquant la MRC de Coaticook, la municipalité de Compton, l'Union des producteurs agricoles (UPA) de l'Estrie et les producteurs agricoles locaux, permettant un processus itératif de co-construction pour la sélection des postes d'impacts reflétant les enjeux, la validation des hypothèses, la sélection des scénarios et l'amélioration et la communication des résultats. Pour assurer un arrimage optimal aux initiatives et aux enjeux locaux, le CLS nourrit, appuie, conseille et oriente le CT. (5 réunions)
- ACP Assemblée consultative de priorisation : impliquant 11 producteurs agricoles, visant à cartographier de manière participative les impacts et des solutions concertées à évaluer, puis de valider l'adhésion aux résultats et déterminer les obstacles à l'adaptation (2 réunions)
- CS Le comité de suivi du projet global réunissant les principaux bailleurs de fond, des experts académiques et des représentants de ministères et organismes (3 réunions)
- L'équipe restreinte de projet d'Ouranos et du ROBVQ (près de 120 réunions hebdomadaires).

Les retombées générales de la mobilisation dans le cadre de cette étude ont été d'arrimer l'évaluation d'impacts aux préoccupations du milieu, de faciliter l'accès aux données locales, de sélectionner des scénarios suscitant une adhésion initiale et de s'appuyer sur les meilleures pratiques scientifiques.

Analyse de risque

L'analyse des aléas en climat futur projette une augmentation des risques fluviaux pour les enjeux exposés: l'augmentation des débits et un élargissement de la zone inondable d'ici 50 ans, mais un retour à l'actuel dans le futur lointain, qui sera compensé par le déplacement d'épisodes extrêmes d'inondation du printemps vers l'été. La majorité du territoire de la zone d'étude est à usage agricole et sensible aux épisodes hydrométéorologiques extrêmes. La valeur des terres agricoles représente 62 % (7,6 M\$) de la valeur totale des actifs, estimée à 12,2 M\$. L'aléa de cônes alluviaux est le plus préoccupant en termes de nombre de résidences (11). Considérant cette

analyse, les limites des connaissances sur certains aléas et les préoccupations émises par les parties prenantes, la priorité de réduction de risque se situe dans la zone riveraine multialéa (inondation, érosion, avulsion) en majorité agricole.

Tableau A. Matrice de risque multialéa

rubieu	Mutilice de lisq	de illuitidied		
С	Sévères	Bassin d'épuration		Zone riveraine
0	>25% actifs exposés	en zone		multialéa
n	Infra. essentielles	d'avulsion*		(inondation,
S				érosion, avulsion)
é	Modérées	Zones d'avulsion*	Transport	Érosion seulement
q	10-25% actifs	Secteur résidentiel	provincial avec 1	
u	exposés	exposés aux cônes	seul aléa	
е		alluviaux*	inondation	
n			seulement	
С	Mineures			
е	< 10% actifs exposés			
		Faible <1 %	Moyenne 1-5 %	Forte >5 %
		(< 1:100)	(1:20-1 :100)	(> 1:20)
Probabilité d'occurrence d'ici 50 ans				

^{*}Probabilité incertaine considérée faible

Scénarios d'adaptation à l'étude

La construction des scénarios se base sur un processus collaboratif en plusieurs étapes impliquant les comités participatifs du projet, mais aussi la consultation d'experts techniques pour certaines solutions. Ces solutions prennent en compte les conditions hydrodynamiques, l'érosion et la sédimentation et ont été conçues pour éviter les problèmes d'inondation et d'érosion pour les 50 prochaines années.

Le scénario de référence se définit comme la poursuite de l'approche réglementaire d'indemnisation des dommages liés aux inondations et l'ajout d'enrochement subventionné pour la stabilisation de berge. L'état de référence partiel de l'environnement a permis de situer les flux annuels de trois services écosystémiques : la qualité de l'eau, la qualité de l'habitat et la séquestration du carbone.

Les sept scénarios illustrent des stratégies d'adaptation aux aléas fluviaux bien différentes, que ce soit la résistance et le contrôle des aléas, la réduction des conséquences par la protection des actifs, la transformation d'usages ou le retrait d'actifs. Ils s'appuient sur une panoplie de mesures structurelles, naturelles, réglementaires ou comportementales. Chaque scénario a fait l'objet d'une estimation de l'efficacité sur les aléas et les actifs à risque, des coûts des mesures (conception, réalisation, entretien), des coûts d'opportunités (coût de renonciation des usages), et d'identification des impacts par secteurs (agricoles, commerciaux et industriels, résidentiels, psychosociaux, municipaux, économiques, environnementaux).

Tableau B.Liste des sept scénarios et leurs mesures

Tableau B.	Liste des sept scénarios et leurs mesures	
Symbole	Nom et description du scénario	Mesures
SQ	Statu quo ou scénario de référence Poursuite de l'enrochement léger et remboursement des dommages ou opérations d'urgence	Enrochement léger + Programmes d'indemnisation
Stratégie : 0	Contrôle des niveaux d'eau par mesures st	tructurelles en rive
1. STA-DG	Stabilisation des berges avec dragage Stabilisation avec dragage sur le chenal principal	Enrochement + dragage
2. STA- ACC	Stabilisation des berges avec rétention acceptable Combinaison de mesures de stabilisation et rétention	STA-DG + Bassins de rétention + milieux humides en secteur agricole désignés acceptables
3. STA-EFF	Stabilisation des berges avec rétention – efficacité maximale Bassin de rétention surdimensionné à l'entrée du site d'étude en terrain vacant	Enrochement + bassin de rétention surdimensionné
Stratégie : F	Réduction des enjeux par réglementation	ou comportemental
4. MOB- EFF	Mobilité des berges – <u>eff</u> icacité maximale Retrait des actifs à risque pour le reméandrage du cours d'eau (« corridor vert d'espace de mobilité »)	Interdiction d'usage dans toute la plaine inondable (avec coût d'opportunité)
5. MOB- HYB	Mobilité des berges – <u>hyb</u> ride Étroit corridor écologique en zone multialéa, avec usage durable (restriction des cultures dans la plaine inondable)	Modification des usages dans la zone multialéa + Restriction des types de cultures dans toute la plaine inondable (avec coût d'opportunité)
Stratégie : F rive	Réduction des niveaux d'eau par mesures s	structurelles ou comportementale hors
6. PRA	Adaptation des <u>pra</u> tiques agricoles Ouvrages hydroagricoles de rétention et réglementation des pratiques de culture	Ouvrages hydroagricoles de rétention + règlementation des pratiques de culture sur résidus dans toute la zone d'étude
	Réduction des enjeux et contrôle des a ires ou comp.	léas par des mesures structurelles et
7. MOB- HYB + PRA	Mobilité hybride + adaptation des pratiques agricoles Combinaison des scénarios MOB-HYB et PRA	Combinaison des mesures de mobilité hybride et adaptation des pratiques agricoles

Analyse économique

Une approche exhaustive a permis d'estimer l'ensemble des coûts et avantages liés aux impacts économiques, environnementaux ou sociaux des scénarios, notamment en se basant sur les budgets de ferme selon les cultures, des probabilités mensuelles de profondeurs d'eau, des prix de marché de nettoyage de débris et des coûts de remplacement d'enrochement.

Ainsi, en l'absence de changement des pratiques actuelles, sur 50 ans, les risques fluviaux à Compton pourraient engendrer des dommages d'inondation en eau libre et d'érosion des berges de 4,9 M\$ pour la collectivité, dont 98 % incombent au secteur agricole. Ils se répartissent entre le nettoyage des débris, les pertes de terres par érosion et les pertes de revenus liés aux impacts sur les récoltes. Par contre, il est préférable aux scénarios impliquant une modification au lit de la rivière (voir Tableau B: STA-DG, STA-ACC, STA-EFF), ainsi qu'au scénario de mobilité maximale (voir Tableau B: MOB-EFF), qui désavantage disproportionnellement les résidents et agriculteurs, jusqu'à représenter un enjeu pour la cohésion sociale.

Parmi les scénarios étudiés, l'approche de mobilité hybride (voir Tableau B : MOB-HYB) s'avère la plus avantageuse selon l'analyse : elle offre une valeur actualisée nette de 1,9 M\$ sur 50 ans comparativement au scénario de référence (voir Figure B). Cette solution d'adaptation permet d'éviter 70 % des dommages agricoles en s'appuyant sur la transformation des usages d'un mince corridor multialéa source de la majorité des dommages, tout en encourageant les cultures résilientes en zones d'inondation, ce qui permet dans l'ensemble de réduire les indemnisations collectives. Le coût total de cette approche serait de 3,5 M\$, répartis entre des coûts de transformation d'usages (par ex. coût d'opportunité des bandes riveraines élargies ou des milieux humides riverains sur lesquels on cesse la culture), ainsi que la perte de revenus induite par l'adaptation des pratiques agricoles. De plus, il s'agit d'une approche qui favorise les services écosystémiques, amenant un gain net de 2,0 M\$ en qualité de l'eau, qualité d'habitat et séquestration du carbone. Ainsi, le ratio avantagescoûts suggère que pour chaque dollar investi dans cette approche, les retombées seront de 1,95 \$ pour la société. Ces retombées excluent cependant les bénéfices potentiels en terme de coûts évités liés aux aléas d'avulsion, de cônes alluviaux et d'embâcles, faute de connaissances suffisantes pour modéliser ces aléas. L'analyse des risques et enjeux résiduels montre que la monétisation des coûts et bénéfices liés à l'aléa cônes alluviaux pourrait rendre l'approche hybride (MOB-HYB) encore plus avantageuse en la combinant avec des pratiques agricoles résilientes (PRA), telle que les micro-aménagements hydro-agricoles de rétention et la culture sur résidus.

Par contre, une limite d'acceptabilité est prévisible. La mise en œuvre de l'adaptation repose sur des questions collectives à résoudre : Comment opérer la transformation d'usage d'un corridor multialéa au bénéfice de la collectivité ? Quel est le seuil de tolérance face à l'augmentation anticipée des indemnisations collectives des

dommages agricoles et comment partager ce fardeau entre les individus et la société? Comment réagir à l'explosion du prix de la terre tout en favorisant l'adaptation? Comment concilier la mise en œuvre avec les lois et règlements protégeant le territoire et les activités agricoles? D'autres pistes de bonnes pratiques en agriculture peuvent compléter la stratégie, mais ne remplaceront pas une stratégie d'agriculture résiliente aux risques fluviaux.

En résumé, l'analyse montre clairement que l'approche de mobilité avec des usages résilients est la plus avantageuse collectivement et sans regret, mais fait face à des défis de mise en œuvre. La prise de décision en adaptation devra non seulement se baser sur les critères analysés dans cette étude, soit la rentabilité financière incluant la valeur des écosystèmes, l'équité entre les acteurs et la réduction des risques multialéa, mais également prendre en compte l'acceptabilité sociale, le degré de complexité de la mise en œuvre, et le *momentum* de l'adaptation afin d'optimiser les retombées pour la société.

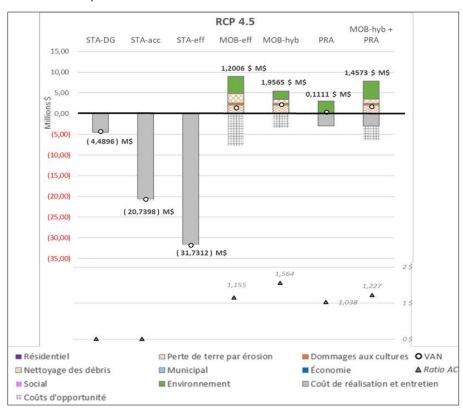


Figure B. Bilan des et avantages sur 50 ans comparativement au scénario de référence, du scénario stabilisation avec dragage (STA-DG), stabilisation acceptable (STA-acc), stabilisation efficace (STA-eff), mobilité efficace (MOB-eff), mobilité hybride (MOB-hyb), adaptation des pratiques agricoles (PRA) ainsi que mobilité hybride et adaptation des pratiques agricoles (MOB-hyb + PRA).

GLOSSAIRE

Termes économiques	
Analyses coûts-	Comparaison de différents scénarios sur la base du ratio avantages-
avantages (ACA)	coûts en valeurs actualisées.
Bénéfice connexe	Bénéfices indirects liés à une mesure (par exemple, bénéfices de
	récolte ou d'usage des milieux naturels).
Coûts d'opportunité	Coût de renonciation d'un bien ou d'une activité suite à une décision.
Ratio avantages- coûts (A/C)	Division des avantages (bénéfices) par les coûts, en valeur actualisée
Taux d'actualisation	Taux auquel les valeurs se déprécient à travers le temps.
Valeur actuelle nette (VAN)	La somme des valeurs présentes et futures actualisées.
Termes hydrologique	s
Amont	Partie d'un cours d'eau situé en direction de la source face à un point donné.
Aval	Partie d'un cours d'eau situé en direction de son écoulement face à un point donné.
Bassin versant	Territoire drainé par un fleuve et ses affluents.
Coefficient de rugosité	Représente la résistance d'un tronçon à l'écoulement de l'eau.
Débit de crue	Projection et probabilité d'occurrence de débit d'un cours d'eau lors de crues.
Embouchure	Lieu où un cours d'eau se jette dans un plan d'eau.
Période de retour	Probabilité qu'un phénomène dépasse une valeur donnée au cours d'une année donnée, exprimé comme une fréquence annuelle (50% de chances : 2 ans, 5% : 20 ans, etc.). Les périodes de retour calculées dans le cadre de ce projet concerne le phénomène d'inondation et donc, la probabilité qu'un territoire soit inondé au cours d'une année donnée, exprimé en fréquence annuelle.
Probabilité de dépassement annuel	Probabilité qu'un phénomène dépasse une valeur donnée au cours d'une année donnée. Les probabilités de dépassement annuel calculées dans le cadre de ce projet concernent les inondations.
Récurrence	Probabilité d'observer un événement à travers le temps.
Station hydrométrique	Dispositif permettant un enregistrement en continu du débit d'un cours d'eau.

Termes technologiques			
Lidar	Technique de mesure de distances utilisant la réception d'un laser par son émetteur.		
Système de référence géodésique	Un point à partir duquel on détermine la latitude et longitude des autres points de la surface terrestre.		
Termes mesures d'ad	aptation		
Aléa fluvial	Événement hydrométéorologique imprévisible comprenant un facteur de risque lié au système fluvial d'un cours d'eau.		
Bande riveraine végétalisée	Lisière végétale permanente et variée longeant un cours d'eau.		
Biodiversité	Diversité des espèces vivantes dans un milieu.		
Immunisation	Adapter les structures humaines pour prévenir les conséquences des aléas fluviaux.		
Infrastructure grise	Infrastructure basée sur des technologies, du bâti ou des activités humaines et n'impliquant pas la nature (barrage, muret, digue, etc.).		
Infrastructure verte	Réseau constitué entre autres de zones naturelles et semi-naturelles faisant l'objet d'une planification stratégique. Ce réseau est conçu et géré aux fins de la production d'une gamme de services écosystémiques et intègre des espaces verts ou aquatiques et d'autres éléments physiques des zones terrestres (UICN France, 2018).		
Phytotechnologie	Utilisation de plantes pour résoudre des problèmes environnementaux.		
Relocalisation stratégique	Déplacement de bâtiments résidentiels ou commerciaux pour éviter les aléas.		
Végétalisation	Rendre le couvert végétal sur un territoire dénudé par l'intervention humaine.		
Termes liés aux aléas			
Avulsion	Changement soudain du tracé du cours d'eau souvent associé par un épisode de pluie torrentielle.		
Cônes alluviaux	Amas de sédiments entrainés par un cours d'eau accumulé à la base d'une pente abrupte.		
Embâcles	Accumulation de morceaux de glaces sur un cours d'eau, bloqués par des obstacles naturels ou humains.		
Érosion	Transformation de la couche terrestre face au passage des eaux.		
Résilience	Capacité de surmonter et de s'adapter aux aléas.		
Inondation	Lorsque les rives d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau se retrouvent sous le niveau de l'eau. Plus couramment utilisé en milieu maritime.		
Surverse	Dispositif permettant l'évacuation par débordement d'un bassin ou d'une cuve.		

Termes environnementaux		
Bassin versant	Territoire drainé par un cours d'eau et ses affluents.	
Berge ou rive	Territoire longeant un cours d'eau.	
Biodiversité	Diversité des espèces vivantes sur un territoire.	
Cours d'eau	Masse d'eau accumulée dans une dépression longitudinale et qui s'écoule dans une direction perceptible.	
Domaine hydrique	Territoire recouvert d'une masse d'eau appartenant à une entité publique.	
Fossé	Bande de terrain affaissée ou creusée permettant l'écoulement des eaux.	
Marais	Étendue d'eau envahie en grande partie de végétation.	
Plaine inondable	Basses terres pouvant être inondées de façon récurrente, que ce soit par l'effet des marées ou d'aléas hydriques.	
Services écosystémiques	Bénéfices offerts aux communautés par les écosystèmes.	
Talus	Terrain en forte pente souvent créé par des travaux de terrassement et pouvant border un fossé.	
Tourbe	Matière spongieuse engendrée par la décomposition de matières végétales.	
Tourbière	Marécage acide où se forme la tourbe.	

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ACA	Analyse Coûts-avantages
ACP	Assemblée consultative de priorisation
	Aire de diffusion, soit une subdivision territoriale du Recensement de
AD	Statistique Canada et la plus petite unité géographique dont les données
	sont divulguées
СС-НН	Chaîne de modélisation changements climatiques / hydrologie /
	hydraulique
CLS	Comité local de suivi
COGESAF	Conseil de gouvernance de l'eau des bassins versants de la rivière Saint-
	François
INRS	Institut national de recherche scientifique
InVEST	Logiciel de modélisation des impacts aux services écosystémiques
	(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs)
m³/s	Mètres cubes par seconde, notamment utilisé pour quantifier les débits
	d'eau Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et
MDDEFP	des Parcs (maintenant MELCC)
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques
МНН	Milieux humides et hydriques
MTQ	Ministère des Transports du Québec
SWAT	Modèle hydrologique spatialisé (Soil Water Assessment Tool)
MRC	Municipalité régionale de comté
PRMHH	Plan régional sur les milieux humides et hydriques
ROBVQ	Regroupement des organismes de bassins versants du Québec
Scénario	
MHH_eff	Scénario d'adaptation avec corridor riverain
Scénario PRA	Scénario d'adaptation des pratiques agricoles
Scénario SQ	Scénario de référence, situation de statu quo
Scénario	
MHH_acc	Scénario d'adaptation sans perte nette de milieux humides
Scénario	Coénario diadoptation utilicant llimmu priestica à llaide de discret
IMM_coll	Scénario d'adaptation utilisant l'immunisation à l'aide de digues
Scénario	Scénario d'adaptation utilisant l'immunisation des bâtiments
IMM_ind	Scenario di adaptationi dilisani, minimulisation des patiments
VAN	Valeur actuelle nette



1.	INTR	ODUCTION	1
1.1.		arche générale de l'analyse coûts-avantages (ACA) participative visant la rédu	
de r	isque		2
2.	DESI	GN DE L'ÉTUDE	4
2.1.	Zone	d'étude	4
	2.1.1.	Localisation	4
	2.1.2.	Milieu physique	2
	2.1.3.	Utilisation du sol	5
	2.1.4.	Milieu humain	6
2.2.		Horizon temporel	7
2.3.		Population d'intérêt	7
2.4.		Paramètres économiques	7
	2.4.1.	Taux d'actualisation	7
	2.4.2.	Unité monétaire	8
	2.4.3.	Indicateurs économiques	8
3.	МОВ	ILISATION DES PARTIES PRENANTES	9
3.1.	Rôles,	composition et relations entre les groupes	9
3.2.		Chronologie des activités	12
3.3.		Résultats	13
4.	ANAI	YSE DE RISQUE	14
4.1.		Méthodologie : L'approche multialéa	14
4.2.		Analyse des aléas	15
	4.2.1.	Inondations en climat futur	15

	4.2.2.	Érosion des berges et mobilité du chenal principal	20
	4.2.3.	Autres aléas fluviaux non probabilistes	20
4.3.		Actifs, activités et personnes à risque	24
	4.3.1.	Méthodologie	24
	4.3.2.	Actifs, activités et personnes exposés aux risques fluviaux	25
4.4.		Vulnérabilité aux impacts des aléas	30
	4.4.1.	Sensibilité socio-économique	30
	4.4.2.	Résilience et capacité à faire face aux aléas	30
4.5.		Matrice multirisque	3
	4.5.1.	Méthodologie	3
	4.5.2.	Résultats	32
5.	SCÉN	IARIOS D'ADAPTATION	34
5.1.	Métho	odologie	36
5.2.		Définition du scénario de référence et ses impacts	39
	5.2.1.	Identification des impacts des inondations	39
	5.2.2.	Identification des impacts de l'érosion	40
	5.2.3.	Identification des pratiques actuelles	4
	5.2.4.	État de référence de l'environnement	4
5.3.		Paramètres des scénarios d'adaptation	48
	5.3.1.	Combinaisons de mesures	48
	5.3.2.	Coûts des mesures	48
	5.3.3.	Efficacité des mesures	52
	5.3.4.	Impacts des mesures	54
5.4.		Description des scénarios	56
	5.4.1.	Stabilisation avec dragage (STA-DG)	56
	5.4.2.	Stabilisation acceptable (STA-ACC)	57
	5.4.3.	Stabilisation efficace (STA- EFF)	59
	5.4.4.	Mobilité efficace (MOB – EFF)	60
	5.4.5.	Mobilité hybride (MOB-HYB)	6
	5.4.6.	Adaptation des pratiques agricoles (PRA)	62

	5.4.7.	Mobilité hybride et pratiques agricoles (MOB-HYB + PRA)	63
	5.4.8.	Synthèse des scénarios	64
6.	ANAL	YSE ÉCONOMIQUE	68
6.1.	Métho	odologie	68
6.2.		Valeur monétaire du scénario de référence (SQ)	73
6.3.		Résultats économiques des scénarios d'adaptation	75
	6.3.1.	Stabilisation avec dragage (STA-DG)	75
	6.3.2.	Stabilisation acceptable (STA-ACC)	78
	6.3.3.	Stabilisation efficace (STA-EFF)	80
	6.3.4.	Mobilité efficace (MOB-EFF)	82
	6.3.5.	Mobilité hybride (MOB-HYB)	84
	6.3.6.	Adaptation des pratiques agricoles (PRA)	86
	6.3.7.	Mobilité hydride et pratiques agricoles (MOB-HYB + PRA)	88
6.4.		Comparaison des scénarios	90
6.5.		Analyses complémentaires	93
	6.5.1.	Analyses de sensibilité	93
	6.5.2.	Analyse de redistribution par acteurs	97
	6.5.3.	Analyse des risques et enjeux résiduels	100
6.6.		Synthèse	102
7.	DISC	USSIONS ET CONCLUSIONS	103
7.1.	Analys	se de risque	103
7.2.		Analyse économique	104
	7.2.1.	Le corridor multialéa : un grand potentiel de coûts à éviter	104
	7.2.2. collec	L'approche de mobilité avec des usages résilients : la plus s tivement et sans regret, mais face à des défis de mise en œuvre	avantageuse 104
7.3.		Les limites et sources d'incertitude	110
7.4.		Conclusion générale	112
Ω	DÉCÉ	DENCES	117



LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Démarche d'analyse coûts-avantages basée sur la gestion de risque,	
adaptée de l	a norme internationale ISO 31000:20182	
Figure 2.	Localisation de la zone d'étude5	
Figure 3.	Segmentation hydrogéomorphologique en cinq tronçons homogènes,	
localisation s	ur le profil en long2	
Figure 4.	Mobilité de la rivière Coaticook entre 1945 et 2013 à Compton3	
Figure 5.	Principaux événements de crue dans le bassin versant de la rivière	
Coaticook, p	ar saison4	
Figure 6.	Types d'aléas fluviaux rapportés dans la zone d'étude entre 1977 et 2019.	
Figure 7.	Événements d'inondation sur la rivière Coaticook en 2011, 2015, et 2019. 5	
Figure 8.	Organigramme de projet10	
Figure 9.	Synthèse des rencontres et ateliers de mobilisation, concertation, co-	
construction	et diffusion12	
Figure 10.	Exemple d'information issue la cartographie participative et capture lors	
de l'activité d	de novembre 201913	
Figure 11.	Résumé du processus d'analyse de risque basé sur une approche	
multialéa	15	
Figure 12.	Probabilités annuelles de dépassement (DPA) selon les horizons (H1, H2,	
H3) pour les	deux scénarios climatiques a) RCP 4.5 et b) RCP 8.518	
Figure 13.	Probabilités d'occurrence du maximum selon les mois selon les horizons	
(H1, H2, H3) p	our les deux scénarios climatiques a) RCP4.5 et b) RCP8.519	
Figure 14.	Zones de contrainte naturelle pour Compton22	
Figure 15.	Localisation de cônes alluviaux occupés par des habitations	
permanentes, leur sous-bassin et les réseaux de drainage naturels et excessifs23		
Figure 16.	Localisation des actifs et activités à risque25	

Figure 17.	Superficies et valeur des actifs agricoles exposés aux risques fluviaux à
Compton, pa	ar type d'aléa29
Figure 18.	Valeur totale des actifs exposés aux aléas fluviaux à Compton29
Figure 19.	Modèles InVEST utilisés pour établir l'état de référence de
l'environnen	nent, détaillés par leurs paramètres d'entrés et leur source de données43
Figure 20.	Exemple de mesure de l'efficacité (écart d'élévation par rapport à la
situation act	cuelle) selon le chaînage et selon les scénarios d'adaptation, et enveloppe
de l'incertitu	ude climatique (10e et 90 percentiles), pour la probabilité annuelle de
dépassemer	nt de 1 %. SQ : statu quo (scénario de référence), STA-DG : stabilisation avec
dragage, STA	A-ACC : stabilisation acceptable, STA-EFF : stabilisation efficace, MOB-EFF
: mobilité eff	icace, MH : milieux humides (scénario non considéré dans le projet ACA)
	53
Figure 21.	Localisation des mesures du scénario STA-DG56
Figure 22.	Localisation des mesures du57
Figure 23.	Localisation des mesures du scénario STA-EFF59
Figure 24.	Localisation des mesures des scénarios MOB-EFF60
Figure 25.	Localisation des mesures du scénarios MOB-EFF61
Figure 26.	Localisation des mesures du scénario PRA62
Figure 27.	Localisation des mesures du scénario MOB-HHYB + PRA63
Figure 28.	Exemple de quantification spatiale des impacts sur les services
écosystémic	ques : comparaison de l'efficacité de l'implantation des mesures du
scénario d'es	space de mobilité efficace sur les flux annuels de phosphore vers les cours
d'eau	72
Figure 29.	Valeur monétaire des coûts du scénario de référence73
Figure 30.	Écart de niveaux d'eau du scénario STA-DG par rapport au SQ,
probabilité c	de récurrence 2 % du RCP 8.577
Figure 31.	Comparaison des coûts et avantages actualisée (VAN), et du ratio
avantages-c	oûts des scénarios par rapport au scénario de référence sur 50 ans92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Utilisation du sol dans la zone d'étude5
Tableau 2.	Composition des différents groupes d'intervenants et rôles de chacun
d'entre eux,	nombre de rencontres et retombées11
Tableau 3.	Dénombrement et valorisation des actifs et activités à risque d'aléas
fluviaux	26
Tableau 4.	Seuils des probabilités et conséquences de la matrice multirisque31
Tableau 5.	Niveaux de risque selon les combinaisons de probabilité et
conséquenc	es32
Tableau 6.	Matrice de risque multialéa33
Tableau 7.	Description des scénarios et leurs mesures35
Tableau 8.	Catégories d'impacts et de coûts et lien avec l'analyse de risque38
Tableau 9.	Quantification de l'état de référence de l'environnement pour a) le flux
d'azote, b) le	e flux de phosphore, c) le flux de sédiments, d) la qualité de l'habitat e) la
charge de C	arbone44
Tableau 10.	Coûts unitaires et coûts d'opportunités par mesure50
Tableau 11.	Direction anticipée des impacts de chacune des mesures par rapport
au SQ	55
Tableau 12.	Synthèse des paramètres, coûts et efficacités des scénarios65
Tableau 13.	Résumé des impacts anticipés de chacun des scénarios par rapport
au scénario	de référence67
Tableau 14.	Paramètres de monétisation des impacts69
Tableau 15.	Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-DG, par rapport au
scénario de	référence (\$ 2019)75
Tableau 16.	Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-ACC, par rapport au
scénario de	référence (\$ 2019)78
Tableau 17.	Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-EFF, par rapport au
scénario de	référence (\$ 2019)81

Tableau 18.	Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-EFF, par rapport	au
scénario de re	éférence (\$ 2019)	. 83
Tableau 19.	Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-HYB, par rapport	au
scénario de re	éférence (\$ 2019)	. 85
Tableau 20.	Valeur actuelle des coûts et avantages de PRA, par rapport au scéna	aric
de référence (\$ 2019)	. 87
Tableau 21.	Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-HYB+PRA, par rapp	ort
au scénario d	e référence (\$ 2019)	. 89
Tableau 22.	Paramètres des analyses de sensibilité et valeurs à tester	93
Tableau 23.	Résultats des analyses de sensibilité sur la valeur actuelle nette	des
scénarios par	rapport au scénario de référence, RCP 4.5 (M\$)	95
Tableau 24.	Analyse de redistribution entre les acteurs, RCP 4.5 (M \$)	.98
Tableau 25.	Analyse des risques et enjeux résiduels des mesures rentables	раі
rapport au SC), RCP 4.5	.10



ANNEXE I : ACTIVITÉS DE MOBILISATION DES PARTIES PRENANTES

Annexe II : Indices de sensibilité de l'Atlas de vulnérabilité hydrométéorologique

Annexe III : Méthodes de monétisation, hypothèses de base et données pour chaque secteur

ANNEXE IV: ANALYSE DE REDISTRIBUTION : PONDÉRATION PAR GROUPE D'ACTEURS



1. Introduction

Au Canada, les inondations constituent le risque naturel le plus fréquent et qui provoque le plus de dégâts matériels (Sécurité publique Canada, 2015). Les plans et cours d'eau couvrent 22 % du territoire québécois (MELCC, 2018) et la majorité de la population québécoise habite à proximité du réseau hydrographique. Au cours des dernières années, les inondations de la rivière Richelieu en 2011, les pluies diluviennes de juin 2015 en Estrie et les inondations généralisées des printemps 2017 et 2019 ont affecté une large portion du territoire du sud du Québec. Elles ont généré des impacts économiques, environnementaux et sociaux majeurs se chiffrant en centaines de millions de dollars. Elles remettent en question la construction en zone à risque, les modes d'aménagement du territoire et mettent en évidence la vulnérabilité de plusieurs communautés. Ainsi, prendre des décisions pour réduire les risques et s'adapter aux changements climatiques, qui pourraient affecter l'intensité et la fréquence des inondations et risques riverains, devient une nécessité. Cela implique de nombreuses perspectives (sécurité publique, agriculture, transports, santé, environnement, etc.) et constitue ainsi un enjeu de société. Il s'agit d'ailleurs d'une priorité dans le Plan de mise en œuvre 2021-2026 du Plan pour une Économie verte 2030 (Gouvernement du Québec, 2020).

Appuyée par Ressources naturelles Canada, le Gouvernement du Québec et la Fédération Canadienne des municipalités, Ouranos a entrepris le présent projet de recherche, afin d'outiller les communautés pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques d'inondations et fluviaux. L'objectif général portait sur le développement d'une méthode d'analyse des impacts des changements climatiques et des solutions d'adaptation aux inondations fluviales, à l'érosion de berges et d'autres aléas liés aux rivières qui menacent les actifs, activités et personnes dans les zones riveraines du Québec. La méthode choisie est celle de l'analyse coûts-avantages participative basée sur l'analyse de risque : les coûts et les avantages de différents scénarios d'adaptation (combinaisons de plusieurs mesures d'adaptation) sont comparés, afin de déterminer la viabilité économique des solutions et d'identifier celles qui offrent un avantage net pour la collectivité. Ce projet comporte un rapport méthodologique et deux études de cas.

Le présent rapport d'étude de cas répond à une problématique de multiples aléas liés à la rivière Coaticook dans la municipalité de Compton, affectant un secteur principalement agricole. L'étude visait à quantifier les coûts et les avantages de différents scénarios d'adaptation visant à réduire et gérer les risques reliés aux inondations et aléas fluviaux de la rivière Coaticook sur le territoire de la municipalité de Compton.

1.1. DÉMARCHE GÉNÉRALE DE L'ANALYSE COÛTS-AVANTAGES (ACA) PARTICIPATIVE VISANT LA RÉDUCTION DE RISQUE

La démarche employée fait converger l'analyse économique traditionnelle et la démarche de réduction du risque (ISO 31000 : 2018) (Figure 1). L'analyse coûts-avantages (ACA) constitue un outil courant d'aide à la décision. Il permet de comparer l'ensemble des avantages et des coûts de différentes options, sur une base commune exprimée en valeur monétaire. Appliquée aux options d'adaptation depuis plus d'une décennie (Webster, 2008), l'ACA permet d'intégrer les multiples dimensions et enjeux

relatifs aux risques fluviaux et d'évaluer les impacts afin de prioriser les mesures d'adaptation qui sont les plus rentables du point de vue de société (ex. Penning-Rowsell et al., 2013; Circé et al., 2016). Grâce à la recherche en sciences de l'environnement. comme l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire, les impacts socioenvironnementaux usages du territoire peuvent quantifiés être monétairement et intégrés dans l'ACA pour soutenir une prise de décision soutenant le développement durable.

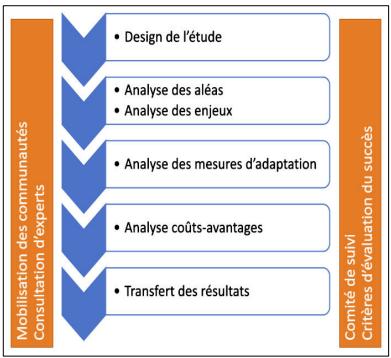


Figure 1. Démarche d'analyse coûts-avantages basée sur la gestion de risque, adaptée de la norme internationale ISO 31000:2018.

- Chapitre 2: l'établissement du contexte et du design de l'étude, comprend la description du site d'étude de Compton et les grandes contraintes de l'étude (horizon temporel, taux d'actualisation).
- Chapitre 3: le processus de mobilisation, concertation et co-construction.
- Chapitre 4: l'analyse de risque décrit les projections hydroclimatiques selon différents scénarios en climat futur, l'exposition et le dénombrement des actifs, activités et personnes à risque, et le contexte vulnérabilité et de capacité à faire de la zone d'étude, pour terminer avec une matrice multirisque qui établit les foyers prioritaires de dommages à éviter.
- Chapitre 5 : l'analyse des mesures d'adaptation débute par un scénario de référence (statu quo), suivant le cours actuel des affaires et s'appuyant sur la modélisation des aléas futurs, suivi des scénarios d'adaptation développés, qui combinent différentes mesures.
- Chapitre 6: l'analyse économique porte sur la comparaison des impacts quantifiés (coûts et avantages) des scénarios sur une base économique commune en mesurant l'écart au scénario de référence, selon divers domaines et types d'impacts, dont le résultat permet de classes les options selon leurs avantages nets ; des analyses complémentaires sont effectuées (sensibilité, distribution, risques résiduels).
- Chapitre 7: la discussion des résultats permet de formuler les conclusions.
- •La démarche d'ensemble se conclut par le transfert des résultats, en particulier le présent rapport et des activités de diffusion des connaissances.

Note : Pour la méthodologie détaillée voir le <u>guide méthodologique</u> : Boyer-Villemaire et al., 2021



Le design de l'étude comprend les choix de zone d'étude, d'horizon temporel, de la population d'intérêt et certains paramètres économiques (taux d'actualisation, unité monétaire et indicateurs économiques).

2.1. ZONE D'ÉTUDE

2.1.1. Localisation

La Figure 2 illustre la zone d'étude, qui se situe à la rencontre de la municipalité de Compton et la rivière Coaticook, plus largement dans le bassin versant de la rivière Saint-François.

Le bassin versant transfrontalier de la rivière Saint-François couvre un territoire d'environ 10 228 km² et une large portion (près de 80 %) se trouve en Estrie (Cogesaf, 2006). Les limites au sud sont déterminées par les bassins américains des rivières Androscoggin, Connecticut, et Hudson. À l'est, le bassin est limité par les bassins de la rivière Yamaska et de la Baie Missisquoi, et au nord, les rivières Saint-François et Nicolet.

La rivière Coaticook se situe dans la région physiographique des Appalaches, prend sa source dans l'Essex County au Vermont, et se décharge dans la rivière Massawippi à la hauteur de Waterville, qui elle-même afflue dans la rivière Saint-François. La Coaticook s'écoule du sud au nord sur une longueur 67 km, dans un bassin versant de 535 km². Le débit moyen sur la rivière (entre 1970-2018) à la station 030215 de Waterville du réseau québécois de jaugeage se situe entre 2 et 20 m³/s, avec des pointes de crues pouvant dépasser les 200 m³/s (MELCC, 2021). De nombreux tributaires de petite taille se greffent perpendiculairement au chenal principal et cumulent 54 km de longueur dans la portion québécoise.

La portion du bassin versant de la rivière Coaticook comprise dans les limites officielles de la municipalité de Compton couvre environ 60 km² répartis sur une plaine dont les talus sont indentés par trois tributaires principaux: les ruisseaux Bradley, Sévigny et Veillette (Demers et al., 2017). Cette zone correspond à quatre aires de diffusion du recensement de Statistiques Canada (2440033, 2440034, 2440035, 244004). Entre les noyaux urbains de Coaticook et de Compton se trouve une zone essentiellement agricole.

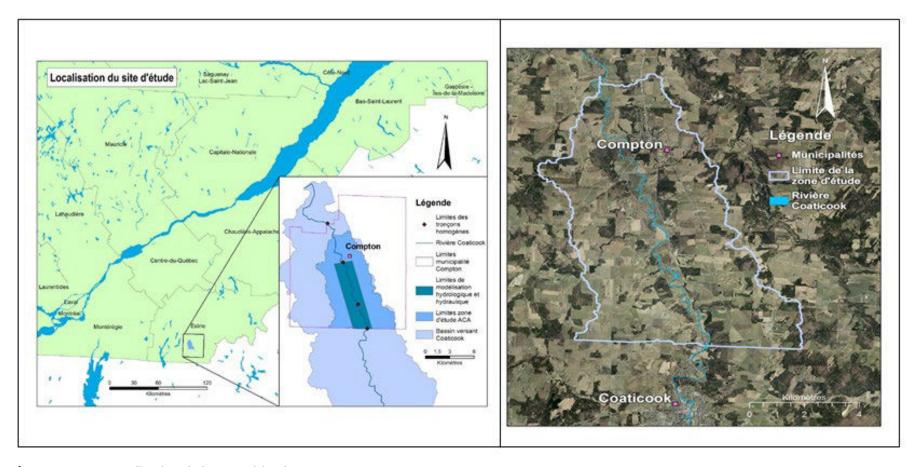


Figure 2. Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant transfrontalier de la rivière Saint-François couvre un territoire d'environ 10 228 km² et une large portion (près de 80 %) se trouve en Estrie (Cogesaf, 2006). Les limites au sud sont déterminées par les bassins américains des rivières Androscoggin, Connecticut, et Hudson. À l'est, le bassin est limité par les bassins de la rivière Yamaska et de la Baie Missisquoi, et au nord, les rivières Saint-François et Nicolet.

La rivière Coaticook se situe dans la région physiographique des Appalaches, prend sa source dans l'Essex County au Vermont, et se décharge dans la rivière Massawippi à la hauteur de Waterville, qui elle-même afflue dans la rivière Saint-François. La Coaticook s'écoule du sud au nord sur une longueur 67 km, dans un bassin versant de 535 km². Le débit moyen sur la rivière (entre 1970-2018) à la station 030215 de Waterville du réseau québécois de jaugeage se situe entre 2 et 20 m³/s, avec des pointes de crues pouvant dépasser les 200 m³/s (MELCC, 2021). De nombreux tributaires de petite taille se greffent perpendiculairement au chenal principal et cumulent 54 km de longueur dans la portion québécoise.

La portion du bassin versant de la rivière Coaticook comprise dans les limites officielles de la municipalité de Compton couvre environ 60 km² répartis sur une plaine dont les talus sont indentés par trois tributaires principaux: les ruisseaux Bradley, Sévigny et Veillette (Demers et al., 2017). Cette zone correspond à quatre aires de diffusion du recensement de Statistiques Canada (2440033, 2440034, 2440035, 244004). Entre les noyaux urbains de Coaticook et de Compton se trouve une zone essentiellement agricole.

Zone de modélisation fluviale: Une segmentation fluviale en tronçons homogènes a été réalisée par Demers et al. (2017). La zone de modélisation des débits et niveaux d'eau sur la rivière Coaticook correspond aux tronçons 3, 4 et 5 (environ les trois quarts du territoire), dont les limites concordent avec les frontières de la municipalité (Figure 3). Ces tronçons se situent en zone alluviale et présentent une faible dénivellation (d'environ 30 m) sur une longueur de 21,5 km (Demers et al., 2017). Le segment le plus au nord a été exclu de la modélisation en raison de sa dynamique hydrologique influencée par un ouvrage de retenu à Waterville.

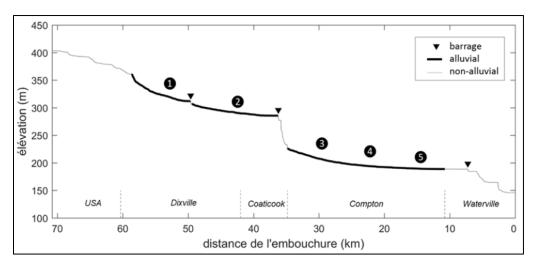


Figure 3. Segmentation hydrogéomorphologique en cinq tronçons homogènes, localisation sur le profil en long.

Source: Demers et al., 2017.

2.1.2. Milieu physique

2.1.2.1. Aléas fluviaux

L'hydrologie dans le bassin versant de la rivière Coaticook se caractérise par des crues à toutes les saisons. La rivière et ses nombreux tributaires présentent un régime parfois torrentiel, en étant très réactifs aux pluies intenses (Demers et al., 2017). Plusieurs études ont recensé les impacts des problématiques d'inondation, d'avulsion, d'érosion et de cônes alluviaux sévissant sur le territoire (Demers et al., 2017; Favreau-Perreault, 2016; COGESAF, 2018). Dans ce projet, l'approche multialéa vise à tenir compte, au meilleur des connaissances disponibles, des effets de ces multiples aléas.

Inondation en eau libre dite « submersion »¹: L'inondation de la plaine inondable par un processus de submersion est un enjeu significatif étant donné que les terres agricoles (cultures et pâturages) se retrouvent fréquemment sous l'eau. Cette contrainte est cartographiée et inscrite au schéma d'aménagement. [À noter qu'on utilise « inondations » pour simplifier dans ce rapport.]

Érosion des berges et avulsions: Demers et al. (2017) ont utilisé de l'imagerie satellite pour illustrer l'ampleur de la migration latérale du chenal, créé de manière graduelle (érosion des berges) ou de manière soudaine, lors d'épisodes torrentiels, faisant changer le cours du chenal (avulsion). Une couche de mobilité est inscrite au schéma

¹ Note: Puisque l'inondation par submersion issue d'un embâcle n'a pu être modélisée, le terme « inondation » est utilisé de manière interchangeable dans le rapport pour signifier l'inondation en eau libre par processus de submersion; il s'agit d'un terme technique mieux adapté.

d'aménagement en tant que zone de contrainte sur une perspective de 50 ans (Figure 4; MRC de Coaticook, 2016).

Cônes alluviaux: Les cônes alluviaux sont nombreux aux abords de la vallée de la Coaticook à Compton. Ils se définissent par des dépôts sédimentaires qui se mettent en place à la sortie des reliefs en érosion avec une forte accumulation verticale pouvant causer des dommages aux infrastructures (Demers et al., 2017). Dans le cas de Compton, la déforestation et le drainage accentuent le ruissellement de surface, alors que certaines pratiques agricoles (ex. linéarisation des cours d'eau, la forte concentration de fossés de drainage), contribuent à amplifier la réponse hydrosédimentaire des sous-bassins, rendant les activités et bâtiments se trouvant sur ces cônes alluviaux particulièrement vulnérables aux aléas (Demers et al. 2017, p. 21). La localisation de ces formes est connue (ex. Demers, 2017), mais la probabilité ou le taux d'accumulation ne l'est pas.

Embâcles: Des inondations par embâcles (de glace ou de bois) resserrent la section d'écoulement du chenal, amènent aussi des conséquences sur le territoire de Compton. Elles sont difficiles à prévoir en raison de la faible fréquence et sont peu documentées (information issue des réunions avec les partenaires).

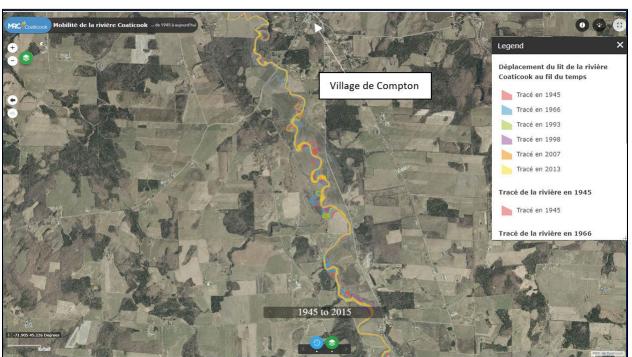


Figure 4. Mobilité de la rivière Coaticook entre 1945 et 2013 à Compton.

Source : MRC de Coaticook : Outil de visualisation dynamique de la mobilité de la rivière

Coaticook

2.1.2.2. Historique des aléas

La chronologie des principaux événements d'aléas hydro-climatiques de la rivière Coaticook suggère un accroissement du nombre d'événements et une modification de la saisonnalité depuis 30 ans (Figure 5). Les événements d'inondations printanières et d'inondations par embâcles sont les plus communes sur le territoire dans la banque de données fournie par la MRC de Coaticook (Figure 6).

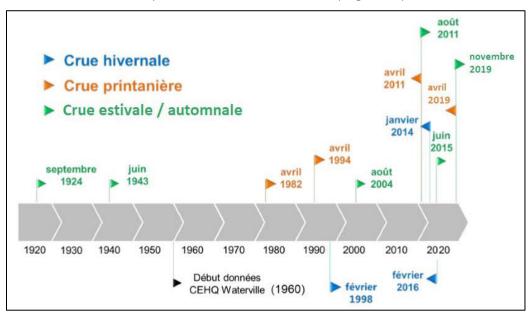


Figure 5. Principaux événements de crue dans le bassin versant de la rivière Coaticook, par saison Source : Trudel et Gobji (2020) MISE À JOUR DE DEMERS ET AL. (2017).

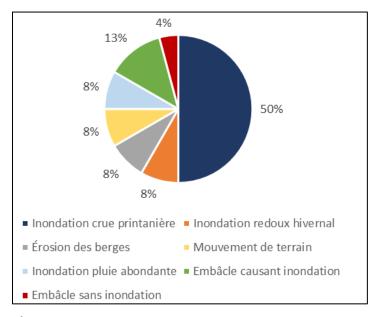


Figure 6. Types d'aléas fluviaux rapportés dans la zone d'étude entre 1977 et 2019

Source des données : Base de données de la MRC Coaticook sur les événements extrêmes.

Pour en visualiser l'importance, Trudel et Gobji (2020) ont réalisé une simulation de l'étendue maximale et de la profondeur d'eau de trois événements récents (2011, 2015, 2019), à partir des débits de crue et d'un modèle hydrologique-hydraulique (Figure 7; voir aussi chapitre 4).

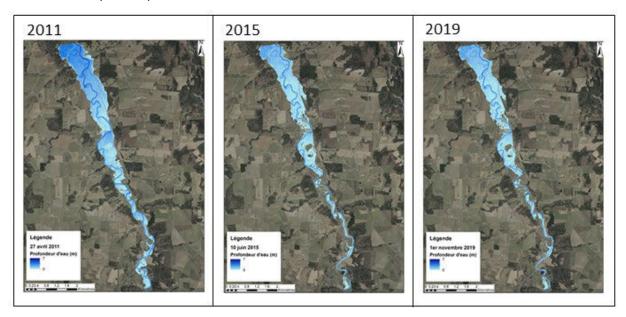


Figure 7. Événements d'inondation sur la rivière Coaticook en 2011, 2015, et 2019 SOURCE : TRUDEL ET GOBJI, 2020.

2.1.3. Utilisation du sol

Dans la zone d'étude de Compton, la vocation agricole domine l'utilisation du sol (60,5 %), suivie du couvert forestier (32,6 %), des milieux anthropiques (2,9 %) et des milieux humides (2,5 %) (Tableau 1).

Tableau 1. Utilisation du sol dans la zone d'étude

Type d'utilisation du sol dans la zone d'étude	%
Agriculture	60,5 %
Forestier	32,6 %
Milieu humide	2,5 %
Anthropique	2,9 %
Aquatique	0,6 %
Coupe et régénération	0,8 %

Source: MELCC, 2017.

Utilisation agricole: La vocation agricole du territoire est prédominante sur le territoire de la municipalité. L'inventaire des terres du Canada (ARDA) indique une forte présence de terres fertiles propices à l'exploitation. La municipalité se place d'ailleurs au premier rang pour le nombre d'entreprises agricoles dans la MRC, tout juste devant la Ville de Coaticook (Favreau-Perreault, 2016).

Utilisation forestière: Les superficies forestières diminuent, alors que la municipalité de Compton est la moins fournie en forêts dans la MRC (Favreau-Perreault, 2016).

Milieux humides: Les milieux humides sont principalement connectés au réseau hydrographique de surface en bordure de la rivière Coaticook et ses affluents. Depuis 1945 cependant, de grandes superficies occupées par les milieux humides ont été remblayées afin d'accroître les terres en cultures, surtout concernant les segments 4 et 5 (Figure 1) à l'étude, où la perte de milieux humides représente près de 80 % de la superficie de 1945 (Demers et al., 2017).

Milieu urbain: Les territoires urbanisés sont majoritairement hors de la zone inondable. Transport: Le réseau routier de la municipalité totalise 167,1 km. À proximité de la rivière se situent la route 147 (rue Principale sud), la route 208, et les chemins de la Station, Hatley, Dion, Jacques, Vaillancourt et Drouin. Quotidiennement, 6 500 véhicules circulent sur la 147 (vers Sherbrooke ou Coaticook). Également, une ligne de chemin de fer et une piste cyclable L'est-capade longent la rivière.

2.1.4. Milieu humain

2.1.4.1. Démographie

Selon le recensement de 2016, la municipalité de Compton recensait 3 131 habitants ou 1260 ménages, soit 2,4 personnes/ménage (Statistiques Canada, 2016). La pyramide démographique comprend 22,0 % de personnes d'âge sensible (0-14 ans ou plus de 85 ans) et ressemble à l'ensemble du Québec, quoique légèrement plus jeune, avec un âge moyen d'environ 40 ans.

2.1.4.2. Économie

Le revenu moyen de la population active à Compton est de 26 979 \$/année (Recensement Canada, 2011), légèrement en-dessous du revenu moyen provincial (Favreau-Perreault, 2016). Le revenu moyen des ménages est de 52 672 \$/année (Statistiques Canada, 2016). Le taux d'inactivité à Compton se trouve autour de 28 %, avec une fréquence de faible revenus (après impôt) autour de 13,5 %.

Les emplois et revenus des citoyens de Compton sont grandement liés à l'usage du sol, ce qui peut augmenter les impacts économiques des aléas. En effet, plus de 40 % des emplois sur le territoire de la municipalité de Compton sont générés par 140 entreprises agricoles (Favreau-Perreault, 2016). De plus, ces entreprises agricoles

génèrent la plus grande part des revenus de la MRC, avec 51 044 000 \$ par année, soit 28,4 % du revenu total (Favreau-Perreault, 2016).

2.2. HORIZON TEMPOREL

L'horizon temporel retenu pour cette étude est de 50 ans, soit de 2020 à 2070. Cet horizon est lié à un juste milieu entre une durée de vie réaliste des infrastructures rigides (30 à 50 ans), les projections climatiques (souvent jusqu'en 2100) et les perspective d'aménagement du territoire (15 à 20 ans). Ainsi, les scénarios d'adaptation considérés devront réduire les risques sur l'ensemble de la période. Dans les scénarios climatiques et économiques, deux sous-horizons temporels ont été utilisés: H1: les premiers 30 ans (2020-2050); et H2: les derniers 20 ans (2050-2070).

2.3. POPULATION D'INTÉRÊT

La population d'intérêt considérée pour l'estimation des coûts et des avantages des scénarios d'adaptation est la population de la municipalité de Compton. Le choix se fait généralement sur la base des individus qui vont le plus bénéficier du projet. Dans ce cas-ci, la population de la municipalité serait la première à bénéficier des mesures d'adaptation en vue de réduire les risques riverains.

2.4. PARAMÈTRES ÉCONOMIQUES

2.4.1. Taux d'actualisation

La méthode utilisée pour agréger les avantages et les coûts liés à un scénario d'adaptation donné sur l'horizon temporel considéré est l'actualisation. Elle permet de ramener les valeurs considérées pour chacune des années sur une même base à l'aide d'un facteur d'actualisation, selon la formule ci-dessous :

$$VAN = \frac{f_i}{(1+r)^i}$$

Où:

VAN: Valeur actualisée nette

f = flux monétaires (avantages ou coûts)

i : période à laquelle le flux monétaire est observé

r: taux d'actualisation

Le taux d'actualisation représente le coefficient permettant de ramener la valeur des flux monétaires des coûts et avantages futurs au présent. Un taux d'actualisation plus élevé signifie que la valorisation des coûts et avantages futurs est moindre. Dans la présente étude, le taux d'actualisation choisi est régressif : de 4 % pour les premiers 30 ans, suivi de 2 % pour les derniers 20 ans. Il s'agit d'une approche recommandée par plusieurs auteurs, pour compte des générations futures (Montmarquette et Scott, 2007; Cropper, 2012; Gollier, 2011; Arrow et al., 2014). Puisque ce paramètre influence les résultats de l'ACA, une analyse de sensibilité avec un taux linéaire à 2 % et 6 % est réalisée pour vérifier si le résultat obtenu (soit la VAN) est robuste à un changement d'hypothèse.

2.4.2. Unité monétaire

Une autre hypothèse de cette étude est l'unité monétaire choisie, soit le dollar canadien de 2019. Il a été choisi en raison de la disponibilité des données économiques pour cette année de référence, notamment les valeurs foncières, mais aussi pour éviter la distorsion associée à l'année 2020 en raison de la pandémie de Covid-19.

2.4.3. Indicateurs économiques

Quant aux résultats de l'ACA, ils sont présentés à l'aide de la « valeur actualisée nette », soit la VAN. La VAN a l'avantage d'indiquer directement la perte ou le gain économique lié à chaque option en plus de l'ampleur de cet élément. Le ratio avantages-coûts (« ratio AC ») est aussi utilisé, lorsque cela est opportun, afin de présenter les résultats en terme relatif. Ceci permet généralement de favoriser les options les moins coûteuses parmi celles qui ont une VAN similaire.

En résumé, l'étude s'intéresse à la rivière Coaticook dans le secteur de la municipalité de Compton, pour évaluer les solutions d'adaptation les plus avantageuses sur 50 ans du point de vue collectif, par une analyse économique de l'ensemble des coûts et avantages.



La mobilisation des parties prenantes pour soutenir un dialogue constant lors du projet a permis, à chaque étape du projet, d'enrichir les travaux avec les préoccupations de la population d'intérêt et d'avoir accès aux données les plus exhaustives et représentatives du site d'étude. Cette approche s'inscrit dans les <u>orientations stratégiques d'Ouranos</u>. Ce chapitre présente les rôles, la composition et les relations entre les groupes, la chronologie des activités et leurs retombées.

3.1. Rôles, composition et relations entre les groupes

En sus d'un comité général de suivi de l'ensemble du projet, les trois instances régionales de mobilisation étaient les suivantes :

- Le comité technique (CT): Au centre de la mobilisation des parties prenantes, le comité technique se compose de l'équipe de projet, soit des spécialistes d'Ouranos et du ROBVQ, du COGESAF et d'experts de l'université de Sherbrooke, et permet d'assurer la réalisation du projet et la production des livrables.
- Le comité local de suivi (CLS): Pour assurer un arrimage optimal aux initiatives et aux enjeux locaux, le CLS nourrit, appuie, conseille et oriente le CT. Il se compose des représentants du terrain, tels que la MRC de Coaticook, la municipalité de Compton, l'Union des producteurs agricoles (UPA) de l'Estrie et les producteurs agricoles locaux. Il assure une validation et un enrichissement conséquent dans les choix méthodologiques et les hypothèses de l'analyse. Il agit comme porte d'entrée vers le milieu local afin de mobiliser l'assemblée consultative de priorisation (ACP).
- L'assemblée consultative de priorisation (ACP): Avec la participation de l'ensemble des membres de l'ACP, 11 producteurs agricoles du site d'étude, et grâce aux itérations assurées tout au long du projet avec le CLS, le processus de mobilisation et consultation aura permis la définition et la caractérisation des mesures et des scénarios d'adaptation retenus pour modélisation et l'analyse. De la même manière, les membres de l'ACP auront apporté tous les éléments intangibles nécessaires à une estimation de l'appréciation sociale relative à la mise en place potentielle des solutions étudiées.

Le Tableau 2 précise la composition et le rôle des différents groupes d'intervenants dans le projet d'ACA. Ces instances sont soutenues par un comité plus général de suivi de projet réunissant des experts, des représentants de certains ministères et les bailleurs de fonds (Figure 8).

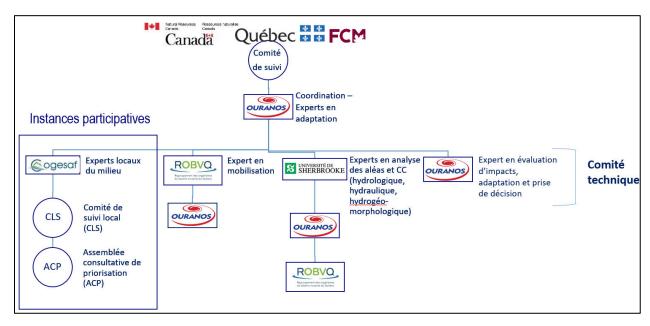


Figure 8. Organigramme de projet

Tableau 2. Composition des différents groupes d'intervenants et rôles de chacun d'entre eux, nombre de rencontres et retombées

Tableau 2.	Composition des différents groupes d'in	terveriarits et roies de cric		x, nombre de rencontres et retombées
Structure régionale	Composition	Rôles	Nb. rencontres	Retombées
CT – Comité Technique	 Ouranos (Modélisation économique) COGESAF (Mobilisation et expertise terrain) ROBVQ (Mobilisation) Université Sherbrooke (Modélisations hydrologique et hydraulique et expertise terrain) 	Assurer la coordination, la mise en œuvre et l'arrimage de chacune des composantes de l'étude	5	 Coordination Design de l'étude Production des résultats de modélisations Analyses
CLS – Comité Local de Suivi	 Union des Producteurs Agricoles d'Estrie, MRC de Coaticook, Municipalité de Compton, Autre représentant du milieu agricole, Comité technique 	Accompagner la mobilisation et assurer le meilleur arrimage des hypothèses de travail aux réalités et attentes du territoire	5	 Validation des hypothèses et de la méthodologie Enrichissement méthodologique Choix sur la structure et la composition des groupes d'usagers pour l'ACP Validation des résultats et des choix pour la diffusion de ceux-ci
ACP – Assemblée Consultative de Priorisation	• 11 agriculteurs	Transférer le savoir empirique, identifier et prioriser les solutions pouvant être mises en œuvre pour pallier à la problématique.	2	 Transmission de connaissances locales sur l'aléa et ses impacts Identification des éléments tangibles et intangibles complémentaires à inclure dans l'ACA Co-construction de mesures d'adaptation à considérer Priorisation des mesures pouvant être déployées

3.2. CHRONOLOGIE DES ACTIVITÉS

La Figure 9 représente la chronologie des principales rencontres composant le processus de mobilisation, de concertation et de co-construction. S'étalant sur trois ans, le projet a bénéficié des activités suivantes (voir aussi Annexe 1 pour la description détaillée des activités) :

- 5 réunions en comité local de suivi (CLS)
- 6 réunions en comité technique (CT)
- Une réunion hebdomadaire de l'équipe de projet (près de 120)
- 2 assemblées consultatives de priorisation (ACP), visant notamment la cartographie participative (Figure 9) et l'identification des préoccupations résiduelles et préférences relatives aux résultats.



Figure 9. Synthèse des rencontres et ateliers de mobilisation, concertation, co-construction et diffusion

3.3. RÉSULTATS

Les principales retombées de la mobilisation dans le cadre de cette étude ont été les suivantes :

- La confiance et le partage mutuel avec les acteurs du milieu concerné tout au long du projet
- L'identification des préoccupations des parties prenantes;
- La cartographie participative des impacts et scénarios d'adaptation;
- Le dimensionnement de certaines solutions pour la modélisation hydrologique et hydraulique;
- La calibration locale/régionale de fonctions d'impacts et l'accès aux données locales;
- L'optimisation des solutions;
- L'analyse résiduelle des enjeux, parfois intangibles, et d'obstacles à la mise en œuvre de l'adaptation; et
- La priorisation des recommandations.

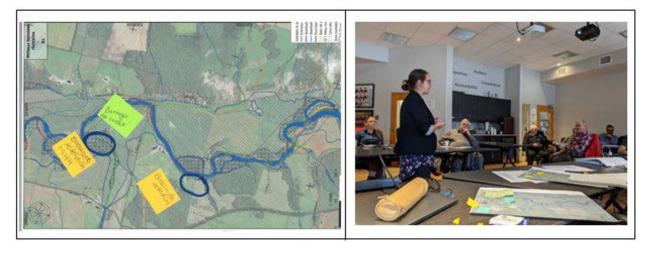


Figure 10. Exemple d'information issue la cartographie participative et capture lors de l'activité de novembre 2019

En résumé, l'une des conditions de réussite du projet reposait sur l'implication active de l'ensemble de ces acteurs sur le territoire de la municipalité de Compton lors des activités du comité technique, du comité local de suivi et de l'assemblée consultative. Ces contributions ont maintenu la confiance et ont été bénéfiques à bien des égards. Elles contribueront certainement en cas de mise en œuvre des solutions d'adaptation.



Pour sélectionner des scénarios d'adaptation efficaces et optimaux, la démarche se base sur la priorisation des risques à réduire, s'appuyant sur l'analyse et l'évaluation des risques. La section 4.1 présente la méthodologie basée sur l'approche multialéa. La section 4.2 aborde l'analyse des aléas, notamment la modélisation des inondations en climat futur menée par les partenaires de l'Université de Sherbrooke (Trudel et Gobji, 2020). La section 4.3 examine l'exposition des actifs, activités et personnes à risque dans la zone d'étude et est suivie d'une appréciation de la vulnérabilité (section 4.4). La section 4.5 conclut sur une appréciation multirisque des enjeux liés aux aléas fluviaux sur le territoire de Compton.

4.1. MÉTHODOLOGIE: L'APPROCHE MULTIALÉA

L'analyse de risque se base sur une approche multialéa (exposition à de multiples aléas qui évoluent dans le temps) avec changements climatiques. Elle vise à identifier les conséquences prioritaires à réduire. Elle provient de la contrainte des ressources limitées à investir en adaptation et gestion de risque. Elle favorise des choix qui rapportent les plus grands dommages évités, pour chaque dollar investi.

La liste des aléas identifiés (section 2.1) comprend l'inondation en eau libre, l'inondation par embâcles de glace, l'érosion des berges, l'avulsion (changement soudain du tracé du cours d'eau) et les cônes alluviaux (accumulation de sédiments au pied des versants). Ces phénomènes dépendent d'événements extrêmes d'écoulement de l'eau. Toutefois, les connaissances sur ces aléas varient et cela en limite la comparaison. Ainsi, les deux aléas assez fréquents et pour lesquels les connaissances sont avancées (inondations en eau libre et érosion des berges) ont été traités de manière probabiliste, alors que les autres ont été traités de manière qualitative, notamment dans l'analyse des risques et enjeux résiduels (section 6.5.3). Dans l'ensemble, le projet s'appuie sur une chaîne de modélisation hydrologique-hydraulique et hydrogéomorphologique, pour dénombrer les actifs, activités et personnes, pour réaliser un portrait des risques (Figure 11).

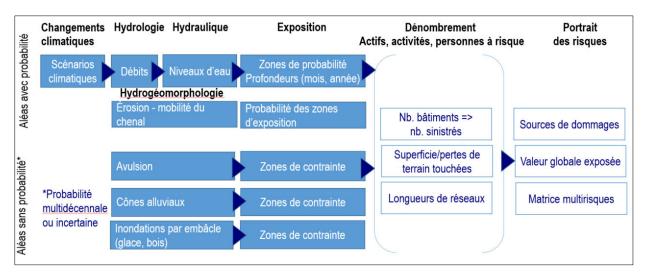


Figure 11. Résumé du processus d'analyse de risque basé sur une approche multialéa

ANALYSE DES ALÉAS

Cette section décrit l'analyse des inondations² en climat futur, de l'érosion des berges, de la mobilité de la rivière et des autres aléas fluviaux identifiés.

4.2.1. Inondations en climat futur

Cette section présente un résumé des travaux de Trudel et Gobii (2020), de l'université de Sherbrooke, mandatées pour ce projet. Le rapport final et le mémoire de S. Gobji sont disponibles publiquement.

4.2.1.1. Scénarios climatiques

Pour estimer les conditions en climat futur, des scénarios climatiques ont été produits basés sur des simulations des modèles climatiques régionaux (MCR). Les MCR ont été choisis pour la région d'étude relativement petite, puisqu'ils reproduisent des informations à une résolution spatiale de 12 à 50 kilomètres carrés, soit plus fine que les modèles climatiques globaux (MCG). Les simulations ont été tirées de la base de données du projet CORDEX-NA (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment - North America), un effort international qui pilote les MRC avec les sorties des MCG du projet CMIP5 (Coordinated Model Intercomparison Project Phase 5). L'ensemble de dix-neuf simulations climatiques utilisé inclut des projections de deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) du GIEC (RCP - Representative concentration pathways): 1) le RCP 4.5 représente un futur avec une augmentation

² Note: Puisque l'inondation par embâcle n'a pu être modélisée, le terme «inondation» est utilisé de manière interchangeable dans le rapport pour signifier l'inondation en eau libre par processus de submersion ; il s'agit d'un terme technique mieux adapté.

modérée des émissions des GES, suivi par une réduction, alors que 2) le RCP 8.5 représente un futur avec une augmentation continue des émissions de GES. Les simulations ont été post-traitées selon les meilleures pratiques par Ouranos (Rondeau-Genesse et Braun, 2020).

4.2.1.2. Méthode de modélisation hydrologique et hydraulique

Modélisation des débits

Les projections climatiques furent entrées dans un modèle hydrologique Soil and Water Assessement Tool (SWAT) de la rivière Coaticook, afin de simuler les débits pour une période totale de 1955 à 2100. En concordance avec l'<u>Atlas hydro-climatique du Québec méridional</u> et les horizons temporels du projet (section 2.2), les probabilités de dépassement annuel (PDA – 50 %, 20 %, 10 %, 5 %, 1 % et 0,3 %) furent calculées mensuellement pour trois horizons de temps (2021-2050, 2041-2070, et 2071-2100, référence : 1971-2000), pour les deux scénarios climatiques (RCP 4.5 et 8.5) et les d10 et d90 des 19 projections régionales de CORDEX-NA. Les probabilités de dépassement annuel représentent la probabilité qu'un territoire soit inondé au cours d'une année donnée.

Modélisation des niveaux d'eau

Un modèle d'écoulement des eaux HEC-RAS a été monté pour le chenal de la rivière Coaticook jusqu'à Compton. Cette représentation 1D-2D de l'écoulement de l'eau permet de transposer les débits en profondeur d'eau, puis de cartographier les superficies et profondeurs d'inondation, sur une base mensuelle. Le modèle a été calé et validé en combinant les données bathymétriques et de débits réels (visites de terrains en 2018 et 2019), avec une calibration de paramètres hydrologiques (ex. coefficient de rugosité de Manning). L'étendue de la plaine inondable est calculée par la superficie totale inondée par HEC-RAS, de laquelle on soustrait la superficie de la rivière. Ces cartographies n'ont aucune valeur légale.

4.2.1.3. Résultats

Les résultats de la modélisation des inondations en climat futur soulignent plusieurs dynamiques liées aux horizons de temps (Figure 12) et changements saisonniers (Figure 13).

- Les événements fréquents et faibles seront stables: Peu de variation est observée entre les différents horizons pour les probabilités de dépassement de 50 % (1:2).
- Les événements plus exceptionnels augmenteront lors des prochaines décennies, mais seront plus incertains à la fin du siècle : Pour les événements interannuels ou multidécennaux (PDA 20 % à 0,3 %), les débits augmenteront pour les horizons 1 (2021-2050) et 2 (2014-2070), mais diminueront pour l'horizon 3 (2071-2100), un retour aux débits de référence. Cela amènera un

- élargissement de la superficie inondée pour les horizons 1 et 2 pour les PDA inférieures à 50 %.
- Les événements extrêmes estivaux doubleront d'ici la fin du siècle: Durant la période de référence, plus de 80 % des débits maximums se produisent en mars, avril et mai, alors qu'à l'horizon 3, la probabilité printanière diminue (60 % pour le RCP4.5 et 51 % pour RCP 8.5); compensée par le double de la probabilité d'un dépassement maximum à l'été (juin, juillet, août) pour atteindre 16 % pour RCP 4.5 et 17 % pour RCP 8.5.
- Les écarts du 10° et 90° percentiles sont similaires pour les RCP 4.5 et 8.5.

En résumé, même si le même nombre et l'intensité d'événement exceptionnels d'ici la fin du siècle augmentent puis reviennent à l'actuel, le changement dans la dynamique saisonnière aggravera les dommages anticipés en milieu agricole, d'autant qu'il faut se préparer à un léger élargissement de la zone d'extension des inondations d'ici 2070.

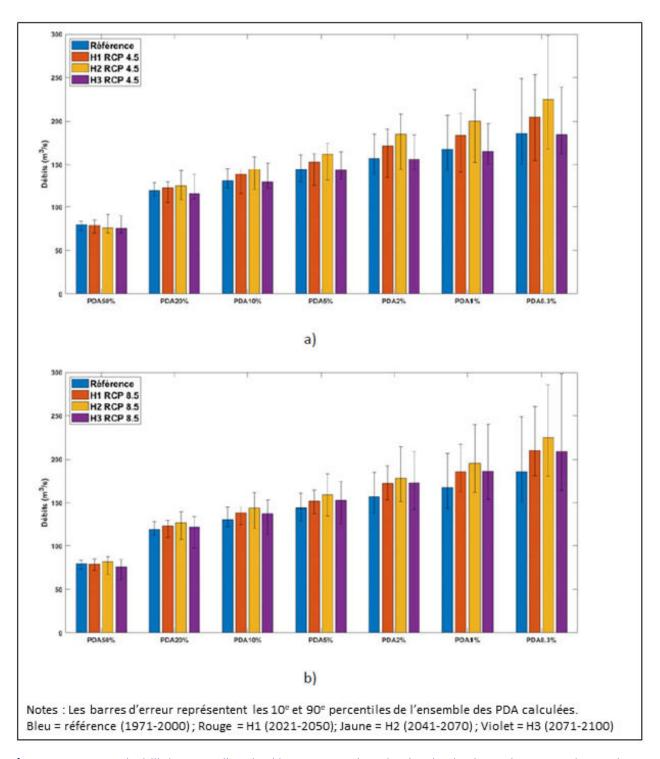


Figure 12. Probabilités annuelles de dépassement (DPA) selon les horizons (H1, H2, H3) pour les deux scénarios climatiques a) RCP 4.5 et b) RCP 8.5 SOURCE : TRUDEL ET GOBJI, 2020.

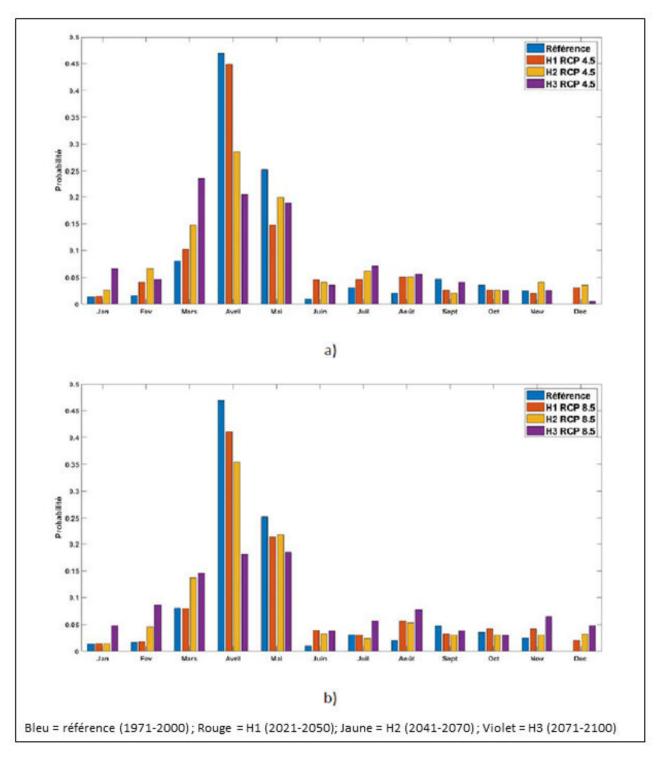


Figure 13. Probabilités d'occurrence du maximum selon les mois selon les horizons (H1, H2, H3) pour les deux scénarios climatiques a) RCP4.5 et b) RCP8.5 SOURCE : TRUDEL ET GOBJI, 2020.

4.2.2. Érosion des berges et mobilité du chenal principal

En 2018, par la cartographie hydrogéomorphologique des aléas fluviaux (Demers et al., 2017) et des consultations, la MRC de Coaticook a mis à jour les zones de contraintes naturelles de son schéma d'aménagement et de développement durable (MRC de Coaticook, 2018) (Figure 14). La zone de contrainte de mobilité sur 50 ans (M_{50}) reconnaît l'aléa d'érosion des berges et de déplacement soudain du chenal (avulsion) reconnu comme réellement probable et dommageable sur l'horizon 50 ans. La délimitation tient compte des scénarios climatiques, sachant que les épisodes torrentiels pourraient augmenter (voir section 4.2.1) et que les petits cours d'eau aux bassins assez abruptes, comme la Coaticook, sont particulièrement réactifs et sensibles aux changements climatiques. Demers et al. (2017) pointent aussi les facteurs anthropiques qui exacerbent cette dynamique: l'enrochement, la linéarisation du chenal de la Coaticook, le remblaiement de milieux humides et le drainage agricole dans les bassins affluents. Ainsi, M50 constitue la base de l'analyse d'érosion, incluant l'avulsion à proximité du chenal principal. Pour mitiger l'aléa, les producteurs agricoles utilisent l'enrochement léger, remboursé par un programme de réduction de taxe foncière du MAPAQ.

4.2.3. Autres aléas fluviaux non probabilistes

Les aléas d'avulsion, de cônes alluviaux et d'embâcles ont causé des dommages par le passé dans la zone d'étude. La manifestation de ces aléas est reliée aux événements hydrométéorologiques extrêmes, mais les connaissances ne permettent pas d'associer les probabilités de dépassements annuels aux aléas, ce qui contraint leur inclusion à la quantification monétaire prévue à l'analyse économique. Par contre, l'analyse de la cartographie de ces aléas permet quand même le dénombrement des actifs, activités et personnes à risque (section 4.3) ainsi qu'une analyse qualitative des risques résiduels permettra de vérifier la concordance des recommandations avec la présence de ces aléas (section 6.5.3).

4.2.3.1. Avulsions et inondabilité potentielle

La plaine alluviale et d'inondabilité potentielle est cartographiée dans la zone d'étude (Demers et al., 2017). Lors d'épisodes de pluies torrentielles, des avulsions peuvent se produire et modifier le tracé du cours d'eau. Il s'agit d'événements plus rares, de faible probabilité, dont l'étendue déborde de la zone d'inondation de faible courant. Cette localisation risque de concorder avec l'extension potentielle de la zone inondable anticipée décrite en début de chapitre (section 4.2.1).

4.2.3.2. Cônes alluviaux

À la suite de la pluie torrentielle de juin 2015, le projet de Cartographie des aléas fluviaux de la rivière Coaticook (Demers et al., 2017) a permis de cartographier les dépôts de surface et ainsi de localiser les cônes alluviaux à l'amont de la vallée de la Coaticook à Compton (Figure 14, Figure 15). Des résidences permanentes se trouvent sur ces cônes et deux résidences ont été expropriées à la suite d'importants dommages en 2015.

4.2.3.3. Embâcles de glace

Les embâcles de glace sont inscrits dans la carte de contraintes naturelles de la MRC de Coaticook, avec 10 événements localisés et une petite zone reconnue propice à l'accumulation de glace immédiatement en aval de l'intersection du chemin Vaillancourt avec la rivière Coaticook (Figure 14). Étant donné le manque de connaissance lié aux impacts des embâcles de glace, cet aléa a été écarté du dénombrement.

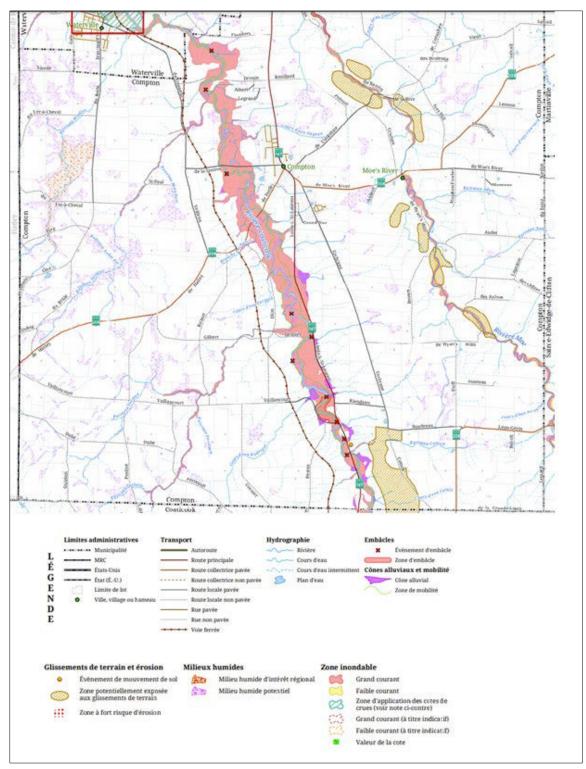


Figure 14. Zones de contrainte naturelle pour Compton
SOURCE : EXTRAIT DE LA CARTE B-2, SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE LA
MRC DE COATICOOK

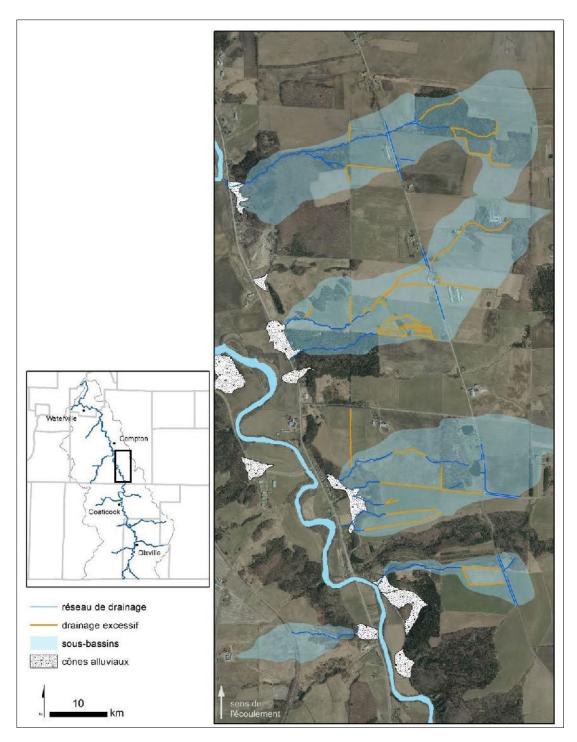


Figure 15.

Localisation de cônes alluviaux occupés par des habitations permanentes, leur sousbassin et les réseaux de drainage naturels et excessifs

Source : Demers et al., 2017

4.3. ACTIFS, ACTIVITÉS ET PERSONNES À RISQUE

4.3.1. Méthodologie

La caractérisation générale du site d'étude à la section 2.1 brosse le portrait du milieu biophysique et humain de l'étude de cas de Compton. Pour analyser les risques, la méthodologie consiste à dénombrer puis à quantifier la valeur des actifs et activités exposées à chacun des aléas d'inondation, d'érosion, d'avulsion, ou se trouvant sur les cônes alluviaux. Cela permet de comptabiliser les dommages potentiels dans les zones de manifestation des aléas, selon leur cartographie en climat actuel.

Dénombrement: Le dénombrement provient d'une superposition des données spatiales de recensement des actifs et activités avec les différentes zones d'aléas, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG). Étant donné le recoupement de plusieurs aléas (inondation, érosion, avulsion), une enveloppe multialéa a été créée par leur superposition. Ces actifs incluent les bâtiments et terrains, associés à un matricule de l'unité d'évaluation foncière, exposés selon leur utilisation : agricole, résidentiel, commercial, industriels, institutionnels, vacants. Les variables dénombrées sont les nombres (bâtiments, lots) et la superficie (hectares). Les infrastructures routières provinciales et municipales, les sites d'activités récréotouristiques (mises à l'eau sur la rivière – circuit de canot/kayak Aquaticook), et les actifs patrimoniaux sont aussi dénombrés. Les données analysées proviennent de sources officielles, telles que la municipalité de Compton, le Ministère de l'environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) et le Ministère de Sécurité Publique (MSP). Pour les personnes à risque, le nombre moyen d'habitant par ménage à Compton du recensement 2016 été utilisé pour les bâtiments résidentiels personnes/ménage).

Valorisation économique: La valeur des terres agricoles et non agricoles a été calculée par le produit d'une valeur économique avec la proportion exacte de la superficie exposée par rapport à la superficie totale:

- La valeur des superficies de terres agricoles à risque a été calculée par la superficie à risque (ha) * valeur moyenne des terres agricoles en Estrie selon le rapport Transac-terre de la FADQ (2019) (7521\$/ha). Ceci exclut la valeur des bâtiments sur les terres agricoles à cause de la difficulté de départager les bâtiments résidentiels et agricoles sur un même lot. Cela produit une sous-estimation (approche conservatrice) des actifs à risque du secteur agricole.
- La valeur des superficies des terrains non agricoles à risque a été calculée par la Superficie du terrain à risque (ha) * (superficie totale du terrain (ha) /Valeur foncière terrain (\$)). Lorsque le bâtiment principal du terrain était à risque, la valeur foncière de l'immeuble (terrain + bâtiment) a été utilisée.

À noter que les bâtiments sur terrains agricoles, les infrastructures routières, les sites récréotouristiques, et les actifs patrimoniaux n'ont pu être valorisés en raison des données incomplètes.

4.3.2. Actifs, activités et personnes exposés aux risques fluviaux

Les quatre aléas ayant fait l'objet d'un dénombrement sont l'inondation (zone inondable de faible et grand courant), l'avulsion (plaine alluviale), les cônes alluviaux et l'érosion (zone de mobilité sur 50 ans). Dans l'enveloppe multialéa, la zone d'avulsion chevauche une grande partie de la zone inondable, celle d'érosion est complètement incluse dans les deux précédentes, alors que les cônes alluviaux y sont adjacents. La Figure 16 et le Tableau 3 présentent les actifs et activités à risque, par type d'aléas fluviaux, par secteur, ainsi que les valeurs associées à ces actifs. La Figure 17 expose la répartition des actifs selon les aléas.

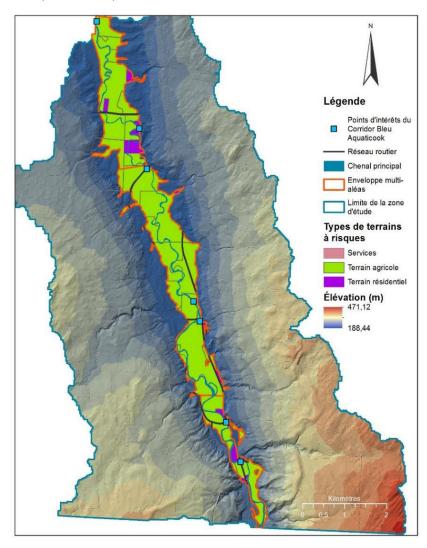


Figure 16. Localisation des actifs et activités à risque

Tableau 3. Dénombrement et valorisation des actifs et activités à risque d'aléas fluviaux

Denombrement et valorisation des actifs et activites a risque d'aleas fluviaux					
Actifs et activités	Inondation	Avulsion	Érosion	Cônes alluviaux	Total
Superficie totale (hectares)	655	503	236	39	719
Valeur totale	8 346 534 \$	7 531 273 \$	3 564 066 \$	2 705 686 \$	12 204 480 \$
		Agricole			
Nombre de terrains agricoles	41	32	30	23	46
Superficie des terres agricoles à risque (ha)	600	455	215	33	652
Superficies en culture (ha)	399	284	86	14	421
Élevage laitier	221	146	26	14	238
Grandes cultures	177	138	60,3	0	183
Pâturage	1	1	0		1
Valeur – Secteur agricole	6 995 898 \$	5 305 473 \$	2508754\$	382 948 \$	7 602 318 \$
		Résidentiel			
Nombre de terrains résidentiel	23	18	10	23	41
Nombre de bâtiments résidentiels	4	7	1	11	18
Nombre de personnes à risque	10	17	3	27	44
Valeur – Secteur résidentiel	1221517 \$	2 085 864 \$	952 179 \$	2 235 462 \$	4 447 914 \$
		Commercia			
Terrains Services de réparation automobile	2	1	1	1	2
Bâtiments Services de réparation automobile		1	1	1	1
Valeur – Secteur commercial	87 379 \$	87 009 \$	87 009 \$	87 009 \$	87 379 \$
		Autres			
Nombre de terrains Autres	9	10	6	3	13
Valeur – Autres	41740 \$	52 928 \$	16 125 \$	268 \$	66 869 \$

Infrastructures routières					
Routes Municipales (mètres)	1813	2270	327	335	2650
Ponts Municipaux	3	3	3		3
Routes Provinciales (mètres)	3397	2119	43	611	4154
Ponts Provinciaux	2	3	2		3
Total – routes (mètres)	5210	4390	370	946	6804
Total – ponts	5	6	5		6
	Récréo	tourisme et Pa	atrimoine		
Sites archéologiques	3	2	1		3
Point stratégique - Aquaticook	7	7	7		7
Actifs patrimoniaux (Pont couvert Drouin)	1	1	1		1
Total – récréotou. & patrimo.	11	10	9		11

Dans la zone d'étude, les actifs et activités exposés aux risques fluviaux représentent un total de 719 hectares et 19 bâtiments, soit une valeur totale de 12,2 M\$ (Figure 18). Rappelons toutefois qu'il s'agit d'une estimation conservatrice, puisque la valeur des bâtiments agricoles, des infrastructures routières, des sites récréotouristiques et des actifs patrimoniaux n'a pu être quantifiée en raison des données incomplètes.

La répartition par secteur est la suivante :

- Agricole: 46 terrains agricoles représentant 652 hectares et une valeur de plus de 7,6 M \$, en culture à 65 % (421 ha), parmi lesquels dominent les productions pour l'élevage laitier (238 ha ou 56 %) et les productions de grandes cultures (182 ha ou 43 %); 92 % (600 ha) des superficies agricoles sont exposés aux inondations, 70 % (455 ha) à l'avulsion, 33 % (215 ha) à l'érosion et 5 % (33 ha) aux cônes alluviaux (Figure 16).
- Résidentiel: 41 terrains résidentiels sont exposés aux risques, parmi lesquels 18 comportent une résidence (unifamiliales par la plupart), ce qui représente 44 personnes à risque d'aléas fluviaux à Compton et une valeur foncière de 1,2 M\$. Parmi ces 18 résidences, 11 (61 %) sont exposées exclusivement des cônes alluviaux contre 4, 7, et 1 respectivement pour l'inondation, l'avulsion et l'érosion.

- Commercial, industriel et institutionnel: deux services de réparation d'automobile, une exploitation de cèdre et l'un des bassins de l'usine de traitement des eaux usées de Compton se retrouvent dans les actifs à risque, représentant un enjeu foncier mineur de 154 000 \$, mais en outre touchant un service municipal essentiel.
- Transport: un total de 6 ponts (50 % municipaux), et 6,8 km de routes (39 % municipaux) sont exposées au moins à un des aléas. À noter que deux routes provinciales, la route 147 et 208, dont le débit de circulation annuel moyen est respectivement de 7 100 et 890 véhicules (MTQ, 2019), sont fortement exposées aux aléas.
- *Patrimonial*: le pont couvert du chemin Drouin et trois sites archéologiques sont exposés et ont une valeur supplémentaire par leur statut patrimonial, cependant difficilement chiffrable.
- Récréotourisme et patrimoine : on retrouve 7 sites d'intérêt liés au circuit de canot/kayak Aquaticook et 3 sites archéologiques.

L'analyse par aléa montre une **dominance de l'aléa d'inondation**, qui menace le plus grand nombre d'actifs, suivi par l'avulsion, l'érosion et les cônes alluviaux. Les conséquences potentielles liées aux terres agricoles à risque d'inondation dominent les enjeux, avec des valeurs 5,2 fois plus élevée que la valeur des terrains et bâtiments non agricoles. Cependant, l'aléa de cônes alluviaux menaçant 423 terrains, 11 résidences et 26 personnes est un risque préoccupant.

L'analyse spatiale montre que la moitié (6,3 M\$ ou 51 %) des actifs à risque se trouve dans le tronçon central, comparé au tronçon amont (vers Coaticook: 3,0 M\$) et aval (vers Waterville: 2,9 M\$). Une partie de l'explication provient des cônes alluviaux situés dans le tronçon central: 2,0 M\$ soit 88 % des actifs exposés aux cônes s'y trouvent; de manière cohérente, le réseau routier exposé y est le plus concentré (3 km de routes de compétence provinciale à risque, soit plus de la moitié de l'enjeu routier). Dans le tronçon amont, l'aléa d'avulsion menaçant le secteur résidentiel est plus important que l'inondation, car la plaine alluviale est plus étendue que la zone inondable. Dans le tronçon le plus en aval, la problématique principale repose sur les inondations menaçant les terres agricoles, représentant un total de 2,2 M\$, et on y retrouve le seul actif patrimonial.

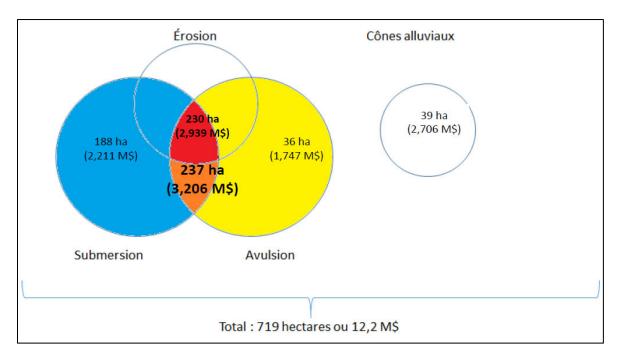


Figure 17. Superficies et valeur des actifs agricoles exposés aux risques fluviaux à Compton, par type d'aléa

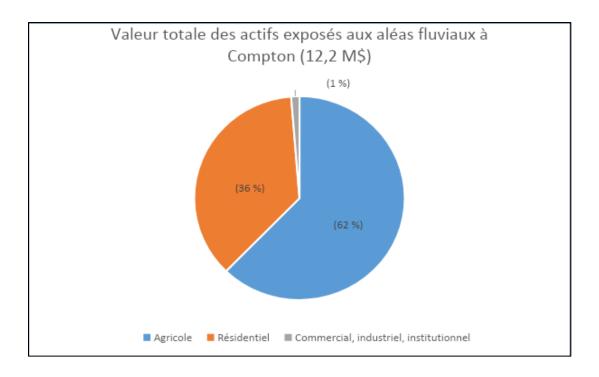


Figure 18. Valeur totale des actifs exposés aux aléas fluviaux à Compton

4.4. VULNÉRABILITÉ AUX IMPACTS DES ALÉAS

L'analyse de la vulnérabilité aux aléas fluviaux de la communauté de Compton se base sur les indices répertoriés par l'<u>Atlas de la vulnérabilité aux aléas hydroclimatiques de la population québécoise</u> pour les aires de diffusion statistiques (FID) 12055, 12056, 12124, et 12141 qui couvrent le site d'étude. La vulnérabilité se définit selon l'Atlas comme une fonction de la sensibilité des aires de diffusion socioéconomiques et de leur capacité à faire face aux aléas. Les tableaux détaillés se situent en Annexe II.

4.4.1. Sensibilité socio-économique

La sensibilité socio-économique repose principalement sur l'âge des résidents, le taux d'emploi, et le revenu des ménages. L'Atlas de vulnérabilité mesure la sensibilité des aires de diffusion à Compton comme *faible* (3 unités sur 4) voire *très faible* (1 unité 4). Voici les constats :

- *Une très faible sensibilité physique* : environ la moitié de résidences construites depuis 1975, au sein d'un parc immobilier en bon état.
- Une sensibilité socio-économique intermédiaire: les points forts reposent sur un bon capital social avec environ 4 personnes sur 5 vivant à plusieurs dans un ménage et depuis plus d'une génération à Compton. Les points plus faibles portent sur l'âge (environ 1 personne sur 5 d'âge sensible) et l'éducation (près d'une personne sur 5 n'ayant pas de diplôme).
- Une bonne capacité financière: une majorité de propriétaires (en moyenne 8 sur 10) consacrant moins de 30% au logement en vaste majorité, et une faible proportion de faibles revenus.

4.4.2. Résilience et capacité à faire face aux aléas

La capacité à faire face aux aléas lors d'intervention peut être évaluée selon la distance aux infrastructures d'urgence, tels les établissements de santé, casernes des pompiers ou postes de police. Selon L'Atlas de Vulnérabilité, dans les 4 aires de diffusion de Compton, cette capacité est *très faible* dans les quatre aires de diffusions.

• L'éloignement des services d'urgence: Outre une caserne de pompiers et une école à Compton, tous les autres services se situent entre 10 et 15 km (soins de santé, hôpital, pharmacie, station de police, centre de services communautaire).

Cependant, les auteurs de l'Atlas soulignent que cette analyse est limitée. La définition de capacité à faire face devrait être élargie pour y inclure des facteurs de résilience souvent invoqués dans la littérature.

- L'expérience institutionnelle de la municipalité de Compton à répondre aux aléas fluviaux (notamment pour la rivière Moe), ainsi que la réglementation provinciale en vigueur des mesures de secours minimaux lors d'urgence (centre d'hébergement, système d'alerte, plans particuliers d'urgence pour les inondations). Les travaux antérieurs de la MRC sur l'espace de liberté et les zones inscrites au schéma d'aménagement et de développement sont d'ailleurs des signes d'apprentissage et de prise en charge contribuant à une résilience institutionnelle.
- La résilience naturelle de l'écosystème : 62 % des rives de la rivière Coaticook et de ses tributaires dans le secteur Compton font l'objet d'un aménagement en bandes riveraines végétalisées de 15 mètres ou plus (Cogesaf, 2006).

4.5. MATRICE MULTIRISQUE

4.5.1. Méthodologie

La matrice de risque est un outil classique en gestion de risque qui vise à prioriser les enjeux selon le degré de probabilité et le degré de conséquences (ex. ISO 31000:2018). Les seuils de ces deux axes sont exprimés au Tableau 4 et les niveaux de risques au Tableau 5. En l'absence de directive d'aménagement provinciale, les seuils de probabilités ont été arrimés aux principes de gestion du territoire basé sur l'exposition ayant cours depuis les deux plans du MSP (2018) et du MAMH (2020), incluant les changements climatiques. Les seuils de conséquences sont empiriques et se basent sur la distribution des proportions du dénombrement, en valeur monétaire de préférence; en indicateur de dénombrement pour les autres (ex. routes). Pour les actifs exposés aux aléas non-probabilistes, comme les cônes alluviaux, les probabilités sont considérées faibles et homogènes, basés sur les témoignages recueillis. Dans l'interprétation, il faut se rappeler que la classification d'ensemble est relative au territoire étudié en raison des seuils de proportion empiriques, et non à des seuils absolus qui se compareraient à l'échelle provinciale.

Tableau 4. Seuils des probabilités et conséquences de la matrice multirisque

Forte : >5 % (> 1:20)	Sévères : >25% actifs exposés ou infrastructures essentielles
Moyenne : 1-5 % (1:20- 1 :100)	Modérées : 10-25% actifs exposés
Faible : <1 % (< 1:100)	Mineures: < 10% actifs exposés
Probabilité	Conséquences

Tableau 5. Niveaux de risque selon les combinaisons de probabilité et conséquences

Niveau de risque	Probabilité	Conséquences	
I. Faible	Faible	Mineures	
	Faible	Modérée	
II. Modéré	Faible	Sévères	
II. MOGCIC	Moyenne	Mineures	
	Forte	Mineures	
	Moyenne	Modérées	
III. Important	Moyenne	Sévères	
	Forte	Modérées	
		Sévères	

4.5.2. Résultats

La matrice multirisque est présentée au Tableau 6.

Risque majeur: L'analyse suggère que l'enjeu prioritaire de plus fort risque est la zone riveraine multialéa (où convergent l'inondation, l'érosion des berges et l'avulsion). Ce secteur étroit longeant la rivière entraîne des conséquences importantes pour la communauté, tant du point de vue économique (ex. pertes de revenus) que social (ex. stress).

Risque important: En niveau de risque important, les actifs exposés aux inondations (routes, superficies agricoles, commerciales ou résidentielles) entraînent des conséquences modérées pour la communauté. À noter que les actifs de transport provincial exposés aux inondations peuvent entrainer des interruptions de service à la mobilité des citoyens, bien qu'il existe des voies de contournement engendrant des délais. En ce qui concerne les actifs exposés à l'érosion seulement, les superficies sont peu importantes puisque la majorité est située dans l'enveloppe multialéa, mais la probabilité est assez forte étant donné le dynamisme de la rivière, ce qui en fait un risque important. Il résulte en pertes nettes de terrain pour la culture et donc des conséquences économiques persistantes sur la période d'étude.

Risque modéré: Les zones d'avulsion représentent des superficies importantes, mais de faibles probabilités, sauf le bassin d'épuration municipal. Les cônes alluviaux représentent de faibles superficies, mais aux conséquences modérées du point de vue collectif. Par contre, ces conséquences peuvent être importantes pour les victimes du point de vue individuel.

Risque mineur: Aucun risque fluvial n'a été classé mineur ou négligeable dans la zone d'étude.

Tableau 6. Matrice de risque multialéa

C o n	Sévères >25% actifs exposés Infrastructures essentielles	Bassin d'épuration en zone d'avulsion*		Actifs exposés à la zone riveraine multialéa (inondation, érosion, avulsion)
s é q u	Modérées 10-25% actifs exposés	Actifs exposés à l'avulsion* et aux cônes alluviaux*	Actifs exposés à l'inondation seulement	Actifs exposés à l'érosion seulement
e n c e	Mineures < 10% actifs exposés			
		Faible <1 % (< 1:100)	Moyenne 1-5 % (1:20-1 :100)	Forte >5 % (> 1:20)
Prob	Probabilité d'occurrence d'ici 50 ans			

^{*}Probabilité incertaine considérée faible

En résumé, l'analyse des aléas en climat futur projette une augmentation des risques fluviaux pour les enjeux exposés: l'augmentation des débits et un élargissement de la zone inondable d'ici 50 ans, mais un retour à l'actuel dans le futur lointain, qui sera compensé par le déplacement des épisodes extrêmes du printemps vers l'été. La majorité du territoire de la zone d'étude est à usage agricole et sensible aux épisode hydrométéorologiques extrêmes, ces terres agricoles représentent 62 % (7,6 M\$) de la valeur totale des actifs, estimée à 12,2 M\$. L'aléa de cônes alluviaux est le plus préoccupant en termes de nombre de résidences (11). La vulnérabilité de la zone d'étude est intermédiaire, avec une faible sensibilité socio-économique, mais une faible capacité à faire face en raison de la distance aux services d'intervention d'urgence.



5. SCÉNARIOS D'ADAPTATION

L'analyse de risque a établi que les mesures d'adaptation devaient réduire en priorité les dommages liés aux zones d'aléas superposées d'érosion, d'inondation et avulsion dans la zone agricole. L'étape suivante visait à créer des scénarios visant la réduction de ces risques, en comparaison avec l'évolution de référence, sans changement des pratiques (statu quo). Il existe 3 grandes catégories de stratégies d'adaptation, soit les solutions structurelles ou physiques (ex. enrochement, dique, infrastructure naturelle, sociales svstèmes d'alerte), les solutions (sensibilisation comportementaux comme une réduction de prime d'assurance) et les solutions institutionnelles (politiques et programmes, lois et règlements, incitatifs économiques) (GIEC, 2014). Selon la nature de la solution, elle peut être localisée (ex. dique à tel endroit) ou attribuée à l'ensemble de la zone d'étude (ex. réglementation).

Dans cette étude, un scénario d'adaptation se définit par une combinaison de mesures d'adaptation évoluant dans le temps. Les scénarios retenus couvrent une diversité de stratégies utilisant autant des solutions structurelles (« grises » ou « vertes »), institutionnelles que comportementales (Tableau 7) :

- le contrôle de l'aléa par des mesures structurelles en zone inondable ou en rivière
 - o Scénario 1: stabilisation des berges avec dragage
 - o Scénario 2 : stabilisation des berges avec rétention acceptable
 - o Scénario 3 : stabilisation des berges avec rétention efficacité maximale
- la réduction des risques par réglementation ou mesures comportementales
 - o Scénario 4 : Mobilité des berges efficacité maximale
 - o Scénario 5 : Mobilité des berges hybride
- le partage du fardeau par des mesures structurelles ou comportementale dans et hors zone
 - Scénario 6 : Adaptation des pratiques agricoles
- La combinaison optimisée des scénarios précédents
 - Scénario 7 : Scénario 5 + Scénario 6

Seuls les aléas avec des connaissances détaillées sur les probabilités ont pu faire l'objet de mesure de réduction du risque, soit l'inondation et l'érosion; l'effet des scénarios sur les cônes alluviaux et les avulsions feront partie des analyses complémentaires (section 6.5). Ce chapitre décrit la méthodologie générale, puis les hypothèses spécifiques (conception, grille d'impacts, efficacité, coûts) du scénario de référence (statu quo) et de chacun des scénarios d'adaptation.

Tableau 7. Description des scénarios et leurs mesures

Symbole	Nom et description du scénario	Mesures				
SQ	Statu quo ou scénario de référence	Enrochement léger				
	Poursuite de l'enrochement léger et	+ Programmes d'indemnisation				
	remboursement des dommages ou					
C	opérations d'urgence					
	Contrôle des niveaux d'eau par mesures struc					
1. STA-DG	Stabilisation des berges avec dragage	Enrochement + dragage				
	Stabilisation avec dragage sur le chenal					
	principal					
2. STA-	<u>Sta</u> bilisation des berges avec rétention	STA-DG				
ACC	<u>acc</u> eptable	+ Bassins de rétention + milieux				
	Combinaison de mesures de stabilisation	humides en secteur agricole désignés				
	et rétention	acceptables				
3. STA-	<u>Sta</u> bilisation des berges avec rétention –	Enrochement				
EFF	<u>eff</u> icacité maximale	+ bassin de rétention surdimensionné				
	Bassin de rétention surdimensionné à					
	l'entrée du site d'étude en terrain vacant					
Stratégie :	Réduction des enjeux par réglementation ou					
4. MOB-	<u>Mob</u> ilité des berges – <u>eff</u> icacité maximale	Interdiction d'usage dans toute la				
EFF	Retrait des actifs à risque pour le	plaine inondable (avec coûts				
	reméandrage du cours d'eau (« corridor	d'opportunité)				
	vert d'espace de mobilité »)					
5. MOB-	<u>Mob</u> ilité des berges – <u>hyb</u> ride	Modification des usages dans la zone				
HYB	Étroit corridor écologique en zone	multialéa				
	multialéa, avec usage durable (restriction	+ Restriction des cultures dans toute la				
	des cultures dans la plaine inondable)	plaine inondable au foin et au pâturage.				
Stratégie : F	Stratégie : Partage du fardeau par des mesures structurelles ou comportementale dans et hors zone					
6. PRA	Adaptation des <u>pra</u> tiques agricoles	Aménagements hydro-agricoles de				
	Aménagements hydro-agricoles de	rétention + règlementation des				
	rétention et réglementation des	pratiques de culture sur résidus dans				
	pratiques de culture	toute la zone d'étude				
Stratégie: Réduction des enjeux et contrôle des aléas par des mesures structurelles et						
réglement	aires ou comp.					
7. MOB-	<u>Mob</u> ilité <u>hyb</u> ride + adaptation des	Combinaison des mesures de mobilité				
HYB +	<u>pra</u> tiques agricoles	hybride et adaptation des pratiques				
PRA	Combinaison des scénarios MOB-HYB et	agricoles				
	PRA					
	1	<u> </u>				

5.1. MÉTHODOLOGIE

Comme détaillée dans le rapport méthodologique (<u>Boyer-Villemaire et al., 2021</u>), la construction des scénarios se base sur un processus collaboratif en plusieurs étapes impliquant les comités du projet (le comité local, le comité d'experts techniques et l'assemblée consultative de priorisation, le comité de suivi), en voici les étapes.

Définition du scénario de référence et ses impacts: Le scénario de référence identifie les pratiques courantes et les coûts actuels liés aux aléas dans différents secteurs d'impacts, en sus de quantifier l'état de référence de l'environnement. Les principaux impacts et secteurs de dommages à inclure dans l'ACA ont été identifiés lors des activités participatives, dans la littérature (ex. COGESAF, 2006; Demers et al., 2017; Penning-Rowsell et al., 2013 ; Circé et al., 2016) et un projet similaire en cours sur le bassin de la rivière Richelieu (https://www.ijc.org/fr/lcrr/plan-de-travail).

Inventaire des mesures potentielles: Basé sur une analyse de la littérature et une concertation avec des ingénieurs, biologistes et autres experts, une liste de mesures de réduction des risques fluviaux a permis de décrire leur faisabilité (topographique, hydrologique, utilisation du sol) et de modéliser les coûts des mesures (paramètres de conception et coûts unitaires).

Sélection, conception, spatialisation des combinaisons de mesures: À partir de l'inventaire, les dimensions, emplacements, et assemblages des mesures en scénarios furent déterminés grâce aux experts et expertes du comité technique, mais aussi par une activité de cartographie participative réalisée à l'ACP 1, pour certaines mesures structurelles nécessitant l'acceptabilité des propriétaires.

Estimation de l'efficacité des scénarios: Seuls les aléas probabilistes (érosion et inondation) ont fait l'objet d'une estimation quantitative de l'efficacité des mesures. Pour les scénarios visant la réduction de l'aléa d'inondation (STA-DG, STA-acc, STA-eff), l'efficacité a été modélisée par l'Université de Sherbrooke à partir du modèle hydrologique-hydraulique (voir section 2.2 et Trudel et Gobji, 2020). Pour l'aléa d'érosion des berges, l'hypothèse d'efficacité maximale repose sur une conception adaptée à la période d'étude (50 ans) avec l'entretien approprié. Enfin, pour tous les scénarios, la proportion de réduction des dommages du SQ indique aussi l'efficacité (tous les secteurs d'impacts confondus).

Estimation des coûts des mesures: L'estimation des coûts de chaque mesure dans chaque scénario provient d'un processus de validation avec des ingénieurs et experts en conception d'ouvrages au Canada. Les coûts estimés comprennent l'ensemble du cycle de vie des mesures, de la conception, la réalisation, l'entretien, le démantèlement si nécessaire, en sus des coûts d'opportunité témoignant de la valeur de renonciation aux usages ou aux activités restreintes par la mesure. Par contre, les coûts de transaction, tels que le coût de certaines autorisations ou certains traitements administratifs, n'ont pu être considérés

Identification des impacts des scénarios: La sélection des catégories d'impacts provient de l'analyse de la littérature et d'une validation lors des activités participatives. Les trois critères d'inclusion étaient 1) l'importance relative pour l'étude de cas, 2) la méthode de quantification disponible dans d'autres études et 3) la disponibilité des données nécessaires. Les hypothèses détaillées, sources de données et méthodes de quantification se situent dans le chapitre d'analyse économique (cf. rapport méthodologique).

Les catégories d'impacts sélectionnées et liées aux analyses de risque sont les suivantes (Tableau 8): les impacts agricoles (A), les impacts commerciaux et industriels (C&I), les impacts résidentiels (R), les impacts psychosociaux (PS), les impacts municipaux (M), les impacts économiques (Écon.), les impacts environnementaux (Env.). S'y ajoutent les coûts des mesures (CM) et les coûts d'opportunité des scénarios (CO). Vu la localisation des actifs et activités de Compton, la majorité des postes d'impacts proviennent des inondations, alors que l'érosion affecte les terres agricoles et le secteur résidentiel.

Tableau 8. Catégories d'impacts et de coûts et lien avec l'analyse de risque

ŕ		pories d'impacts et de couts et lien av	-
	Catégories	Description	Intrants issus de l'analyse de risque
А	Impacts	Pertes de terres agricoles par	<i>Érosion</i> : Longueur et superficie de berges
	agricoles	l'érosion	affectée par l'érosion
		Dommages aux cultures (pertes	Inondation : Probabilités mensuelles
		de revenus)	d'étendue d'eau affectant chacun des
			modèles de ferme
		Coûts de nettoyage de débris en	Inondation : Probabilités mensuelles
		champs	d'étendue d'eau affectant chacun des
			modèles de ferme
C&I	Impacts	Coûts des dommages aux	Inondation : Probabilité annuelle de
	commerciaux et	bâtiments par inondation	profondeur d'eau pour chaque bâtiment
	industriels	(structure et contenu)	
R	Impacts	Pertes de terrain résidentiels	Érosion: Longueur et superficie de berges
	résidentiels	par érosion	affectée par l'érosion
		Dommages aux résidences par	Inondation : Probabilité annuelle de
		inondation (structure et	profondeur d'eau pour chaque bâtiment
		contenu)	protetradar a dad podr etraque batiliterite
		Dépenses engendrées par les	Inondation : probabilités de profondeur
		évacuations	d'eau (converties en nombre de bâtiments
		evacations	puis en nombre de sinistrés.es)
PS	Impacts psycho-	Dépenses complémentaires	Inondation : probabilités de profondeur
P3	sociaux	Soins de santé	d'eau (converties en nombre de bâtiments
	SOCIAUX	Perte de productivité	puis en nombre de sinistrés.es)
		individuelle	puis en nombre de simistres.esj
М	Impacts	Perte de qualité de vie Dépenses en gestion des	Inondation : Probabilité annuelle de
IVI	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
	municipaux	urgences et nettoyage des débris	profondeur d'eau pour les bâtiments et terrains
Écon	Impacts	Perte de productivité due à la	Inondation : Probabilités de profondeur
ECON	·	fermeture des routes	·
•	économiques	l rermeture des routes	d'eau et longueur affectées
_			
Env.	Impacts	Séquestration du carbone	
	environnementa	Qualité de l'eau : sédiment et	Variable (selon les changements
	ux	nutriments (N, P)	d'utilisation du sol liées aux mesures)
		Qualité de l'habitat	
СМ	Coûts des	Conception, réalisation,	Variable (voir les paramètres de conception
	mesures	entretien	de la mesure)
CO	Coûts	Valeur des pertes de revenus ou	Variable (voir les coûts de la mesure)
	d'opportunité	pertes d'usage restreints par	
	des mesures	une mesure.	
		Permet une approximation des	
		coûts de rachat ou de compensation des terres.	

5.2. DÉFINITION DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE ET SES IMPACTS

Le scénario de référence (SQ) représente le point de départ de l'analyse avantagescoûts: la référence d'état du système à partir duquel les coûts et avantages de différents scénarios d'adaptation sont évalués. Il décrit le potentiel de coûts à éviter (et donc les avantages des divers scénarios d'adaptation).

5.2.1. Identification des impacts des inondations

Les coûts liés aux inondations proviennent de trois facteurs :

- L'inclusion d'un actif dans la zone d'étendue maximale d'inondation
- Des dommages liés à la profondeur d'eau sur une surface ou affectant un bâtiment donné
- La probabilité liée à la manifestation de l'événement durant un mois plutôt que l'autre.

La durée des inondations est un facteur important, mais ne pouvait être modélisée. Les postes d'impacts suivants sont affectés par les inondations :

- Le secteur agricole :
 - les dommages aux cultures: les inondations, surtout lors des saisons estivale et automnale, peuvent entraîner la perte de rendement, total ou partiel selon les cultures, et donc la perte de revenus sur l'année
 - les coûts de nettoyage des débris dans les champs agricoles, les producteurs ont des coûts d'opérations additionnels pour remettre la terre en état d'être cultivée
- Le secteur commercial et industriel :
 - o les **dommages structurels aux bâtiments**: selon le niveau d'eau atteint dans un bâtiment et la présence ou l'absence d'un sous-sol, les bâtiments subissent un certain taux d'endommagement par rapport à leur valeur foncière
 - o les **dommages aux contenus des bâtiments** : selon le niveau d'eau atteint, une proportion de l'inventaire, basé sur la valeur foncière, est perdue
- Le secteur résidentiel
 - les dommages structurels aux résidences et à leur contenu : voir secteur commercial et industriel
 - o l'assistance aux personnes évacuées : lorsqu'une résidence principale est évacuée, cela engendre des coûts d'hébergement et d'entretien minimal (nourriture, habits), qui dépend du nombre de sinistrés

• Le secteur psychosocial

être sinistré.e en raison de la perte de sa résidence engendre une perte de productivité (ex. journées pour gérer l'administration du dossier d'indemnisation), une perte de qualité de vie (ex. stress, perturbation du sommeil), des coûts de soins de santé (ex. soins administrés par le système public), et dépenses complémentaires (ex. soins non couverts par le système de santé publique).

• Le secteur municipal :

o la **gestion des urgences et le nettoyage des débris** sur les voies publiques : lorsque des résidences principales sont évacuées ou que les voies municipales sont inondées, cela engendre des coûts d'opération d'urgence pour rétablir les usages.

• Le secteur public :

o la **perte de productivité** due à la fermeture des routes.

5.2.2. Identification des impacts de l'érosion

La perte de terrain est le principal impact de l'érosion. Les zones actuellement actives d'érosion identifiées par photo-interprétation correspondent à 1,5 km de berges sur les 39,6 km du secteur d'étude. De plus, 6,9 km de berges sont actuellement enrochés et sont donc exposés à l'aléa d'érosion. En l'absence d'entretien, le total des segments soumis à l'érosion serait donc de 8,4 km de berges.

Au niveau indirect, les impacts de la perte de terres entraînent certains impacts sectoriels.

Le secteur agricole :

- o la **perte de terres agricoles** réduit la superficie cultivable et entraîne des pertes de revenus.
- Le secteur résidentiel, commercial, industriel, institutionnel :
 - o la **perte de terrain** réduit la superficie associée à ces secteurs ;
 - la **perte de bâtiment**: le déplacement de la berge constitue un danger pour la sécurité des structures, qui peuvent être déclarées impropres à l'habitation ou l'activité lorsque la distance entre la rivière et le bâtiment se réduit. Dans cette étude, la distance entre le centroïde et la berge d'ici 50 ans a été utilisée car l'enjeu était marginal. En sécurité civile, une marge de sécurité de 5 m ou plus s'applique comme seuil d'imminence du risque et il serait recommandé de calculer cette distance avec le coin le plus près du bâtiment et l'année exacte à laquelle le seuil est atteint, comme dans l'ACA maritime (Circé et al., 2016).
 - o l'assistance aux personnes évacuées: l'évacuation d'une résidence principale engendre des coûts d'hébergement et d'entretien (nourriture, habits), qui dépend du nombre de sinistrés.

5.2.3. Identification des pratiques actuelles

L'état actuel des pratiques de gestion de risque repose sur deux mesures principales :

- L'indemnisation des dommages liés aux inondations: actuellement, les dommages et mesures de rétablissement liés à aux inondations en milieu agricole, résidentiel, commercial ou industriel et municipal sont compensés à hauteur d'une certaine proportion par des programmes provinciaux:
 - o Indemnisation du MSP pour les nettoyages de débris (agricoles ou municipaux)
 - o Indemnisation des dommages aux cultures pour les producteurs assurés par la financière agricole du Québec.
- L'enrochement subventionné pour stabiliser les berges : réalisé par les producteurs agricoles au bout de leurs terres, ces ouvrages visent à stabiliser les berges du cours d'eau mais n'ont pas d'efficacité contre <u>les inondations</u>. Sur 50 ans, l'approche conservatrice serait de stabiliser les zones actuellement actives identifiées par photo-interprétation, ce qui correspond à un ajout de 1,5 km d'enrochement, pour un total de 8,4 km de berges enrochées. L'enrochement est soumis à de strictes contrôles réglementaires pour s'aligner avec une gestion des cours d'eau établie de manière cohérente et compatible entre les usages, les besoins des écosystèmes et la dynamique naturelle des cours d'eau (AGRCQ, 2018). Le constat est qu'il est admis à titre de travaux de nettoyage de cours d'eau et même compensé par le biais d'un programme de remboursement de taxe foncière aux producteurs agricoles.

En résumé, le scénario de référence se définit comme la poursuite de l'approche réglementaire d'indemnisation des dommages liés aux inondations et l'ajout d'enrochement subventionné pour la stabilisation de berge.

5.2.4. État de référence de l'environnement

Afin de mesurer et quantifier l'impact environnemental des différents scénarios d'adaptation, l'état de référence (ou état initial) de l'environnement doit d'abord être réalisé pour offrir une base comparative. L'approche adoptée dans cette étude de cas vise à quantifier les bénéfices environnementaux procurés à la société en modélisant les flux de différents services écosystémiques à l'intérieur de la zone d'étude. Évaluer la totalité des avantages pourvus par la nature est une entreprise complexe qui surpasse les besoins de ce projet. Ainsi, une évaluation partielle de l'environnement a été réalisée grâce à la suite de modèles InVEST (Natural Capital Project - InVEST), produite par l'université de Stanford. En accès libre et gratuit, cette gamme d'outils spatialement explicites permet de cartographier et de quantifier jusqu'à 26 services écosystémiques.

Sur la base des critères de sensibilité potentielle à l'implantation des mesures incluses dans les scénarios, quatre modèles ont été retenus :

- Transport des nutriments (Qualité de l'eau)
- Transport des sédiments (Qualité de l'eau)
- Séquestration du carbone
- Qualité de l'habitat

5.2.4.1. Méthodologie

L'opérationnalisation des modèles InVEST pour la modélisation des services écosystémiques nécessite l'acquisition et le formatage d'une variété de données spécifiques à chacun des modèles. Il importe donc d'utiliser les données accessibles les plus complètes, précises et actuelles comme intrants à la modélisation.

Si plusieurs données nécessaires sont spécifiques à certains modèles (classes pédologiques, modèle numérique de terrain, modèle d'érodabilité, etc.) (Figure 19), la suite InVEST utilise comme base de référence un format matriciel de *landuse and landcover* (LULC) auquel est jumelée une matrice de valeurs biophysiques établissant les propriétés de chacune des classes d'utilisation du territoire. Pour cette étude de cas, le jeu de données d'utilisation du territoire de 2017 produit par le MELCC combiné aux tableaux issus des travaux de Wood et al. (2019) ont permis de construire la charpente informationnelle aux modèles InVEST. La résolution de l'information géographique retenue pour spatialiser les scénarios est une option mitoyenne de rééchantillonnage entre la résolution par défaut de l'utilisation du territoire (30 m²) et la résolution de l'imagerie lidar utilisée pour le MNT (1 m²), soit 10 m². Ainsi, on optimise l'intégration des mesures d'adaptation sous forme vectorielle avec la vitesse de traitement par ordinateur.

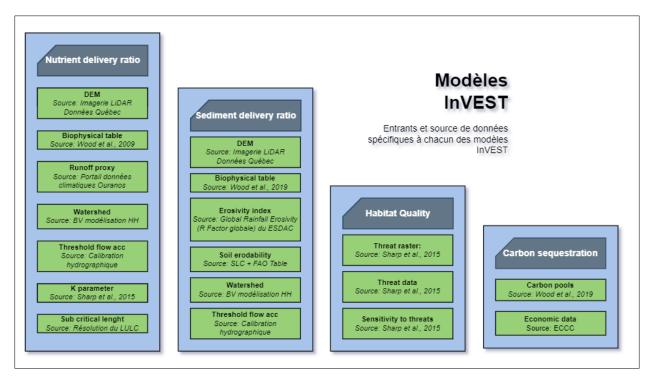


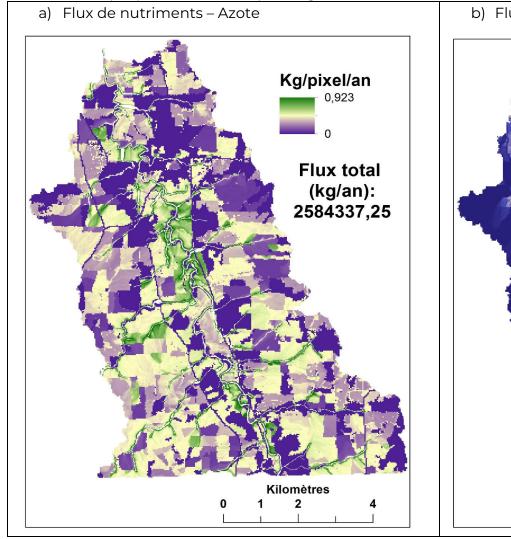
Figure 19. Modèles InVEST utilisés pour établir l'état de référence de l'environnement, détaillés par leurs paramètres d'entrés et leur source de données

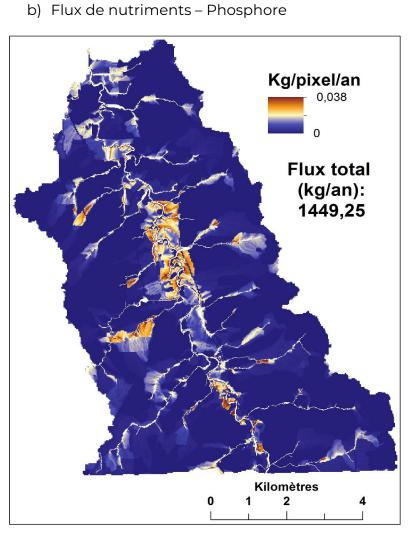
Une fois les modèles paramétrés et calibrés, la modélisation des services écosystémiques permet de quantifier (toujours de manière partielle) l'état de référence de l'environnement pour la zone d'étude. À partir de ce statu quo, il sera possible de construire les différents scénarios d'adaptation afin de les comparer et évaluer les solutions gagnantes du point de vue environnemental.

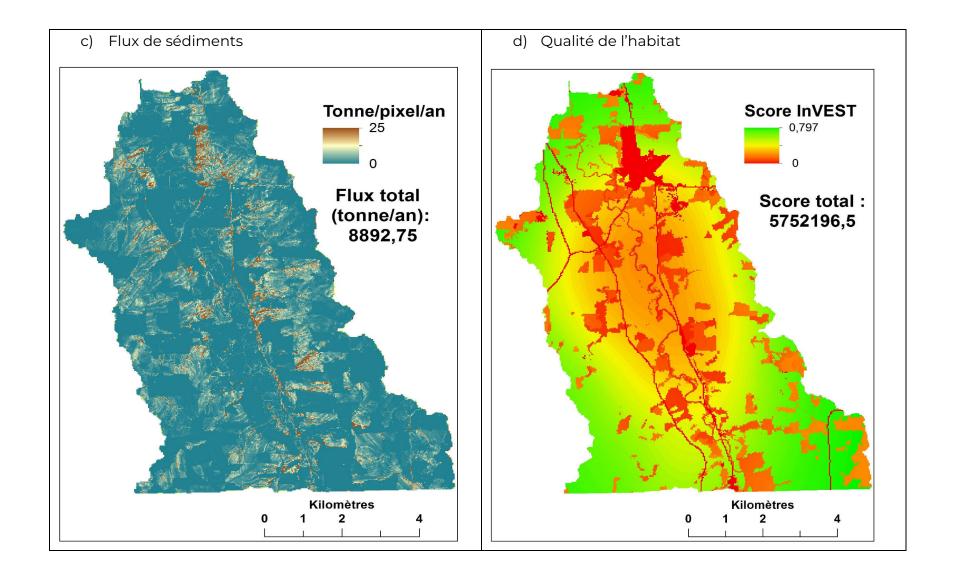
5.2.4.2. Résultats

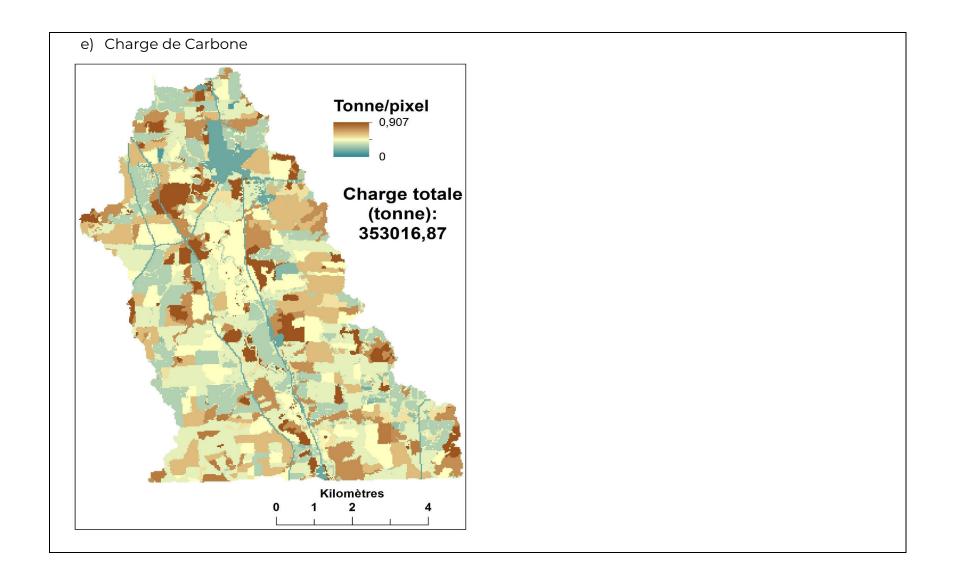
Les résultats cartographiés de la modélisation des services écosystémiques pour l'état de référence sont présentés au Tableau 9.

Tableau 9. Quantification de l'état de référence de l'environnement pour a) le flux d'azote, b) le flux de phosphore, c) le flux de sédiments, d) la qualité de l'habitat e) la charge de Carbone









Qualité de l'eau

Les deux premières cartes (a et b), produites par le modèle de transport des nutriments, permettent d'observer la distribution spatiale de l'exportation des nutriments d'azote et de phosphore vers les cours d'eau sur une base annuelle. La troisième carte (c), produite par le modèle de transport des sédiments, illustre la distribution spatiale de l'exportation des sédiments vers les cours d'eau, également sur une base annuelle. Pour ces trois produits matriciels issus de la modélisation, les flux annuels de particules ont été agrégés à l'échelle de la zone d'étude et forment le cadre de référence biophysique pour la qualité de l'eau. Ces résultats agrégés indiquent que, annuellement, environ 2 584 337,25 kg d'azote, 1 449,25 kg de phosphore et 8 892,75 tonnes (8 892 750 kg) de sédiment sont drainés vers les cours d'eau.

Les cartes de transport des nutriments démontrent que le foyer principal de drainage des nutriments vers les cours d'eau se situe au sud du noyau urbain de la municipalité de Compton, aux abords de la rivière Coaticook. L'utilisation du territoire pour ce foyer de drainage est essentiellement à vocation agricole et on y pratique principalement la culture de maïs.

Qualité de l'habitat

La quatrième carte (d) est produite par le modèle de qualité de l'habitat et présente la distribution spatiale d'un pointage (score) de qualité de l'habitat. Ce pointage est un proxy conçu par inVEST et fait référence à la capacité de l'écosystème à fournir des conditions appropriées pour la persistance des individus et des populations (Sharp et al., 2015), mais ne fait référence à aucune autre mesure de biodiversité particulière.

Les résultats de cette modélisation à la carte d) indiquent que si les milieux urbains et agricoles sont des espaces dégradés de manière généralisée à l'échelle de la zone d'étude, c'est surtout dans la région au sud du noyau urbain de Compton traversée par le chenal principal qu'ils semblent exercer une pression importante sur la qualité de l'habitat.

Séquestration du carbone

La cinquième carte (e) est produite par le modèle de séquestration du carbone et représente la distribution spatiale du contenu en carbone des différentes classes d'utilisation du sol à t = SQ. Il s'agit donc d'une cartographie du stockage (charge) en carbone et non d'une cartographie de la séquestration du carbone. La séquestration - ou perte - du carbone fait plutôt référence à la différence nette de stockage du carbone entre une carte d'utilisation du sol actuelle et future du même contexte géographique. Lorsqu'une carte future est fournie au modèle, celui-ci peut produire la carte de séquestration.

Dans les résultats de la modélisation à la carte e), la répartition des hautes concentrations de carbone correspond en grande partie à la localisation des milieux forestiers et arbustifs. Selon les résultats, ceux-ci peuvent contenir jusqu'à près d'une tonne de carbone par pixel (10 m²), alors que les milieux agricoles (excluant les cultures fourragères pérennes, exemple: kernza) et anthropiques sont largement dépourvus de puits de carbone. La charge totale de carbone contenu dans la zone d'étude pour l'état de référence est de 35 3016,87 tonnes.

5.3. PARAMÈTRES DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION

5.3.1. Combinaisons de mesures

À Compton, les scénarios d'adaptation combinent les mesures suivantes :

- L'enrochement avec végétalisation
- Le dragage
- La restauration de milieux humides et hydriques
- Les bassins de rétention
- La réglementation des usages en milieu à risque
- Les aménagements hydro-agricoles
- La réglementation des pratiques de culture sur résidus.

5.3.2. Coûts des mesures

Les coûts des scénarios proviennent de la somme des coûts des mesures. Les valeurs unitaires des mesures viennent de la littérature, validée avec des experts en infrastructure rigide ou naturelles. La ventilation de ces chiffres répertorie trois grandes catégories formant le coût des mesures (CM) :

- *les coûts de conception* : une proportion du coût d'implantation pour des plans et devis (optionnel)
- *les coûts d'implantation*: les ressources humaines (main d'œuvre) et matérielles (roches, plantes, machinerie, y compris dépenses de mitigation et surveillance des impacts) pour l'implantation
- les coûts d'entretien: une proportion du coûts d'implantation visant à maintenir le niveau d'efficacité optimal de la mesure à une fréquence choisie au cours de la période d'étude

Aucune dépense de démantèlement n'a été considérée dans cette étude, ni aucune valeur résiduelle. Dans les scénarios, en l'absence d'enjeux de santé ou sécurité dans la rivière, l'approche conservatrice du moindre coût consiste à laisser la nature procéder à un démantèlement passif des ouvrages. Ces postes ont permis de construire des fonctions de coûts unitaires, à multiplier par les variables biophysiques ou de conception liées au site d'étude. Ces coûts proposés se basent sur une ventilation détaillée des postes de dépenses, autant que possible, mais doivent être pris à titre indicatif. L'objectif visait à comparer des grandes catégories de mesure et que l'usager puisse reprendre ces tableaux et changer les paramètres et coûts pour mieux refléter leur contexte (voir <u>guide méthodologique</u>). Ils ne remplacent en rien des plans et devis d'experts dans les domaines respectifs.

Les coûts d'opportunité (CO) ont aussi été considérés et évaluent le coût de renonciation à une propriété ou une activité restreinte par une mesure. Les coûts d'opportunité sont utiles afin d'obtenir une valeur approximative des mécanismes de compensations pouvant accompagner les mesures. Dans le secteur agricole, ils se basent sur la valeur régionale Transac-terre, augmentée d'un écart-type pour compenser pour la productivité particulière à Compton (FADQ, 2019). À ce sujet, au moment de réaliser les calculs, seule la valeur Transac-terre 2018 était disponible, additionnée d'un écart-type et convertie en \$2019, le montant se chiffre à 11 660 \$/ha. Par contre, la valeur 2019 + 1 écart-type laisse présager une accélération des prix (16 295 \$/ha). Ainsi, par précaution, une analyse de sensibilité à 25 000 \$/ha (valeur rapportée lors des consultations) a été ajoutée. À noter que la plus récente évaluation des terres en cultures de la MRC de Coaticook, obtenue suite à la production de ces analyses, présentait une valeur moyenne de 16 000 \$/ hectare (JP Cadrin et associés, 2021).

Les coûts spécifiques à chaque mesure sont précisés au Tableau 10. Tous ces coûts sont par la suite actualisés sur 50 ans (4 % pour les premiers 30 ans et 2 % pour les derniers 20 ans).

Tableau 10. Coûts unitaires et coûts d'opportunités par mesure

Mesures	Coûts unitaires des mesures (CM)	Coûts d'opportunité (CO)	Coûts totaux actualisés sur 50 ans	Source et commentaires
Enrochement avec végétalisation : total 8,4 km, dont un ajout de 1,5 km	Conception: 20 % de l'implantation Implantation: 500 \$/m.l. x 1,5 km Entretien: 10 % / 10 ans x 8,4 km; suivi de végétation décroissant sur 5 ans de 12 % à 1 %	-	CM:Total:2021265 \$ Enrochements actuels: 1052199\$ Enrochements ajoutés: 969066\$	Biron et al., 2013
Dragage : 3 sites totalisant 6700 m ³	Conception: 10 % de l'implantation Implantation: 72 \$/m³ (+35 \$/m³ pour les redevances et mises en dépôt) x 6700 m³ Entretien: 100 % aux 7 ans	-	CM: 4 524 063 \$	Rieussec (2008) La valorisation des sables de dragage (économie des 35 \$/m3 reliés aux redevances et mises en dépôt) est traitée en analyse de sensibilité
Restauration de milieux humides et hydriques : 26,6 ha • 6,5 ha à restaurer • 20,1 ha à conserver (sans coûts unitaires)	Conception: 8 645 \$/ha (+ 1729 \$/ha pour frais administratifs) x 6,5 ha Implantation: 13 832\$/ha x 6,5 ha Entretien et admin.: 3458 \$/ha aux 10 ans x 6,5 ha	Perte d'usage des terres agricoles : 11 660 \$/ha X 6,5 ha	Total: 512 023 \$ CM: 201 867 \$ CO: 310 156 \$	MELCC (2020) et experts du milieu Valeur à 25 000 \$ fait l'objet d'une analyse de sensibilité.
Bassins de rétention • Scénario 2:7 x 5000 = 35 000 m ³	Conception et implantation : 76 \$/m³ Entretien : 10 % de l'implantation /an	Perte d'usage des terres agricoles : 11 660 \$/ha S2 : x 4,23 ha	S2 : Total : 15 957 160 \$ CM : 15 907 780 \$ CO : 49 380 \$	Desjarlais et Larrivée (2011) FADQ (2019) Coûts d'opportunité à 25 000 \$/ha traité en analyse de sensibilité

Mesures	Coûts unitaires des mesures (CM)	Coûts d'opportunité (CO)	Coûts totaux actualisés sur 50 ans	Source et commentaires
• Scénario 3 : 1 x 69 500 m ³	Durée de vie : 15 ans	S3 : x 8,40 ha	S3: Total: 31 698 286 \$ CM: 31 611 486 \$ CO: 86 800 \$	
Conversion des usages agricoles en milieu à risque Scénario 4 : x 398 ha Scénarios 5 et 6 : x 185 ha	-	Perte d'usage des terres agricoles : 11 660 \$/ha	S4: CO:7757847\$ S5 et 6: CO:2481944\$	FADQ (2019) Coûts d'opportunité à 25 000 \$/ha traité en analyse de sensibilité
Restriction des cultures au foin et au pâturage en milieu à risque Scénarios 5 et 6 : x 225 ha	-	Perte de revenus agricoles : 4400 \$/ha	CO: 989 806 \$	FADQ (2019) FADQ (2019)
Aménagements hydro- agricoles Concerne 4812 ha	Conception et implantation : 1900 \$ / aménagement x 1 aménagement / 7,5 ha drainé (430 aménagements) Entretien : 30 \$ / aménagement / an Durée de vie : 10 ans	-	CM: 2 933 878 \$	Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec [CRAAQ] (2015a, b) Coût d'opportunité traité en analyse de sensibilité à 11 600 \$/ha x 0,43 ha x 430 ouvrages
Cultures sur résidus Concerne 4812 ha	-	-	-	-

5.3.3. Efficacité des mesures

Érosion des berges : L'efficacité à limiter l'érosion des berges se base sur la présence d'enrochement pour stabiliser la berge, assumant une efficacité maximale sur 50 ans, moyennant des coûts d'entretien de 10 % du coût d'implantation au mètre linéaire par année.

Inondation: L'efficacité à réduire l'aléa (réduire les débits et niveaux d'eau) a été mesurée par modélisation hydrologique et hydraulique pour les scénarios impliquant des mesures structurelles (STA-DG, STA-ACC, STA-EFF) par l'Université de Sherbrooke (Trudel et Gobji, 2020) (Figure 20). L'efficacité des scénarios d'adaptation fut analysée en période de référence (1971 à 2000) et aux trois horizons de temps (2021 - 2050; 2051-2070; 2071-2100). Selon Trudel et Gobji (2020), de façon générale, l'impacts des scénarios d'adaptation est assez mince:

- Le degré de contrôle sur la dynamique de la rivière ne dépasse pas 5% de la superficie de la zone inondable: Par rapport au SQ, les scénarios entraînent une variation inférieure à une vingtaine d'hectare de la superficie inondée (moins de 5 % superficie totale selon les PDA), mais n'ont pas un effet significatif sur la dynamique de la zone d'étude.
- Les mesures ont un effet plus faible que celui des changements climatiques: Les mesures font moins varier la superficie totale de la zone inondable que les scénarios climatiques (écart entre les 10e-90e percentiles des probabilités annuelles de dépassement, PDA), surtout pour les événements de faible récurrence (1 %, voir Figure 20). Cela signifie que le changement d'un paramètre climatique aura plus d'effet sur la zone inondable que la protection offerte par les mesures étudiées; et que la protection est moins certaine pour les événements extrêmes.
- L'interconnexion amène des variations spatiales importantes qui réduisent l'efficacité: Les mesures ponctuelles (dragage, méga-bassins) amènent une certaine efficacité locale (réduction de la profondeur jusqu'à 18 cm), mais perturbent la dynamique et entraînent des contres-effets ailleurs; les petites mesures plus diffuses (milieux humides répartis à plusieurs endroits, réduction de tous les apports latéraux) amènent une efficacité plus constante sur le territoire.

L'efficacité n'a pas été calculée sur chacune des mesures individuellement, mais bien sur les scénarios, mais on peut dégager les observations suivantes :

 Le dragage: Cette mesure produit une efficacité localisée maximale de 15 cm pour la probabilité 1:2 (50 %) à l'emplacement du creusage, mais s'avère être contre-efficace en augmentant plus loin jusqu'à 5 cm les niveaux d'eau en raison de la connexion spatiale de la dynamique de la rivière

- Une série de 7 bassins de rétention de 5000 m³ et 5 milieux humides conservés ou restaurés: Ils donnent la plus grande réduction des niveaux d'eau, jusqu'à -18 cm, en étant répartis sur le territoire et assurant un effet diffus sur la réduction des débits de pointe, surtout dans la section aval du secteur qui a une pente plus faible
- Le bassin surdimensionné: Malgré une conception ambitieuse de 69 500 m³ (équivalent à 18,5 piscines olympiques), il produit une efficacité localisée sur les 500 m aval de rivière, il s'agit de la mesure qui offre la moins grande efficacité

Dans l'ensemble, « les stratégies impliquant une réduction des débits donnent une plus grande réduction des niveaux d'eau que ceux impliquant une modification au lit de la rivière qui peuvent même causer une augmentation des niveaux d'eau » (Trudel et Gobji, 2020, p.23).

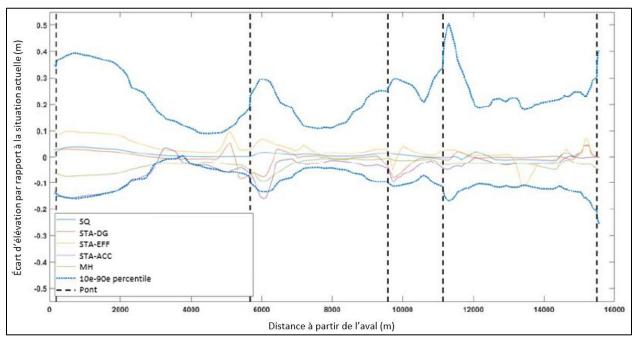


Figure 20. Exemple de mesure de l'efficacité (écart d'élévation par rapport à la situation actuelle) selon le chaînage et selon les scénarios d'adaptation, et enveloppe de l'incertitude climatique (10e et 90 percentiles), pour la probabilité annuelle de dépassement de 1 %. SQ: statu quo (scénario de référence), STA-DG: stabilisation avec dragage, STA-ACC: stabilisation acceptable, STA-EFF: stabilisation efficace, MOB-EFF: mobilité efficace, MH: milieux humides (scénario non considéré dans le projet ACA). Source: Trudel et Gobji, 2020.

5.3.4. Impacts des mesures

À partir des catégories d'impacts sélectionnées et liées aux analyses de risque (Tableau 8), une grille d'impacts de chacune des mesures par rapport au SQ a été réalisée (Tableau 11), puis combinée pour chacun des scénarios (présentée dans la synthèse des scénarios : Tableau 13). Ces grilles d'impacts des mesures et scénarios, par rapport au scénario de référence, est le fruit de la réflexion entre les équipes de recherche et les différents comités consultatifs et décisionnels. Elles sont construites à la fois à l'aide de l'expérience, de rencontres avec des experts et d'intuition. Sans avoir comme vocation de prédire parfaitement les effets des mesures sur le secteur d'impact, elles servent surtout comme un outil d'aide à la décision.

Tableau 11. Direction anticipée des impacts de chacune des mesures par rapport au SQ

Mesures Direction anticipee des Impa	Agricole	Commercial et Industriel	Résidentiel	Psycho-social	Municipal	Économique	Environnemental
	Pertes de terres	Dommages aux bâtiments	Pertes de terrains	Soins de santé, Dépenses complémentaires	Dépenses en gestion des urgences et nettoyage des débris	Perte de productivité due à la fermeture des routes	Séquestration du carbone
	Dommages aux cultures		Dommage s aux bâtiments	Perte de productivité			Qualité de l'eau
	Nettoyage des champs		Évacuation	Perte de qualité de vie			Biodiversité
Enrochement léger	+	+	+	+	+	+	-
Dragage	+	+	+	+	+	+	-
Bassins de rétention en milieu agricole	-	+	+	+	+	+	-
Bassin de rétention surdimensionné en terrain vacant	+	+	+	+	+ et -	+	-
Milieux humides en milieu agricole	+ et -	+	+	+	+	+	+
Interdiction d'usage dans toute la plaine inondable (avec coût d'opportunité)	-	-	-	-	+	aucun	+
Modification des droits d'usage dans la zone multialéa	- et +	-	-	-	+	+ et -	+
Restriction des types de cultures dans toute la plaine inondable (avec coût d'opportunité)	-	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	+
Aménagements hydro-agricoles de rétention + règlementation des pratiques de culture sur résidus dans toute la zone d'étude	+ et -	+	+	+	+	+	+

5.4. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS

5.4.1. Stabilisation avec dragage (STA-DG)

Le scénario de stabilisation avec dragage (STA-DG) implique la poursuite de la stabilisation de berge (ajout de 1,5 km, portant le total à 8,4 km) et le dragage de 3 îlots dans le chenal principal, pour un volume total dragué de 6791 m³ du chenal (Figure 21). Le dragage est un type de travail en cours d'eau réglementé pour lequel les producteurs ont démontré un intérêt. Il entraîne une modification structurelle du chenal et nécessite un entretien régulier (hypothèse aux 7 ans). Il est probable que ce coût soit sous-estimé, puisqu'un événement significatif de pluie torrentielle peut combler la déformation instantanément, mais il est difficile à prévoir.

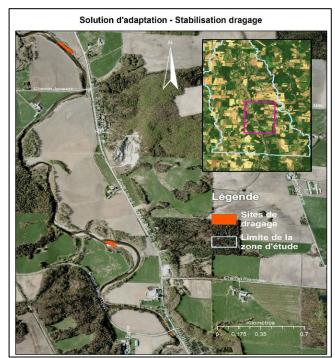


Figure 21. Localisation des mesures du scénario STA-DG

Coûts des mesures

Enrochement : L'enrochement avec végétalisation se

base sur un coût de 500 \$ au mètre linéaire, pour un ajout de 1,5 km répartis sur 3 ans. S'y ajoutent des coûts de conception de 20 %. L'entretien s'effectue sur le total incluant les enrochements existants et ceux ajoutés, soit 8,4 km, et correspond à 10% des coûts d'implantation à chaque décennie. La végétalisation implique une implantation et un suivi décroissant 5 ans de 12 % à 1% des coûts de réalisation. Au total, le coût actualisé sur 50 ans de cette mesure est de 2, 021 M\$, soit 1,052 pour l'entretien des enrochements actuels et 0,969 M\$ pour les enrochements ajoutés. Aucune valeur résiduelle n'a été considérée.

Dragage: Les coûts d'implantation se chiffrent à 72 \$/m³ auxquels s'ajoutent 35 \$/m³ pour les redevances et mises en dépôt (Rieussec, 2008). On assume 10 % des coûts d'implantation pour la conception et des coûts d'entretien optimiste de 100 % aux 7 ans. Selon le volume total à draguer, le coût actualité de ce cette mesure sur 50 ans s'élèvent à 4,524 M\$.

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 6,545 M\$.

Efficacité

Inondation: Le dragage entraîne une réduction locale des profondeurs d'inondation jusqu'à 15 cm, mais une augmentation jusqu'à 5 cm à d'autres endroits, pour une efficacité globale inférieure à 5% de l'étendue de la zone inondable.

Érosion : L'hypothèse est que la stabilisation amène 100 % de réduction de coûts d'érosion des berges.

Impacts identifiés

Vu la réduction à la fois des inondations et de l'érosion, les impacts anticipés sont positifs dans tous les secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économie), sauf pour les services écosystémiques en raison de la perturbation du milieu aquatique associée aux 2 mesures.

5.4.2. Stabilisation acceptable (STA-ACC)

Le scénario de stabilisation jugé acceptable par l'assemblée consultative de priorisation comprend l'enrochement, le dragage de 6700 m³, ainsi que l'ajout de sept petits bassins de rétention (de 5000 m³ chacun) en aval de la zone d'étude (Figure 22). De plus, les agriculteurs ont identifié 26,6 ha répartis en 5 parcelles sur le territoire, dont 20,1 ha de conservation et 6,5 ha de restauration. L'efficacité estimée repose sur une proportion du maximum de rétention possible des apports latéraux.

Coûts de la mesure

Enrochement: voir le scénario STA-DG. Le coût total actualisé sur 50 ans de cette mesure est de 2,021 M\$.

Dragage: voir le scénario STA-DG. Le coût total actualisé sur 50 ans de cette mesure est de 4,524 M\$.

Bassins de rétention: La rétention de 35 000 m³ coûte 76 \$/m³ pour la conception et l'implantation, et 10 % par an pour l'entretien, avec une durée de vie de 15 ans (MELCC, 2020). La superficie d'empiètement est compensée à la valeur de Transac-terre additionnée d'une écart-type. Le coût total actualisé de cette mesure est de 15,957 M\$, dont 15,908 M\$ pour la mesure et 0,05 M\$ pour le coût d'opportunité.

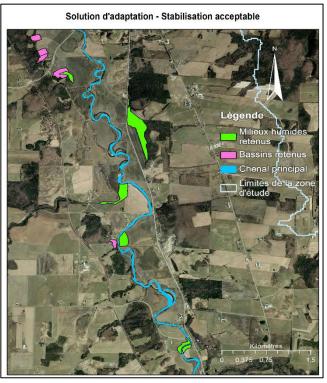


Figure 22. Localisation des mesures du scénario STA-ACC

Milieux humides retenus: Seuls les milieux à restaurer font l'objet de coûts de conception (8 645 \$/ha, additionnés de 20 % pour les frais administratifs), d'implantation (12 832 \$/ha), et d'entretien aux 10 ans (3 458\$/ha). Des coûts d'opportunité pour la perte de revenus ont été comptabilisés pour les 26 hectares, à la valeur de Transac-terre + 1 écart-type (FADQ, 2019). Une analyse de sensibilité à 25 000 \$/ha sera réalisée. Le coût total actualisé sur 50 ans de cette mesure est de 512 023 \$, comprenant 201 867 \$ pour les coûts de mesures et 310 156 \$ pour les coûts d'opportunités.

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 23,015 M\$.

Efficacité

Inondation: L'efficacité de ce scénario est légèrement supérieure à celle du dragage, entre 5 et 10 % de la superficie inondable, mais reste variable avec des endroits où l'impact est positif et d'autres négatif.

Érosion : L'hypothèse est que la stabilisation amène 100 % de réduction de coûts d'érosion des berges.

Impacts identifiés

Vu la réduction à la fois des inondations et de l'érosion, les impacts anticipés sont positifs dans tous les secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économie), sauf pour les services écosystémiques où ils sont à la fois négatifs en raison de la perturbation du milieu

aquatique associée aux mesures artificielles, mais positifs pour les secteurs de restauration ou conservation des milieux humides.

5.4.3. Stabilisation efficace (STA- EFF)

Le troisième scénario de stabilisation du cours d'eau, élaboré par le comité technique, modélise un grand bassin surdimensionné à Coaticook, en amont du site d'étude dans un terrain vacant jouxtant la rivière, de 69 551 m³, qui s'ajoute à l'accroissement de la stabilisation de berges (Figure 23). Il visait à réduire le plus possible les débits entrant dans la zone d'étude.

Coûts de la mesure

Enrochement: voir le scénario STA-DG. Le coût total actualisé sur 50 ans de cette mesure est de 2,021 M\$.

Bassins de rétention: La rétention de 69 500 m³ coûte 76 \$/m^3 pour la conception et l'implantation, et 10% par an pour l'entretien, avec une durée de vie de 15 ans (MELCC, 2020). La superficie d'empiètement (29 400 m²) est compensée à la foncière du terrain vacant. Le coût total actualisé de cette mesure est de 31,698 M\$, dont 31,611 M\$ pour la mesure et 86 800 \$ pour le coût d'opportunité.



Figure 23. Localisation des mesures du scénario STA-EFF

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 32,750 M\$.

Efficacité

Inondation: Le bassin surdimensionné entraîne une réduction localisée des profondeurs d'inondation jusqu'à 15 cm, mais son effet se fait sentir seulement sur une distance de 500 m et entraîne à l'inverse des augmentations localisées jusqu'à 5 cm à d'autres endroits, pour une efficacité globale inférieure à 5% de l'étendue de la zone inondable.

Érosion : L'hypothèse est que la stabilisation amène 100 % de réduction de coûts d'érosion des berges.

Impacts identifiés

Vu la réduction à la fois des inondations et de l'érosion, les impacts anticipés sont positifs dans tous les secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économie), sauf pour les services écosystémiques en raison de la perturbation du milieu aquatique associée aux mesures artificielles à la transformation du terrain vacant en bassin artificiel.

5.4.4. Mobilité efficace (MOB – EFF)

Le scénario de mobilisation efficace (MOB-EFF) se base sur la conversion des usages en milieu à risque et propose de diminuer les conséquences des aléas (réduction de la vulnérabilité) en redonnant au chenal son espace de mobilité maximal sur 398 hectares. Cela implique un retrait des actifs et activités à risque dans toute la zone d'aléas fluviaux du schéma d'aménagement (incluant les cônes d'opportunité alluviaux) et les coûts conséquents (Figure 24). Cela signifie un démantèlement passif tous enrochements et structures anthropiques sur les rives.

Coûts de la mesure

Conversion des usages en milieu à risque: En milieu agricole, le coût d'opportunité est établi à la valeur de Transac-terre + 1 écart-type, soit 11 660 \$/ha (FADQ, 2019); en milieu résidentiel, commercial, industriel ou institutionnel, elle est de la valeur foncière pour les terrains et bâtiments. Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 7,758 M\$ en coûts d'opportunité, soit 4,6 M\$ en terres agricoles, 3,1 M\$ en terrains résidentiels et 0,04 M\$ en autres types de terrains. Une analyse de sensibilité à 25 000 \$/ha sera réalisée.

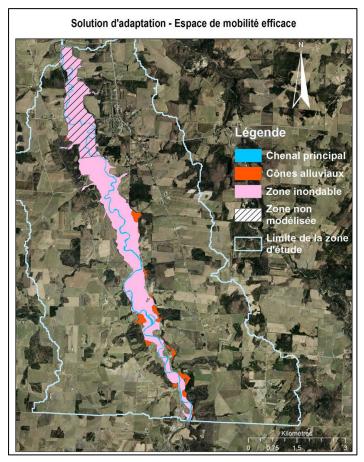


Figure 24. Localisation des mesures des scénarios MOB-EFF

Efficacité

Inondation: L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, 100 % des dommages liés aux inondations seront évités.

Érosion : L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, 100 % des dommages liés aux inondations seront évités.

Impacts

Vu l'inefficacité à réduire les aléas, les impacts anticipés sont négatifs dans tous les secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économique). Toutefois, plusieurs dépenses collectives seront économisées. Ce scénario améliore aussi significativement les services écosystémiques. Par contre, les coûts d'opportunité sont grands et les coûts sont concentrés sur la catégorie des producteurs agricoles, un aspect traité dans la section d'analyse de distribution.

5.4.5. Mobilité hybride (MOB-HYB)

Le scénario de mobilité hybride (MOB -HYB) propose une forme mitoyenne de retrait des actifs à risque qui consisterait à transformer l'usage dans la multialéa (M50, ou 185 ha) du schéma d'aménagement, ainsi que la réduction des indemnisations collectives liées aux pertes de rendement, en restreignant les grandes cultures dans le reste de la zone inondable (225 ha), transformée foin et pâturage (Figure 25).

Coûts de la mesure

Conversion des usages en milieu à risque: Le coût d'opportunité en milieu agricole est établi à la valeur de Transac-terre + 1 écart-type, soit 11 660 \$/ha (FADQ, 2019). Le coût total actualisé de cette mesure est de 2,482 M\$. Une analyse de sensibilité à 25 000 \$/ha sera réalisée.

Restriction des usages en milieu à risque: Le coût d'opportunité en milieu agricole est établi à partir de la différence de rendement anticipée entre les grandes cultures et le foin-pâturage, soit 4 400 \$/ha (FADQ, 2019). Le coût total actualisé de cette mesure est de 0,990 M\$.

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 3,472 M\$.

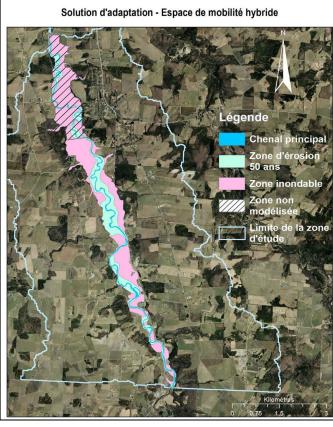


Figure 25. Localisation des mesures du scénarios MOB-EFF

Efficacité

Inondation: L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, elle évite 70 % des dommages agricoles liés aux inondations.

Érosion : L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, elle réduit 100 % des dommages liés à l'érosion.

Impacts

Vu l'inefficacité à réduire les aléas, les impacts anticipés sont négatifs dans plusieurs secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économique). Toutefois, plusieurs dépenses collectives seront économisées. Ce scénario améliore aussi significativement les services écosystémiques. Par contre, les coûts d'opportunité sont grands et les coûts sont concentrés sur la catégorie des producteurs agricoles, un aspect traité dans la section d'analyse de distribution.

5.4.6. Adaptation des pratiques agricoles (PRA)

Le scénario d'adaptation des pratiques agricoles (PRA) combine l'enrochement avec une adaptation des pratiques agricoles visant l'augmentation de la rétention. Il s'agit de la mise en place de 430 petits aménagements hydroagicoles de rétention (1 / 7,5 ha), ainsi que l'adoption sur tout le secteur agricole (4812 ha) de la pratique de « culture sur résidus » (Figure 26).

Coûts de la mesure

Aménagements hydro-agricoles de rétention : coût unitaire d'un Ιe aménagement hydro-agricole s'élève à 1900 \$ et se constitue de trois éléments : un ouvrage de collecte de l'eau (ex. fossé avaloir), un déversoir et un bassin de sédimentation de 4 m². S'y ajoutent des coûts d'entretien mineurs (30\$/aménagement/an). La durée de vie est de 10 ans. Le coût total actualisé de cette mesure est de 2,934 M\$. Le coût d'opportunité pour la perte de revenus est testé en analyse de sensibilité.

Culture sur résidus: Cette mesure comportementale incluse dans les « bonnes pratiques » a un coût considéré négligeable

Solution d'adaptation - Pratiques agricoles

Légende
Limite de la zone d'étude
Chenal principal
Terrains agricoles

Figure 26. Localisation des mesures du scénario PRA

(encouragée par la sensibilisation ou des incitatifs liés aux assurances).

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 2,934 M\$.

Efficacité

Inondation : L'efficacité de ce scénario est légèrement supérieure à celle du dragage, entre 5 et 10 % de la superficie inondable, mais elle n'agit que peu sur les impacts liés au chenal principal.

Érosion: L'hypothèse est que la stabilisation amène 100 % de réduction de coûts d'érosion des berges.

Impacts

Malgré une légère réduction des inondations de manière diffuse, les impacts anticipés sont négatifs dans les secteurs exposés aux inondations (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économique). Les services écosystémiques pourraient augmenter grâce aux aménagements hydro-agricoles. La stabilisation permet de réduire les pertes dans tous les secteurs exposés à l'érosion des berges.

5.4.7. Mobilité hybride et pratiques agricoles (MOB-HYB + PRA)

Ce scénario combine la mobilité hybride (MOB-HYB) de conversion des usages dans la zone de mobilité M50 (185 ha), la réduction indemnisations dans la zone inondable par restriction des cultures (225)ha) et des aménagements hydro-agricoles (PRA sans stabilisation) (4812 ha) (Figure 27).

Coûts de la mesure

Conversion des usages en milieu à risque: Le coût d'opportunité en milieu agricole est établi à la valeur de Transac-terre + 1 écart-type, soit 11 660 \$/ha (FADQ, 2019). Le coût total actualisé de cette mesure est de 2,482 M\$. Une analyse de sensibilité à 25 000 \$/ha sera réalisée.

Restriction des usages en milieu à risque: Le coût d'opportunité est établi à partir de la différence de rendement anticipée entre les grandes cultures et le foin-pâturage, à 4 400 \$/ha (FADQ, 2019). Le coût total actualisé de cette mesure est de 0,990 M\$.

Aménagements hydro-agricoles de rétention: Le coût unitaire d'un aménagement hydro-agricole s'élève à 1900 \$ et comporte trois éléments : un ouvrage de collecte de l'eau (ex. fossé avaloir), un

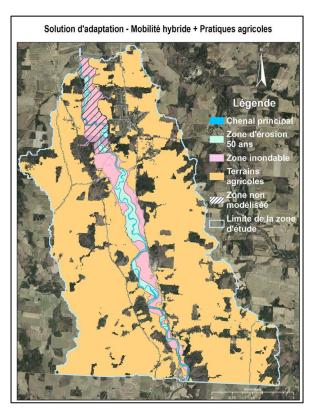


Figure 27. Localisation des mesures du scénario MOB-HHYB + PRA

déversoir et un bassin de sédimentation de 4 m². S'y ajoutent des coûts d'entretien mineurs (30 \$/aménagement/an). La durée de vie est de 10 ans. Le coût total actualisé de cette mesure est de 2,934 M\$. La coût d'opportunité pour la perte de revenus est testé en analyse de sensibilité.

Culture sur résidus : Cette mesure comportementale incluse dans les « bonnes pratiques » a un coût considéré négligeable (encouragée par la sensibilisation ou des incitatifs liés aux assurances).

Le coût total actualisé sur 50 ans de ce scénario est de 6,406 M\$.

Efficacité

Inondation: L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, elle réduit 70 % des dommages agricoles liés aux inondations.

Érosion : L'efficacité sur l'aléa est nulle puisque la mesure agit sur les actifs et activités, par contre, elle réduit 100 % des dommages liés à l'érosion.

Impacts identifiés

Vu l'inefficacité à réduire les aléas, les impacts anticipés sont négatifs dans plusieurs secteurs (agricole, résidentiel et psycho-social, commercial et industriel, municipal, économique). Toutefois, plusieurs dépenses collectives seront économisées. Ce scénario améliore aussi significativement les services écosystémiques. Par contre, les coûts d'opportunité sont grands et les coûts sont concentrés sur la catégorie des producteurs agricoles, un aspect traité dans la section d'analyse de distribution.

5.4.8. Synthèse des scénarios

Le Tableau 12 et le Tableau 13 synthétisent les impacts identifiés des scénarios.

En résumé, les sept scénarios d'adaptation construits dans le cadre de ce projet ont des composantes et des buts bien différents dans la réduction des aléas et la réduction de leurs impacts à travers la protection des actifs et leur retrait. Ces scénarios illustrent une panoplie de mesures structurelles et naturelles qui peuvent permettre une adaptation aux aléas fluviaux. Leur efficacité, coûts d'implantation, coûts d'opportunité ont été estimés avec le plus de précision possible, leur impacts ont été identifiés.

Tableau 12. Synthèse des paramètres, coûts et efficacités des scénarios

Scénario	Mesures	Localisation/dimensions	Coûts actualisés 50 ans	Efficacité	
1. SQ – Statu quo	Enrochement léger	+ 1,5 km d'enrochement, total de 8,4 km	2,0 M\$	Érosion : 100 % Inondations : 0 %	
	Programmes d'indemnisation et remboursements	-			
1. STA-DG Stabilisation avec	Enrochement avec végétalisation	+ 1,5 km d'enrochement, total de 8,4 km	6,545 M\$	Érosion : 100 % Inondation : <5 %	
dragage	Dragage	3 bancs d'accumulations dans le chenal (6700 m³)		Dommages agricoles : 42 %	
2. STA-ACC Stabilisation avec	Enrochement avec végétalisation	+ 1,5 km d'enrochement, total de 8,4 km	23,015 M\$	Érosion : 100 % Inondation : 5 à 10 %	
rétention acceptable	Bassins de rétention en milieu agricole désignés acceptables	7 bassins de 5 000 m³ (35 000 m³)		Dommages agricoles : 44 %	
	Restauration de milieux humides désignés acceptables	6,5 ha restauration 20,1 ha conservation			
3. STA-EFF Stabilisation avec bassin	Enrochement avec végétalisation	+ 1,5 km d'enrochement, total de 8,4 km	32,750 M\$	Érosion : 100 % Inondation : <5 %	
surdimensionné	Bassin de rétention	Terrain vacant riverain à l'entrée de la zone d'étude (39 500 m³)		Dommages agricoles : 20 %	
4. MOB-EFF	Interdiction d'usage dans toute la	Toute la plaine inondable (398 ha)	7,758 M\$	Érosion : 0 %	
Mobilité efficace	plaine inondable (avec coût d'opportunité)			Inondation : 0 %	
				Dommages agricoles : 100 %	

Scénario	Mesures	Localisation/dimensions	Coûts actualisés 50 ans	Efficacité	
5. MOB-HYB Mobilité avec corridor	Modification des droits d'usage dans la zone multialéa	Zone multialéa (M50) (185 ha)	3,472 M\$	Érosion : 0 % Inondation : 0 %	
multialéa et usage durable	Restriction des types de cultures (avec coût d'opportunité)	Toute la plaine inondable (225 ha)		Dommages agricoles : 70 %	
6. PRA Adaptation des pratiques	Stabilisation de berges	+ 1,5 km d'enrochement, total de 8,4 km	2,934 M\$	Érosion : 0 % Inondation : 5 à 10 %	
agricoles	Aménagements hydro-agricoles de rétention + règlementation des pratiques de culture sur résidus	Tout le secteur agricole à l'étude hors zone inondable (430 unités sur 4812 ha)		Dommages agricoles : 42 %	
7. MOB-HYB + PRA Combinaison de MOB-	Modification des droits d'usage dans la zone de mobilité 50 ans	Zone multialéa (M50) (185 ha)	6,406 M\$	Érosion : 0 % Inondation : 5 à 10 %	
HYB et PRA	Restriction des types de cultures (avec coût d'opportunité)	Toute la plaine inondable (225 ha)		Dommages agricoles : 70 %	
	Aménagements hydro-agricoles de rétention et réglementation des pratiques de culture sur résidus dans toute la zone	Tout le secteur agricole à l'étude hors zone inondable (430 unités sur 4812 ha)			

Tableau 13. Résumé des impacts anticipés de chacun des scénarios par rapport au scénario de référence

Tableau 13. Résumé	des impacts ant	icipes ae cnacun	aes scenarios pa	ir rapport au scei	<u>nario de reterenc</u>	<u>e</u>	
Scénarios	Agricole	Commercial et Industriel	Résidentiel	Psycho-social	Municipal	Économique	Environ- nemental
	Pertes de	Dommages	Pertes de	Soins de	Dépenses en	Perte de	Séquestration
	terres	aux bâtiments	terrains	santé,	gestion des	productivité	du carbone
				Dépenses	urgences et	due à la	
				complémenta	nettoyage des	fermeture des	
				ires	débris	routes	
	Dommages		Dommages	Perte de			Qualité de
	aux cultures		aux bâtiments	productivité			l'eau
	Nettoyage		Évacuation	Perte de			Biodiversité
	des champs			qualité de vie			
1. STA-DG	+	+	+	+	+	+	-
Stabilisation avec							
dragage							
2. STA-ACC	+ et -	+	+	+	+	+	-
Stabilisation avec							
rétention acceptable							
3. STA-EFF	+	+	+	+	+ et -	+	-
Stabilisation avec							
bassin							
surdimensionné							
4. MOB-EFF	-	-	-	-	+ et -	aucun	-
Mobilité efficace							
5. MOB-HYB	+ et -	-	-	-	+	+ et -	+
Mobilité avec corridor							
multialéa et usage							
durable							
6. PRA	-	-	-	-	+	aucun	+
Adaptation des							
pratiques agricoles							
7. MOB-HYB +PRA	+ et -	-	-	-	+	+ et -	+
Combinaison de							
MOB-HYB et PRA							

6. ANALYSE ÉCONOMIQUE

Le volet économique de l'analyse se concentre sur la quantification en valeur monétaire des coûts et avantages du scénario de référence et des différents scénarios d'adaptation, sur un horizon temporel donné. La première section de ce chapitre (6.1) décrit la méthodologie employée afin de quantifier les coûts et avantages, par les catégories d'impacts identifiés préalablement (voir chapitre 5). La section 6.2 présente ensuite la valeur monétaire de l'ensemble des coûts et avantages estimés sur un horizon temporel de 50 ans pour le scénario de référence, soit l'état de référence du système à partir duquel les coûts et avantages des scénarios d'adaptation sont ensuite évalués et présentés séparément à la section 6.3. Afin de comparer leur performance économique sur une base commune, la somme sur 50 ans des coûts et avantages de chaque scénario d'adaptation est calculée par rapport au scénario de référence et rapportée en deux indicateurs (en \$ constant de 2019) : 1) la valeur actuelle nette (VAN) et 2) le ratio coûtsavantages. Ces indicateurs permettent de comparer entre eux les scénarios d'adaptation à la section 6.4 et ainsi formuler une conclusion préliminaire. Afin d'évaluer la robustesse des résultats, trois analyses complémentaires sont effectuées à la section 6.5. Il s'agit des analyses de sensibilité (6.5.1), dont l'objectif est de tester la sensibilité de la VAN des scénarios suite à la une variation de certains paramètres, suivi d'une analyse de redistribution par acteurs (6.5.2), permettant de quantifier de façon approximative la valeur d'équité des scénarios et finalement de l'analyse des risques et enjeux résiduels (6.5.3) dont la monétisation des impacts n'a pu être réalisée. Une synthèse des résultats des analyses et une recommandation finale sont présentées à la section 6.6.

6.1. MÉTHODOLOGIE

Tel qu'indiqué au chapitre 5, sept catégories d'impacts des scénarios d'adaptation ont été sélectionnés afin de quantifier la valeur monétaire (monétisation) de leurs coûts et/ou avantages par rapport au scénario de référence, sur une période de 50 ans. Le Tableau 14 spécifie les méthodes de quantification, les hypothèses, l'étendue des valeurs, ainsi que les sources de données choisies dans le cadre cette analyse coûts-avantages. Les tableaux détaillés des valeurs (ex. modèles de ferme, probabilité mensuelle d'inondation, charge et flux des services écosystémiques selon les scénarios) se trouvent à l'Annexe III (voir aussi le rapport méthodologique).

Tableau 14.	Daramètres	de monétisation	doc impacts
i abieau 14.	Parametres c	ie moneusauon	des impacts

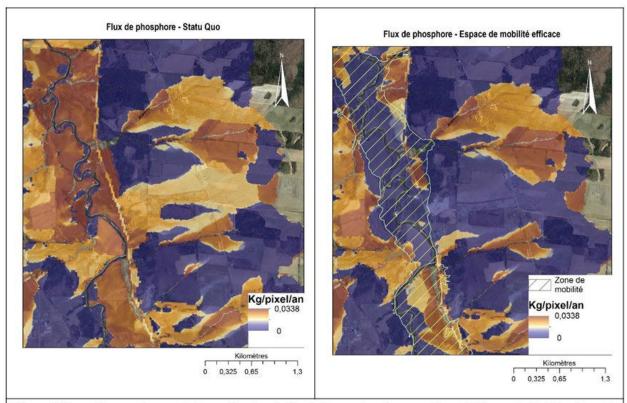
,	Impact	Méthode de	Hypothèses	Données	Valeurs	Sources
	ППрасс	quantification	riypotrieses	Donnees	valeurs	Sources
A g r	Pertes de terres par l'érosion	Coûts de remplacement	Volonté de payer pour stabilisation efficace à 100 %	Voir Tableau 10	550 \$ / m.l. + entretien	Biron et al., 2013
i C O	Dommage aux cultures	Prix de marché	Perte de rendement varie selon le mois, la superficie et le type de culture	-Probabilité d'inondation mensuelle par horizon climatique -Perte de rendement mensuelle	1 à 47 %	Trudel et Gobji, 2020
l e				-Modèle de rotation des cultures -Marge sur coûts variables, par	0 à 100 %	Penning-Rowsell et al., 2013, adapté par le CLS
				budget / ha	0 à 100 %	FADQ, 2019, adapté par le CLS
					238 à 1000 \$/ha	CRAAQ, 2018a,b,c, 2019a,b,c,d
	Coût de nettoyage de débris en	Prix de marché Enquête terrain	Coût varie selon le mois, la superficie, le type de culture	-Probabilité d'inondation mensuelle -Modèle de rotation des cultures -Salaire horaire -Coût horaire machinerie	1 à 47 % O à 100 %	Trudel et Gobji, 2020 FADQ, 2019, adapté par le CLS
	champs			-Cout noraire machinerie -Travail manuel/superficie /mois inondé/culture -Travail machinerie/superficie /mois inondé/culture	15 \$/h 30,69 \$/h 0 à 20 h/ha selon le mois, la culture 0 à 40 h/ha selon	Enquête, validation CLS CRAAQ, 2014 Validation CLS Validation CLS
C o m m	Coûts des dommages aux bâtiments par inondation	Courbes profondeur d'eau- dommages ³	Valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus varie selon	-Profondeur d'eau au centroïde du lot - % d'endommagement à la structure selon le type de bâtiment	le mois, la culture 0 à 2 m 0 à 100 %	MAMH, 2018 ; Trudel et Gobji, 2020 CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.
& I n		-	la profondeur d'eau atteinte dans le bâtiment, selon le type de bâtiment	- % d'endommagement au contenu selon le type de bâtiment	O à 100 %	CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)
d u s t						

³ Aussi nommée « courbe submersion-dommages » dans la littérature

	Impact	Méthode de quantification	Hypothèses	Données	Valeurs	Sources
R é s i d	Dommages aux résidences par inondation	Courbes profondeur d'eau-dommages	Valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus varie selon la profondeur d'eau	-Profondeur d'eau au centroïde du lot - % d'endommagement à la structure selon le type de bâtiment - % d'endommagement au contenu	0 à 2 m 0 à 100 %	MAMH, 2018 ; Trudel et Gobji, 2020 Bonnifait, 2005
e n t	Dépenses .	Transfert de	atteinte dans le bâtiment, selon le type de bâtiment Durée de l'évacuation	selon le type de bâtiment -Courbe inondation-durée	0 à 100 % 0 à 365 jrs	CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.) FEMA, 2009
i e l	engendrées par les évacuations	valeurs	dépend de la profondeur d'eau dans le bâtiment, laquelle engendre des dépenses d'hébergement et d'entretien	d'évacuation -Montant quotidien prévu au programme d'aide financière	20\$/jr, ou 1000\$/mois/réside nce principale si RDC atteint	MSP, 2009
P s y c h o s o c i a l	Dépenses et pertes chez les sinistrés	Transfert de valeurs	Prévalence supplémentaire de certains troubles de santé chez l'adulte exposé aux inondations engendre une perte de productivité, une perte de qualité de vie, des dépenses complémentaires, des dépenses en soins de santé supplémentaires, la selon la profondeur d'eau dans la résidence	-Profondeur d'eau au centroïde du lot -Nb. adultes / ménage -Estimation des coûts monétaires espérés par ménage inondé	0 à 2 m 1,56 adulte/ménage 16 434 \$/sinistré	MAMH, 2018 ; Trudel et Gobji, 2020 Recensement 2016 CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.
M u n i c	Dépenses en gestion des urgences	Transfert de valeur	Dépenses de gestion des urgences (frais administratif, de voirie et de service d'incendie) représentent une proportion supplémentaire aux dommages résidentiels	-Dommages résidentiels à la structure -Facteur multiplicateur	(voir plus haut)	(voir plus haut) Penning-Rowsell, 2014
a I	Dépenses en nettoyage des débris	Transfert de valeur	Dépenses de nettoyage des débris représentent une proportion supplémentaire aux dommages résidentiels basée sur le volume et les coûts de nettoyage	-Dommages résidentiels à la structure -Volume de débris/m² de bâtiment inondé -Coûts de nettoyage	(voir plus haut) 21 à 36 m² de bâtiment inondé 14,37 \$/m²	(voir plus haut) CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.

	Impact	Méthode de quantification	Hypothèses	Données	Valeurs	Sources
ÉconoƘie	Perte de productivité due à la fermeture des routes	Prix de marché	Fermeture des infrastructures de transport entraîne une perte de productivité pour les automobilistes devant emprunter un trajet alternatif, selon le type de véhicule et le motif du déplacement	-Seuil de profondeur d'eau pour la fermeture des routes -Durée de fermeture -Proportion d'automobiliste adoptant un trajet alternatif -Taux d'occupation moyen des véhicules -Valeur horaire du temps basé sur le salaire médian et selon le mode de transport et le motif du déplacement -Débit de circulation annuel moyen	300 mm 1 journée 100 % 1,23 adulte/véhicule 12,80 à 33,60 \$/h	Pregnolato, 2017 Sambe et al., 2016 Adapté de Sambe et al., 2016 MTQ, 2019
				par mode de transport chemin Hatley, Jacques, route 147 -Temps additionnel du trajet alternatif	nb. véhicules/h nb. minutes	GoogleMaps
E n v i r	Séquestration du carbone	Prix de marché	Valeur du service = charge de carbone séquestrée annuellement x valeur annuelle du coût social du carbone	-Différence de charge entre scénario de référence et scénarios d'adaptation -Coût social du carbone/décennie (extrapolation linéaire)	0 à +1562 t carbone (+0,4 %) 50,5 à 105,42 \$/t (2020 à 2070)	Ce projet, modélisation par InVEST ECCC, 2016
onnement	Qualité de l'eau	Transfert de valeur	Valeur du service = flux de rétention annuelle (azote, phosphore, sédiment) x la valeur de traitement en usine	-Différence nette de flux annuel d'azote, de phosphore et de sédiments entre le scénario de référence et les scénarios d'adaptation -Coût de traitement en usine d'azote, phosphore et sédiments	N: 0 à -5343 kg/an (ou -5,6 % P: 0 à -1321 kg/an (ou -91,1 %) Séd: 0 à -2764 t/an (ou -31,1 %) N: 5,77 \$/kg P: 41,52 \$/kg Séd: 18,68 \$/t	Ce projet, modélisation par InVEST Olewiler, 2016
	Biodiversité	Transfert de valeur	Valeur du service = score de qualité de l'habitat x valeur/acre de création d'habitat arboré	-Différence nette du score de la qualité de l'habitat entre le scénario de référence et les scénarios d'adaptation -Valeur par acre de création d'un habitat terrestre arboré	O à +1125 (ou +0,3 %) 451,30 \$CAD	Ce projet, modélisation par InVEST Borisova-Kidder, 2006

Pour l'évaluation des services écosystémiques, la modélisation InVEST quantifie à une résolution de 10 m x 10 m la variation entre le scénario de référence et le scénario étudié, (exemple à la Figure 28).



Interprétation: Le remplacement des actifs et activités à risque dans la zone de mobilité par de la friche impacte fortement le drainage du phosphore issu des cultures vers les cours d'eau. En comparant les deux figures, on peut observer qu'en plus de tarir certains bassins de phosphore (tendance vers le violet), l'implantation du scénario supprime complètement plusieurs trajectoires de drainage et libère en grande partie le chenal principal des apports agricoles riverains.

Figure 28. Exemple de quantification spatiale des impacts sur les services écosystémiques : comparaison de l'efficacité de l'implantation des mesures du scénario d'espace de mobilité efficace sur les flux annuels de phosphore vers les cours d'eau

6.2. VALEUR MONÉTAIRE DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE (SQ)

Tel que présenté au chapitre 5.2, le scénario de référence est caractérisé par deux mesures actuelles, soit l'approche réglementaire d'indemnisation des dommages liés aux inondations et l'ajout d'enrochement subventionné pour la stabilisation de berge. Les coûts et avantages liés à ces pratiques sont calculés par poste d'impacts pour deux aléas fluviaux: l'inondation et l'érosion. Note : dû à la modélisation choisie au préalable, seul l'aléa inondation prend en compte les changements climatiques. C'est-à-dire, les coûts liés à l'érosion sont constants par rapport aux scénarios hydro-climatiques et aux RCP choisies.

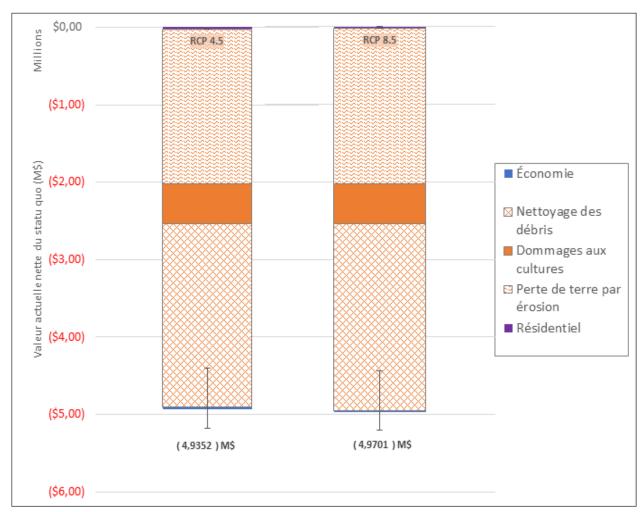


Figure 29. Valeur monétaire des coûts du scénario de référence

Actualisés sur une période de 50 ans, la somme des coûts associés au scénario de référence totalise respectivement 4 935 180 \$ et 4 970 150 \$ sous les scénarios hydroclimatiques médians du RCP 4.5 et RCP 8.5. L'écart entre la médiane et les percentiles des scénarios hydro-climatiques se trouve dans un ordre de grandeur entre 225 000 \$ et

537 000 \$, représenté par les barres d'erreur de la Figure 29. Les coûts supplémentaires associés aux plus hauts percentiles sont conduits à environ 25 % par la présence d'impacts des inondations au secteur résidentiel (dommages à la structure et au contenu des bâtiments) et d'impacts psycho-sociaux, autrement absents des scénarios médians. Pour des raisons de simplification, les analyses suivantes concernent uniquement les scénarios hydro-climatiques médians. Les scénarios du 10° et 90° percentiles des scénarios hydro-climatiques font l'objet d'une analyse de sensibilité plus loin dans ce chapitre.

Impacts agricoles

À Compton, le secteur agricole absorbe les principaux coûts liés aux aléas fluviaux d'inondation et de l'érosion. Représentant 99 % des coûts du scénario de référence, il domine largement la quantification, notamment à cause du coût de nettoyage des débris, suivi par la perte de terre par érosion, puis des dommages aux cultures.

Impacts agricoles – coût des inondations

Les impacts agricoles des inondations se traduisent par une perte de revenu net des productions agricoles (dommage aux cultures) variant autour de 514 620 \$, tandis que le coût de nettoyage de ces productions atteint près de 2,4 M \$, soit environ 4,5 fois plus que les pertes de revenu net. L'ampleur des coûts de nettoyage s'explique notamment par l'important nombre d'heures de travail consacré au nettoyage de la *totalité des superficies inondées* (37,5 à 50 heures par hectare de foin inondé et 30 à 40 heures par hectare de céréales inondés, voir Tableau 14 et Annexe III), alors que la perte de revenu net est causée par la perte de rendement d'une *proportion de la superficie inondée* seulement (30 % à 100 % des superficie de céréales inondées, 4 % à 55 % des superficies de foin inondées et 4 % à 7 % des superficies de pâturage inondées, voir Tableau 14 et Annexe III). Ensemble, le coût actualisé sur une période de 50 ans des dommages aux cultures et du nettoyage des débris totalise environ 2,9 M \$, soit 60 % du coût total des aléas fluviaux d'érosion et d'inondation associé au scénario de référence.

Impacts agricoles – coûts de l'érosion

La perte de terres agricoles et résidentielles causée par l'aléa d'érosion des berges se traduit par le coût de la mesure actuelle de stabilisation par enrochement végétalisé afin d'en éviter les dommages, évalués à 2,021 M\$. À lui seul, le coût de l'érosion des terres agricoles s'accapare environ 40 % du coût total des aléas fluviaux d'érosion et d'inondation associé au scénario de référence.

Autres impacts – coûts de l'érosion et des inondations

Les autres coûts du scénario de référence sont associés à la mesure de gestion actuelle pour éviter la perte de terrain résidentiel par érosion des berges (24 620 \$) et à la perte de productivité dû à la fermeture de route inondée (environ 20 440 \$). Ensemble, ces coûts s'accaparent seulement 1% du coût total des aléas fluviaux d'érosion et d'inondation associés au scénario de référence.

6.3. RÉSULTATS ÉCONOMIQUES DES SCÉNARIOS D'ADAPTATION

À partir de la valeur monétaire du scénario de référence (section 6.2), ce chapitre présente la performance économique des scénarios d'adaptation en y comparant leurs coûts et avantages respectifs sur une période de 50 ans. Deux indicateurs sont utilisés afin de comparer les scénarios sur une base commune, soit 1) la valeur actuelle nette (VAN) et le ratio coûts-avantages. Du point de vue collectif, un scénario d'adaptation est préférable au scénario de référence si sa VAN est positive et le ratio coûts-avantages supérieur à 1, autrement, le statu quo s'impose.

6.3.1. Stabilisation avec dragage (STA-DG)

Le scénario de stabilisation avec dragage (STA-DG) consiste à maintenir la stabilisation des berges par enrochement pour prévenir l'érosion et draguer le chenal principal pour contrôler les inondations.

Le Tableau 15 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts-avantages.

Tableau 15. Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-DG, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
	Coûts évités liés à l'érosion		
A	Pertes de terres agricoles par l'érosion	0\$	0\$
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	0\$	0\$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ:	0\$	0\$
	Proportion des coûts évités du SQ:	0 %	0 %
	Coûts évités liés aux inondations		
Α	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	4 755 \$	3 784 \$
A	Coûts de nettoyage de débris en champs	29 675 \$	24 494 \$
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	- \$	(9 972) \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	34 430 \$	18 306 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	1,2 %	0,4 %
	Bénéfices environnementaux		
	Séquestration du carbone	0\$	0\$
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	0\$	0\$
	Biodiversité	0\$	0\$

Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
	Coûts des mesures		
СМ	Conception, réalisation, entretien	(4 524 063) \$	(4 524 063) \$
СО	Coûts d'opportunité des restrictions d'usage	0\$	0\$
CO	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	0\$	0\$
	VAN du scénario par rapport au SQ :	(4 489 633) \$	(4 505 757) \$
	Ratio coûts-avantages :	0,01 \$	0,004 \$

Coûts évités de l'érosion. En raison du maintien de la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement, le scénario STA-DG obtient une performance équivalente au scénario de référence en termes de contrôle de l'érosion. Par rapport au SQ, ce scénario n'apporte donc aucun bénéfice supplémentaire en termes de coûts évités liés à la perte de terres agricoles ou résidentielles par érosion.

Coûts évités des inondations. Combiné à l'enrochement des berges, la mesure de dragage du chenal principal permet d'éviter des coûts d'inondation de 34 430 \$ sous le RCP 4.5 (ou 18 306 \$ pour RCP 8.5), soit environ 1 % des coûts d'inondation du scénario de référence. L'efficacité économique du contrôle des inondations est donc faible et parfois même pire que le scénario de référence en ce qui concerne la perte de productivité due à la fermeture des routes. En effet, l'impact très localisé du dragage sur l'élévation de l'eau entraînerait une augmentation des inondations du chemin Jacques sous le RCP 8.5, entraînant ainsi une augmentation de la perte de productivité due à la fermeture de cette route (Figure 30).

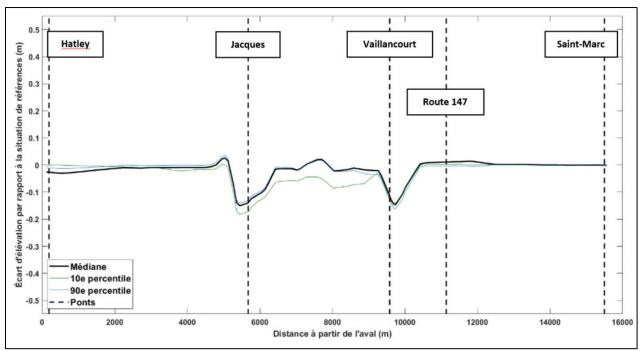


Figure 30. Écart de niveaux d'eau du scénario STA-DG par rapport au SQ, probabilité de récurrence 2 % du RCP 8.5
SOURCE : TRUDEL ET GOBJI, 2020.

Bénéfices environnementaux. Le scénario STA-DG ne permet aucun gain environnemental par rapport au scénario de référence. En effet, l'enrochement et le dragage du chenal principal ne permettent aucune amélioration de la qualité de l'eau, de la biodiversité ou de la séquestration du carbone. Le dragage récurrent laisse même envisager une certaine dégradation des habitats aquatiques et de la qualité de l'eau au moment de l'excavation (GEODE, 2012), qu'il n'a pas été possible de quantifier à partir des modules InVEST.

Coûts des mesures. Sur une période de 50 ans, le coût du scénario STA-DG s'élèvent à 4,524 M\$, en raison du dragage du chenal principal à tous les 7 ans. Comme la mesure actuelle d'enrochement est maintenue, ses coûts (2,021 M \$) ne sont pas comptabilisés lorsque comparés au scénario de référence.

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario STA-DG par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette **négative** d'environ 4,5 M \$ et un ratio coûts-avantages **inférieur à 1**, soit environ 0,01 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton : si elle investissait 100\$ dans ce scénario, elle n'en retirerait que 1\$. La performance économique de ce scénario n'est donc pas rentable collectivement.

6.3.2. Stabilisation acceptable (STA-ACC)

Le scénario de stabilisation acceptable (STA-ACC) consiste à maintenir la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement pour prévenir l'érosion et à ajouter sept petits bassins de rétention, ainsi que certains milieux humides concédés, afin de contrôler l'aléa d'inondation.

Le Tableau 16 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts- avantages.

Tableau 16. Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-ACC, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

	référence (\$ 2019)							
Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5					
Coûts évités liés à l'érosion								
Α	Pertes de terres agricoles par l'érosion	0\$	0\$					
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	0\$	0\$					
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	0\$	0\$					
	Proportion des coûts évités du SQ :	0 %	0 %					
	Coûts évités liés aux inondation	ons						
А	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	22 242 \$	20 731 \$					
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	108 460 \$	104 509 \$					
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	14 798 \$	4 826 \$					
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	145 500 \$	130 066 \$					
	Proportion des coûts évités du SQ :	5 %	3 %					
	Bénéfices environnementau	IX						
	Séquestration du carbone	9 448 \$	9 448 \$					
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	104 862 \$	104 862 \$					
	Biodiversité	(6 368) \$	(6 368) \$					
	Coûts des mesures							
СМ	Conception, réalisation, entretien	(20 633 710) \$	(20 633 710) \$					
со	Coûts d'opportunité des restrictions d'usage	0\$	0\$					
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	(359 536) \$	(359 536) \$					
	VAN du scénario par rapport au SQ : Ratio coûts-avantages :	(20 739 805) \$ 0,01 \$	(20 755 238) \$ 0,004 \$					

Coûts évités de l'érosion. En raison du maintien de la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement, le scénario STA-ACC obtient une performance équivalente au scénario de référence en termes de contrôle de l'érosion. Par rapport au SQ, ce scénario n'apporte donc aucun bénéfice supplémentaire en termes de coûts évités liés à la perte de terres agricoles ou résidentielles par érosion.

Coûts évités des inondations. Combiné à l'enrochement des berges, les mesures de rétention (bassins et milieux humides) permettent d'éviter des coûts d'inondation de 145 500 \$ sous le RCP 4.5 et de 130 066 \$ sous le RCP 8.5, soit 3 % à 5 % des coûts d'inondation du scénario de référence. L'efficacité économique du contrôle des inondations est donc faible, d'autant plus sous le scénario RCP 8.5 prévoyant une augmentation des débits plus élevée que le RCP 4.5 à l'horizon 1 (Figure 12).

Bénéfices environnementaux. Bien que la conversion de 6,5 hectares de milieux agricoles en MH séquestre beaucoup de carbone, le scénario STA-ACC permet des gains environnementaux modestes liés à la séquestration du carbone (environ 9 500 \$) et à la qualité de l'eau (environ 104 900 \$), mais une perte de qualité d'habitat faunique d'une valeur d'environ 6 370 \$, principalement conduit par le changement d'usage du sol pour la réalisation des bassins de rétention. Au net, la valeur des bénéfices environnementaux de ce scénario s'élève donc à environ 107 900 \$. Rappelons par contre qu'il n'a pas été possible de quantifier des impacts environnementaux du dragage, lesquels pourraient diminuer la valeur des bénéfices environnementaux associés à ce scénario (GEODE, 2012).

Coûts des mesures. Sur une période de 50 ans, le coût des mesures du scénario STA-ACC s'élèvent à 20,993 M\$, principalement en raison de la réalisation et de l'entretien des bassins de rétention, des milieux humides et du dragage du chenal principal (20,633 M\$) et, dans une moindre mesure, en raison du coût d'opportunité de la perte de terrains pour la réalisation des bassins de rétention et des milieux humides (359 500 \$). Comme la mesure actuelle d'enrochement est maintenue, ses coûts de 2,021 M\$ ne sont pas comptabilisés lorsque comparé au scénario de référence.

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario STA-ACC par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette **négative** d'environ 20,747 M\$ et un ratio coûts-avantages **inférieur à 1**, soit environ 0,01 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton : si elle investissait 100\$ dans ce scénario, elle n'en retirerait que 1 \$. La performance économique de ce scénario n'est donc pas rentable du point de vue collectif. C'est-à-dire que les bénéfices de ce scénario ne sont pas suffisants pour rentabiliser le coût d'investissement nécessaire dans les mesures.

6.3.3. Stabilisation efficace (STA-EFF)

Le scénario de stabilisation efficace (STA-EFF) consiste à maintenir la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement pour prévenir l'érosion et à ajouter un méga-bassin de rétention équivalent à 18,5 piscines olympiques afin de contrôler l'aléa d'inondation.

Le Tableau 17 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts-avantages.

Coûts évités de l'érosion. En raison du maintien de la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement, le scénario STA-EFF obtient une performance équivalente au scénario de référence en termes de contrôle de l'érosion. Par rapport au SQ, ce scénario n'apporte donc aucun bénéfice supplémentaire en termes de coûts évités liés à la perte de terres agricoles ou résidentielles par érosion.

Coûts évités des inondations. Combiné à l'enrochement des berges, le méga-bassin de rétention n'apporte aucun bénéfice en termes de coûts évités d'inondation par rapport au scénario de référence. Au contraire, il exacerbe les coûts liés à l'aléa. En effet, l'impact positif du bassin se fait sentir seulement sur une distance de 500 m et entraîne à l'inverse des augmentations localisées jusqu'à 5 cm à d'autres endroits, pour une efficacité globale inférieure à 5 % de l'étendue de la zone inondable. Par rapport au scénario de référence, les coûts liés aux inondations pourraient donc augmenter de 30 900 \$ à 33 500 \$ sous le scénario RCP 4.5 ou RCP 8.5.

Tableau 17. Valeur actuelle des coûts et avantages de STA-EFF, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

	(φ 2019)		
Catégorie	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
d'impacts			
	Coûts évités liés à l'érosion		
Α	Pertes de terres agricoles par l'érosion	0\$	0\$
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	0\$	0\$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	0\$	0\$
	Proportion des coûts évités du SQ :	0 %	0 %
	Coûts évités liés aux inondation	ons	
A	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	(4 910) \$	(3 678) \$
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	(25 993) \$	(19 891) \$
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	0\$	(9 972) \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	(30 903) \$	(33 541) \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	-1%	-1%
	Bénéfices environnementau	IX	
	Séquestration du carbone	0\$	0\$
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	(2 826) \$	(2 826) \$
	Biodiversité	856 \$	856 \$
	Coûts des mesures		
СМ	Conception, réalisation, entretien	(31 611 486) \$	(31 611 486) \$
	Coûts d'opportunité des restrictions	0\$	0\$
со	d'usage	ОФ	Оφ
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	(86 800) \$	(86 800) \$
	VAN du scénario par rapport au SQ :	(31 731 159) \$	(31 733 797) \$
	Ratio coûts-avantages :	0,00 \$	0,00 \$

Bénéfices environnementaux. Le scénario STA-EFF permet un faible gain environnemental en termes de qualité de l'habitat (856 \$), cependant entièrement contrebalancé par la perte de qualité de l'eau due à une diminution de la rétention de sédiment sur le terrain vague (- 2 830 \$). Au net, la valeur négative d'environ 1970 \$ des bénéfices environnementaux de ce scénario est donc négligeable.

Coûts des mesures. Sur une période de 50 ans, le coût des mesures du scénario STA-EFF s'élèvent à 31,698 M\$, principalement en raison de la réalisation et de l'entretien du méga-bassins de rétention (31,611 M\$) et dans une moindre mesure, en raison du coût d'opportunité de la perte de terrains pour la réalisation du bassin (86 800 \$). Comme la mesure actuelle d'enrochement est maintenue, ses coûts de 2,021 M\$ ne sont pas comptabilisés lorsque comparé au scénario de référence.

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario STA-EFF par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette négative d'environ 31,704 M\$ et un ratio coûts-avantages négatif. La performance économique de ce scénario n'est donc pas rentable du point de vue collectif.

6.3.4. Mobilité efficace (MOB-EFF)

Le scénario de mobilisation efficace (MOB-EFF) se base sur la conversion des usages en milieu à risque et propose de diminuer les conséquences des aléas (réduction de la vulnérabilité) en redonnant au chenal son espace de mobilité maximal sur 398 hectares. Cela implique un retrait des actifs et activités à risque dans toute la zone d'aléas fluviaux du schéma d'aménagement (incluant les cônes alluviaux) et un démantèlement passif de tous les enrochements.

Le Tableau 18 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts- avantages.

Tableau 18. Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-EFF, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
	Coûts évités liés à l'érosion		
A	Pertes de terres agricoles par l'érosion	1 996 645 \$	1 996 645 \$
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	24 620 \$	24 620 \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	2 021 265 \$	2 021 265 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	100 %	100 %
	Coûts évités liés aux inondation	ons	
A	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	510 996 \$	510 956 \$
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	2 355 611 \$	2 400 297 \$
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	9 972 \$	- \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	2 876 579 \$	2 911 253 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	99 %	99 %
	Bénéfices environnementau	'X	
	Séquestration du carbone	64 442 \$	64 442 \$
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	3 980 813 \$	3 980 813 \$
	Biodiversité	15 352 \$	15 352 \$
	Coûts des mesures		
СМ	Conception, réalisation, entretien	0\$	0\$
со	Coûts d'opportunité des restrictions d'usage	0\$	0\$
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	(7 757 847) \$	(7 757 847) \$
	VAN du scénario par rapport au SQ : Ratio coûts-avantages :	1 200 604 \$ 1,15 \$	1 235 278 \$ 1,16 \$

Coûts évités de l'érosion. En redonnant au chenal principal son espace de mobilité maximal sur 398 hectares, le scénario MOB-EFF permet d'éviter l'ensemble des coûts du scénario de référence liés à l'érosion, d'une valeur d'environ 2,021 M\$. En effet, le retrait des actifs et activités à risque de la zone de mobilité et le démantèlement passif de tous les enrochements permet d'obtenir une efficacité économique maximale face cet aléa.

Coûts évités des inondations. De façon similaire à l'aléa érosion, le scénario MOB-EFF permet d'éviter presque la totalité (99 %) des coûts du scénario de référence liés aux inondations, grâce au retrait des actifs et activités à risque dans l'espace de mobilité maximal du chenal principal. Les coûts résiduels se traduisent par les impacts agricoles lors d'évènements extrêmes dont l'étendue d'eau dépasse la zone inondable du schéma d'aménagement et la perte de productivité due à la fermeture des routes dont la circulation est maintenue sous ce scénario.

Bénéfices environnementaux. Le scénario MOB-EFF permet un fort gain environnemental en terme de qualité de l'eau (3,981 M\$), de séquestration du carbone (64 440 \$) et de qualité de l'habitat (15 350 \$). Ensemble, la valeur des bénéfices environnementaux s'élève à plus de 4 M\$ par rapport au scénario de référence.

Coûts des mesures. Le coût des mesures du scénario MOB-EFF s'élèvent à 7,758 M\$, en raison du coût d'opportunité de la perte de terrains pour le retrait des actifs et activités à risque de la zone de mobilité, soit 60 % en terres agricoles, 40 % en terrains résidentiels.

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario MOB-eff par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette positive d'environ 1,218 M\$ et un ratio coûts-avantages supérieur à 1, soit environ 1,15 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton : si elle investissait 100 \$ dans ce scénario, elle en retirerait 115 \$ en bénéfices. La performance économique de ce scénario est donc rentable du point de vue collectif.

6.3.5. Mobilité hybride (MOB-HYB)

Le scénario de mobilisation hybride (MOB-HYB) propose une forme mitoyenne de retrait des actifs à risque qui consisterait à retirer les actifs et activités dans la zone multialéa (zone d'érosion de 185 ha) du schéma d'aménagement, ainsi que la réduction des indemnisations collectives liées aux pertes de rendement, en restreignant les cultures dans le reste de la zone inondable (225 ha), aux cultures de foin et pâturage.

Le Tableau 19 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts- avantages.

Coûts évités de l'érosion. En redonnant au chenal principal son espace de mobilité dans la zone d'érosion sur 50 ans, le scénario MOB-HYB permet d'éviter l'ensemble des coûts du scénario de référence liés à l'érosion, d'une valeur d'environ 2,021 M\$. En effet, le retrait des actifs et activités à risque de la zone d'érosion, incluant un démantèlement passif de tous les enrochements, permet d'obtenir une efficacité économique maximale face cet aléa.

Coûts évités des inondations. Le scénario MOB-HYB permet d'éviter près de la moitié des coûts du scénario de référence liés aux inondations, grâce au retrait des actifs et activités à risque dans la zone d'érosion et à la restriction des cultures aux pâturages et au foin dans le reste de la zone inondable. Les coûts résiduels se traduisent par les impacts agricoles lors d'évènements d'inondation dont l'étendue dépasse la zone d'érosion et la perte de productivité due à la fermeture des routes dont la circulation est maintenue sous ce scénario.

Tableau 19. Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-HYB, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

reference (\$ 2019)							
Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5				
	Coûts évités liés à l'érosion						
Α	Pertes de terres agricoles par l'érosion	1 996 645 \$	1 996 645 \$				
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	24 620 \$	24 620 \$				
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	2 021 265 \$	2 021 265 \$				
	Proportion des coûts évités du SQ :	100 %	100 %				
	Coûts évités liés aux inondatio	ons					
A	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	461 591 \$	459 000 \$				
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	964 856 \$	981 735 \$				
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	9 972 \$	- \$				
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	1 436 419 \$	1 440 735 \$				
	Proportion des coûts évités du SQ :	-49 %	-49 %				
	Bénéfices environnementau	Х					
	Séquestration du carbone	12 679 \$	12 679 \$				
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	1950254\$	1950254\$				
	Biodiversité	7 676 \$	7 676 \$				
	Coûts des mesures						
СМ	Conception, réalisation, entretien	0\$	0\$				
	Coûts d'opportunité des restrictions	(989 806) \$	(989 806) \$				
со	d'usage						
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	(2 481 944) \$	(2 481 944) \$				
	VAN du scénario par rapport au SQ : Ratio coûts-avantages :	1 956 543 \$ 1,56 \$	1 960 860 \$ 1,56 \$				

Bénéfices environnementaux. Le scénario MOB-HYB permet un fort gain environnemental en terme de qualité de l'eau (1,950 M\$), de séquestration du carbone (12 679 \$) et de qualité de l'habitat (7 676 \$). Ensemble, la valeur des bénéfices environnementaux s'élève à plus de 1,970 M \$ par rapport au scénario de référence.

Coûts des mesures. Le coût des mesures du scénario MOB-HYB s'élèvent à 3,471 M\$, en raison des coûts d'opportunité engendrés par le scénario. D'une part, le coût d'opportunité de la perte de terrains pour le retrait des actifs et activités à risque de la zone d'érosion s'élèvent à 2,481 M\$, soit 87 % en terres agricoles, 12 % en terrains résidentiels et 1 % en autres types de terrains. D'autre part, le coût d'opportunité en terme de perte de revenus agricoles venant la restriction des cultures aux foins et aux pâturages s'élève à 989 806 \$.

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario MOB-HYB par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette positive d'environ 1,959 M\$ et un ratio coûts-avantages supérieur à 1, soit environ 1,56 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton : si elle investissait 100 \$ dans ce scénario, elle en retirerait 156 \$ en bénéfices. La performance économique de ce scénario est donc rentable du point de vue collectif.

6.3.6. Adaptation des pratiques agricoles (PRA)

Le scénario d'adaptation des pratiques agricoles (PRA) combine l'enrochement avec une adaptation des pratiques agricoles visant l'augmentation de la rétention. Il s'agit de la mise en place de 430 petits aménagements hydro-agricoles de rétention (1 / 7,5 ha drainé), ainsi que l'adoption sur tout le secteur agricole (4812 ha) de la pratique de « culture sur résidus ».

Le Tableau 20 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts- avantages.

Tableau 20. Valeur actuelle des coûts et avantages de PRA, par rapport au scénario de référence (\$2019)

rubiedu 20.	valeur actuelle des couts et avantages de PRA, par raj	opert da secriario d	e reference (\$2015)
Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
	Coûts évités liés à l'érosion		
A	Pertes de terres agricoles par l'érosion	0\$	0\$
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	0\$	0\$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	0\$	0\$
	Proportion des coûts évités du SQ :	0 %	0 %
	Coûts évités liés aux inondation	ons	
A	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	2 380 \$	2 218 \$
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	11 605 \$	11 182 \$
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	1583 \$	516 \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	15 568 \$	13 917 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	0,5 %	0,5 %
	Bénéfices environnementau	X	
	Séquestration du carbone	- \$	- \$
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	3 029 434 \$	3 029 434 \$
	Biodiversité	- \$	- \$
	Coûts des mesures		
СМ	Conception, réalisation, entretien	(2 933 878) \$	(2 933 878) \$
СО	Coûts d'opportunité des restrictions d'usage	0\$	0\$
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	0\$	0\$
	VAN du scénario par rapport au SQ : Ratio coûts-avantages :	111 125 \$ 1,04 \$	109 473 \$ 1,04 \$

Coûts évités de l'érosion. En raison du maintien de la mesure actuelle de stabilisation des berges par enrochement, le scénario PRA obtient une performance équivalente au scénario de référence en termes de contrôle de l'érosion. Par rapport au SQ, ce scénario n'apporte donc aucun bénéfice supplémentaire en termes de coûts évités liés à la perte de terres agricoles ou résidentielles par érosion.

Coûts évités des inondations. Combiné à l'enrochement des berges, les aménagements hydro-agricoles permettent d'éviter des coûts liés aux inondations de 15 570 \$ sous le RCP 4.5 et de 13 917 \$ sous le RCP 8.5, soit moins de 1 % des coûts d'inondation du scénario de référence. L'efficacité économique du contrôle des inondations est donc négligeable.

Bénéfices environnementaux. Le scénario PRA permet un fort gain environnemental en termes de qualité de l'eau d'une valeur de 3,029 M\$, répartie de la façon suivante : 1,606 M\$ de bénéfices en rétention du phosphore, 1,773 M\$ en bénéfices en rétention des sédiments et par contre, 350 600 \$ en coûts supplémentaires d'exportation de l'azote. L'efficacité de rétention des charges biophysiques modélisées pour les aménagements hydro-agricoles est basée sur les travaux de Mailhot (2016) se moulant sur un ouvrage de fossés avaloirs Hickenbottom. On y retrouve une efficacité de -22 %, - 15 % et + 5 % en termes de rétention des sédiments, du phosphore et l'azote, par rapport à un fossé témoin. De plus, ces aménagements hydro-agricoles ne permettent aucun bénéfice de séquestration du carbone ou de qualité de l'habitat.

Coûts des mesures. Le coût des mesures du scénario PRA s'élève à environ 2,934 M\$, en raison du coût de réalisation et d'entretien des 430 aménagements hydroagricoles. Rappelons que la mesure comportementale de culture sur résidus est incluse dans les « bonnes pratiques » à un coût considéré négligeable (encouragée par la sensibilisation ou des incitatifs liés aux assurances).

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario PRA par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette positive d'environ 110 300 \$ et un ratio coûts-avantages supérieur à 1, soit environ 1,04 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton : si elle investissait 100 \$ dans ce scénario, elle en retirerait 104 \$ en bénéfices. La performance économique de ce scénario est donc rentable du point de vue collectif.

6.3.7. Mobilité hydride et pratiques agricoles (MOB-HYB + PRA)

Ce scénario combine la mobilité hybride (MOB-HYB) comprenant la conversion des usages dans la zone de mobilité M50 (185 ha), la réduction des indemnisations dans la zone inondable par restriction des cultures (225 ha) et les aménagements hydroagricoles (PRA – sans stabilisation) sur 4812 ha agricoles.

Le Tableau 21 présente la valeur monétaire sur une période de 50 ans des coûts et avantages de ce scénario, par rapport au scénario de référence, ainsi que les deux indicateurs de performance économique : la VAN et ratio coûts- avantages.

Coûts évités de l'érosion. En redonnant au chenal principal son espace de mobilité dans la zone d'érosion sur 50 ans, le scénario MOB-HYB + PRA permet d'éviter l'ensemble des coûts du scénario de référence liés à l'érosion, d'une valeur d'environ 2,021 M\$. En effet, le retrait des actifs et activités à risque de la zone d'érosion, incluant un démantèlement passif de tous les enrochements, permet d'obtenir une efficacité économique maximale face cet aléa.

Coûts évités des inondations. Dû à la faible efficacité du scénario PRA en terme de réduction des impacts des inondations, les coûts évités des inondations sont principalement conduits par le scénario MOB-HYB et donc presque équivalents; ce scénario permet d'éviter près de la moitié des coûts du scénario de référence liés aux inondations, soit environ 1,447 M\$. Les coûts résiduels se traduisent par les impacts agricoles lors d'évènements d'inondation dont l'étendue dépasse la zone d'érosion et la perte de productivité due à la fermeture des routes dont la circulation est maintenue sous ce scénario.

Tableau 21. Valeur actuelle des coûts et avantages de MOB-HYB+PRA, par rapport au scénario de référence (\$ 2019)

	reference (\$ 2019)		
Catégorie d'impacts	Description	RCP 4.5	RCP 8.5
	Coûts évités liés à l'érosion		
Α	Pertes de terres agricoles par l'érosion	1996645\$	1 996 645 \$
R	Pertes de terrain résidentiels par érosion	24 620 \$	24 620 \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	2 021 265 \$	2 021 265 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	100 %	100 %
	Coûts évités liés aux inondatio	ns	
A	Dommages aux cultures (pertes de revenus)	461 861 \$	459 264 \$
Α	Coûts de nettoyage de débris en champs	972 285 \$	988 949 \$
Écon.	Perte de productivité due à la fermeture des routes	10 488 \$	516 \$
	Coûts totaux évités par rapport au SQ :	1 444 633 \$	1 448 730 \$
	Proportion des coûts évités du SQ :	50 %	49 %
	Bénéfices environnementau	X	
	Séquestration du carbone	12 679 \$	12 679 \$
Env.	Qualité de l'eau : sédiment et nutriments	4 376 649 \$	4 376 649 \$
	Biodiversité	7 676 \$	7 676 \$
	Coûts des mesures		
СМ	Conception, réalisation, entretien	(2 933 878) \$	(2 933 878) \$
	Coûts d'opportunité des restrictions	(989 806) \$	(989 806) \$
со	d'usage		
	Coûts d'opportunité des pertes de terrains	(2 481 944) \$	(2 481 944) \$
	VAN du scénario par rapport au SQ:	1 457 275 \$	1 461 371 \$
	Ratio coûts-avantages :	1,23 \$	1,23 \$

Bénéfices environnementaux. La combinaison des scénarios MOB-HYB et PRA, entraînent de forts gains environnementaux en terme de qualité de l'eau (4,377M\$), de séquestration du carbone (12 679 \$) et de qualité de l'habitat (7 676 \$). Ensemble, la valeur des bénéfices environnementaux s'élève à plus de 4,397 M\$ par rapport au scénario de référence.

Coûts des mesures. Le coût des mesures du scénario MOB-HYB + PRA s'élève à 6,406 M\$, en raison des coûts d'opportunité engendrés par le scénario MOB-HYB (pertes de terrains : 2,481 M\$ et pertes de revenus agricoles : 989 806 \$) et des coûts de réalisation et d'entretien des aménagements hydro-agricoles du scénario PRA (2,934 M\$).

Indicateurs économiques. La somme des coûts et bénéfices du scénario MOB-HYB + PRA par rapport au scénario de référence indique une valeur actuelle nette positive d'environ 1,459 M\$ et un ratio coûts-avantages supérieur à 1, soit environ 1,23 \$. Ce dernier indicateur peut être interprété comme le retour sur l'investissement pour la municipalité de Compton: si elle investissait 100 \$ dans ce scénario, elle en retirerait 123 \$ en bénéfices. La performance économique de ce scénario est donc rentable du point de vue collectif.

6.4. COMPARAISON DES SCÉNARIOS

La comparaison des coûts et avantages actualisée avec le scénario de référence et le ratio avantages-coûts des sept scénarios d'adaptation permet de dégager quatre principaux résultats (Figure 31).

Le statu quo est préférable aux scénarios impliquant une modification au lit de la rivière. Comparé au scénario de référence, trois scénarios sur sept ont une VAN négative. Il s'agit des scénarios impliquant une modification au lit de la rivière, soit la stabilisation avec dragage (STA-DG), la stabilisation acceptable (STA-ACC) et la stabilisation efficace (STA-EFF). Ces scénarios ne sont pas rentables du point de vue collectif en raison des coûts de réalisation et d'entretien trop importants de leurs mesures (principalement la mesure de dragage et des bassins de rétention) par rapport aux bénéfices liés à la réduction des aléas et aux bénéfices environnementaux obtenus. Comme les bénéfices de ces scénarios n'atteignent que quelques milliers de dollars, voire nuls pour le scénario STA-EFF, les coûts de réalisation et d'entretien des mesures de ces trois scénarios dominent à la Figure 31.

Les scénarios de mobilité et d'adaptation des pratiques agricoles sont préférables au statu quo. Quatre des sept scénarios ont une valeur actuelle nette positive, comparée au scénario de référence. Le scénario le plus avantageux étudié est le scénario de mobilité hybride (MOB-HYB), suivi par le scénario combinant la mobilité hybride et l'adaptation des pratiques agricoles (MOB-HYB + PRA), le scénario de mobilité efficace (MOB-EFF) et finalement le scénario d'adaptation des pratiques agricoles (PRA). Les 3 scénarios les plus avantageux obtiennent les plus grands bénéfices en terme de réduction des coûts liés aux inondations au secteur agricole (dommages aux cultures et coûts de nettoyage des débris) en plus de réduire à 100 % les coûts liés à l'érosion et d'apporter un impact positif sur l'environnement d'une valeur de plusieurs millions de dollars. Le scénario d'adaptation des pratiques agricoles arrive au 4e rang avec une

VAN légèrement positive de 110 300 \$. En effet, ce scénario n'obtient que de faibles bénéfices en termes de réduction des coûts des aléas fluviaux du scénario de référence. Sa rentabilité provient essentiellement de l'importance des bénéfices environnementaux liés à la rétention des sédiments, permettant de contrebalancer les coûts de réalisation et d'entretien des aménagements hydro-agricoles.

Le scénario de mobilité hybride est le plus rentable. Bien que le scénario de mobilité hybride génère moins de bénéfices environnementaux et de bénéfices liés à la réduction des inondations que les scénarios MOB-EFF et MOB-HYB+PRA, le coût moins élevé de ses mesures lui permet d'obtenir la VAN la plus élevée, soit environ 1,959 M\$. Ce scénario obtient d'ailleurs le ratio avantages-coûts le plus élevé parmi les sept scénarios étudiés, à 1,56 \$. Autrement dit, parmi les sept options d'adaptation analysées, ce scénario permet le meilleur retour sur investissement et amène la plus grande rentabilité comparée au statu quo.

Le scénario de mobilité hybride est une option sans regret. En l'absence de stress climatique, c'est-à-dire, en l'absence d'une exacerbation du coût des inondations en lien avec les changements climatiques, le scénario de mobilité hybride demeure rentable. En effet, même dans un scénario improbable où les bénéfices liés à la réduction du coût des inondations futures (1,436 M \$ - 1,440 M \$) sont considérés nuls, le scénario de mobilité hybride demeure rentable, avec une VAN d'environ 520 000 \$. Il s'agit donc d'une option dite sans regret, ne présentant que des avantages face à l'incertitude climatique. Notons également la VAN supérieure du scénario sous le RCP 8.5, prévoyant pourtant une augmentation plus prononcée des débits maximums annuels à l'horizon 1, que sous le RCP 4.5 (Figure 12).

Conclusion préliminaire : Le scénario zone de mobilité hybride (MOB- HYB) ressort comme le scénario le plus avantageux selon les deux indicateurs économiques (VAN et ratio avantages-coûts).

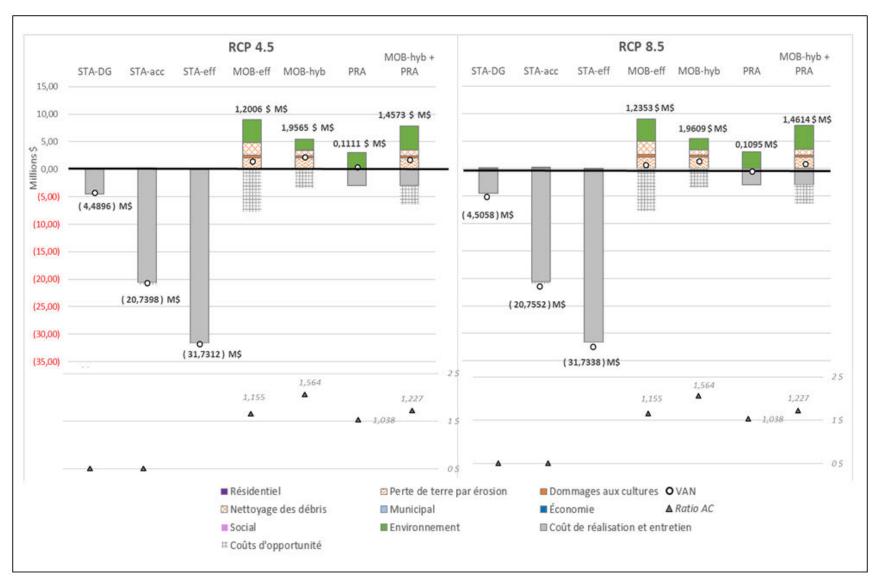


Figure 31. Comparaison des coûts et avantages actualisée (VAN), et du ratio avantages-coûts des scénarios par rapport au scénario de référence sur 50 ans

6.5. ANALYSES COMPLÉMENTAIRES

Afin de valider la robustesse des résultats de l'analyse économique présentés aux chapitres précédents, les analyses de sensibilité (6.5.1) s'avèrent nécessaires. De plus, l'analyse de redistribution entre les acteurs (6.5.2) et l'analyse des risques et enjeux résiduels (0) apportent des résultats complémentaires concernant l'équité entre les acteurs et l'efficacité sur certains enjeux non modélisés des scénarios d'adaptation.

6.5.1. Analyses de sensibilité

Les analyses de sensibilité partielles permettent de comprendre l'impact de différents paramètres économiques sur la VAN des scénarios ainsi que sur leurs classements. Les paramètres sélectionnés et leurs valeurs sont présentés au Tableau 22 et discutés dans les paragraphes suivants. Les résultats des analyses sont ensuite présentés au Tableau 23 et résumé en quatre tendances principales.

Tableau 22. Paramètres des analyses de sensibilité et valeurs à tester

Paramètres de sensibilité	Valeurs à tester
Taux d'actualisation	Linéaire à 2 % et 6 %
Débits maximums annuels et profondeur d'eau	10° et 90° percentiles des scénario hydro- climatiques
Coût de réalisation et d'entretien des mesures	+/- 50 %
Valeur des pertes de rendement	+/- 30 %
Coûts d'opportunité des mesures	Agricoles : 25 000 \$/ha, autres : + 100 %
Coûts liés à l'érosion des berges	+/- 15 %
Coûts de nettoyage des débris	+/- 15 %
Valeur des bénéfices environnementaux	+/- 15 %

Taux d'actualisation. Le choix du taux d'actualisation régressif (4 % pour les premiers 30 ans, puis 2 % pour les derniers 20 ans) est soumis à une analyse de sensibilité étant donné sa forte influence sur le calcul de la valeur actuelle nette, le principal indicateur de performance économique. L'analyse de sensibilité testera une valeur inférieure à 2 % et une valeur supérieure à 6 %.

Débits maximum annuels et profondeur d'eau. Le choix du scénario hydro-climatique médian est soumis à une analyse de sensibilité étant donné l'incertitude entourant la chaîne de modélisation climat- hydrologie-hydraulique. Les scénarios hydro-climatiques du 10° et 90° percentiles choisie pour l'analyse de sensibilité permettent de tester la robustesse des résultats face à l'incertitude hydro-climatiques.

Coût de réalisation et d'entretien des mesures. Étant donné l'importance du coût de réalisation et d'entretien des mesures structurelles, l'analyse de sensibilité permettra de tester la robustesse des résultats face à une diminution/augmentation de 50 % de la valeur de ces coûts. Le choix d'un facteur de 50 % plutôt que 15 % émane de la grande variabilité observée dans les coûts de réalisation et d'entretien d'ouvrages structurels.

Tableau 23. Résultats des analyses de sensibilité sur la valeur actuelle nette des scénarios par rapport au scénario de référence, RCP 4.5 (M\$)

Paramètres et valeur de sensibilité	STA-DG	le sensibilité sur la STA-ACC	STA-EFF	MOB-EFF	мов-нүв	PRA	MOB-HYB + PRA		
VAN de référence	(4,490) \$	(20,740) \$	(31,731) \$	1,201\$	1,957 \$	0,111 \$	1,450 \$		
Taux d'actualisation									
2 %	(3,447) \$	(20,125) \$	(32,578) \$	2,054 \$	2,678 \$	0,301 \$	2,009 \$		
6 %	(2,041) \$	(11,913) \$	(18,923) \$	(2,373) \$	0,458 \$	(0,129) \$	(0,176) \$		
Débits maximums annu	uels et profonde	eur d'eau							
10 ^e percentile	(4,525) \$	(20,710) \$	(31,719) \$	0,689 \$	1,788 \$	0,114 \$	1,281 \$		
90° percentile	(4,506) \$	(20,704) \$	(31,745) \$	1,424 \$	2,036 \$	0,115 \$	1,537 \$		
Coût de réalisation et d'	'entretien des m	nesures							
- 50 %	(3,508) \$	(17,288) \$	(26,819) \$	2,364 \$	2,477 \$	0,854 \$	2,410 \$		
+ 50 %	(5,471) \$	(24,192) \$	(36,644) \$	0,037 \$	1,436 \$	(0,632) \$	0,489 \$		
Coûts d'opportunité de	s mesures								
Agricole: 25 000 \$/ha Autres : + 100 %	(4,490) \$	(21,151) \$	(31,731) \$	(4,103) \$	(0,508) \$	0,100 \$	(1,008) \$		
Coûts liés à l'érosion de	s berges								
- 15 %	(4,793) \$	(21,043) \$	(31,889) \$	0,897 \$	1,653 \$	(0,192) \$	1,146 \$		
+ 15 %	(4,186) \$	(20,437) \$	(31,573) \$	1,504 \$	2,260 \$	0,414 \$	1,753 \$		
Coûts de nettoyage des	débris								
- 15 %	(4,494) \$	(20,756) \$	(31,727) \$	0,847 \$	1,812 \$	0,109 \$	2,606 \$		
+ 15 %	(4,485) \$	(20,724) \$	(31,735) \$	1,554 \$	2,101 \$	0,113 \$	2,897 \$		
Valeur des pertes de rendement									
- 30 %	(4,491) \$	(20,746) \$	(31,730) \$	1,047 \$	1,818 \$	0,110 \$	1,311 \$		
+ 30 %	(4,488) \$	(20,733) \$	(31,733) \$	1,354 \$	2,095 \$	0,112 \$	1,588 \$		
Valeur des bénéfices en	nvironnementau	ıx							
- 15 %	(4,490) \$	(20,756) \$	(31,731) \$	0,592 \$	1,661 \$	(0,343) \$	0,791 \$		
+ 15 %	(4,490)\$	(20,724) \$	(31,731) \$	1,810 \$	2,252 \$	0,566 \$	2,108 \$		

Valeur des pertes de rendement. La valeur des pertes de rendement des cultures inondées est soumise à une analyse de sensibilité de plus ou moins 30 % pour tester la robustesse des résultats à deux facteurs exclus de l'analyse initiale: la valeur des pertes de rendement causée une diminution de la qualité de récolte (+30 %) et la valeur des coûts de production potentiellement économisés (-30 %).

Coûts d'opportunité des mesures. Étant donné l'importance des coûts d'opportunité des mesures de mobilité et de l'incertitude entourant la valeur de renonciation des usages, l'analyse de sensibilité permettra de tester la robustesse des résultats face à une valeur des terres agricoles de 25 000 \$/ha et une augmentation de 100 % de la valeur foncière des autres catégories de terrains. À noter que la plus récente évaluation des terres en cultures de la MRC de Coaticook, obtenue suite à la production de ces analyses, présentait une valeur moyenne de 16 000 \$/ hectare (JP Cadrin, 2021).

Coûts liés à l'érosion des berges, coûts de nettoyage des débris et valeur des bénéfices environnementaux. Étant donné leur contribution relative aux résultats des scénarios, ces trois paramètres seront soumis à une analyse de sensibilité standard de plus ou moins 15 %.

6.5.1.1. Résultats

Ainsi, les analyses de sensibilité permettent de dégager principalement quatre tendances:

Le statu quo demeure préférable aux scénarios impliquant une modification au lit de la rivière. La VAN des scénarios impliquant une modification au lit de la rivière, soit la stabilisation avec dragage (STA-DG), la stabilisation acceptable (STA-ACC) et la stabilisation efficace (STA-EFF) demeurent négatives malgré l'ensemble des analyses de sensibilité permettant soit une réduction de 50 % leurs coûts de réalisation et d'entretien ou une augmentation de 15 % à 30 % de leurs bénéfices.

Les résultats du scénario d'adaptation des pratiques agricoles sont moins robustes.

La VAN du scénario d'adaptation des pratiques agricoles (PRA) devient négative pour l'analyse de sensibilité de 4 paramètres économiques sur 8 : le taux d'actualisation (6 %), le coût de la réalisation et de l'entretien des aménagements hydro agricoles (+ 50 %), les coûts liés à l'érosion des berges (+15 %) et la valeur des bénéfices environnementaux (- 15 %). La robustesse des résultats concernant ce scénario n'est donc pas au rendez-vous. Toutefois, son potentiel d'efficacité sur un aléa non modélisé, les cônes alluviaux, sera traité dans l'analyse des aléas et des enjeux résiduels (0) d'ajouter une perspective à ces résultats.

Le taux d'actualisation: un paramètre économique complexe. Lorsque le taux d'actualisation des coûts et avantages est fixé à 6 %, seulement un scénario d'adaptation demeure rentable: MOB-HYB. L'analyse de sensibilité sur ce paramètre ne change donc pas la conclusion préliminaire du chapitre 6.4, mais entraîne la VAN des scénarios MOB-EFF, MOB-HYB + PRA et PRA au négatif. Bien que le rapport de Montmarquette (2007) suggère un taux d'actualisation linéaire de 6 % pour l'évaluation des investissements publics au Québec, il est également mentionné et appuyé par d'autres auteurs (Cropper, 2012, Gollier, 2011, Arrow et al., 2014) que les projets à bénéfices éloignés dans le temps et forte équité intergénérationnelle (tels que projets reliés à la santé, à l'environnement et aux changements climatiques) bénéficieraient d'un taux d'actualisation décroissant dans le temps.

La valeur des terres agricoles : un paramètre économique critique. Lorsque le coût d'opportunité augmente de façon significative (valeur des terres agricoles à 25 000 \$/ha et double de la valeur foncière des autres terrains) seule la VAN du scénario d'adaptation des pratiques agricoles demeure positive. Ces résultats sont principalement conduits par l'augmentation de 114 % de la valeur de référence des terres agricoles de 11 660 \$/ha (FADQ, 2019). Étant donné l'importance de ce paramètre sur la robustesse de la conclusion, la valeur des terres agricoles fera l'objet d'une discussion approfondie au chapitre 7.

6.5.2. Analyse de redistribution par acteurs

L'analyse de redistribution permet de mieux comprendre la répartition des coûts et avantages entre les groupes d'acteurs de chacun des scénarios - par rapport au scénario de référence - et ainsi cibler les opportunités de redistribution afin d'améliorer l'équité des scénarios. Le Tableau 24 résume les résultats de l'analyse de redistribution des coûts et avantages de chaque scénario entre quatre catégories d'acteurs, soit la société, les agriculteurs, les résidents et la municipalité. Une pondération représentant le poids de la valeur actualisée des coûts ou des bénéfices supportés par chaque groupe d'acteurs, pour chaque type d'impacts monétisés, a été attribué en tenant compte des subventions ou indemnisations disponibles pour chaque groupe. La pondération utilisée pour chaque acteur, selon le poste d'impact, est rapportée au tableau 1 de l'annexe IV, tandis que la méthodologie détaillée est présentée dans le guide méthodologique de ce projet (Boyer-Villemaire et al., 2021).

Tableau 24. Analyse de redistribution entre les acteurs, RCP 4.5 (M \$)

Acteurs	SQ	STA-DG	STA- ACC	STA- EFF	MOB- EFF	МОВ- НҮВ	PRA	MOB- HYB + PRA
Société /collectivité	(3,435)	0,024	0,214	(0,024)	7,465 \$	4,309	3,041	6,742
Agriculteurs	(0,415)	0,010	0,320	(0,009)	(3,166)	(2,050)	(2,930)	(4,982)
Cultures assurées	(0,067)	0,001	0,003	(0,001)	0,067	0,060	0,000	0,060
Cultures non assurées	(0,216)	0,002	0,009	(0,002)	0,215	0,194	0,001	0,194
Résidents	-	-	-	-	(3,122)	(0,327)	-	(0,327)
Municipalité	(0,025)	(4,524)	(20,634)	(31,698)	(0,025)	0,025	-	0,025
VAN p/r au SQ	-	(4,490) \$	(20,740)	(31,731)	1,201	1,957	0,111	1,450

Le statu quo est dispendieux pour la société. Les coûts liés aux aléas fluviaux du scénario de référence (SQ) sont majoritairement (70 %) assumés par la société, en raison de l'indemnisation des dommages agricoles liés aux inondations (FADQ) pour la perte de rendement des producteurs assurés et MSP pour le coût de nettoyage des débris) et de l'enrochement subventionné pour stabiliser les berges. Notons que l'approche réglementaire d'indemnisation des dommages liés aux inondations permet aux producteurs assurant leurs cultures de subir 3 fois moins de coûts que les producteurs non assurés par la FADQ4. La municipalité et les résidents subissent peu de coûts, de l'ordre de 24 000 \$, lié à la mesure d'enrochement des berges des secteurs résidentiels, laquelle ne bénéficie pas de subventions. Rappelons qu'avec la modélisation économique sous les scénarios hydro-climatiques médians du RCP 4.5 et RCP 8.5, aucune résidence n'était touchée par les inondations. Une discussion au chapitre 7, approfondira deux angles morts de l'analyse concernant les dépenses municipales liées aux inondations et les impacts au secteur résidentiel liés à l'érosion. Le chapitre suivant traitant des risques et enjeux résiduels (0) amène également une perspective supplémentaire concernant les coûts potentiels au secteur résidentiel venant des aléas non modélisés : les cônes alluviaux et les avulsions.

Les scénarios impliquant une modification au lit de la rivière sont dispendieux pour la municipalité. Les scénarios interventionnistes STA-DG et STA-ACC, incombe à la municipalité des dépenses de plusieurs millions de dollars pour la réalisation et l'entretien des mesures structurelles, alors que les bénéfices répartis entre les autres

⁴ À noter que cette analyse ne prend pas en compte des cotisations à l'ASREC dû aux limites de la modélisation.

acteurs (société et agriculteurs) n'atteignent que quelques milliers de dollars. Quant au scénario STA-EFF, aucun acteur n'en retire des bénéfices. Les opportunités de redistribution entre les acteurs semblent donc absentes pour ces scénarios.

Le scénario de mobilité efficace désavantage disproportionnellement les résidents et agriculteurs. Bien que la VAN du scénario MOB-EFF soit positive par rapport au scénario de référence, la répartition des coûts et avantages entre les acteurs souligne une certaine iniquité entre la société et les citoyens (résidents et agriculteurs) de la municipalité. Ce scénario avantage particulièrement la société grâce aux bénéfices environnementaux, à la réduction des indemnisations des dommages liés aux inondations et à la suppression de la mesure actuelle d'enrochement subventionné, mais pèsent lourd sur les citoyens étant donné la perte d'usage dans toute zone inondable du schéma d'aménagement incluant les cônes alluviaux. La redistribution des avantages de la société vers les citoyens semble donc opportune afin d'alléger le fardeau sur ces acteurs.

Les scénarios de mobilité hybride et d'adaptation des pratiques agricoles désavantagent disproportionnellement les agriculteurs. Bien que la VAN des scénarios de mobilité hybride et d'adaptation des pratiques agricoles (MOB-HYB, PRA et MOB-HYB + PRA) soit positive par rapport au scénario de référence, la répartition des coûts et avantages entre les acteurs souligne une certaine iniquité entre les agriculteurs et la société. Ces scénarios avantagent particulièrement la société grâce aux bénéfices environnementaux, à la réduction des indemnisations des dommages liés aux inondations et à la suppression de la mesure actuelle d'enrochement subventionné, mais pèsent lourds sur les agriculteurs étant donné la perte d'usage dans la zone de mobilité (MOB-HYB et MOB-HYB + PRA), la restriction des usages dans la zone inondable (MOB-HYB et MOB-HYB + PRA), et le coût des aménagements hydro-agricoles (PRA et MOB-HYB + PRA). La redistribution des avantages de la société vers les agriculteurs semble donc opportune afin d'alléger le fardeau de cette catégorie d'acteurs. Notons également que la catégorie des résidents subit un léger coût (0,327 M\$) sous les scénarios de mobilité hybride et ne retire aucun bénéfice du scénario PRA.

Opportunités de redistribution et aléas résiduels. Les résultats de l'analyse de redistribution par acteurs mettent en évidence un enjeu d'équité des scénarios pourtant rentable du point de vue collectif (MOB-EFF, MOB-HYB, PRA, MOB-HYB + PRA). Alors que la société bénéficie par ces scénarios de millions de dollars, les agriculteurs semblent supporter la majorité des coûts et les résidents semblent soit laissés pour compte (MOB-HYB, PRA, MOB-HYB + PRA) ou nettement désavantagés (MOB-EFF). La redistribution des avantages de la société vers les agriculteurs et les résidents semble donc opportune afin d'améliorer l'équité des scénarios entre les groupes d'acteurs. Les moyens de redistribution (réglementation, compensation annuelle, rachat complet, subvention des aménagements hydro-agricoles) et leurs sensibilités seront discutés au chapitre 7. Le chapitre suivant traitant des risques et

enjeux résiduels permettra d'amener une nouvelle perspective concernant les retombées possibles de ces scénarios pour les résidents, venant de la réduction potentielle des aléas non modélisés : les cônes alluviaux et les avulsions.

6.5.3. Analyse des risques et enjeux résiduels

L'analyse des risques et enjeux résiduels amène une perspective qualitative supplémentaire aux résultats économiques quantifiés, en tenant compte des risques inhérents aux aléas fluviaux non modélisés (cônes alluviaux et avulsion) et de l'enjeu de cohésion sociale associés aux scénarios rentables par rapport au SQ (MOB-HYB, MOB-HYB+PRA, MOB-EFF, PRA).

Les résultats de l'analyse présentés au Tableau 25 permettent de dégager deux conclusions :

Un objectif d'effets positifs maximum pourrait menacer la cohésion sociale. Le scénario de mobilité efficace obtient un effet positif maximal pour l'ensemble des aléas fluviaux - même sur les aléas d'avulsion et de cônes alluviaux non modélisés - grâce à au retrait complet des actifs et activités à risque dans la zone inondable du schéma d'aménagement, incluant les cônes alluviaux. En contre parti, ce retrait complet du risque d'exposition demande un niveau de sacrifices très élevé de la part des citoyens riverains de la municipalité, le plaçant donc au dernier rang du classement sur la cohésion sociale.

La monétisation des coûts et bénéfices liés à l'aléa cônes alluviaux pourrait changer la conclusion. La recommandation préliminaire en faveur du scénario de mobilité hybride (MOB-HYB), basée sur la quantification des aléas fluviaux d'érosion et d'inondation, aurait un effet positif partiel sur la réduction de l'exposition aux avulsions, mais aucun effet anticipé sur la réduction de l'intensité ou de l'exposition aux cônes alluviaux. Cette inefficacité du scénario MOB-HYB face aux cônes alluviaux. dont les bâtiments résidentiels sont plus exposés, diminue sa robustesse en termes de gestion intégrée des risques fluviaux. La combinaison de l'adaptation des pratiques agricoles au scénario de mobilité hybride pourrait donc être plus judicieuse d'un point de vue de gestion intégrée des risques fluviaux, dû à l'effet positif potentiel des aménagements hydro-agricoles sur la réduction de l'intensité des cônes alluviaux. La quantification et monétisation des avantages en termes de réduction des coûts liés aux cônes alluviaux est cependant nécessaire afin de tester son impact sur le classement de la VAN des scénarios par rapport au statu quo. Notons dernièrement que le scénario combiné MOB-HYB + PRA permettrait possiblement une meilleure cohésion sociale entre trois catégories d'acteurs touchés par ces mesures: les agriculteurs riverains (zone de mobilité), les agriculteurs non riverains (adaptation des pratiques agricoles) et les résidents (réduction des cônes alluviaux), un aspect intangible cependant difficile à quantifier et monétiser.

Tableau 25. Analyse des risques et enjeux résiduels des mesures rentables par rapport au SQ, RCP 4.5

		Bénéfices environ-		A	léas quantifié	s	Enje	eux non qua	ntifiés
Scénario	Mesure	nementa	de risque	Érosion	Inondation	VAN	Avulsion	Cônes alluviaux	Classement de cohésion sociale*
	Zone de		Intensité						
мов-нүв	mobilité		Exposition			1057 N ¢			3 ^e
	Restriction		Intensité			1,957 M \$			
	des cultures		Exposition						
	Zone de		Intensité						
	mobilité		Exposition						
MOB-HYB	Pratiques		Intensité			1,450 M			
+ PRA	agricoles		Exposition			\$			2 ^e
	Restriction		Intensité						
	des cultures		Exposition						
MOB-EFF	Zone de		Intensité						
IVIOD EI I	mobilité maximale		Exposition			1,201 M \$			4 ^e
	Enrochement		Intensité] er
PRA	Enrochement		Exposition			0,111 M \$			
	Pratiques		Intensité			U,111 IVI \$			1
	agricoles		Exposition						

^{*} Classement de cohésion sociale des scénarios est établie selon l'ampleur des sacrifices et requis des par les acteurs afin de mettre en place une mesure d'adaptation, le le rang étant celui demandant le moins de sacrifice et le 4e celui demandant le plus de sacrifices.

L	.égende :		
		Effet positif maximal Effet positif partiel	Aucun effet positif anticipé
		Effet positif potentiel	

6.6. SYNTHÈSE

Aucun scénario d'intervention structurelle dans la rivière n'est plus avantageux que le scénario de référence: ces scénarios coûtent chers et amènent peu d'avantages, exacerbant même certains impacts. Notamment, le scénario STA-EFF est comparativement le moins avantageux de tous.

Cependant, l'approche environnementale la plus stricte (MOB-EFF) n'est pas la solution la plus avantageuse puisqu'elle engendre trop de pertes économiques dans le secteur agricole. De plus, la restriction seule des cultures n'est pas suffisante pour éviter les dommages dans ce secteur. L'approche hybride de restriction des types de cultures avec changement d'usage d'un corridor de mobilité s'avère la plus avantageuse pour la société et la plus robuste aux analyses de sensibilité (1 analyse sur 7 est sensible). Ce scénario permet de continuer une activité agricole tolérante aux évènements d'inondation dans la zone de faible risque, mais de réduire les actifs à très haute exposition multialéa en zone d'érosion, ce qui représente un bénéfice pérenne pour la collectivité

La mise en œuvre de cette solution est conditionnelle au réajustement de la distribution des coûts supportés par les producteurs agricoles. Les modalités de mise en œuvre de cette stratégie se trouvent au-delà du cadre de cette étude mais pourraient potentiellement inclure un rachat, une compensation annuelle pour modification des droits d'usage ou une compensation de superficie agricole adaptée au contexte de l'entreprise. Finalement, notons que l'approche d'adaptation des pratiques agricoles dans toute la zone d'étude comporte plus d'incertitude, mais le potentiel de distribution du fardeau entre les acteurs et de co-bénéfices environnementaux laisse penser qu'il pourrait s'agir d'un ajout bénéfique pour la collectivité, il s'agit d'une piste à explorer davantage.

Résumé: Conclusion finale: Le scénario zone de mobilité hybride (MOB-HYB) est retenu comme la stratégie la plus avantageuse dans toutes les analyses économiques considérées.



7. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Cette analyse visait à comparer l'ensemble des coûts et avantages de plusieurs solutions d'adaptation face aux inondations en eau libre et aux autres aléas liés à la rivière Coaticook à Compton, dans une zone de 410 ha. Dans un cadre participatif, la méthodologie s'appuie sur l'analyse de risque et l'analyse économique.

7.1. ANALYSE DE RISQUE

1. Une augmentation anticipée des dommages agricoles estivaux

L'analyse des aléas en climat futur prévoit une augmentation des risques fluviaux : l'augmentation des débits et un élargissement de la zone inondable d'ici 50 ans, mais un retour à l'actuel dans le futur lointain, qui sera compensé par déplacement épisodes extrêmes du printemps vers l'été. La majorité du territoire de la zone d'étude est à usage agricole et sensible aux épisode hydrométéorologiques extrêmes, ces terres représentent 62 % (7,6 M\$) de la valeur totale des actifs, estimée à 12,2 M\$.

2. Les cônes alluviaux : une problématique isolée mais préoccupante

L'aléa de cônes alluviaux est le plus préoccupant en termes de nombre de résidences (11). La vulnérabilité de la zone d'étude est intermédiaire, avec une faible sensibilité socio-économique, mais une faible capacité à faire face en raison de la distance aux services d'intervention d'urgence.

3. Une infrastructure essentielle à risque sous le radar

Le dénombrement a révélé l'exposition d'un des étangs aérés de la Municipalité au risque d'avulsion, un angle mort lors des activités de mobilisation. Si la probabilité reste faible, les conséquences pourraient être catastrophiques pour la population, sans compter les risques de contamination de l'eau par la rivière.

4. La priorité de réduction des dommages : le corridor multialéa

La priorité de réduction de risque se situe dans la zone riveraine multialéa (inondation, érosion, avulsion) en majorité agricole.

5. Plusieurs limites aux connaissances

Parmi les limites de l'analyse de risque, davantage de connaissances sur la probabilité actuelle et future de certains aléas hydrogéomorphologiques (avulsion, cônes alluviaux et embâcles) permettraient de renforcer l'approche multialéa. Par ailleurs, la vulgarisation des facteurs de vulnérabilité (capacité d'adaptation, sensibilité) du secteur agricole face aux aléas enrichirait la perspective.

7.2. ANALYSE ÉCONOMIQUE

7.2.1. Le corridor multialéa : un grand potentiel de coûts à éviter

Le scénario de référence étudié se définit comme la poursuite de l'approche réglementaire d'indemnisation des dommages liés aux inondations et l'ajout d'enrochement subventionné pour la stabilisation de berge. L'analyse suggère qu'en l'absence de modification de ces pratiques au cours des 50 prochaines années, la collectivité devra essuyer des pertes de 4,9 M\$ liées aux inondations⁵ (nettoyage des champs, pertes de revenus) et à l'érosion des berges (perte de terrain). Environ 70 % des pertes seraient concentrées dans un étroit corridor exposé à de multiples multialéa (inondation, érosion des berges, avulsion, embâcles de glace) de 185 ha située en bordure de la rivière (variant de 3 à 250 m de chaque côté selon la dynamique du cours d'eau), alors que les derniers 30 % se situent dans la zone de grand courant (5 % de chance d'inondation par année). Cela souligne le grand potentiel de coûts évités dans le corridor multialéa.

7.2.2. L'approche de mobilité avec des usages résilients : la plus avantageuse collectivement et sans regret, mais face à des défis de mise en œuvre

Parmi les scénarios d'adaptation envisagés, les deux indicateurs économiques suggèrent que l'approche de mobilité hybride (scénario 4 MOB-HYB) s'avère la plus avantageuse pour la collectivité sur 50 ans. Elle repose sur deux mesures principales : la transformation des usages du corridor multialéa et les réductions d'indemnisations collectives par l'adaptation des cultures. Elle se démarque du scénario de référence par une valeur actualisée nette de 1,9 M\$. Les coûts résiduels proviennent des dommages d'inondations (nettoyage, dommages aux cultures), hors du corridor multialéa. De plus, son ratio avantages-coûts est le plus élevé : pour chaque dollar investi elle rapporte 1,56 \$ en bénéfices (coûts évités et avantages écosystémiques).

⁵ Note: Puisque l'inondation par embâcle n'a pu être modélisée, le terme « inondation » est utilisé de manière interchangeable dans le rapport pour signifier l'inondation en eau libre par processus de submersion ; il s'agit d'un terme technique mieux adapté.

Cette approche constitue un équilibre entre l'efficacité, le coût de la mesure, et les gains en services écosystémiques :

- Évite 70 % des coûts du secteur agricole (100 % des coûts d'érosion, 52 % des coûts des inondations)
- Coûts d'opportunité de 3,4 M\$
- Avantages environnementaux (partiels) de 2,0 M\$.

Ses avantages

Outre les coûts évités et avantages environnementaux, cette approche est sans regret du point de vue des risques climatiques. Elle s'avère robuste à l'analyse de sensibilité sur des tendances climatiques amplifiées (RCP 8.5 au 90° percentile) : ces conditions amènent même un accroissement de ses avantages par rapport au scénario de référence. Autrement dit, plus l'impact des changements climatiques sera manifeste, plus cette approche sera rentable : elle s'avère donc sans regret pour la collectivité. De plus, elle est robuste à toutes les analyses de sensibilité, à l'exception du prix des terres agricoles.

Ses inconvénients

S'il n'y a pas de dépenses d'implantation considérées, les coûts d'opportunité pour compenser la perte de revenus liée à la transformation ou l'adaptation des usages sont par contre élevés. Ils constituent un inconvénient complexe car il suscite des enjeux évidents d'acceptabilité sociale. Dans la même veine, l'analyse montre une sensibilité au prix des terres agricoles, un aspect discuté plus en détail dans le paragraphe suivant.

1) La transformation d'usage d'un corridor multialéa : une mise en œuvre à explorer

La transformation d'usage d'un corridor multialéa, qui génère la plus grande part des dommages actuels et futurs, permet d'éviter les coûts de stabilisation de berge et la plus grande fréquence des coûts liés aux inondations en eau libre. S'y ajoutent aussi des coûts évités non chiffrés d'avulsion et d'embâcles de glace. Cela laisse présager des avantages nettement plus grands dans la réalité que ce que l'analyse suggère. L'acquisition de connaissances sur ces aléas renforcerait la possibilité de quantifier ces avantages.

Les modalités de mise en œuvre dépassent le cadre de cette étude, ainsi les paramètres légaux restent à évaluer. Il existe de multiples exemples de cession d'usufruit pour l'intérêt collectif dans le monde, qui sont à inventorier et prioriser. Ils varient notamment selon le maintien du droit de propriété (servitude d'utilité publique, transfert, etc.) et l'échelle de gestion (municipalité, MRC, province, fiducie verte). De plus, l'usage de destination pourrait varier selon les caractéristiques biophysiques locales (ex. degré d'humidité), autant que les opportunités de financement : bande riveraine élargies (PDA) ou milieu humide riverain (PRMHH) ; ou des nouveaux statuts de zone de transition d'intérêt collectif à reconnaître (ex. « zone

tampon », « bande riveraine élargie », « marge de sécurité », « écotone », ou encore « zone de contrainte naturelle multialéa », selon la saveur disciplinaire souhaitée).

Par ailleurs, l'analyse de distribution montre qu'environ 22 % des coûts de cette stratégie se concentrent sur les producteurs agricoles. Actuellement, 3 programmes publics de 3 ministères et organismes différents - aide financière du MSP, indemnisation de la financière agricole pour les producteurs assurés, programme de remboursement de taxe foncière aux producteurs agricoles du MAPAQ - subventionnent ou indemnisent les usages dans la zone multialéa et contribuent à éponger plus de 70 % des dommages par le secteur public. La cohérence de ces programmes avec le cadre réglementaire (notamment environnemental) est incertaine. Les producteurs rapportent ne pas utiliser le plein potentiel de ces programmes par lourdeur administrative. Ainsi la redistribution d'une part des avantages s'avère une condition de succès, mais cela soulève aussi un besoin d'améliorer la cohérence réglementaire en matière d'indemnisation en zones à risques fluviaux dans le secteur agricole.

Ainsi, malgré les limites des connaissances, l'analyse suggère que cette mesure de transformation de certains usages est suffisamment avantageuse du point de vue économique pour explorer les modalités de mise en œuvre et analyser les ajustement réglementaires nécessaires.

2) La réduction des indemnisations collectives des dommages : à coûts prévisibles, auel seuil de tolérance ?

La deuxième mesure est la réduction des indemnisations collectives des dommages. Dans la zone inondable hors de la zone multialéa, la probabilité actuelle est moyenne (50 % à 5 %) les pertes dues aux inondations sont ponctuelles dans le temps, ce qui rend l'incitatif actuel à changer de pratiques peu convaincant pour les agriculteurs. En effet, le dommage annuel moyen (DAM) aux cultures s'étend pour l'actuel entre 22 et 252 \$ actualisés/ha/année (variant du plus grand pour les grandes cultures et l'élevage, au plus petit pour foin-pâturage).

Par contre, cette probabilité pourrait vraisemblablement augmenter – surtout en raison de la hausse significative des épisodes extrêmes estivaux en été 2050 à 2070 et vers la fin du siècle. Ainsi, l'accumulation sur 50 ans des indemnisations n'en restent pas moins un poste de dépenses publiques qui est appelé à augmenter : l'augmentation des coûts est prévisible. De plus, encore une fois, considérant les limites des connaissances sur certains aléas, ils sont sous-estimés dans l'analyse.

Pour y faire face, la modalité envisagée dans le scénario est la réglementation des cultures. Elle visait principalement à réduire les indemnisations liées aux grandes cultures. À Compton, elles sont utilisées principalement pour nourrir le bétail des fermes laitières, dans le respect des exigences dues aux superficies, liées au système de quotas.

Du point de vue de la société, même avec une compensation pour la perte de revenus, cette piste s'avère avantageuse économiquement. Par contre, du point de vue des agriculteurs, cette avenue signifie des changements importants (ex. coûts de remplacement de nourriture, voire changement de machinerie et de pratique). Ce changement soulève de la résistance et un enjeu d'adhésion. Ainsi, le partage de ce fardeau d'indemnisation mérite réflexion.

En secteur résidentiel, le fardeau croissant des indemnisations a entraîné l'adoption d'un seuil d'indemnisation maximum. Il s'agit d'une piste qui pourrait trouver un écho dans le secteur agricole. L'avantage de produire à proximité des rivières est justement lié à de meilleurs rendements par amendement naturel des terres. Il existe toutefois un seuil de rupture lorsque les événements deviennent trop fréquents ou dommageables, coûtent trop chers en surcoûts de production et pertes de qualité ou de quantité, et excèdent la valeur marchande de la terre. Ce seuil existe, mais on ne sait pas quand il se manifestera. Il faut donc suivre l'évolution des indemnisations pour en détecter l'arrivée de manière précoce.

3) L'explosion du prix de la terre : une pression réglementaire freinant l'adaptation, une réflexion sociétale

Cette évolution est influencée par la pression foncière due à la rareté des terres agricoles. Elle est particulièrement exacerbée à Compton selon les parties prenantes. En effet, la valeur de référence de l'analyse était celle de Transac-Terre (2018), à laquelle une correction fut appliquée d'un écart type pour refléter la compétitivité des rendements à Compton ainsi qu'une correction en dollar constant 2019, pour un montant de 11 660 \$/ha. Or, la valeur réelle de 2019 a été récemment publiée et la valeur de transaction régionale + 1 écart type s'élèverait déjà à plus de 16 295 \$, alors que les échanges avec la MRC suggèrent des valeurs jusqu'à 25 000 \$ de l'hectare. Il s'agit d'un doublement des prix en moins de 5 ans.

L'analyse de sensibilité a montré le poids prépondérant du prix de la terre agricole qui était le seul facteur à faire basculer l'avantage du corridor de mobilité hybride. En effet, à plus du double de la valeur utilisée, la terre excède les dommages liés aux risques et les avantages écosystémiques (à noter : partiels), malgré une baisse de rendement prévisible. Il faut aussi noter la dépendance à la stabilisation des berges dans un environnement ultra-dynamique, où l'hypothèse d'efficacité totale est loin d'être certaine.

Cet effet de spéculation crée un décalage entre le potentiel réel de production et la valeur de la transaction. Dans les règles actuelles, c'est à l'avantage du propriétaire – son fonds de retraite. Mais cela hypothèque la capacité des générations futures à prendre la relève. L'approche des fiducies agricoles est à explorer (Le Progrès, 2018; Radio-Canada, 24 mars 2021).

Parmi les facteurs identifiés, le moratoire sur l'abattage d'arbres limite la transformation de la zone agricole pour faire face à l'augmentation des risques liés aux rivières. Il y a un carrefour dont les options sont 1) un maintien de la superficie agricole par la relocalisation de parcelles à d'autres endroits à distance raisonnable, en miroir à l'investissement de 75 M\$ annoncé par le gouvernement pour soutenir la mise en place de mesures visant la relocalisation de bâtiments hors de secteurs jugés à risque élevé d'inondations (MAMH, 2020), 2) une réduction de la superficie agricole lorsque le seuil de non-rentabilité est atteint. Du point de vue de cette étude sur l'adaptation aux changements climatiques, cette limite freine la mise en place de solutions d'adaptation. Toutefois, les intérêts collectifs divergent (expansion urbaine. conservation forestière. conservation des milieux humides. réglementation de travaux en cours d'eau, autonomie alimentaire, sécurité du revenu pour les producteurs, patrimoine agricole, adaptation aux changements climatiques) et la réflexion se situe à l'échelle de la société.

Autres pistes pour une agriculture résiliente

Pour atténuer cette pression due aux inondations sur le secteur agricole, mais rester dans l'esprit de la réduction des indemnisations, d'autres modalités pourraient être envisagées.

D'une part, encourager les céréales pérennes (ex. kernza) semble prometteur, ce qui demande moins de changements des pratiques et de machinerie que transformer les céréales en foin, mais l'émergence de ce marché n'a pas permis de l'évaluer comme option concrète.

D'autre part, développer la filière de valorisation des résidus de récoltes « perdues » en raison des inondations pourrait être un levier de diversification des revenus pour affronter les années humides (ex. plastiques végétaux). Il s'agit d'une ressource et non pas d'un déchet, même si elles sont impropres à la consommation. Le traitement de ces résidus fera partie des opérations d'une manière ou l'autre. La limite réside dans le moment de l'épisode d'inondation selon le cycle végétatif ; le scénario le moins avantageux est celui où la récolte est jeune et où il faut recommencer complètement l'ensemencement.

Par ailleurs, le scénario d'adaptation des pratiques agricoles (PRA) s'inscrit dans cette démarche. Avec des micro-aménagements hydro-agricoles de rétention réparties de manière diffuse sur le territoire (tous les 7,5 ha), cette mesure contribue à équilibrer l'effet du drainage agricole sur les pics de crues. L'efficacité gagnerait à être davantage documentée, mais il y a place à optimiser le rapport coûts-efficacité et à mieux chiffrer les retombées environnementales. En effet, avec une valeur partielle de l'environnement, la mesure est déjà légèrement au-dessus du seuil de rentabilité collective, ce qui laisse présager un bilan réel plus que positif. De plus, il s'agit de la seule approche qui génère des coûts évités liés aux cônes alluviaux.

Ces pratiques s'alignent avec le *Plan d'Agriculture Durable*, dont l'axe biodiversité. Elles pourraient faire partie d'une première phase concrète de mise en œuvre des bonnes pratiques. **L'idée à retenir est l'avantage collectif des pratiques durables permettant de bons rendements, résilientes aux événements extrêmes, et qui permettent de rester sous un seuil tolérable d'indemnisation collective.**

Les scénarios extrêmes de contrôle de la rivière ou de réduction maximale de risque ne sont pas avantageux

Les résultats suggèrent aussi que les scénarios extrêmes de contrôle maximal de la rivière ou de réduction totale des risques ne sont pas avantageux.

Parmi les options structurelles envisagées (dragage, bassins et bassin surdimensionné), toutes avaient une efficacité et une portée spatiale limitées, pouvant même accentuer les aléas ailleurs. Aussi, plus elles étaient ambitieuses, plus elles étaient coûteuses, mais sans gain d'efficacité (même moindre pour le bassin surdimensionné). Cela souligne le puits monétaire qu'elles représentent. Malgré cela, leur acceptabilité est forte et les producteurs réclament des assouplissements pour le dragage ou des investissements pour les bassins surdimensionnés, c'est une solution du moindre effort individuel. Cela pointe vers la nécessité de mobiliser les connaissances sur la dynamique des rivières et le besoin de démystifier le sentiment de sécurité offert par ces avenues.

Cette leçon résonne aussi sur la stabilisation de berges. Vu le degré de méandrement (sinuosité) de certains secteurs, il faut reconnaître le défi de contrôle de la position du chenal. La stabilisation a amené un tracé de rivière artificiellement linéaire qui n'est pas à en équilibre géomorphologique. Ainsi, les épisodes torrentiels pourraient amener des réajustements et rendre caduques les investissements. Outre les structures rigides de stabilisation, aucune alternative 100 % efficace n'a pu être envisagée. La mesure optimisée mise sur la végétalisation pour améliorer les services écosystémiques. La grande valeur des terres peut justifier l'investissement, dans le scénario du statu quo. Mais est-ce cohérent avec la tendance de gestion des cours d'eau ? Cela s'inscrit à contre-courant de l'évolution des pratiques probantes, autant que de la réglementation actuelle relative aux berges. L'interprétation relative à l'admissibilité des enrochements comme travaux en cours d'eau semble hétérogène d'une région à l'autre : soit elle s'applique, soit une dérogation mérite d'être réfléchie, justifiée par la valeur des terres. Davantage de sensibilisation pour exposer cette complexité auprès de divers publics renforcera le dialoque.

À l'autre bout du spectre des stratégies, le corridor vert intégral dans la zone d'inondabilité ne s'avère pas non plus le plus avantageux collectivement. L'approche consiste à convertir l'ensemble des terres en zone de liberté pour la rivière, ce qui atténue le risque à près de zéro en réduisant les actifs agricoles. Les avantages principaux sont l'efficacité (100 % des coûts évités), mais aussi la maximisation des services écosystémiques. Il faut reconnaître que les coûts d'opportunité sont dans des

ordres de grandeur avoisinant ceux des dommages, ce qui lui donne dans cette analyse une VAN positive. Toutefois, elle présente plusieurs inconvénients: elle ne capte pas les conséquences sur l'économie régionale, si la valeur des terres double, son coût aussi, et surtout, elle est loin d'être acceptable tant pour les producteurs que pour la société. Il faut reconnaître qu'un certain niveau de risque est tolérable et nécessaire pour permettre au moteur socio-économique que représente l'agriculture de se perpétuer. Ce seuil reste à définir (voir plus haut) et cette étude souligne la nécessité d'une perspective multialéa pour y arriver.

7.3. LES LIMITES ET SOURCES D'INCERTITUDE

Voici les principales limites de l'étude.

- Secteur des routes: Les infrastructures routières ont été exclues car 1) les données de durée d'inondation n'existent pas mais elle sont critiques pour la quantification du coût des détours routiers ou des pertes de productivité 2) il est assumé que les routes essentielles seront réparées peu importe le scénario, donc ce poste d'impact n'est pas sensible à l'option choisie; il s'agit par contre de dépenses collectives non négligeables en gestion des inondations qui rehausse l'ampleur d'une option de non-intervention et justifier davantage d'intervenir.
- Quantification de l'érosion: L'approche de quantification de l'érosion choisie se base sur les coûts de remplacement dans la zone de contrainte d'érosion. L'état de l'art, mais à un coût géomatique plus élevé, consiste à projeter sur une base annuelle l'évolution de la ligne des hautes eaux. Cela permet de préciser l'année à laquelle les bâtiments et sinistrés sont touchés. Cela permettrait de comptabiliser les impacts psychosociaux liés à l'érosion, ainsi que davantage d'impacts de gestion des urgences. De plus, cette approche offre la possibilité d'optimiser les scénarios dans le temps, ce qui n'a pas été possible. Conséquemment, il est recommandé d'améliorer cet aspect.

Choix des modules de services écosystémiques par InVEST: Cette étude a considéré 3 modules (qualité de l'eau, qualité de l'habitat et séquestration du carbone) et reflète une valeur partielle et minimale des services écosystémiques. D'autres modules s'offrent: pollinisation, valeur récréative, paysage, carbone bleu. En conséquence, les impacts des scénarios sur les milieux aquatiques n'ont pu être captés, un élément significatif, notamment pour refléter les inconvénients du dragage mais aussi les bénéfices d'ajouter des milieux hydriques et humides. Il reste sans regret du point de vue des services écosystémiques de se diriger vers l'approche hybride, mais l'ajout de modules, notamment le carbone bleu, est à envisager.

La modélisation des services écosystémiques par les outils InVEST contient également des sources d'incertitudes identifiables à plusieurs endroits dans la chaine de modélisation, notamment au niveau de la qualité des données et de la précision dans la caractérisation biophysique des classes d'utilisation du territoire. Par exemple, les modèles de qualité de l'eau utilisées captent difficilement la complexité des dynamiques urbaines et sont mieux adaptés aux environnements péri-urbains qui obéissent davantage au régime naturel d'écoulement. De plus, comme il s'agit d'un domaine de recherche en émergence, peu de références existent pour produire une phase de validation rigoureuse des résultats de charge et de flux, tant au niveau biophysique qu'en valorisation économique. Les options de calibration étant par ailleurs limitées dans l'utilisation des modèles InVEST, la jonction entre les produits modélisés et les dynamiques observables sur le terrain demeure imprécise puisque la représentativité reste difficile à évaluer.

• Zone de modélisation de la rivière: La modélisation se restreint aux deux premiers segments fluviaux en raison de la dynamique complexe induite par le barrage de Waterville. Conséquence: un manque d'environ un tiers des coûts autant que des avantages. Toutefois, cela n'apparaît pas un obstacle à généraliser des stratégies d'ensemble comme le corridor de mobilité.

7.4. CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette analyse visait principalement à comparer différents scénarios d'adaptation en milieu fluvial afin de déterminer celles qui seraient les plus avantageuses économiquement à mettre en place à Compton.

L'analyse de risque a d'abord permis d'identifier les foyers de dommages : le grand potentiel de coûts à éviter dans le corridor multialéa, dont les conséquences sont principalement pour le secteur agricole.

Ensuite, l'analyse économique fournit deux indicateurs économiques, la valeur actualisée nette et le ratio avantages-coûts, qui peuvent aider les décideurs locaux, régionaux et nationaux à faire des choix mieux adaptés aux défis auxquels seront confrontées les communautés fluviales lors des 50 prochaines années.

Les résultats de l'ACA indiquent clairement que le scénario le plus avantageux économiquement pour l'ensemble de la société est l'approche de mobilité de la rivière dans un étroit corridor multialéa avec adaptation des usages durables et résilients dans les secteurs à risque moindre dans la municipalité de Compton (MOB-HYB). Les avantages excèdent les coûts, car les dommages évités du secteur agricole combinés à l'amélioration des services écosystémiques dépassent la valeur de la perte d'usages dans le corridor multialéa.

En conclusion, cette analyse a montré que les scénarios les plus avantageux économiquement sont ceux qui évitent une grande part des coûts dans les secteurs multialéa, améliorent les services écosystémiques, permettent des usages durables dans les secteurs à moindre risque, tout en coûtant moins cher à réaliser et en étant robuste face à l'incertitude liée aux risques climatiques. Par contre, la mise en œuvre de l'adaptation repose sur des questions collectives qu'il reste à résoudre : Comment opérer la transformation d'usage d'un corridor multialéa au bénéfice de la collectivité ? Quel est le seuil de tolérance face à l'augmentation anticipée des indemnisations collectives des dommages agricoles et comment partager ce fardeau entre les individus et la société ? Comment réagir à l'explosion du prix de la terre tout en favorisant l'adaptation ? La résilience des usages et pratiques agricoles face aux risques fluviaux pourraient ainsi se greffer aux problématiques émergentes à prendre en compte dans les politiques publiques, tel que le Plan d'agriculture durable 2020-2030.



8. RÉFÉRENCES

AGRCQ – ASSOCIATION DES GESTIONNAIRES RÉGIONAUX DES COURS D'EAU DU QUÉBEC. (2018). L'AUTORISATION GÉNÉRALE EN VERTU DE L'ARTICLE 31.0.5.1. DE LA LOI SUR LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT. HTTP://AGRCQ.CA/WP-CONTENT/UPLOADS/2018/04/TABLEAU_AG.PDF

ARROW, K. J., CROPPER, M. L., GOLLIER, C., GROOM, B., HEAL, G. M., NEWELL, R. G., WEITZMAN, M. L. (2014). SHOULD GOVERNMENTS USE A DECLINING DISCOUNT RATE IN PROJECT ANALYSIS? REVIEW OF ENVIRONMENTAL ECONOMICS AND POLICY. 145-163. 10.1093/REEP/REU008

BERGSTRAND, J. H., LARCH, M., & YOTOV, Y. V. (2015). ECONOMIC INTEGRATION AGREEMENTS, BORDER EFFECTS, AND DISTANCE ELASTICITIES IN THE GRAVITY EQUATION. EUROPEAN ECONOMIC REVIEW. 307-327. 10.1016/j.euroecorev.2015.06.003

BIRON, P., BUFFIN-BÉLANGER, T., LAROCQUE, M., DEMERS, S., OLSEN, T., OUELLET, M. A., NEEDELMAN, M. (2013). ESPACE DE LIBERTÉ: UN CADRE DE GESTION INTÉGRÉE POUR LA CONSERVATION DES COURS D'EAU DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES. OURANOS. HTTPS://www.ouranos.ca/publication-scientifique/rapportbironetal2013_fr.pdf

BONNIFAIT, L. (2005). DÉVELOPPEMENT DE COURBES SUBMERSION-DOMMAGES POUR L'HABITAT RÉSIDENTIEL QUÉBÉCOIS. [MÉMOIRE DE MAÎTRISE. INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE] INRS-ETE. HTTP://ESPACE.INRS.CA/ID/EPRINT/398/1/T000392.PDF

BOYER-VILLEMAIRE, U., SIMARD, C., LAMY, A., ROQUES, J., MORIN, H., DESJARDINS, R., HEINRICH, D. (2021). ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AUX INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX EN CONTEXTE DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES : GUIDE MÉTHODOLOGIQUE. RAPPORT PRÉSENTÉ À RESSOURCES NATURELLES CANADA. OURANOS. MONTRÉAL 114 p. + ANNEXES.

HTTPS://www.ouranos.ca/wp-content/uploads/GuideBoyerVillemaire2021_FR.pdf

BOYER-VILLEMAIRE, U., LAMY, A., DESJARDINS, R., ROQUES, J., SIMARD, C., HEINRICH, H., MORIN, H. (2021B). ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AUX INONDATIONS ET ALÉAS FLUVIAUX DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE CHAUDIÈRE. RAPPORT PRÉSENTÉ À RESSOURCES NATURELLES CANADA. OURANOS. MONTRÉAL. 143 P. + ANNEXES.

HTTPS://WWW.OURANOS.CA/WP-CONTENT/UPLOADS/RAPPORTBOYERVILLEMAIRE2021B_FR.PDF

CIRCÉ, M., DA SILVA, L., BOYER-VILLEMAIRE, U., DUFF, G., DESJARLAIS, C. ET MORNEAU, F. (2016). ANALYSE COÛTS-AVANTAGES D'OPTIONS D'ADAPTATION EN ZONE CÔTIÈRE AU QUÉBEC – RAPPORT SYNTHÈSE. OURANOS. HTTPS://www.ouranos.ca/publication-scientifique/rapport-synth%c3%a8se_qc.pdf

COGESAF. (2006). PLAN DIRECTEUR DE L'EAU : ANALYSE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS. HTTP://www.cogesaf.oc.ca/wp-content/pde/analyse_web/partie_1_analyse.pdf

COGESAF. (2020). PROJET D'ACTIONS DANS LES BASSINS VERSANTS DES CÔNES ALLUVIAUX DE COMPTON, PHASE I: ANALYSE DE PRIORISATION DES CÔNES ALLUVIAUX. http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2020/04/c%c3%84nes-alluviaux-priorisation-bv.pdf

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. (2015A). AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES DIMINUANT L'ÉROSION ET AMÉLIORANT L'ÉGOUTTEMENT DE L'EAU DE SURFACE - FRAIS D'IMPLANTATION ET D'ENTRETIEN. AGDEX570/821A

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC. (2015B). AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES STABILISANT LES BERGES - FRAIS D'IMPLANTATION ET D'ENTRETIEN. AGDEX570/821B.

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2018A). MAÏS FOURRAGER - BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 111/821A)

HTTPS://WWW.CRAAQ.QC.CA/PUBLICATIONS-DU-CRAAQ/MAIS-FOURRAGER-BUDGET-A-L_HECTARE-2018-AGDEX-111821A/P/PREF0264

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2018B). FOIN DE LUZERNE ET DE MIL SANS PLANTE-ABRI - BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 121/821 2018). https://www.craaq.qc.ca/publications-du-craaq/foin-de-luzerne-et-de-mil-sans-plante-abri-budget-octobre-2018/p/pref0069

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2018C). PÂTURAGE EN ROTATION- BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 130/821 2018).

HTTPS://www.craao.oc.ca/publications-du-craao/paturage-en-rotation-budget-2018/p/pref0079

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2019A). MAÏS-GRAIN - BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 111/821B 2019).

https://www.craao.oc.ca/publications-du-craao/mais-grain-budget-a-l_hectare-2019/p/pref0235_

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2019B). SOYA - BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 141/821 2019).

https://www.craaq.qc.ca/publications-du-craaq/soya-rendements-2019-agdex-141854/p/pref0175

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2019C). BLÉ D'ALIMENTATION ANIMALE - BUDGET À L'HECTARE (AGDEX 112/821B 2019).

HTTPS://www.craaq.qc.ca/publications-du-craaq/soya-rendements-2019-agdex-141854/p/pref0175

CRAAQ - CENTRE DE RÉFÉRENCE EN AGRICULTURE ET AGROALIMENTAIRE DU QUÉBEC (2019D). ORGE D'ALIMENTATION ANIMALE - BUDGET À L'HECTARE AGDEX 114/821A 2019). HTTPS://www.craaq.qc.ca/publications-du-craaq/orge-d_alimentation-animale-budget-2019/p/pref0261

CMI – COMMISSION MIXTE INTERNATIONAL LAC CHAMPLAIN ET RIVIÈRE RICHELIEU (IN PREP.) PROJET D'ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES OPTIONS D'ADAPTATION AU LAC CHAMPLAIN ET À LA RIVIÈRE RICHELIEU.

CROPPER, M. L., (2012). HOW SHOULD BENEFITS AND COSTS BE DISCOUNTED IN AN INTERGENERATIONAL CONTEXT? RESOURCES FOR THE FUTURE. RESOURCES FOR THE FUTURE

HTTPS://MEDIA.RFF.ORG/DOCUMENTS/RFF-DP-12-42.PDF

DEMERS S., MASSÉ S., BUFFIN-BÉLANGER T. (2017) CARTOGRAPHIE DES ALÉAS FLUVIAUX DE LA RIVIÈRE COATICOOK : DIAGNOSTIC, MÉTHODOLOGIE ET RECOMMANDATIONS. LABORATOIRE DE GÉOMORPHOLOGIE ET DYNAMIQUE FLUVIALE, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI.

http://cogesaf.qc.ca/wp-content/uploads/2018/11/demers-et-al.-2017-cartographie-des-al%c3%a9as-fluviaux-de-la-vall%c3%a9e-de-coaticook.pdf

DESJARLAIS, C. ET LARRIVÉE, C. (2011). ANALYSE ÉCONOMIQUE DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN MATIÈRE DE DRAINAGE URBAIN AU QUÉBEC : COMPARAISON DE DIVERSES STRATÉGIES D'ADAPTATION POUR UN SECTEUR DE MONTRÉAL. OURANOS.

HTTPS://www.ouranos.ca/publication-scientifique/rapportdesjarlais2011_fr.pdf

FINANCIÈRE AGRICOLE DU QUÉBEC. (2018). BASE DE DONNÉES DES PARCELLES ET PRODUCTIONS AGRICOLES DÉCLARÉES (V.3) [FICHIER DE FORME]. FADQ.

HTTPS://WWW.FADQ.QC.CA/FILEADMIN/GEO4TB/BDPPAD/BDPPAD_v03_2018.ZIP

FADQ - FINANCIÈRE AGRICOLE DU QUÉBEC. (2019, JUIN). BULLETIN TRANSAC-TERRES ÉDITION 2019. <u>HTTPS://www.fadq.qc.ca/fileadmin/fr/bulletins/transac-terres-2019.pdf</u>

FAVREAU-PERREAULT, S. (2016). DIAGNOSTIC DE TERRITOIRE. MRC DE COATICOOK. <u>HTTPS://compton.ca/nouvelles/wp-content/uploads/2017/03/plan-de-developpement-diagnostic-de-territoire-compton.pdf</u>

FEMA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (2009). HAZUS-MH: TECHNICAL MANUAL. DEPARTMENT OF HOMELAND SECURITY. HTTPS://www.fema.gov/sites/default/files/2020-09/fema_hazus_flood-model_technical-manual_2.1.pdf

GROUPE D'ÉTUDES ET D'OBSERVATION SUR LES DRAGAGES ET L'ENVIRONNEMENT (2012). SUIVIS ENVIRONNEMENTAUX DES OPÉRATIONS DE DRAGAGE ET D'IMMERSION ANNEXE 2 : EFFETS ET IMPACTS DES OPÉRATIONS DE DRAGAGE ET D'IMMERSION SUR L'ENVIRONNEMENT. GEODE.

HTTPS://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/02/annexe_technique_effets__impacts_c le0751e9.pdf

GIEC - GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT. (2014). CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2014: ATTÉNUATION DE CHANGEMENT CLIMATIQUE. CONTRIBUTION DU GROUPE DE TRAVAIL III AU CINQUIÈME RAPPORT D'ÉVALUATION DU GIEC. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

HTTPS://ARCHIVE.IPCC.CH/PDF/ASSESSMENT-REPORT/AR5/WG3/IPCC_WG3_AR5_FULL.PDF

GOLLIER, C. (2011). PRICING THE FUTURE: THE ECONOMICS OF DISCOUNTING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT [DOCUMENT INEDIT] PRINCETON UNIVERSITY PRESS

HTTP://IDEI.FR/SITES/DEFAULT/FILES/MEDIAS/DOC/BY/GOLLIER/PRICING_FUTURE.PDF

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. (2020). PLAN POUR UNE ÉCONOMIE VERTE 2030 : PLAN DE MISE EN ŒUVRE 2021-2026.

https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/planeconomie-verte/plan-mise-oeuvre-2021-2026.pdf?1608758955

JP CADRIN ET ASSOCIÉS. (2021, AVRIL). MRC DE COATICOOK, TAUX À L'HECTARE DES TERRES AGRICOLES. [COMMUNICATION PERSONNELLE].

LAVELL, A., OPPENHEIMER, M., DIOP C., HESS J., LEMPERT R., LI J., MUIR-WOOD R. AND MYEONG, S. 2012: CLIMATE CHANGE: NEW DIMENSIONS IN DISASTER RISK, EXPOSURE, VULNERABILITY, AND RESILIENCE. MANAGING THE RISKS OF EXTREME EVENTS AND DISASTERS TO ADVANCE CLIMATE CHANGE ADAPTATION. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

HTTPS://WWW.IPCC.CH/SITE/ASSETS/UPLOADS/2018/03/SREX-CHAP1 FINAL-1.PDF

LE PROGRÈS. (2018, 12 OCTOBRE). UNE TERRE BIO PROTÉGÉE À PERPÉTUITÉ À COATICOOK. HTTPS://www.leprogres.net/2018/10/12/une-terre-bio-protegée-a-perpetuite-a-coaticook/

MAILHOT, R (2016). ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ ENVIRONNEMENTALE DE DIFFÉRENTS FOSSÉS AVALOIRS ADAPTÉS EN MILIEU AGRICOLE. MÉMOIRE. QUÉBEC, UNIVERSITÉ LAVAL. 84 P. HTTP://HDL.HANDLE.NET/20.500.11794/27307

MAMH - MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'HABITATION. (2020) PLAN DE PROTECTION DU TERRITOIRE FACE AUX INONDATIONS : DES SOLUTIONS DURABLES POUR MIEUX PROTÉGER NOS MILIEUX DE VIE. HTTPS://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/plan_protection_territoire_inondations/pla_inondations.pdf

MAMH - MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DE L'HABITATION. (2018) RÔLE D'ÉVALUATION FONCIÈRE POUR LA MUNICIPALITÉ DE COMPTON. BASE DE DONNÉES.

MELCC - MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (2017). UTILISATION DU TERRITOIRE. [FICHIER DE FORME].

HTTPS://WWW.DONNEESQUEBEC.CA/RECHERCHE/DATASET/UTILISATION-DU-TERRITOIRE

MELCC - MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (2018). STRATÉGIE QUÉBÉCOISE DE L'EAU 2018-2030. HTTP://www.mddelcc.gouv.oc.ca/eau/strategie-ouebecois

MELCC - MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (2020). APPEL À PROJETS ET INSTRUCTIONS – VOLET 2 DE L'AIDE FINANCIÈRE DU PROGRAMME DE RESTAURATION ET DE CRÉATION DE MILIEUX HUMIDES ET HYDRIQUES.

WWW.ENVIRONNEMENT.GOUV.QC.CA/PROGRAMMES/PRCMHH/APPEL-PROJETS-INSTRUCTIONS-VOLET-2.PDF

MELCC - MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES. (2021). FICHE SIGNALÉTIQUE DE LA STATION 030215. EXPERTISE HYDRIQUE ET BARRAGES. HTTPS://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/fiche_station.asp?no station=030215

MONTMARQUETTE C., ET SCOTT, I. (2007). TAUX D'ACTUALISATION POUR L'ÉVALUATION D'INVESTISSEMENTS PUBLICS AU QUÉBEC (PUBLICATION NO. 2007RP-02.PDF). CIRANO. HTTP://www.cirano.qc.ca/pdf/publication/2007RP-02.PDF

MRC DE COATICOOK (2018). SCHÉMA D'AMÉNAGEMENT ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE. HTTPS://www.mrcdecoaticook.oc.ca/sadd/sadd/s20complet_decembre%202018.pdf

MRC DE COATICOOK (2018) RÉSUMÉ DES MODIFICATIONS ASSOCIÉES AUX CONTRAINTES NATURELLES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE COATICOOK : PROJET DE RÈGLEMENT NUMÉRO 6-25.1 MODIFIANT LE SADD 6-25 DE LA MRC DE COATICOOK POUR CONSULTATION PUBLIQUE.

https://www.mrcdecoaticook.qc.ca/sadd/projet%20de%20modification/r%c3%a9sum%c3%a9_projet%206-25.1_juin%202018_ac.pdf

MSP - MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE. (2018) PLAN D'ACTION EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ CIVILE RELATIF AUX INONDATIONS: VERS UNE SOCIÉTÉ QUÉBÉCOISE PLUS RÉSILIENTE AUX CATASTROPHES. HTTPS://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/securite_civile/inondation/plan_action_inondations.pdf

MSP - MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE. (2019) PROGRAMME GÉNÉRAL D'INDEMNISATION ET D'AIDE FINANCIÈRE. DÉCRET 403-2019.

MTQ - MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2019). DÉBIT DE CIRCULATION [FICHIER DE FORME]. https://www.transports.gouv.oc.ca/fr/pages/default.aspx

PENNING-ROWSELL, E., PRIEST, S., PARKER, D., MORRIS, J., TUNSTALL, S., VIAVATTENE, C., CHATTERTON, J., & OWEN, D. (2013). FLOOD AND COASTAL EROSION RISK MANAGEMENT: A MANUAL FOR ECONOMIC APPRAISAL (1ST ED.). ROUTLEDGE.

HTTPS://DOI.ORG/10.4324/9780203066393

PREGNOLATO, M., FORD, A., WILKINSON, S. M., & DAWSON, R. J. (2017). THE IMPACT OF FLOODING ON ROAD TRANSPORT: A DEPTH-DISRUPTION FUNCTION. TRANSPORTATION RESEARCH PART D: TRANSPORT AND ENVIRONMENT, 55, 67-81.

RADIO-CANADA. (2021, 24 MARS). LA VALEUR DES TERRES AGRICOLES NE CESSE DE GRIMPER AU QUÉBEC. HTTPS://ICI.RADIO-CANADA.CA/NOUVELLE/1779780/HAUSSE-PRIX-TERRES-AGRICOLES-AGRICULTURE-QUEBEC

RONDEAU-GENESSE, G. ET BRAUN, M. (2020). PRODUCTION DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES POUR LES PROJETS: IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES DÉBITS AU QUÉBEC (CQ2) ET LA THÉMATIQUE ÉVOLUTION DU CLIMAT DU PROJET DE SOUTIEN À INFO-CRUE; RAPPORT TECHNIQUE. OURANOS.

RIEUSSEC, E. (2018). ANALYSE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS MODES DE GESTION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE EN MILIEUX TERRESTRE ET MARIN. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE. HTTPS://SAVOIRS.USHERBROOKE.CA/HANDLE/11143/7423

SAMBE, A. M., DOGOUA F-H. (2016). GUIDE DE L'ANALYSE AVANTAGES-COÛTS DES PROJETS PUBLICS EN TRANSPORT ROUTIER. PARTIE 2: PARAMÈTRES VALEURS DE 2015. MINISTÈRE DES TRANSPORTS, DE LA MOBILITÉ DURABLE ET DE L'ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS.

SÉCURITÉ PUBLIQUE CANADA (2015). INONDATIONS.

HTTPS://WWW.SECURITEPUBLIQUE.GC.CA/CNT/MRGNC-MNGMNT/NTRL-HZRDS/FLD-FR.ASPX

SHARP, R., DOUGLASS, J., WOLNY, S., ARKEMA, K., BERNHARDT, J., BIERBOWER, W., CHAUMONT, N., DENU, D., FISHER, D., GLOWINSKI, K., GRIFFIN, R., GUANNEL, G., GUERRY, A., JOHNSON, J., HAMEL, P., KENNEDY, C., KIM, C.K., LACAYO, M., LONSDORF, (...) E., MANDLE. (2015). INVEST 3.9.0 USER'S GUIDE. THE NATURAL CAPITAL PROJECT, UNIVERSITÉ STANFORD.

HTTPS://STORAGE.GOOGLEAPIS.COM/RELEASES.NATURALCAPITALPROJECT.ORG/INVEST-USERGUIDE/LATEST/INDEX.HTML

STATISTIQUE CANADA. (2011). PROFIL DU RECENSEMENT, RECENSEMENT DE 2011, PRODUIT N° 98-316-X2011001 AU CATALOGUE DE STATISTIQUE CANADA, OTTAWA. CONSULTÉ EN LIGNE 2021/03/31. HTTPS://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/dp-pd/prof/index.cfm?lang=f

STATISTIQUE CANADA. (2017). PROFIL DU RECENSEMENT, RECENSEMENT DE 2016 (PRODUIT N° 98-316- \times 2016001)

HTTPS://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?lang=f

TRUDEL, M., GOBJI, S. (2020) PROJECTION ET SCÉNARISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE - RIVIÈRE COATICOOK [NON PUBLIÉ]. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.

HTTPS://WWW.ouranos.ca/wp-content/uploads/RapportTrudeLGobji2020_FR.pdf

UICN FRANCE. (2018). LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE POUR LUTTER CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET RÉDUIRE LES RISQUES NATURELS EN FRANCE. PARIS, FRANCE. <u>HTTPS://UICN.FR/WP-CONTENT/UPLOADS/2018/Q6/BROCHURE-SFN-MAI2018-WEB-OK.PDF</u>

UNIVERSITÉ LAVAL. (2018). ATLAS WEB DE LA VULNÉRABILITÉ DE LA POPULATION QUÉBÉCOISE AUX ALÉAS CLIMATIQUES. HTTPS://ATLAS-VULNERABILITE.ULAVAL.CA/PROJET/

WEBSTER, A., GAGNON-LEBRUN, F., DESJARLAIS, C., NOLET, J., SAUVÉ, C., ET UHDE, S. (2008). L'ÉVALUATION DES AVANTAGES ET DES COÛTS DE L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES. OURANOS. https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/rapportwebster2008_fr.pdf

WOOD, S.L.R., DUPRAS, J., BERGEVIN, C., KERMAGORET, C. (2019). LA VALEUR ÉCONOMIQUE DES ÉCOSYSTÈMES NATURELS ET AGRICOLES DE LA COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE QUÉBEC ET DE LA TABLE DE CONCERTATION RÉGIONALE POUR LA GESTION INTÉGRÉE DU SAINT-LAURENT. OURANOS. HTTPS://www.ouranos.ca/publication-scientifique/rapportcmo2019.pdf



ANNEXES

ANNEXE I: ACTIVITÉS DE MOBILISATION DES PARTIES PRENANTES

1. Initiation du projet

À la fin novembre 2018, la mobilisation des membres de l'équipe technique et la première approche des parties prenantes, incluant une partie du CLS, ont été assurées par l'entremise du COGESAF et du ROBVQ. L'ensemble des intervenants a convenu du bien-fondé de la mobilisation et de la construction collective des solutions proposées dans le cadre de ce projet. L'accent a rapidement été mis sur la nécessité de s'appuyer sur le réseau mobilisé dans le cadre de la Rés-Alliance (2017-2020), ainsi que dans celui des travaux menés par l'UQAR sur l'espace de liberté de la rivière Coaticook (Demers et al. 2017).

2. Lancement public et premier CLS

Quatre mois après cette rencontre, un communiqué de presse a initié publiquement le projet. L'élocution du maire de Compton a donné lieu à la première rencontre du CLS. Elle avait pour objectifs de présenter le projet, valider les hypothèses économiques et l'approche méthodologique, d'effectuer un premier recensement des enjeux du territoire, dresser une première ébauche du scénario de référence, ainsi que du protocole de l'« Assemblée Consultative de Priorisation » (ACP). Comme les terres agricoles souffrent de la majorité des dommages causés par les aléas fluviaux, il est conclu de composer l'ACP avec des producteurs.

Au début de l'été 2019, deux rencontres techniques ont permis d'arrimer les limites des différents territoires de modélisation, de préciser l'enchaînement méthodologique et d'identifier les contraintes de mise en œuvre. Le territoire d'intérêt pour mobiliser les usagers s'est arrêté sur les parcelles bordant la rivière. Cet arbitrage a aussi été guidé par le degré d'exposition aux événements ultérieurs. Certaines parcelles agricoles ont été identifiées et une liste a été transmise à l'UPA fédération de l'Estrie.

À ce stade, la tenue d'un jury citoyen a été écartée pour s'ajuster à la lenteur de production de la modélisation des débits et niveaux d'eau, et conséquemment de l'analyse économique. Le choix s'est porté sur une analyse multicritère sociale afin de conserver l'avantage de capter à la fois les aspects intangibles associés à la mise en place des solutions étudiées, mais aussi de pondérer leur acceptabilité.

3. Second CLS

Tenu à l'automne 2019, le second CLS a permis d'ajuster et de valider les éléments discutés en CT concernant la structure et la composition de l'ACP, de poursuivre les arrimages entre les différentes hypothèses, le contenu et les méthodologies associés aux autres composantes de l'ACA. Les retombées ont été 1) le choix des catégories de mesures pour initier la construction des scénarios avec l'ACP; 2) l'intégration de l'hydrogéomorphologie dans l'analyse 3) l'identification des producteurs pour l'ACP.

4. Premier atelier de l'ACP

En novembre 2019, la tenue du premier atelier de l'ACP sur toute une journée a eu pour point central la formation et l'implication des participants à deux ateliers de cartographie participative. Soutenue par l'UPA Fédération de l'Estrie et la MRC de Coaticook, le recrutement a abouti à l'engagement de 11 participants (soit 92 % de de taux de participation, un seul refus circonstanciel).

Le premier exercice visait l'identification des territoires où se manifestent les aléas (inondation, érosion), les vulnérabilités (actifs, exposition, sensibilité des cultures, ...) et les impacts devant à considérer (réclamations et pertes nettes). Ces informations ont contribué à enrichir la matrice d'impacts et le scénario de référence, et ont été traduites dans un système d'information géographique (SIG).

Le deuxième exercice de cartographie participative portait sur les mesures d'adaptation. Après la présentation de chacune des mesures et leurs principaux coûts et avantages, la cartographie participative a permis de localiser les portions du territoire pouvant en bénéficier, ainsi que les propriétaires concernés. Certaines mesures ont rapidement été écartées, mais au total 4 grandes catégories ont été retenues pour faire partie des scénarios finaux. Certains membres de l'assemblée ont montré une ouverture à la modification de pratiques, mais peu des usages.

Cette activité, essentielle pour le bon déroulement du projet, a permis d'assurer un transfert de connaissance et d'informations des experts vers les usagers (théorie, faisabilité, réglementation, ...), mais aussi réciproquement (cas concrets de création de bassins de rétention, mémoire des fréquences d'enrochements, évolution des méandres, ...).

Les résultats, une fois numérisés et géoréférencés, ont permis au comité technique de consolider les choix de scénarios. Après validation dans par le CLS (par courriel), ils ont été transmis aux experts en modélisation des niveaux d'eau à l'Université de Sherbrooke pour évaluer leur efficacité réelle. Ces choix ont été guidés par les facteurs d'acceptabilité, directement issus des discussions, de catégorisation des mesures (vertes, grises, pratiques, usages), ainsi que d'efficacité anticipée sur l'atténuation de l'aléa.

5. Troisième et quatrième CLS

Le troisième CLS a été tenu à la fin du mois de mars 2020 dans le but premier de présenter une version finale de la grille des impacts à quantifier ainsi que des premiers résultats de modélisation hydraulique (calibration et statu quo). La formule et la période de tenue du second atelier de l'ACP dans la perspective de la production des résultats de la modélisation des différents scénarios a été validée. Du fait de la situation nationale issue de la pandémie de COVID-19 et de son évolution envisagée, il a été convenu que le second atelier ne pourrait se tenir en présentiel. Les échéances ont été revues pour s'ajuster à la production des résultats, au calendrier agricole et à l'organisation d'un atelier dématérialisé.

Préalablement à la tenue du second atelier d'ACP, l'équipe de projet a présenté l'ensemble des résultats, les conclusions et enjeux soulevés consolidés au CLS (4). Cette activité a permis d'affiner la présentation (contenu, forme), les messages à transmettre aux agriculteurs, et suivre la remobilisation de l'ensemble des agriculteurs du territoire avec l'UPA. Les principaux extrants du CLS auront été l'identification du besoin de simplification de la présentation et de reformulation de certaines des recommandations. En outre, compte tenu des résultats de l'étude, les solutions ayant les meilleures VAN pourraient rencontrer une importante résistance à l'appropriation par le milieu agricole.

6. Deuxième atelier de l'ACP

Le second atelier de l'ACP s'est tenu durant deux heures sur la plateforme Zoom et visait :

- La présentation des résultats (45 minutes): Cette présentation a mis l'accent sur la composition des scénarios, la méthodologie comme la monétisation des coûts et avantages en milieu agricole, les indicateurs économiques des scénarios et des analyses d'éléments résiduels.
- Un entretien semi-dirigé sur les préférences et obstacles à l'adaptation (45 minutes) : Les préoccupations résiduelles majeures collectées durant ces discussions sont les suivantes
 - La sous-estimation de la valeur des terres de Compton, qui interagit 1) une part de résistance à céder du terrain en l'absence de relocalisation ailleurs, 2) le manque de latitude vis-à-vis de l'extension des territoires agricoles sur d'autres types d'usages (forestier, MHH).
 - L'existence de systèmes non officiels pour faire face aux aléas et permettre le rétablissement, sans systématiquement faire appel aux mécanismes de compensation du MSP par exemple, souligne une certaine tolérance à vivre avec le risque malgré les coûts engendrés
 - Demande de faciliter l'accès aux territoires agricoles pour que des mesures visant à réduire la vulnérabilité (plutôt que le risque) suscite davantage d'adhésion sociale.
 - Le vote sur les scénarios a reflété ces préoccupations: une équivalence entre la mobilité hybride (incluant des modifications dans les pratiques agricoles) et celui de stabilisation efficace (bassin surdimensionné) met en valeur le fossé existant entre les perceptions: le souhait du moindre effort individuel concédé vs la perception d'un grand pouvoir d'action collective. Soulignons aussi le faux sentiment de sécurité

- suscité par les infrastructures traditionnelles. Devant l'absence d'incitatif individuel suffisant, le second choix s'est porté sur le statu quo (poursuite de l'enrochement).
- En dépit de ces préoccupations, la satisfaction exprimée dans le clavardage et de vive voix était néanmoins bonne (de 4 à 5/5) ; mise à part une certaine résistance au format virtuel.

Justement, parmi les limites, l'atelier a mobilisé seulement 4 des 12 agriculteurs présents lors de l'ACP1. Les explications sont multiples: malgré que la majorité avait confirmé son intérêt à participer virtuellement (9 sur 12), certaines considérations techniques (rencontre dématérialisée) ou occasionnelles (météo propice au travail au champ) ont réduit les présences.

7. Cinquième rencontre du CLS et diffusion

À la suite de l'atelier s'est tenu le dernier CLS. Il a permis :

- d'effectuer un retour sur l'ensemble des conclusions pouvant être tirées des rencontres avec les agriculteurs
- d'identifier les meilleures avenues de mise en place des solutions: le CLS aura permis de souligner l'existence de deux niveaux de recommandations, (scientifique et mise en œuvre).
 Parmi les pistes, des mécanismes de transfert d'usages des terres agricoles riveraines vers d'autres usages permettrait d'évoluer vers une gestion des vulnérabilités par espace de mobilité, par exemple.
- d'identifier des avenues de diffusion pour favoriser l'appropriation : un des défis soulignés par le CLS reste celui de la communication : bien que l'ensemble du comité ait été satisfait des procédures menées jusqu'à l'atelier, il s'avère nécessaire de valoriser le processus de consultation des agriculteurs, à chaque étape.

Le processus de diffusion des résultats (de l'étude de cas et plus largement de l'ensemble du projet) fera l'objet d'une phase de diffusion. L'équipe de projet prépare cette phase par l'identification des évènements, projets ou autres activités pouvant bénéficier de la présentation de l'approche et des résultats. Une rencontre s'est tenue avec le MAPAQ le 16 mars afin de discuter des possibilités de réappropriation des conclusions par le ministère. La présentation des résultats, ainsi qu'une formation méthodologique lors du rendez-vous des OBV se tiendra en juin 2021. D'autres avenues sont à l'étude. De la même manière, l'ensemble des rapports et des outils seront accessibles et présentés dans le cadre du développement des bureaux de projets inondations au Québec déployés par le MAMH.

Annexe II: Indices de sensibilité de l'Atlas de vulnérabilité hydrométéorologique

Tableau II.1 Indice de sensibilité de l'Atlas (Université Laval, 2018)

Indice de	e sensibilité													
FID	Aire de diffusion	Indice de sensibilité	Proportion de personnes d'âges sensibles (%)	Proportion de personnes n'ayan t aucun certificat, diplôme ou grade (%)	Pro port ion de pers onn es im mig rant es réce ntes (%)	Pro port ion de pers onn es ne con nais sant pas une lan gue offic ielle (%)	Proportion de personnes vivant seules (%)	Proportion de familles monoparentales (%)	Proport ion de logeme nts loués (%)	Fréquence du faible reven u en 2015 fondé sur la mesur e de faible reven u après impôt (%)	Proportion de locata ires consa crant 30 % ou plus du reven u du ména ge à l'habit ation (%)	Taux d'inac tivité (%)	Proportion de loge men ts néce ssita nt des réparations maje ures (%)	Proportion de réside nces construites avant 1975 (%)
12055	24440033	Faible sensibilité	19.2	17.0	0	0	28.8	20	27.45	12.1	0	29.5	3.8	51.0
12056	24440034	Faible sensibilité	33.6	19.6	0	0	34.4	10	45.9	12.1	27.6	31.3	3.3	20.5
12124	24440035	Très faible sensibilité	20.6	21.4	0	0	22.0	7.9	17.8	15.3	0	17.5	9.1	60.7
12141	24440040	Faible sensibilité	21.8	31.7	0	0	21.7	10.8	16.3	15.1	0	32.7	8.3	51.4

Tableau II.2 Indice de capacité à faire face de l'Atlas (Université Laval, 2018)

Indice de	Indice de capacité à faire face											
FID	Aire de diffusion	Indice de capacité à faire face	Distance au plus proche établissem ent de santé (mètres)	Distance à la plus proche caserne de pompier (mètres)	Distance à la plus proche station de police (mètres)	Distance au plus proche pharmacie (mètres)	Distance au plus proche centre hospitalier de soins généraux et spécialisés (mètres)	Distance au plus proche centre local de services communa utaires (mètres)	Distance au plus proche établissem ent scolaire (mètres)			
12055	24440033	Très faible capacité à faire face	14089	2263	15417	13741	14204	14089	2231			
12056	24440034	Très faible capacité à faire face	13813	1034	15026	13481	13813	13813	945			
12124	24440035	Très faible capacité à faire face	11443	4604	12770	10945	12357	11443	5886			
12141	24440040	Très faible capacité à faire face	9806	5633	10856	9277	9806	9806	5360			

ANNEXE III: MÉTHODES DE MONÉTISATION, HYPOTHÈSES DE BASE ET DONNÉES POUR CHAQUE SECTEUR

1. Secteur agricole

1.1 Pertes de terres par l'érosion

- Méthode de quantification : coût de remplacement
- Hypothèse de base: un propriétaire est prêt à payer un montant donné équivalent au coût d'enrochement pour conserver sa terre, sachant que les coûts de réalisation et d'entretien amènent une efficacité de 100 %, soit une stabilité complète des berges jusqu'en 2070.
- Données (Biron et al, 2013):
 - o Coûts de la mesure enrochement avec végétalisation (Voir chapitre 5)

1.2 Dommage aux cultures

- Méthode de quantification : prix de marché
- Hypothèse de base : la perte de rendement des cultures varie en fonction du mois d'occurrence de l'inondation et de la superficie inondée par type de culture.
 - o Probabilité d'inondation (Trudel et Gobji, 2020) :

Tableau III.1 Probabilité d'inondation mensuelle par horizons temporels

Horizon	RCP	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Réf.	4.5-8.5	1%	2 %	8 %	47 %	25 %	1%	3 %	2 %	5 %	4 %	2 %	0 %
H1	4.5	2 %	4 %	10 %	45 %	15 %	5 %	5%	5 %	3 %	3 %	2 %	3 %
H1	8.5	2 %	2 %	8 %	41 %	21 %	4 %	3 %	6%	3 %	4 %	4 %	2 %
H2	4.5	3 %	7 %	15 %	29 %	20 %	4 %	6 %	5 %	2 %	3 %	4 %	4 %
H2	8.5	2 %	4 %	14 %	35 %	22 %	3 %	2 %	5 %	3 %	3 %	3 %	3 %

o Perte de rendement (Penning-Rowsell, 2013, adapté par le CLS) :

Tableau III.2 Perte de rendement mensuelle due aux inondations

Cultures	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Céréales	0 %	0 %	0 %	30 %	55 %	80 %	100 %	100 %	50 %	0 %	0 %	0 %
Foin	0 %	0 %	0 %	10 %	55 %	40 %	6 %	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Pâturage	0 %	0 %	0 %	9 %	7 %	5%	5 %	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %

o Modèle de rotation des cultures inondées (FADQ, 2019, adapté par le CLS) :

Tableau III.3 Modèle de rotation des cultures

	Proporti		Proport	ion des c	ultures	en rotat	ion	
Modèle de rotation	on en zone inondabl e	Maïs- grain	Maïs fourrager	Soya	Blé	Orge	Foin	Pâturage
Élevage laitier en rive	66 %	17 %	-	17 %	17 %	-	50 %	-
Élevage laitier hors rive	13 %	13 %	13 %	13 %	-	13 %	50 %	-
Production intensive	30 %	67 %	-	33 %	-	-	-	-
Pâturage	24 %	-	-	-	-	-	-	100 %

Données:

- o Superficie en culture par modèle de rotation (FADQ, 2019)
- o Marge sur coûts variables (Budget à l'hectare du CRAAQ) :

Tableau III.4 Marge sur coûts variables par modèle de rotation

	Maïs- grain	Maïs fourrager	Soya	Blé	Orge	Foin	Pâturage
Marge sur coûts variables (\$/ha)	717	1 000	599	445	238	329	391
Source	(CRAAQ, 2019a)	(CRAAQ, 2018a)	(CRAAQ, 2019b)	(CRAAQ, 2019c)	(CRAAQ, 2019d)	(CRAAQ, 2018b)	(CRAAQ, 2018c)

1.3 Coût de nettoyage de débris en champs

- Méthode de quantification : prix de marché et enquête terrain
- Hypothèse de base: le coût de nettoyage des débris en champs varie en fonction du mois d'occurrence de l'inondation et la superficie inondée par type de culture.
 - o Probabilité d'inondation mensuelle
 - o Modèle de rotation des cultures inondées
 - o Salaire horaire: 15 \$/ h (enquête, validation CLS)
 - o Nombre d'heures de travail par superficie inondée (validation en CLS) :

Tableau III.5 Nombre d'heures de travail par hectare inondé, par mois d'inondation

Cultures	Jan	Fév	Mar	Avr.	Mai	Jui n	Juil.	Aoû t	Sep	Oct	Nov	Déc
Céréales												
Travail manuel (h/ha)	0	0	20	20	15	15	15	15	15	15	0	0
Travail machineri e (h/ha)	0	0	20	20	15	15	15	15	15	15	0	0
Foin et pâtu	rage											
Travail manuel (h/ha)	0	0	40	40	30	30	30	30	30	30	0	0
Travail machineri e (h/ha)	0	0	10	10	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	0	0

• Données:

- o Superficie en culture par modèle de rotation (FADQ, 2019)
- o Coût d'utilisation de la machinerie: 30,69 \$/ h (CRAAQ, 2014)

2. Secteur commercial et industriel

2.1 Coûts des dommages aux bâtiments par inondation

- Méthode de quantification : Courbes profondeur d'eau-dommages
- Hypothèses de base: la valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus varie en fonction de la profondeur d'eau atteinte à l'intérieur du bâtiment.
 - La valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus est exprimée en pourcentage de la valeur foncière du bâtiment, selon le type de bâtiment commercial;
 - La profondeur d'eau atteinte au centroïde du rôle d'unités d'évaluation foncière des bâtiments représente adéquatement la profondeur d'eau à l'intérieur du bâtiment.

Données:

- o Rôle d'évaluation d'unité d'évaluation foncière (MAMH, 2018)
- Courbe profondeur d'eau -dommages -dommages à la structure, selon le type de bâtiments commerciaux (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)
- Courbe de profondeur d'eau -dommages au contenu, selon le type d'inventaire commercial (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)

3. Secteur résidentiel

3.1 Dommages aux résidences par inondation

- Méthode de quantification : Courbes profondeur d'eau -dommages
- Hypothèses de base: la valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus varie en fonction de la profondeur d'eau atteinte à l'intérieur du bâtiment.
 - La valeur monétaire des dommages subis à la structure des bâtiments et leurs contenus est exprimée en pourcentage de la valeur foncière du bâtiment, selon le nombre d'étage et la finition du sous-sol de la résidence:
 - La profondeur d'eau atteinte au centroïde du rôle d'unités d'évaluation foncière des bâtiments représente adéquatement la profondeur d'eau à l'intérieur de la résidence.

Données :

- o Rôle d'évaluation d'unité d'évaluation foncière (MAMH, 2018)
- o Courbe profondeur d'eau-dommages à la structure, selon le nombre d'étages et la finition du sous-sol de la résidence (Bonnifait, 2005)
- o Courbe profondeur d'eau-dommages au contenu, selon le nombre d'étages et la finition du sous-sol de la résidence (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)

3.2 Dépenses engendrées par les évacuations

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base: la durée de l'évacuation d'une résidence varie en fonction de la profondeur d'eau atteinte à l'intérieur du bâtiment, laquelle engendre des dépenses d'hébergement et d'entretien minimal pour les ménages évacués.
 - La valeur monétaire des dépenses engendrées par les évacuations est adéquatement représentée par l'aide financière du ministère de la Sécurité publique du Québec (MSP, 2019).
- Données:
 - o Courbe inondation-durée d'évacuation (FEMA, 2009)
 - o Programme d'aide financière du MSP (MSP, 2019).

4. Secteur psychosocial

4.1 Dépenses et pertes chez les sinistrés

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base: la prévalence supplémentaire de certains troubles de santé physique et psychologique chez les adultes exposés aux inondations engendre une perte de productivité, une perte de qualité de vie, des dépenses complémentaires ainsi que des dépenses en soins de santé supplémentaires.
 - La profondeur d'eau positive au centroïde du rôle d'unités d'évaluation foncière des bâtiments résidentiels représente adéquatement l'exposition aux inondations des ménages;
 - o 1,56 adultes par ménage (Statistiques Canada, 2016);
 - Estimation des coûts monétaires espérés par ménage inondé (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.) :

Tableau III.6 Valeur monétaire espérées par type de coûts associés au impacts psycho-sociaux par sinistré.e

Type de coûts	Valeur estimée
Dépenses complémentaires (Dépenses en alcool et liées au tabagisme)	147\$
Soins de santé (Traitements, hospitalisations, médicaments, etc.)	369\$
Perte de productivité (Temps rémunéré)	6 036 \$
Qualité de vie	9 881 \$
Total	16 434 \$

- Données:
 - o Rôle d'évaluation d'unité d'évaluation foncière (MAMH)

5. Secteur municipal

5.1 Dépenses en gestion des urgences

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base : la gestion des urgences pour rétablir l'usage des propriétés et des voies municipales inondées entraînent des dépenses supplémentaires en termes de frais administratif, de voirie et de service d'incendie pour la municipalité.
 - Le coût de gestion des urgences est estimé à partir d'un multiplicateur de 10,70 % sur les dommages économiques aux propriétés (Penning-Rowsell, 2013);
 - o Les dommages économiques aux propriétés sont adéquatement représentés par les dommages structurels aux résidences.

• Données:

 Dommage structurels aux résidences (voir Impacts résidentiels -Dommages aux résidences par inondation)

5.2 Dépenses en nettoyage des débris

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base : l'inondation de bâtiments résidentiels entraîne des dépenses municipales supplémentaires de nettoyage des débris dans la phase post-sinistre, selon le volume de débris généré.
 - o Volume de débris : 21 à 36 m² (superficie du bâtiment) (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)
 - o Coût de nettoyage des débris : 14,37 \$/m² (CMI Lac Champlain et Rivière Richelieu, in prep.)

• Données:

o Dommage structurels aux résidences (voir *Impacts résidentiels - Dommages aux résidences par inondation*)

6. Secteur économique

6.1 Perte de productivité due à la fermeture des routes

- Méthode de quantification : Prix de marché
- Hypothèse de base: la fermeture des infrastructures de transport entraîne une perte de productivité pour les automobilistes devant emprunter un trajet alternatif. Cette perte de productivité peut être estimée par le coût d'opportunité associé au temps additionnel du trajet alternatif (cf. rapport méthodologique).
 - Seuil de profondeur d'eau pour la fermeture des routes: 300 mm (Pregnolato, 2017);
 - o Durée de la fermeture des routes : 1 journée;
 - o Proportion d'automobiliste devant emprunter un trajet alternatif : 100 %;
 - o Taux d'occupation moyen des véhicules : 1,23 (Sambe et al., 2016);
 - o Valeur horaire du temps (adapté de Sambe et al., 2016) :

Tableau III.7 Valeur horaire du temps, par mode de transport et motif du déplacement

Mode de transport	Motif	Salaire médian (\$/h)	Facteur d'ajusteme nt	Valeur horaire (\$/h)
Véhicule léger	Affaires (5 %)	25,61	-	25,61
	Autres (95 %)	25,61	50 %	12,80
Camion régulier	-	33,60	-	33,60

• Données:

- o Débit de circulation annuel moyen par mode de transport des routes inondées chemin Hatley, chemin Jacques et route 147 (MTQ, 2019)
- Temps additionnel du trajet alternatif (estimé à partir du service de cartographie en ligne Google Maps)

7. Secteur environnemental

7.1 Séquestration du carbone

- Méthode de quantification : Prix de marché
- Hypothèse de base: la valeur économique du service écologique de séquestration du carbone est estimée en multipliant la charge de carbone séquestrée annuellement par la valeur annuelle du coût social du carbone (ECCC, 2016).
 - o Intervalle de temps nécessaire pour atteindre la charge complète de séquestration de carbone des scénarios d'adaptation : 10 ans ;
 - o Valeur du carbone : coût social du carbone (ECCC, 2016).

• Données:

- o Différence nette de stockage du carbone entre le scénario de référence et la carte d'utilisation du sol des scénarios d'adaptation (voir Tableau III-10);
- o Coût social du carbone (ECCC, 2016):

Tableau III.8 Coût social du carbone (\$ 2019)

Coût \ Année	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2060*	2070*
Coût social (\$/ tonne CO ₂)	50,5	55,26	60,48	66,14	71,80	77,35	83,01	94,25	105,4 2

^{*} Extrapolation linéaire des valeurs de 2020 à 2070

7.2 Qualité de l'eau

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base : la valeur économique des services écologiques de rétention des nutriments (azote et phosphore) et de sédiments est estimée en multipliant respectivement le flux de rétention annuelle par la valeur de traitement en usine.
 - Les coûts de traitement en usine de l'azote, du phosphore et des sédiments sont adéquatement représentés par les valeurs moyennes rapportées par Olewiler (2016) :

Tableau III.9 Coût moyen de traitement des charges biophysiques liés à la qualité de l'eau

Coût\ Ammée	Azote	Phosphore	Sédiments
Coût \ Année	(\$/kg)	(\$/kg)	(\$/tonne)
Coût de traitement annuel	5,77	41,52	18,68

Données:

o Différence nette de charge d'azote, de phosphore et de sédiments entre le scénario de référence et la carte d'utilisation du sol des scénarios d'adaptation (voir Tableau III-10) et exemple à la Figure 28).

7.3 Biodiversité

- Méthode de quantification : Transfert de valeur
- Hypothèse de base : la valeur économique du service écologique de biodiversité est estimée en multipliant le score de qualité de l'habitat par la valeur de la création d'un acre d'habitat arboré.
 - La valeur de la création d'un habitat terrestre arboré est adéquatement représentée par la valeur moyenne des bénéfices rapporté par la métaanalyse de Borisova-Kidder (2006), soit 130,32 \$ US (451,30 \$CAD).

• Données:

 Différence nette du score de la qualité de l'habitat entre le scénario de référence et la carte d'utilisation du sol des scénarios d'adaptation (voir Tableau III-10)

Tableau III.10 Résultats biophysiques des scénario d'adaptation, par rapport au scénario de référence

			Résultats biophysiques								
		Nutri	ments	Sédiments	Biodiversité	Carbone					
		Flux de phosphore (kg/année)	Flux d'azote (kg/année)	Flux de sédiment (tonne/an)	Score de qualité de l'habitat	Charge de carbone (tonne)					
CTA D.C	Delta	0	0	0	0	0					
STA-DG	Taux de variation	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %					
STA ACC	Delta	-16	-231	-19	-467	210					
STA-ACC	Taux de variation	-1,1 %	-0,2 %	-0,2 %	-0,1 %	0,1 %					
STA-	Delta	0	0	3	63	0					
EFF	Taux de variation	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %					
MOB-Eff	Delta	-433	-10430	-590	1125	1562					
	Taux de variation	-29,9 %	-11,0 %	-6,6 %	0,3 %	0,4 %					
MOB-	Delta	-351	-5343	-246	562	307					
Hyb	Taux de variation	-24,2 %	-5,6 %	-2,8 %	0,2 %	0,1 %					
554	Delta	-1321	-2075	-2764	0	0					
PRA	Taux de variation	-91,1 %	-2,2 %	-31,1 %	0,0 %	0,0 %					
MOB- HYB-	Delta	-1321	-5343	-2764	562	307					
PRA	Taux de variation	-91,1 %	-5,6 %	-31,1 %	0,2 %	0,1 %					

Annexe IV : analyse de redistribution : pondération par groupe d'acteurs

Tableau IV.1 Pondération des postes d'impact, selon les acteurs, pour l'analyse de redistribution

Analyse de redistribution entre les acteurs (% des coûts ou avantages assumés par chacun)									
Coûts/ avantages	Société	Agriculteurs assurés	Agriculteurs non assurés	Sinistrés	Municipalité				
Coûts liés à l'érosion des berges									
Perte de terres agricoles	70%	30%		0%	0%				
Pertes de terrains autres	0%	0%	0%	0%	100%				
Coûts liés aux inondations									
Agriculteurs									
Dommage aux cultures	45%	13%	42%	0%	0%				
Nettoyage des débris	75%	25%		0%	0%				
Résidents									
Dommage aux résidences	90%	0%	0%	10%	0%				
Assistance du MSP	100%	0%	0%	0%	0%				
Dépenses complémentaires	0%	0%	0%	100%	0%				
Soins de santé	100%	0%	0%	0%	0%				
Perte de productivité	0%	0%	0%	100%	0%				
Qualité de vie	0%	0%	0%	100%	0%				
Municipalité									
Nettoyage des débris	0%	0%	0%	0%	100%				

Analyse de redistribution entre les acteurs (% des coûts ou avantages assumés par chacun)									
Coûts/ avantages	Société	Agriculteurs assurés	Agriculteurs non assurés	Sinistrés	Municipalité				
Économie									
Fermeture de routes	100%	0%	0%	0%	0%				
Dommages aux institutions	100%	0%	0%	0%	0%				
Services écosystémiques									
Séquestration du carbone	100%	0%	0%	0%	0%				
Rétention nutriments	100%	0%	0%	0%	0%				
Rétention sédiments	100%	0%	0%	0%	0%				
Habitats fauniques	100%	0%	0%	0%	0%				
Coûts des mesures – Réali	sation et entr	etien							
Dragage	100%	0%	0%	0%	0%				
Enrochements - agricole	70%	30%		0%	0%				
Enrochements - autres	0%	0%	0%	0%	100%				
Bassin de rétention	0%	0%	0%	0%	100%				
Aménagements hydroagricoles	0%	100%		0%	0%				
Restauration de MHH	100%	0%	0%	0%	0%				
Coûts des mesures – Coût	d'opportunité	5							
Usages agricoles	0%	100%		0%	0%				
Autres usages privés	0%	0%	0%	100%	0%				
Usages municipaux	0%	0%	0%	0%	100%				
Usages institutionnels	100%	0%	0%	0%	0%				